

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/311669596>

Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen (Band zur zweiten transdisziplinären Konferenz 2016)

Book · December 2016

CITATION

1

READS

5,799

1 author:



Robert Weidner
Helmut Schmidt University / University of the Federal Armed Forces Hamburg
67 PUBLICATIONS 126 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Young Forum for Technology Sciences (JF:TEC - Junges Forum: Technikwissenschaften) [View project](#)



X-Profile System [View project](#)

Zweite Transdisziplinäre Konferenz

Technische Unterstützungssysteme, die Menschen wirklich wollen



Hamburg
2016

Konferenzband

Herausgeber

R. Weidner

Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik

Laboratorium Fertigungstechnik

Forschernachwuchsgruppe smartASSIST

Holstenhofweg 85

22043 Hamburg, Deutschland

ISBN: 978-3-86818-090-9 (Online-Version)

ISBN: 978-3-86818-089-3 (Druckausgabe)

Copyright Helmut-Schmidt-Universität 2016

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Gedruckt in Deutschland

Illustration Titelbild: Pixelatelier Peters

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Forschernachwuchsgruppe smartASSIST¹ des Laboratoriums Fertigungstechnik (LaFT) der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg begrüßt Sie im Dezember 2016 herzlich in Hamburg zur zweiten transdisziplinären Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“. Im Rahmen dieser Konferenz stellen WissenschaftlerInnen und IndustrievertreterInnen aus über fünfzehn Disziplinen ihre Forschungsarbeiten in Fachvorträgen, einer Poster- und Demonstratorsession vor. Diese Beiträge, die im Konferenzband zusammengefasst sind, sowie die Gespräche und Diskussionen sollen Anregungen für die zukünftige, bedarfsorientierte Technikentwicklung geben, die durch die Ko-Operation von Mensch und Technik geleitet werden wird. Die gesellschaftliche Akzeptanz technischer Unterstützungssysteme stellt den Ausgangspunkt dieser Konferenz dar.

Wir bedanken uns zum einen bei allen Beitragenden und Mitwirkenden aus Forschung, Industrie, Politik und Gesellschaft sowie zum anderen ganz besonders bei allen Förderern und Unterstützern, ohne die derartige Veranstaltungen nicht möglich wären: dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, dem VDI/VDE-IT Innovation GmbH, der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Montage, Handhabung und Industrierobotik e.V. (MHI e.V.), dem wissenschaftlichen Ausschuss und den LeiterInnen der Sessions sowie den wissenschaftlichen und studentischen Hilfskräften der Arbeitsgruppe smartASSIST und des Laboratoriums Fertigungstechnik. Ein besonderer Dank geht an ein Mitglied des wissenschaftlichen Ausschusses und kürzlich, viel zu früh verstorbenen Professor Dr.-Ing. Christopher M. Schlick, dem wir diesen Konferenzband widmen.

Hamburg, den 02. Dezember 2016



Dr.-Ing. Robert Weidner

¹ Das Projekt „smart ASSIST – Smart, Adjustable, Soft and Intelligent Support Technologies“, Förderkennzeichen 16SV7114 wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau im Schwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion vor dem Hintergrund des demographischen Wandels“ gefördert und durch die VDI/VDE INNOVATION GmbH betreut.

Wissenschaftlicher Ausschuss der Konferenz

Prof. Dr. Michael Decker

(Technikfolgenabschätzung, Karlsruher Institut für Technologie)

Dr. Athanasios Karafillidis

(Soziologie, Helmut-Schmidt-Universität)

Prof. Dr. Klaus Henning

(Mensch-Maschine-Interaktion, RWTH Aachen)

Prof. Dr. Bernd Kuhlenkötter

(Produktionstechnik, Ruhr-Universität Bochum)

Dr. Janina Loh

(Philosophie, Universität Wien)

Prof. Dr. Sven Matthiesen

(Produktentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie)

Prof. Dr. Annika Raatz

(Produktionstechnik, Leibniz Universität Hannover)

Prof. Dr. Werner Rammert

(Soziologie, TU Berlin)

Prof. Dr. Raúl Rojas

(Robotik und Künstliche Intelligenz, Freie Universität Berlin)

Prof. Dr. Christopher Schlick

(Arbeitswissenschaften, RWTH Aachen)

Dr. Philine Warnke

(Zukunftsforchung, Fraunhofer ISI)

Dr. Robert Weidner

(Produktionstechnik, Helmut-Schmidt-Universität)

Dr. Bettina Wollesen

(Bewegungs- und Gesundheitswissenschaft, Universität Hamburg)

Prof. Dr. Jens P. Wulfsberg

(Produktionstechnik, Helmut-Schmidt-Universität)

Inhaltsverzeichnis

Bedeutung von Aufmerksamkeitstheorien für die Bewegungskoordination und resultierende Gestaltungskonsequenzen in der Mensch-Maschine-Interaktion	1
(<i>B. Wollesen, L. L. Bischoff, J. Rönnfeldt, K. Mattes</i>)	
Bedeutung und kinematische Untersuchung der Passform eines aktiven Exoskeletts für die untere Extremität	13
(<i>C. Plegge</i>)	
Quantifizierung und Bewertung von Belastungen bei der Kabelbaummontage und Simulation einer Entlastung durch ein Unterstützungssystem	21
(<i>R. Benker, K. Heinrich, G.-P. Briggemann</i>)	
Mobiles Augmented-Reality-System für Handwerker.....	31
(<i>K. Nuelle, J. Kotlarski, T. Ortmaier</i>)	
Bewertungskonzept zur Identifikation von kognitiven Unterstützungstechnologien in der manuellen Montage	41
(<i>C. Herder, J. C. Aurich</i>)	
Smart Workbench: Ein multimodales und bidirektionales Assistenzsystem für den industriellen Einsatz	49
(<i>J. Höcherl, S. Niedersteiner, S. Haug, C. Pohlt, T. Schlegl, K. Weber, T. Berlehner</i>)	
Assistive Sicherheitstechniken in der geriatrischen Pflege	59
(<i>J. Hergesell, A. Maibaum</i>)	
Selbstbestimmte Technologie und selbstbestimmte Anwendung	69
(<i>A. Koppenburger, M. Garthaus, R. Simon, H. Remmers</i>)	
Evaluierung der Nutzerakzeptanz tragbarer Hilfsmittel zur passiven Kraftunterstützung für Altenpflegekräfte	79
(<i>C. M. Hein, M. Pfitzer, T. C. Lüth</i>)	
Akzeptanz durch Anpassung?	89
(<i>K. Liggieri</i>)	
Welche technische Unterstützung wünschen sich Menschen mit Demenz?	97
(<i>C. Brändle, J. Hirsch, N. Weinberger, B.-J. Krings</i>)	
Technikakzeptanzmodelle: Theorieübersicht und kritische Würdigung mit Fokus auf ältere Nutzer/innen (60+)	107
(<i>S. Misoch, C. Pauli, E. Ruf</i>)	
Soziotechnisch unterstütztes Wohnen im Alter.....	117
(<i>R. G. Heinze</i>)	
Smarte Quartiere 2050 – flexibel, resilient und intelligent	129
(<i>J. Schubert, S. Leonhardt, M. Schneider, T. Neumann, B. Gill, T. Teich</i>)	
IKT-unterstütztes Toilettensystem für ältere Menschen	139
(<i>P. Panek, P. Mayer</i>)	
Exoskeleton Portfolio Matrix	147
(<i>R. A. Goehlich, I. Krohne, R. Weidner, C. Gimenez, S. Mehler, R. Isenberg</i>)	
Von der Natur inspiriert	157
(<i>R. Strommer</i>)	

Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016

Bedarfsgerechte Industrieanwendungen kollaborierender Mensch-Roboter-Systeme in Produktionsprozessen	163
(<i>K. Delang, L. Winkler, M. Bdiwi, M. Breitfeld, M. Putz</i>)	
Gesellschaftliche Auswirkungen von Wearable-Technologie	173
(<i>N. Kleine</i>)	
Mobile Interaction Concepts for the Future Technician	183
(<i>J. N. Czerniak, T. Hellig, C. Brandl, A. Mertens, C. M. Schlick</i>)	
Wissen die Menschen, was sie wirklich wollen?	193
(<i>K. Herrmann, A. Dogangün</i>)	
Anforderungsermittlung auf Basis einer kontextintegrierenden, praxiszentrierten Bedarfsanalyse – die KPB-Methodik	203
(<i>K. Paetzold, H. Pelizäus-Hoffmeister</i>)	
Der interdisziplinäre Entwicklungsprozess von aktiv angetriebenen, körpergetragenen Exoskeletten für die oberen Extremitäten am Beispiel des „Stuttgart Exo-Jacket“	213
(<i>T. Rogge, U. Daub, A. Ebrahimi, U. Schneider</i>)	
Prozessmodell zur anwendungsorientierten Entwicklung von Power-Tools	223
(<i>S. Matthiesen, R. Germann, S. Schmidt, K. Hölz, M. Uhl</i>)	
Taxonomische Kriterien technischer Unterstützung	233
(<i>A. Karafillidis, R. Weidner</i>)	
User-Centred Design als Instrument zur Bewertung ethischer Implikationen neuer Mensch-Technik-Interaktionen	249
(<i>A. Trübwetter, T. Grawe, S. Glende</i>)	
Förderung der körperlichen Aktivität bei älteren Menschen durch körpernahe Sensorik	259
(<i>J. Meyer, S. Boll, C. Voelcker-Rehage, S. Lippke</i>)	
Soziotechnische Assistenzensembles	269
(<i>P. Biniok</i>)	
Raum-Spiel	285
(<i>O. Schürer, C. Müller, C. Hubatschke, B. Stangl</i>)	
(Datenschutz)rechtliche Herausforderungen im Gesundheitsbereich	295
(<i>M. Schuler-Harms, D.-S. Valentiner</i>)	
Beschreibung bestehender Sicherheitsnormen und fachspezifischer Erkenntnisse bei der Entwicklung von Exoskeletten	307
(<i>K. Polunin, M. Klöckner, B. Kuhlenkötter, C. Plegge</i>)	
MEESTAR ²	317
(<i>K. Weber</i>)	
Human Perception of Velocity and Lateral Deviation in Haptic Human-Robot Collaboration	327
(<i>J. Schmidler, L. Petersen, K. Bengler</i>)	
Gaze Gesture-Based Human Robot Interface	339
(<i>Sh. Alsharif, O. Kuzmicheva, A. Gräser</i>)	
Individuelle und dynamische Werkerinformationssysteme	349
(<i>S. Teubner, G. Reinhart, R. Haymerle, U. Merschbecker</i>)	

Human Enhancement Technology	365
(<i>R. Weidner, F. Steinicke</i>)	
Kooperative Störungsdiagnose durch Bediener und Assistenzsystem für Verarbeitungsanlagen	375
(<i>L. Oehm, T. Müller, R. Müller, A. Schult, J. Ziegler, J.-P. Majschak, L. Urbas</i>)	
Mobile akustische Gang- und Laufanalyse	385
(<i>N. Schaffert, I. Goetze, K. Mattes, T. Knieling, K.-M. Stephan</i>)	
Explorative Co-Design-Werkzeuge zum Entwerfen von Smart Connected Things am Beispiel eines Workshops mit Blinden und Sehbehinderten.....	395
(<i>A. Kurze, K. Lefevre, M. Storz, A. Bischof, S. Totzauer, A. Berger</i>)	
Systematische Risikobewertung für eine additiv gefertigte, kosteneffiziente Handprothese	401
(<i>I. S. Yoo, M. Peipp, J. Franke</i>)	
Adaptive Assistenzsysteme in der Textilindustrie	411
(<i>M. Löhrer, N. Ziesen, J. Lemm, M. Saggiomo, Y.-S. Gloy</i>)	
Gamification im Anlernprozess am Industriearbeitsplatz – ein inklusiver Ansatz	421
(<i>S. Haug, L. Glashauser, B. Großmann, C. Pohlt, T. Schlegl, A. Wackerbarth, K. Weber</i>)	
Configuration of smart embedded devices in the field using NFC	431
(<i>J. Haase, D. Meyer</i>)	
Zur Wirkungsweise partizipativer Verfahren in technischen Entwicklungsprozessen	443
(<i>S. Buchmüller, S. Maaf, C. Schirmer</i>)	
Nutzerstudie im Projekt LISA ² Habitec	453
(<i>A. Engler, E. Schulze</i>)	
Akustische Marker für eine verbesserte Situations- und Intentionserkennung von technischen Assistenzsystemen.....	465
(<i>I. Siegert, A. F. Lotz, O. Egorow, R. Böck, L. Schega, M. Tornow, A. Thiers, A. Wendemuth</i>)	
Kennzeichnung von Nutzerprofilen zur Interaktionssteuerung beim Gehen	475
(<i>A. Thiers, D. Hamacher, M. Tornow, R. Heinemann, I. Siegert, A. Wendemuth, L. Schega</i>)	
Mobile Geräte und Telemedizin in der Rehabilitation – Was wünschen sich Patienten?....	485
(<i>N. Jankowski, J. Gerstmann, L. Schönjahn, M. Wahl</i>)	
Leichtgewichtige und inhärent biomechanisch kompatible Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe	495
(<i>B. Otten, R. Weidner, C. Linnenberg</i>)	
Tragbare Assistenzsysteme in der Automobilmontage	507
(<i>J. Bornmann, A. Kurzweg, K. Heinrich</i>)	
Analyse der Engineering-Kette im Hinblick auf die Entwicklung körpergetragener technischer Systeme	517
(<i>R. Weidner, C. Linnenberg, A. Hypki, J. P. Wulfsberg, B. Kuhlenkötter</i>)	
Systematische Entwicklung von Einheiten aus Power-Tools und anziehbaren Unterstützungssystemen	527
(<i>R. Weidner, S. Matthiesen, T. Bruchmüller, S. Mangold, J. P. Wulfsberg</i>)	

Recupera-Reha: Exoskeleton Technology with Integrated Biosignal Analysis for Sensorimotor Rehabilitation.....	535
(<i>E. A. Kirchner, N. Will, M. Simnofske, L. M. Vaca Benitez, B. Bongardt, M. M. Krell, S. Kumar, M. Mallwitz, A. Seeland, M. Tabie, H. Wöhrle, M. Yüksel, A. Heß, R. Buschfort, F. Kirchner</i>)	
Knie-Exoskelett für bewegungseingeschränkte und gehandicapte Personen mit flexilem Gelenk zur Realisierung menschlicher Bewegungsmuster	549
(<i>R. Weidner, J. Müller, A. Schweim, M. Schweim, S. Grube</i>)	
Energy Harvesting für Werkzeugtracking in Großproduktionsanlagen.....	557
(<i>O. Schantin, A. Busse, V. Skwarek, W. Kaiser</i>)	
Exoskelettale Wirbelsäulenstruktur zur Aufnahme und Umleitung von Kräften zur Rückenentlastung	567
(<i>T. Meyer, R. Weidner</i>)	
RehaInteract	577
(<i>J. Liebach, M. Wolschke, A. Smurawski, M. John, G. Kock, A. Grohnert, J. Piesk, M. Polak</i>)	
Zur Gestaltung autonomer sozialer Assistenzsysteme für einen freudvollen und bedeutungsvollen Alltag.....	589
(<i>J. Welge, M. Hassenzahl, S. Schwarz</i>)	
Gestaltung eines biomimetischen, weichen Muskelhandschuhs.....	599
(<i>Z. Yao, R. Weidner, C. Linnenberg, A. Argubi-Wollesen, J. P. Wulfsberg</i>)	
Autorenverzeichnis.....	611

Bedeutung von Aufmerksamkeitstheorien für die Bewegungskoordination und resultierende Gestaltungskonsequenzen in der Mensch-Maschine Interaktion

B. Wollesen, L. L. Bischoff, J. Rönnfeldt, K. Mattes

Universität Hamburg, Fakultät Psychologie und Bewegungswissenschaft,
Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft

Turmweg 2, 20146 Hamburg

bettina.wollesen@uni-hamburg.de, laura.bischoff@uni-hamburg.de,
johannes.roennfeldt@uni-hamburg.de, klaus.mattes@uni-hamburg.de

Kurzzusammenfassung

In der Arbeitswelt 4.0 müssen Benutzeroberflächen für eine fehlerfreie und ergonomische Interaktion zwischen Mensch und Maschine so gestaltet werden, dass sie an die Fertigkeiten und Fähigkeiten des Menschen angepasst sind. Die Wahrnehmung und Verarbeitung vorhandener Reize sowie eine reaktive Bewegungsplanung und Durchführung des Menschen ist für den Informationsaustausch unerlässlich. Sowohl bei der Reizverarbeitung als auch in der motorischen Reaktion sind Aufmerksamkeitsprozesse von erheblicher Bedeutung.

In diesem Beitrag wird der aktuelle Stand der Forschung zur Interaktion von Aufmerksamkeit und Bewegungsqualität vorgestellt, auf dessen Basis notwendige Gestaltungskonsequenzen für die Mensch-Maschine Interaktion abgeleitet werden.

Abstract

“The significance of models of attention for motor coordination and resulting interface design concepts: Human-Machine Interaction”

In the Industry 4.0 interface designs need to be adjusted to cognitive and sensorimotor abilities of humans in order to ensure a faultless and ergonomic human-machine interaction. The perception and processing of stimuli as well as the reactive motor planning and response of humans is essential for the exchange of information. Attention processes play an eminent role in both the processing of stimuli and the motor response.

This paper presents the current state of research regarding the interaction of attention and motor control and gives recommendations for interface design concepts.

Keywords: Mensch-Maschine Interaktion, Aufmerksamkeitstheorien, ergonomische Benutzeroberflächen, Wahrnehmung, Bewegungskoordination

1 Einleitung

Arbeitstätigkeiten in der Interaktion mit Maschinen erfordern für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eine gute Koordination von Wahrnehmung und Bewegung, um in jeder Situation die richtige Entscheidung treffen zu können (z.B. Prüfaufgabe von Fertigungsteilen am Fließband mit Monitorüberwachung). Hierzu sind Aufmerksamkeitsprozesse von erheblicher Bedeutung,

um die für die Handlung relevanten Informationen zu selektieren, während irrelevante Informationen gehemmt werden müssen. Dementsprechend folgen diese Arbeitshandlungen u.a. dem *übergeordneten Aufmerksamkeitssystem* (*supervisory attentional system -SAS [1]*), das Bewegungshandlungen moduliert und aktiviert.

Die Arbeitsleistung und -qualität richtet sich in der Folge danach, wie gut die Arbeitnehmer Informationen aus der Umwelt (z.B. über die Benutzeroberfläche in Kombination mit der Position des Arbeitsgegenstands) aufnehmen und möglichst schnell und präzise in die Arbeitshandlung übertragen können. Eine besondere Rolle spielt dabei u.a. das Situationsbewusstsein (*situation awareness*) [2], ein Prozess der drei Phasen durchläuft: (1) Wahrnehmen von Elementen, z.B. den Sinn am Monitor erfassen; (2) Verständnis der Bedeutung der Elemente, z.B. muss der Nutzer die angezeigten Informationen verstehen und verschiedene Informationen integrieren sowie (3) Vorhersage des zukünftigen Verlaufs, d.h. auf Basis der vorhandenen Informationen werden zukünftige Situationen abgeschätzt. Steigende Komplexität der zu vollziehenden Arbeitsaufgabe (z.B. Mehrfachanforderungen wie Multi-Tasking), altersbedingte Veränderungen sowie physische und kognitive Ermüdung nehmen hier Einfluss auf die individuellen Aufmerksamkeitsressourcen und somit auf die Arbeits- bzw. Bewegungsgenauigkeit. Dies kann zu Arbeitsfehlern und ergonomisch ungünstigen Körperhaltungen führen.

Der Beitrag stellt den aktuellen Stand der Forschung zur Interaktion von Aufmerksamkeit und Bewegungsqualität vor, um auf dessen Basis notwendige Gestaltungskonsequenzen für die Mensch-Maschine Interaktion abzuleiten.

Interaktionsprozesse zwischen Wahrnehmung und Bewegung

Jede Arbeitshandlung benötigt motorische Koordination mit den zugehörigen Komponenten der sensorischen Signalverarbeitung und Wahrnehmung, der kognitiven Kontrolle und der motorischen Planung, Steuerung und Ausführung.

Ob das Erklingen des Tons, der die Ankunft einer neuen E-Mail signalisiert oder der Fehler an einem Fertigungsteil, das auf dem Fließband visuell inspiziert, erkannt und aussortiert werden muss – all diese Eindrücke aus der alltäglichen Umgebung werden vom Menschen über unterschiedliche Rezeptoren (visuelles, auditives, kinästhetisches System etc.) wahrgenommen [3, 4]. Aus diesen Informationen können sich nach ihrer Verarbeitung reaktive motorische Handlungsnotwendigkeiten ergeben, die situationsangemessen reguliert und umgesetzt werden müssen, wie beispielsweise das Anklicken der E-Mail oder das Ergreifen des fehlerhaften Fertigungsteils [4]. Da in Reaktion auf einen bestimmten Wahrnehmungsstimulus nicht unbedingt ein spezifisches Handlungsschema abläuft, sondern eine gezielte und kontrollierte Bewegung erfolgen muss, bedarf es Aufmerksamkeit und Interaktionsprozesse in der motor-kognitiven Steuerung der Bewegung.

Organisation von Interaktionsprozessen

Kontrollierte Bewegungssteuerung erfordert ein überwachendes Aufmerksamkeitssystem. Das SAS [1] unterscheidet zwischen automatischen und kontrollierten Prozessen bei der Bewegungsinitiierung. Automatische Bewegungssteuerung basiert auf Schemata, die im Langzeitgedächtnis abgespeichert sind und durch bestimmte wahrgenommene Impulse automatisch aktiviert werden. Das Prinzip der lateralen Hemmung verhindert das gleichzeitige Ablaufen verschiedener Bewegungsschemata, wobei Schemata priorisiert werden, die sich in der Vergangenheit als adäquate motorische Reaktion im Langzeitgedächtnis etablierten.

Das SAS beeinflusst im Gegensatz zu der automatischen jedoch die kontrollierte Bewegungsauswahl, vergleicht die verschiedenen Bewegungsschemata mit den übergeordneten Zielen, aktiviert passende und hemmt unpassende Bewegungsabläufe. Bewegungsabläufe, die neu erlernt oder einer neuen Situation angepasst werden müssen, erfordern demnach Aufmerksamkeit [5]. Besonders in Situationen, in denen automatisierte Bewegungen unterdrückt werden müssen (z.B. ein Rettungsfahrer, der nicht wie gelernt an einer roten Ampel anhalten kann), muss das SAS das automatisierte Handlungsschema hemmen.

Weiterhin diskutierte Erklärungsmodelle sind das *frontal-lobe executive model* (FLE [6]), das von drei Subkomponenten ausgeht (Zielorientierungen, Analyseprozesse der Bedeutungs- und Handlungserwartung und zugehörige Strukturen der Bewegungsaktivierung), die in die exekutive Kontrolle von Tätigkeiten einfließen sowie das Modell der *strategic response-deferment* (SRD [7]). Das SRD integriert die Antworten auf die Task Stimuli der Aufgaben und deren Organisation in Abhängigkeit der Task Priorisierung. Bis die priorisierte Aufgabe erfüllt ist, bleibt die zweite Aufgabe im Arbeitsgedächtnis, um sie anschließend auszuführen.

Wulf [8] beschreibt in einem Review den Effekt, den Aufmerksamkeit auf die Bewegungsausführung in Hinblick auf Effektivität (Präzision und Konstanz) und Effizienz (Muskelaktivität, Kraftaufwand, kardiovaskuläre Anstrengung) ausübt. Ein Fokus der Aufmerksamkeit auf die externen Effekte der Bewegungsausführung zeigt dabei zunächst deutlich bessere Ergebnisse als der interne Fokus auf die Bewegungsausführung an sich. Fehlende, aber auch geteilte Aufmerksamkeit durch sogenanntes Multitasking, kann jedoch Einfluss auf die angemessene Auswahl und fehlerfreie Ausführung von Bewegungsabläufen nehmen, da die Aufgabenorganisation unterschiedlichste kognitive Prozesse erfordert und die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses begrenzt ist [9].

Probleme bei Mehrfachanforderungen

Im Arbeitsalltag wechseln die Arbeitnehmer häufig zwischen Aktivitäten wie telefonieren, dem Bedienen eines Computers, lesen oder Überwachung von Maschinenabläufen [9]. Somit entstehen Mehrfachanforderungen mit Multitasking in Hinblick auf die Arbeitstätigkeit mit einer parallelen oder seriellen Ausführung mehrerer Arbeitsaufgaben [10]. Mehrfachanforderungen sind vier unterschiedlichen Kategorien zuzuordnen [11]:

- (1) Aufeinanderfolgende diskrete Aufgaben (Aufgabenwechsel – task-switching).
- (2) Gleichzeitige diskrete Aufgaben (Überlappung der Aufgaben).
- (3) Kontinuierliche Aufgaben (Unterbrechung durch gelegentliche diskrete Aufgaben).
- (4) Zusammengesetzte (gleichzeitige), kontinuierliche Aufgaben.

Dieser Einteilung zufolge sind Multitasking-Anforderungen und Unterbrechungen am Arbeitsplatz zwei eng miteinander verbundene Phänomene [10]. Müssen zwei oder mehrere Aufgaben gleichzeitig bearbeitet werden, ist ein signifikanter Anstieg der erforderlichen Zeit beim Erledigen der Aufgaben zu verzeichnen [12, 13]. Auch gelten Arbeitsunterbrechungen als unkontrollierbare Stressoren, die den Einsatz zusätzlicher psychischer Ressourcen zur Aufgabenbewältigung erfordern [10].

Neben den Unterbrechungen spielt auch die Komplexität der Zusatzaufgabe eine wichtige Rolle. Kramer, Hahn und Gopher [14] unterteilen Aufgabenklassen mit zunehmendem Aufwand kognitiver Prozesse in einfache (1) Reiz-Reaktions-Aufgaben, (2) Wenn-Dann-Entscheidungen, (3) räumliche Orientierungsreaktionen und als schwierigste Kategorie (4) Aufgaben, die eine exekutive Kontrolle erfordern. Leistung und Qualität der Arbeit weisen dabei Einbußen

auf; diese sind umso gravierender, je mehr unterschiedliche Aufgaben parallel ausgeführt werden müssen und je länger die Situation andauert [10, 13].

Verschiedene theoretische Modelle beschreiben die Mechanismen motorisch-kognitiver Interaktionen und Störanfälligkeit in komplexen Handlungssituationen. Die gemeinsame Grundidee ist, dass die Doppel-Aufgaben um Aufmerksamkeitsressourcen konkurrieren, da die kognitive Verarbeitung seriell und nicht parallel abläuft. Die Theorie des sogenannten zentralen Flaschenhalses (“central bottleneck”) geht von einer streng seriellen zentralen Verarbeitung aus. Sie besagt, dass die Informationsverarbeitung der verschiedenen Aufgabenanforderungen begrenzt ist (Flaschenhals), da nicht alle Informationen im Arbeitsgedächtnis gleichzeitig verarbeitet werden können. So erfolgt die Bearbeitung der zweiten Aufgabe erst, wenn die erste abgeschlossen ist und resultiert in verlängerten Bearbeitungszeiten bei Doppeltätigkeiten [12]. Die “*attentional resource theory*” besagt, dass motorisch-kognitive Interferenzen in Multitasking-Situationen entstehen, weil die Teilaufgaben um limitierte Aufmerksamkeitsressourcen konkurrieren [16]. Auffällig ist jedoch, dass kontrollierte Handlungsschemata bei paralleler Ausführung mehr Qualitätsverluste aufweisen als automatisch ablaufende und dass diese Verluste steigen, wenn sich die auszuführenden Aufgaben ähneln. Aus dieser Überlegung heraus wurden unspezifischen Ressourcentheorien durch Konzepte, wie das “*4-dimensional multiple resource model*“ von Wickens abgelöst, die zeigen, dass die Interferenz steigt, wenn die Aufgaben gleiche sensorische Modalitäten und Informationskanäle benötigen [17].

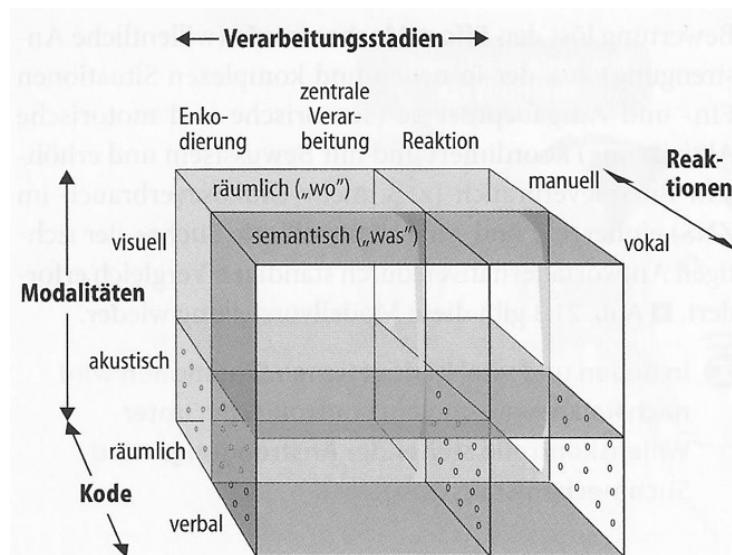


Abbildung 1.1: Verarbeitungsmechanismus nach Wickens [15, S. 502]

Auch bei diesem Modell wird von einer Limitation des kognitiven Systems ausgegangen. Die Gesamtkapazität setzt sich jedoch aus verschiedenen und voneinander unabhängigen Einzelkapazitäten zusammen. Das Modell ist als Würfel zu verstehen, der sich durch verschiedene Dimensionen auszeichnet. So werden beispielsweise Wahrnehmungsmodalitäten in akustisch und visuell unterschieden und die Reaktion in manuell oder vokal unterteilt. Wickens postuliert, dass weniger Interferenzen auftreten, wenn unterschiedliche Modalitäten bzw. unterschiedliche Reaktionen parallel ablaufen, als wenn diese Aufgaben die gleiche Modalität oder Reaktionsform benötigen. So ist es für das menschliche Gehirn einfacher, ein akustisches und ein visuelles Signal gleichzeitig zu verarbeiten als zwei akustische Signale [17]. Um die Aufmerksamkeitsressourcen zu verteilen, ist eine Organisation im zentralen Nervensystem notwendig. Es

wird angenommen, dass diese über das bereits erläuterte SAS [1] oder eine zentrale Exekutive [19] erfolgt. Somit können auf Basis der zur Verfügung stehenden Ressourcen, den Aufgabenanforderungen und der Aufgabenpriorisierung die Ressourcen strategisch günstig verteilt werden. Diese Organisation untergliedert sich in drei Funktionen: Aufgabenwechsel ('task switching'), Aktualisierungsprozesse im Gedächtnis ('memory updating') und Hemmung dysfunktionaler Antworten 'response inhibition' [19, 20, 21]. Außerdem wird vorgeschlagen, Multitasking als eigene exekutive Funktion zu sehen (*executive function 'dual tasking'*) und nicht als Mischform der drei o.g. Funktionen [21, 22]. Zusammenfassend lässt sich für die o.g. Modelle festhalten, dass die motorisch-kognitive Bewältigung im Alltag von der Aufgabenspezifität (*task setting*) und der Aufgabenbedingungen (z. B. Komplexität, *Stimulus-Response*-Bedingungen) abhängig ist. Dieses Wissen sollte gezielt in Gestaltungsprozesse überführt werden.

Probleme auf Grund altersphysiologischer Veränderungen

Automatisierte Alltagsbewegungen, wie z.B. das Gehen und die posturale Kontrolle im Stehen, erfordern mit zunehmendem Alter immer mehr kognitive Kontrolle und Aufmerksamkeitsressourcen [23, 24]. Altersphysiologische Veränderungen resultieren dabei in reduzierten Fähigkeiten zur genauen Bewegungskontrolle, sowie der Koordination unter Zeitdruck [25]. Untersuchungen zeigten, dass bereits einfache visuelle Reaktionszeitaufgaben mit altersbedingten Einbußen einhergehen, die sich mit steigendem Schwierigkeitsgrad erhöhen [26], insbesondere, wenn zur Aufgabenlösung exekutive Funktionen benötigt werden. So führen visuell anspruchsvolle Aufgaben zu negativen Veränderungen der Motorik [27].

Neben den Untersuchungen zu Multitasking Situationen in Lokomotion und posturaler Kontrolle, existieren zahlreiche Untersuchungen zu Leistungseinbußen für Alltagsfertigkeiten (z. B. Autofahren). Altersbedingte Leistungseinbußen in der Multitasking-Situation des Autofahrens zeigten sich vor allem bei visuellen *tracking-tasks* während des Fahrens. Rechnen führte zum Übersehen von Straßenschildern und verlangsamter Fahrgeschwindigkeit [28]. Auch telefonieren führte zu Effekten auf die Fahrgeschwindigkeit, Geschwindigkeitswechsel und Abweichungen in der Lenkbewegung [29]. Körber, Gold, Lechner und Bangle [30] untersuchten, ob ältere Autofahrer in Abhängigkeit der Verkehrsdichte unter verbalen Multitasking-Tätigkeiten Unterschiede im Reaktionsverhalten auf Hindernisse zeigten. Obwohl die Reaktionszeiten vergleichbar zu den jüngeren waren, bremsten die älteren Fahrer häufiger und stärker [30]. Die Bewegungsgenauigkeit für die bimanuelle Koordination benötigt exekutive Kontrolle und ist somit abhängig von der Ressourcenallokation der Aufmerksamkeit [31].

Für die Gestaltung von Arbeitsplätzen sind zudem Forschungsergebnisse zu motor-kognitiven Interaktionsprozessen der Feinmotorik im Alter relevant:

- *Auge-Hand-Koordination*

Probleme bei der Auge-Hand-Koordination entstehen durch einen Strategiewechsel beim Greifen nach Objekten, da das Zielobjekt von älteren Erwachsenen länger fixiert werden muss, wenn eine hohe Bewegungsgenauigkeit erforderlich ist [32].

- *Greif- und Zegebewegungen*

Zielgerichtete Greif- und Zegebewegungen münden in einer erhöhten Bewegungsdauer und besitzen eine größere Bewegungsvariabilität [33]; Zegebewegungen werden ungenauer und disharmonisch [34].

- *Bimanuelle Koordination, Greifen und Manipulieren*

Defizite beim bimanuellen Greifen und kontinuierlichen, zyklischen bimanuellen Bewegungen entstehen neben einer allgemeinen Verlängerung der Bewegungsausführung und der Kraftsteuerung durch eine größere Asynchronität zwischen beiden Händen [35, 36, 37, 38, 39].

Physische und kognitive Ermüdung

Körperliche und psychische Ermüdung kann als ein Zustand definiert werden, der mit einer reduzierten Fähigkeit und Effizienz für physische und kognitive Prozesse einhergeht [40].

Studien zur kognitiven Ermüdung zeigten, dass durch eine mentale Belastung die körperliche Leistungsfähigkeit stärker reduziert wurde, als durch kardiorespiratorische und muskuläre Ermüdung [41]. Weiterhin führte mentale Ermüdung bei einer Studie zum Aufgabenwechsel zu erhöhten Reaktionszeiten, Anstieg der Fehlerquote und negativen Emotionen gegenüber den verschiedenen Aufgaben-Bedingungen [42].

Untersuchungen zur physischen Ermüdung zeigten, dass lokale Ermüdung der umgebenden Muskulatur des Kniegelenks die Bewegungsgenauigkeit bei der Reproduktion von Kniewinkel reduzierte [43]. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch für repetitive Bewegungen im Schultergelenk festgestellt [44]. Lokale Ermüdung der Wadenmuskulatur nimmt Einfluss auf die Balance und die Reaktionszeiten auf externe Reize [45]. Ähnliche Resultate zeigte auch eine Studie von Beurskens et al. [46], in der eine Ausdauerbelastung zu einem erhöhten posturalen Schwanken unter Einfach- und Mehrfachbedingungen führte. Einen kumulierten Stör-Effekt von Müdigkeit und erhöhter Aufmerksamkeit durch Doppelaufgaben (Rückwärtzzählen in Dreier-Schritten) auf die Balance-Kontrolle konnte die Studie nicht nachweisen [46]. Zudem konnten Deschamps, Magnard und Cornu [47] akute Einflüsse von physischer und psychischer Ermüdung (Vigilanz) auf die posturale Kontrolle während einer schwierigen Gleichgewichtsaufgabe feststellen. Diese Beispiele demonstrieren, dass sich psychische und physische Ermüdung in reduzierter Bewegungsqualität ausdrückt und somit die Körperhaltung und Bewegungsgenauigkeit beeinflusst.

Situation awareness

Besonders in Bezug auf die Identifikation möglicher Fehler in der Informationsverarbeitung von Nutzern computergestützter Systeme ist das klassische Konzept von Endsley [48] zu einem zentralen Erklärungsmodell avanciert [49]. Das Modell zur *situation awareness* (Situationsbewusstsein) identifiziert drei aufeinanderfolgende Aspekte eines kognitiven Prozesses:

- Wahrnehmung der relevanten Objekte in einer gegebenen Umwelt (z.B. den Sinn am Monitor erfassen),
- Verstehen der Bedeutung der aufgefundenen Objekte und Interpretation der Situation (z.B. muss der Nutzer die angezeigte Information verstehen und evtl. verschiedene Informationen und vorhandenes Wissen integrieren) sowie
- Prognose der Veränderung des Zustandes der Objekte und der Umwelt für eine gegebene Zeitspanne [50].

Ein Resultat des kognitiven Prozesses sind Entscheidungen, die zu reaktiven Aktivitäten führen. Insbesondere die Antizipation künftiger Systemzustände ist von großer Bedeutung für das Handeln von Nutzern. Fehler beruhen häufig auf bewussten und unbewussten antizipativen Prozessen, können aber in jedem der genannten Aspekte des kognitiven Prozesses auftreten

[49]. Um Fehler zu vermeiden, sollten in der Entwicklung von Benutzeroberflächen die kognitiven Fähigkeiten des Menschen berücksichtigt werden. Je intuitiver das Design, desto geringer der kognitive Aufwand beim Durchlaufen der aufeinanderfolgenden Prozesse [2]. Im folgenden Abschnitt werden die Gestaltungskonsequenzen dargelegt, die sich für die Mensch-Maschine Interaktion aus den vorgestellten Aufmerksamkeitsmodellen und der Interaktion zwischen Aufmerksamkeit und Bewegungsplanung und -ausführung ergeben.

2 Ableitungen für die Arbeitsplatzgestaltung

Mensch-Maschine Interaktion

Primäre Anforderung an eine ergonomische Gestaltung von Mensch-Maschinen-Interaktion ist eine Anpassung der Technik an die Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen [51, 52]. Anzeigesysteme sollten beispielsweise so konzipiert sein, dass die Wahrnehmung, Verarbeitung und Interpretation von Informationen unter geringem Bedarf mentaler Ressourcen möglich sind. So macht das beschriebene SAS [1] deutlich, dass geringere Aufmerksamkeitsressourcen notwendig sind, wenn Benutzeroberflächen „intuitiv“ gestaltet sind, sich also an im Langzeitgedächtnis abgespeicherte Erfahrungen und Erwartungen orientieren, die ein automatisiertes Handlungsschema aktivieren. Benutzeroberflächen, die nicht „intuitiv“ gestaltet sind und so die Aktivierung des *übergeordneten Aufmerksamkeitssystems* erfordern, um automatisierte Handlungsschema zu hemmen, führen zu erhöhten Aufmerksamkeitskosten und sind somit nicht ergonomisch [53]. Zudem sind die beschriebenen Limitierungen der menschlichen Handlungsfähigkeit bei Mehrfachanforderungen, die durch die notwendige Allokation von begrenzter Aufmerksamkeit entstehen, bei der Gestaltung von Benutzeroberflächen zu berücksichtigen. Aus der theoretischen Auseinandersetzung mit dem Mehrkapazitäten Modell nach Wickens [17] ergibt sich der Bedarf an multimodalen Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine. Unimodale Schnittstellen zeichnen sich dadurch aus, dass sie einen spezifischen Kanal zur Informationsausgabe (zumeist der visuelle, bspw. die Anzeige im Armaturenbrett eines Automobils oder der Bildschirm eines Computers) und einen spezifischen Kanal zur Informationseingabe (zumeist der manuelle, bspw. das Lenkrad oder die Tastatur) aufweisen [52]. Während bei einfachen Aufgaben unimodale Schnittstellen ausreichen, reduzieren multimodale Schnittstellen bei komplexen Aufgaben die Doppelaufgaben-Kosten und vermeiden so das Fehlerrisiko. Ein multimodales System ermöglicht durch die Bereitstellung unterschiedlicher Anzeige- und Eingabeelemente eine ergonomische Bedienung der Maschine unter Multitasking Bedingungen [54, 55]. Nach Schlick et al. [52] in Anlehnung an das Modell von Wickens kann beispielsweise „eine perzeptiv-kognitive Aufgabe, bei der räumlich kodierte Informationen vom Benutzer auditiv aufgenommen und verbal abgegeben werden, besser mit einer reaktiven Tätigkeit, bei der sprachlich kodierte Informationen visuell aufzunehmen und manuell abzugeben sind, kombiniert werden als mit einer gleichartigen Aufgabe.“ [52]. Studien weisen die Vorteile multimodaler Benutzeroberflächen nach: sie beugen Fehlern vor, helfen Nutzern Fehler leichter zu korrigieren und bringen eine größere Bandbreite in die Mensch-Maschine Kommunikation, sodass Kommunikationsalternativen in verschiedenen Situationen und Umgebungen vorhanden sind [56].

Von einer größeren Bandbreite der Kommunikationsmöglichkeiten sowie einer geringeren Inanspruchnahme mentaler Ressourcen durch multimodale Systeme profitieren auch ältere Mitarbeiter, die wie beschrieben, erheblich größere Interferenzen in Multitasking Situation aufweisen. Besonders visuell anspruchsvolle Aufgaben sollten mit Rücksicht auf ältere Arbeitnehmer

durch andere Informationskanäle ergänzt werden, da die Inanspruchnahme des visuellen Kanals bei älteren Mitarbeitern, Studien zufolge, zu deutlich größeren Interferenzen bei Multitasking Aufgaben führt, als die anderer Informationsverarbeitungskanäle [27]. Weiterhin ist für ältere Arbeitnehmer zu bedenken, dass sich die Bewegungsgenauigkeit und die Reaktionszeiten insbesondere für manuelle Tätigkeiten verändern. Hier können die Bewegungen über vorgegebene Trajektorien geführt werden. Diese Lösung würde auch jüngeren Erwachsenen helfen, wenn die Arbeitstätigkeit mit großer muskulärer Ermüdung verbunden ist. Insgesamt wird im letzten Jahrzehnt in der Mensch-Maschine-Interaktions-Forschung diskutiert, den bisher am häufigsten verwendeten visuellen Kanal bei der Informationswahrnehmung zu entlasten [51, 52, 53], der jedoch für Tätigkeiten im Stehen oder in Bewegung zur posturalen Kontrolle besonders erforderlich ist.

Da akustische Reize, insbesondere im industriellen Umfeld mit hoher Lärmbelastung später wahrgenommen werden als visuelle und zudem oftmals ganz klar mit einer Warnung verbunden sind, sollte beispielsweise über taktiles oder haptisches Feedback als Ersatz für den visuellen Kanal nachgedacht werden, um den bereits häufig während den Arbeitstätigkeiten geforderten visuellen Kanal zu entlasten und so Multitaskingkosten zu reduzieren.

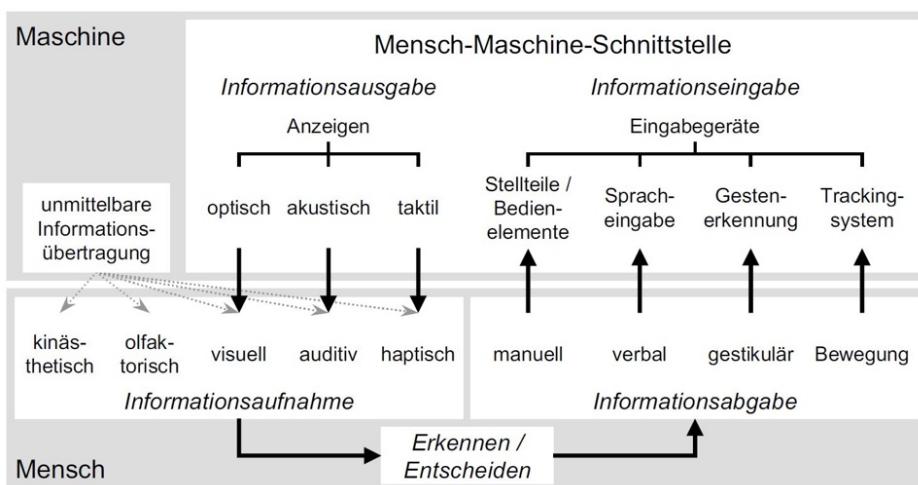


Abbildung 2.1: Informationsübertragung in Mensch-Maschine-Systemen [52, S. 971]

3 Zusammenfassung und Ausblick

Müssen zwei oder mehrere Aufgaben gleichzeitig bearbeitet werden, ist ein signifikanter Anstieg der erforderlichen Zeit beim Erledigen der Aufgaben zu verzeichnen und die Leistung und Qualität der Arbeit weist Einbußen auf. Diese Einbußen sind sowohl kognitiver als auch motorischer Natur. Zahlreiche Studien machen den Einfluss von Multitaskingbedingungen auf die Informationsverarbeitungs- sowie die motorische Reaktionsfähigkeit deutlich. Zusätzlich führt sowohl physische als auch psychische Ermüdung zu weiteren Qualitätsminderungen in der Bewegungsausführung. Die Verluste in Multitaskingsituationen resultieren aus der notwendigen Allokation einer begrenzten Aufmerksamkeitskapazität.

Verschiedene Aufmerksamkeitstheorien liefern hierzu Erklärungsansätze. Ihnen gemeinsam ist die Feststellung, dass die motorisch-kognitive Bewältigung im Alltag von der Aufgabenspezifität (*task setting*) und der Aufgabenbedingungen (z. B. Komplexität, *Stimulus-Response*-Bedingungen) abhängig ist. Nach Wickens sind beispielsweise gleichartige Aufgaben schlechter kombinierbar, als solche, die auf unterschiedliche Wahrnehmungs- und Reaktionsmodalitäten zurückgreifen.

Dieses Wissen sollte gezielt in Gestaltungsprozesse von Benutzeroberflächen in der Mensch-Maschine Interaktion überführt werden, um negative Folgen zu vermeiden. Die in diesem Artikel aufgearbeiteten Erkenntnisse zu einer ergonomischen Benutzeroberflächen- und Arbeitsplatzgestaltung spielen in der Arbeitswelt 4.0 eine prominente Rolle. Zukünftige Arbeitsplätze werden sich vermehrt durch eine alltägliche Interaktion zwischen Mensch und Maschine auszeichnen [53]. Eine Anpassung an Aufmerksamkeitskapazitäten und kognitive Verarbeitungsprozesse ist notwendig, um die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter zu erhalten und Fehler zu vermeiden.

4 Literatur

- [1] D. A. Norman, T. Shallice: Attention to action. Springer US, S. 1-18, 1986.
- [2] M. R. Endsley, W. Jones: Situation awareness. The Oxford Handbook of Cognitive Engineering, Oxford University Press, S.88-108, 2013.
- [3] K. R. Gegenfurtner: Gehirn & Wahrnehmung. S. Fischer Verlag, 2015.
- [4] A. Effenberg: Wahrnehmung und Bewegung. Aktuelle Facetten der Wahrnehmungs-Handlungsforschung und Implikationen für die Bewegungspraxis, Bundesinstitut für Sportwissenschaft, S. 185-193, 2007.
- [5] H. O. Karnath, P. Thier: Kognitive Neurowissenschaften. Motorik (30) 4, 2012.
- [6] J. Duncan: Disorganization of behaviour after frontal-lobe damage. Cognitive Neuropsychology, 3, S. 271-290, 1986.
- [7] D. E. Meyer, D. E. Kieras: Computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Basic mechanisms Part 1. Psychological Review, 104, EPIC, S. 3-65, 1997.
- [8] G. Wulf, C. Shea, R. Lewthwaite: Motor skill learning and performance: a review of influential factors. Medical Education 44, S. 75-88, 2010.
- [9] A. Spink, C. Cole, M. Waller: Multitasking behavior. Annual review of information science and technology, 42(1), S. 93-118, 2008.
- [10] F. Freude, P. Ullsperger: Unterbrechungen bei der Arbeit und Multitasking in der modernen Arbeitswelt – Konzepte, Auswirkungen und Implikationen für Arbeitsgestaltung und Forschung. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 60(4), S. 120-128, 2010.
- [11] D. D. Salvucci: A Multitasking General Executive for Compound Continuous Tasks. Cognitve Science 29, S. 457-492, 2005.
- [12] H. Pashler: Task Switching and Multitask Performance. Attention and Performance XVIII: Control of cognitive processes, MIT Press, 2000.
- [13] J. S. Rubinstein, D. E. Meyer, J. E. Evans: Executive control of cognitive processes in task switching. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27(4), S. 763-797, 2001.
- [14] A. F. Kramer, S. Hahn, D. Gopher: Task coordination and aging: Explorations of executive control processes in the task switching paradigm. Acta psychologica, 101(2), S. 339-378, 1999.
- [15] N. Birbaumer, R. F. Schmidt: Biologische Psychologie, Springer, 2010.
- [16] D. Kahneman: Attention and Effort, Prentice-Hall, 1973.
- [17] C. D. Wickens: The structure of attentional resources. In Nickerson, R. (Eds.) Attention and performance VIII, Erlbaum, S. 239-257, 1980.

- [18] M. Lacour, L. Bernard-Demanze, M. Dumitrescu: Posture control, aging, and attention resources: models and posture-analysis methods. *Neurophysiol Clin* 38, S. 411-421, 2008.
- [19] A. Baddeley: Exploring the central executive. *Q J Exp Psychol* 49A, S. 5-28, 1996.
- [20] A. Miyake, N. P. Friedman, M. J. Emerson, A. H. Witzki, A. Howerter, T. D. Wager: The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cogn Psychol* 41, S. 49-100, 2000.
- [21] T. Strobach, T. Salminen, J. Karbach, T. Schubert: Practice-related optimization and transfer of executive functions: a general review and a specific realization of their mechanisms in dual tasks. *Psychol Res* 78, S. 836-851, 2014.
- [22] S. Enriquez-Geppert, R. J. Huster, C. S. Herrmann: Boosting brain functions: Improving executive functions with behavioral training, neurostimulation, and neurofeedback. *Int J Psychophysiol* 88, S. 1-16, 2013.
- [23] G. Yogev-Seligmann, J. M. Hausdorff, N. Giladi: Do we always prioritize balance when walking? Towards an integrated model of task prioritization. *Mov Disord* 27, S. 765-770, 2012.
- [24] M. Woollacott, A. Shumway-Cook: Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture* 16, S. 1-14, 2002.
- [25] K. Roth: Strukturanalyse koordinativer Fähigkeiten, Limpert Verlag GmbH, 1982.
- [26] J. Fozard, M. Vercruyssen, S. Reynolds, P. Hancock, R. Quilter: Age Differences and Changes in Reaction Time: The Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Journal of Gerontology*, 49(4), S. 179-189, 1994.
- [27] R. Beurskens, O. Bock: Age-Related Deficits of Dual-Task Walking: A Review. *Neural Plasticity*, doi:10.1155/2012/131608, 2012.
- [28] A. Chaparro, J. M. Wood, T. Carberry: Effects of age and auditory and visual dual tasks on closed-road driving performance. *Optometry & Vision Science* 82.8, S. 747-754, 2005.
- [29] D. Shinar, N. Tractinsky, R. Compton: Effects of practice, age, and task demands, on interference from a phone task while driving. *Accident Analysis & Prevention*, 37(2), S. 315-326, 2005.
- [30] M. Körber, C. Gold, D. Lechner, K. Bengler: The influence of age on the take-over of vehicle control in highly automated driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 39, S. 19-32, 2016.
- [31] A. S. Bangert, P. A. Reuter-Lorenz, C. M. Walsh, A. B. Schachter, R. D. Seidler: Bi-manual coordination and aging: neurobehavioral implications. *Neuropsychologia*, 48(4), S. 1165-1170, 2010.
- [32] R. Coats, A. Fath, S. Astill, J. Wann: Eye-hand coordination strategies in older adults. *J Vis*, 15(12), S. 1152, 2015.
- [33] J. H. Yan, J. R. Thomas, G. E. Stelmach: Aging and rapid aiming arm movement control. *Exp Aging Res*, 24(2), S. 155-168, 1998.
- [34] R. D. Seidler, J. L. Alberts, G. E. Stelmach: Changes in multi-joint performance with age. *Motor Control*, 6(1), S. 19-31, 2002.
- [35] L. R. Wishart, T. D. Lee, J. E. Murdoch, N. J. Hodges: Effects of aging on automatic and effortful processes in bimanual coordination. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 55(2), S. 85-94, 2000.

- [36] S. Vieluf, B. Godde, E. M. Reuter, J. J. Temprado, C. Voelcker-Rehage: Practice effects in bimanual force control: does age matter?. *Journal of motor behavior*. 2015.
- [37] Gilles, M. A.; Wing, A. M.: Age-related changes in grip force and dynamics of hand movement. *Journal of Motor Behavior*, 35(1), S. 79-85, 2003.
- [38] P. J. Parikh, K. J. Cole: Handling objects in old age: forces and moments acting on the object. *Journal of Applied Physiology*, 112(7), S. 1095-1104, 2012.
- [39] H. Olafsdottir, W. Zhang, V. M. Zatsiorsky, M. L. Latash: Age-related changes in multifinger synergies in accurate moment of force production tasks. *J Appl.Physiol*, 102(4), S. 1490-1501, 2007.
- [40] M. Tanaka, A. Ishii, Y. Watanabe: Neural mechanisms underlying chronic fatigue. *Reviews in the Neurosciences*, 24(6), S. 617-628, 2013.
- [41] S. M. Marcra, W. Staiano, V. Manning, V.: Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), S. 857-864, 2009.
- [42] M. M. Lorist, M. Klein, S. Nieuwenhuis, R. Jong, G. Mulder, T. F. Meijman: Mental fatigue and task control: planning and preparation. *Psychophysiology*, 37(5), S. 614-625, 2000.
- [43] J. Baumeister, K. Reinecke, M. Schubert, J. Schade, M. Weiss: Effects of induced fatigue on brain activity during sensorimotor control. *European journal of applied physiology*, 112(7), S. 2475-2482, 2012.
- [44] S. A. Ferguson, W. G. Allread, P. Le, J. Rose W. S. Marras: Shoulder muscle fatigue during repetitive tasks as measured by electromyography and near-infrared spectroscopy. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 55(6), S. 1077-1087, 2013.
- [45] N. Vuillerme, N. Forestier, V. Nougier, Attentional demands and postural sway: the effect of the calf muscles fatigue. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(12), S. 1907-1912, 2002.
- [46] R. Beurskens, M. Haeger, R. Kliegl, K. Roecker, U. Granacher: Postural Control in Dual-Task Situations: Does Whole-Body Fatigue Matter?. *PloS on*, 11(1), e0147392, 2016.
- [47] T. Deschamps, J. Magnard, C. Cornu: Postural control as a function of time-of-day: influence of a prior strenuous running exercise or demanding sustained-attention task. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10(1), S. 1, 2013.
- [48] M. R. Endsley: Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), S. 32-64, 1995.
- [49] K. W. Kallus: Situationsbewusstsein und antizipative Prozesse. *Z. Arbeitswiss*, 63, S. 17-22, 2009.
- [50] N. Rauch, B. Gradenegger, H. P. Krüger: Darf ich oder darf ich nicht? Situationsbewusstsein im Umgang mit Nebenaufgaben während der Fahrt. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaften*, 1(9), S. 3-17, 2009.
- [51] A. Jaimes, N. Sebe: Multimodal human–computer interaction: A survey. *Computer vision and image understanding*, 108(1), S. 116-134, 2007.
- [52] C. Schlick, R. Bruder, H. Luczak: *Arbeitswissenschaft*, Springer, 2010.

- [53] D. Gorecky, M. Schmitt, M. Loskyll, D. Zühlke: Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics, IEEEES. 289-294, 2014.
- [54] K. P. Gärtner: Multimodale Interaktion im Bereich der Fahrzeug- und Prozessführung (DGLR-Bericht 2000-02). Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, 2000.
- [55] B. Trouvain, C. M. Schlick: A comparative study of multimodal displays for multirobot supervisory control. In: International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, Springer, S. 184-193, 2007.
- [56] S. Oviatt, P. Cohen: Perceptual user interfaces: multimodal interfaces that process what comes naturally. Communications of the ACM, 43(3), S. 45-53, 2000.

Bedeutung und kinematische Untersuchung der Passform eines aktiven Exoskeletts für die untere Extremität

C. Plegge

Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie
Fraunhoferstr. 20, 53343 Wachtberg
christian.plegge@fkie.fraunhofer.de

Kurzzusammenfassung

In den letzten Jahren wurden Exoskelette für unterschiedlichste Anwendungszwecke entwickelt. Die Gestaltung von Exoskeletten unterliegt technischen Limitationen, die häufig auch deren Verwendungszwecke einschränken. In einer biomechanischen Messreihe sowie Trageversuchen in realer Anwendungsumgebung eines aktiven Exoskeletts für die untere Extremität wurde dessen anatomische Passform untersucht und analysiert. Die festgestellten Abweichungen der Gelenkdrehachsen von bis zu 7 cm lassen keine systematische Unterstützung vermuten. Das Potential des getesteten Systems bei Verbesserung des anatomischen Sitzes wird aufgezeigt und die anatomische Passform als Erfolgsfaktor bei der Entwicklung effektiver, ausdauernder und leichter Exoskelette argumentiert.

Abstract

“Importance and kinematic investigation of anatomical fitting of an exoskeleton for the lower limb“

In recent years, exoskeletons have been developed for a wide range of applications. The design of exoskeletons requires taking technical limitations into account, which often limit their context of use. A biomechanical testing as well as wearing trials in a real application environment were performed to measure and analyze the anatomical fitting of an active lower limb exoskeleton. The observed deviations of the pivot axes of up to 7 cm do not suggest any systematic support by the exoskeleton. The potential of the tested system is depicted under the assumption of proper anatomical fitting. In this context, anatomical fitting is argued as a success factor for the development of effective, energy efficient and compact exoskeletons.

Keywords: exoskeleton, anatomical fitting, kinematics

1 Einleitung

In den letzten Jahren ist eine deutliche Zunahme der Entwicklungsgeschwindigkeit von Exoskeletten festzustellen. Es wurden sowohl neue Exoskelette entwickelt als auch etablierte z.T. deutlichen Modifikationen und Erneuerungen unterzogen.

Überwiegend werden Exoskelette in spezialisierten Einsatzbereichen eingesetzt, die sich in ihren Anforderungen an das System teils deutlich unterscheiden und somit maßgeblich zur Ausgestaltung und Komplexität der Systeme beitragen. Technisch unterliegen körpergetragene Exoskelette Anforderungen wie Betriebsdauer, Gewicht und Leistungsfähigkeit, die sich teils

gegenseitig bedingen und die Eignung zum Einsatz in verschiedenen Nutzungskontexten maßgeblich limitieren und beeinflussen. Typische Einsatzbereiche, die die Entwicklung von Exoskeletten Treiben sind Militär und Medizin [1] sowie die Industrie [2]. Eine schematische Übersicht zu Komplexität und Rahmenbedingungen exoskelettaler Lösungen ist in Abbildung 1.1 dargestellt.

	Militär	Medizin	Industrie
Komplexität	Ganzkörpersetups üblich	Ganzkörpersetups Unterstützung einzelner Körperregionen	So gering wie möglich Spezialisierte Lösungen
Operating time	Missionsdauer (Tage/Wochen)	Trainingseinheit ADL	Schichtdauer
Mobilität	Kernanforderung: Unwegsames Gelände, etc.	Teils mobil, teils stationär	Begrenzt notwendig
vmax	Joggen/Sprinten (~ 20 km/h)	Gehen (~ 5 km/h)	Keine Kernanforderung
Nutzen	Erweiterung physischer Leistungsfähigkeit <ul style="list-style-type: none"> • Lastenträgen • Ausdauersteigerung • Bewegungsermöglichung / "Superkräfte" 	<ul style="list-style-type: none"> • Entlastung d. Körpers • Bewegungs- ermögli- chung • Wiedererlangung von Mobilität 	<ul style="list-style-type: none"> • Entlastung d. Körpers • Kombination menschl. Flexibilität und Robotik <p>➔ Prozessoptimierung</p>

Abbildung 1.1: Übersicht verschiedener Charakteristika und Anforderungen an körpergetragene Exoskelette in unterschiedlichen Anwendungsbereichen

Unabhängig vom konkreten Einsatzzweck eines körpergetragenen, exoskelettalen Systems stellt die anatomische Passform neben weiteren wie der Steuerung und Träigkeitseigenschaften eines Exoskeletts eine zentrale Voraussetzung hinsichtlich Effektivität der Unterstützung sowie der Ausdauerleistung des Systems dar [3]. Zanotto et al. berichten, dass der Effekt unzureichend genauer Steuerung aktiver Exoskelette auf das Gangbild größer sei, als der mangelhafter anatomischer Passform [3]. Voraussetzung zur exakten Steuerung eines aktiven Exoskeletts ist jedoch die Kenntnis über das durchzuführende Bewegungsmuster, welches durch das Exoskelett unterstützt bzw. ermöglicht werden soll. Diese Bewegung erkennen bzw. vorhersagen zu können, bedarf der automatisierten Erfassung der Bewegung und deren Umsetzung in Steuerbefehle für das Exoskelett [4]. Die Interpretation von Bewegungsdaten erfordert einen stabilen Sitz der Sensorik am Körper und wird bei Exoskeletten meist in das System integriert. Über die exakte Erfassung von Bewegungsdaten hinaus ist auch aus Gründen der Belastungs- und Beanspruchungsoptimierung des Bewegungsapparates des Nutzers ein stabiler Sitz des Exoskeletts zu befürworten, da dieser eine Voraussetzung zur zielgerichteten Einleitung externer Kräfte in den Körper ist.

Im Rahmen der durchgeführten Messreihe sollte der Prototyp eines aktiven Exoskeletts für die untere Extremität hinsichtlich der Kongruenz von dessen Drehachse zur Kniedrehachse untersucht werden. Die Differenzierung etwaiger Ursachen von Verschiebungen war nicht Ziel der Untersuchung.

2 Methode

Die vorliegende Arbeit ist Teil einer umfangreichen Betrachtung und Analyse von Einsatzmöglichkeiten exoskelettaler Systeme (u.a. [5]). Der fokussierte Nutzungskontext lag auf der physischen Unterstützung des Nutzers in hoch mobilem Nutzungskontext, z.T. in widrigen Umgebungsbedingungen. Die Rückwirkungen des Exoskeletts auf den Nutzer wurden u.a. mit Hilfe einer biomechanischen Messreihe und systematisch dokumentierten Trageversuchen erfasst. Das in dieser Studie verwendete Exoskelett war ein Prototyp des Dermoskeletts Keeogo der Fa. B-Temia (Abbildung 2.1). Es unterstützt die untere Extremität durch Aktuatoren in Höhe der beiden Kniegelenke. Die Aktuatoren des Dermoskeletts können das Kniegelenk mit einem Drehmoment von bis zu 60 Nm unterstützen.



Abbildung 2.1: Prototyp B-Temia Keeogo

2.1 Biomechanische Messreihe

In der biomechanischen Untersuchung wurde ein Laborexperiment mit zehn sportlich aktiven, männlichen Probanden durchgeführt. Das Alter der Versuchsteilnehmer betrug im Mittel $25,3 \pm 3,3$ Jahre, sie waren im Mittel $1,88 \pm 0,04$ m groß und hatten eine Körpermasse von $87,1 \pm 4,6$ kg. Sämtliche Versuchsteilnehmer absolvierten das gesamte Testprotokoll.

Die Untersuchung umfasste die Analyse dreier verschiedener Bewegungsmuster (Abbildung 2.3):

- (A) Ebenes Gehen bei 7,5 km/h
- (B) Treppensteigen
 - i. Aufsteigen mit Überschreiten von zwei Stufen mit einem Schritt
 - ii. Absteigen mit einer Stufe pro Schritt
- (C) Niedersprung ($h = 45\text{cm}$) von einer Rampe und Weitergehen bei 6 km/h

Die Gehgeschwindigkeiten wurden mit einem Toleranzbereich von $\pm 0,35$ km/h durch Lichtschranken, je 1,5m vor und hinter der Kraftmessplatte, bestimmt. Die Kinematik der unteren Extremität sowie des Exoskeletts wurden mit einem VICON Motion-Capture System (100Hz, 16 Kameras) erfasst. Zur Erfassung der Kinematik des menschlichen Körpers wurde ein, die untere Extremität hoch auflösendes Markerset verwendet. Die Kinematik des Exoskeletts wurde durch zusätzliche, am Exoskelett befestigte Marker erfasst, sodass sich das in Abbildung 2.2 visualisierte Markerset aus 71 Markern ergab. Dadurch konnte in der Analyse die Relativbewegung des Exoskeletts gegenüber der unteren Extremität bestimmt werden.

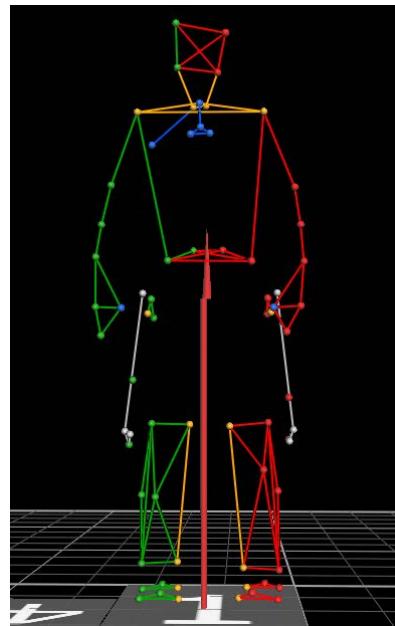


Abbildung 2.2: verwendetes Markerset

Das Studiendesign sah drei verschiedene Belastungs-/Ausrüstungskonfigurationen (0-15,8-37,1 kg Ausrüstungsgewicht) des Versuchsteilnehmers vor, die jeweils mit und ohne Unterstützung durch das Exoskelett gemessen wurden.

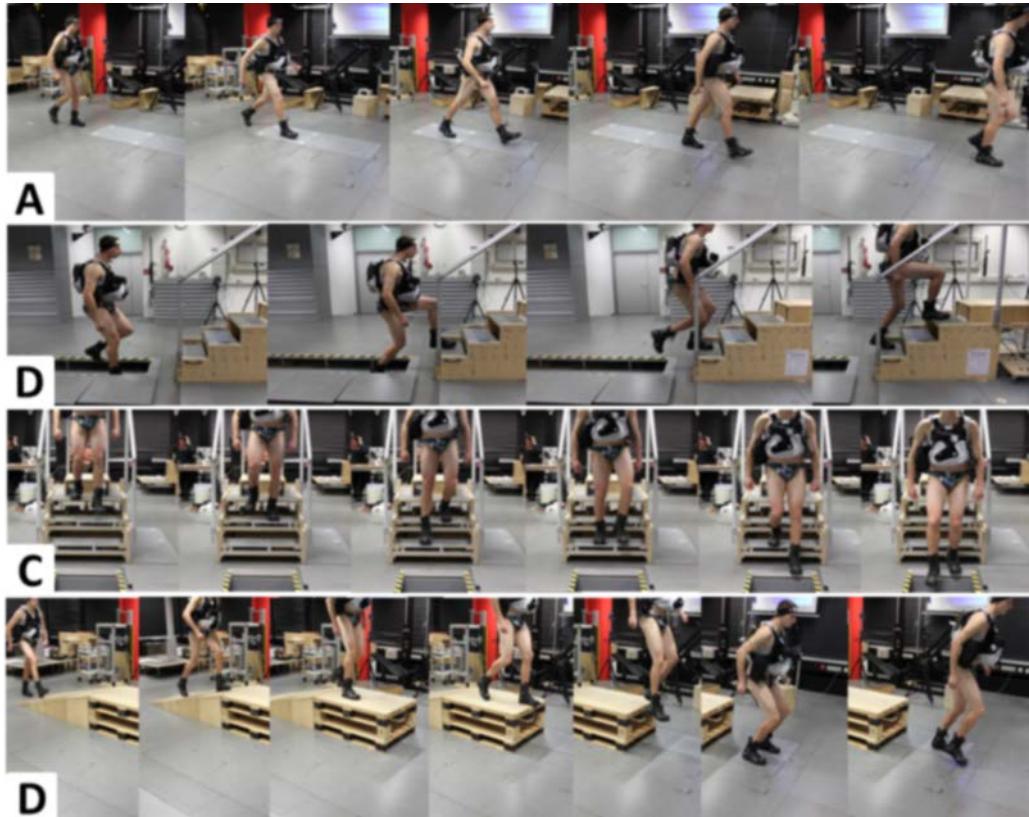


Abbildung 2.3: biomechanisch untersuchte Bewegungsmuster: hier ohne Exoskelett

Die Passform des Exoskeletts wurde anhand der Übereinstimmung der Drehachsen von physiologischer Knieachse und der des Knie-Aktuators untersucht und quantifiziert. Die Bestimmung beider Achsen wurde durch Platzierung entsprechender Marker ermöglicht.

2.2 Trageversuche

In Trageversuchen auf einem Testgelände wurde das Exoskelett von neun Personen über einen Zeitraum von je ca. 45min erprobt. Die Teilnehmer waren Mitarbeiter des Institutes, die aufgrund ihres persönlichen Werdeganges die Beurteilung der technischen Reife des getesteten Systems unter verschiedenen Kriterien erbringen konnten. Den Versuchsteilnehmern wurde Gelegenheit zum freien Testen des Systems auf unterschiedlichen Untergründen (Teer, Wiese, Schotter), Steigungen, Treppen (unterschiedliche Stufenhöhen und -tiefen), etc. gegeben. Nach der Tragephase dokumentierten die Versuchsteilnehmer ihre Eindrücke selbstständig auf einem vorbereiteten Fragebogen. Auf diesem wurde der Nutzen in verschiedenen Umgebungen sowie kritische Eigenschaften von Exoskeletten auf einer 5-stufigen Likert-Skala erfasst. Zudem wurde in offenen Fragen die Möglichkeit zur Erläuterung weiterer Auffälligkeiten gegeben. Die Auswertung und Analyse der Dokumentation erfolgte unter dem Aspekt der qualitativen Analyse der subjektiven Eindrücke der Versuchsteilnehmer.

3 Ergebnisse

3.1 Biomechanische Messreihe

Eine stabile Position sowie eine weitgehende Übereinstimmung der Gelenkkachsen von Exoskelett und Kniegelenk konnte nicht festgestellt werden. Die mittlere Verschiebung der beiden Drehachsen zueinander betrug 3,2 cm ($\pm 0,9$ cm SD) bei 30° Knieflexion und 4,2 cm ($\pm 1,1$ cm SD) bei 90° Knieflexion. Bei Analyse des gesamten beobachteten Bewegungsausmaßes während der Versuchsreihe wurden Achsabweichungen von bis zu 7 cm festgestellt. Das relative Bewegungsausmaß des Exoskeletts gegenüber der Extremität in der Transversalebene betrug im Mittel 40°, die sich von 18° Innenrotation bis 22° Außenrotation erstreckten.

3.2 Trageversuche

In der Dokumentation der Trageversuche wurden der Sitz und die anatomische Passform des Exoskeletts umfassend kommentiert. Im Fragebogen wurden die Fragen „Das Dermoskelett sitzt stabil“ im Median mit 3 auf einer Skala von 0 (stimme nicht zu) bis 4 (stimme zu) bewertet. In Freifeldern wurde berichtet, dass das Exoskelett unbequem und unkomfortabel in der Nutzung ist. Diese Aussagen bezogen sich insbesondere auf den Tragekomfort, jedoch auch den Aufwand der Konfiguration und Anpassung des Systems auf die Anatomie des Nutzers.

4 Diskussion

Die festgestellten Inkongruenzen der Gelenkkachsen resultieren bei Einbringung von Kräften durch das Exoskelett in zusätzlichen Scherbelastungen des Kniegelenks. Diese Kräfte müssen durch den Bewegungsapparat sowie das neuromuskuläre System des Nutzers kompensiert werden. Dies ist unter mehreren Gesichtspunkten zu diskutieren. Insbesondere stellen sich Fragen, ob und wie derartige Scherbelastungen sich auf die Beanspruchung des Kniegelenks und die Gesundheit des Nutzers auswirken. Darüber hinaus lassen sich Ansätze zur Vorgehensweise bei der technischen Weiterentwicklung des getesteten Exoskeletts identifizieren, da bei großen Relativbewegungen zwischen Exoskelett und Extremität ein geringer Wirkungsgrad des Exoskeletts anzunehmen ist.

4.1 Belastung des Bewegungsapparates

Verwendungszweck des getesteten Exoskeletts war die Entlastung des Bewegungsapparates des Nutzers und dessen Befähigung zu größerer, körperlicher Leistung. Aufgrund der großen,

festgestellten Abweichungen beider Drehachsen am Kniegelenk kann keine generelle, nennenswerte Entlastung des Bewegungsapparates durch das Exoskelett angenommen werden. Dies ist insofern unerwartet, als dass die technische Leistungsfähigkeit des verwendeten Exoskeletts bei effektiver Kraftübertragung auf den Nutzer hätte ausreichen müssen, um die Kniegelenke in den getesteten Bewegungen nennenswert zu entlasten. Die kinematische Analyse der getesteten Bewegungen [5] und auch die invers-dynamische Analyse geben keinen Anlass, eine effektive Unterstützung anzunehmen. In den Trageversuchen wurde insbesondere angemerkt, dass das Exoskelett annehmbar stabil, aber nicht gut positioniert saß und auch das Verhalten des Systems für einige Nutzer nicht offensichtlich war. In der Folge wurde ein Großteil der Trageversuche mit der Gewöhnung an das System verbracht. Anzumerken ist, dass nach Stienen et al. das reine Empfinden des Nutzers über rutschende Befestigungen des Exoskeletts nicht zwingend mit fehlgerichteter Kraftübertragung einhergeht [6].

Aus der berichteten Testreihe ergeben sich zwei Kernüberlegungen. Wie wirken sich die durch unzureichende Kongruenz der Drehachsen auf die biologischen Gewebe und Strukturen des Bewegungsapparates aus sowie wie stark und wie schnell kann der Nutzer das Verhalten eines Exoskeletts in seine Bewegungsplanung und deren situative Anpassung an externe Gegebenheiten übernehmen?

4.2 Weiterentwicklung und technische Limitationen

Die anatomische Passform, insbesondere in Hinblick auf die Kongruenz der Gelenkdrehachsen von Exoskeletten und biologischen Systemen, stellt eine Kernanforderung an die Entwicklung exoskelettaler Systeme dar. Eine gute Passform ermöglicht hohe Wirkungsgrade bei der Übertragung externer, durch ein Exoskelett bereitgestellter, Kräfte auf den Körper. Dies ist insbesondere für die Konstruktion und Auslegung der Leistungsfähigkeit exoskelettaler Systeme von Bedeutung. Kann bei der Konzeption eines Exoskeletts von geringen Blindleistungen in Folge hoher anatomischer Passform ausgegangen werden, können kompaktere Bauformen mit leichteren Antrieben und kleineren Energiespeichern realisiert werden. In der Folge ergeben sich weitere Einsatzbereiche exoskelettaler Systeme, da der Nutzer z.B. in Folge größerer Betriebsdauer auch in mobilen Nutzungskontexten sinnvoll unterstützt werden kann.

4.3 Effektive Unterstützung trotz instabilem Sitz des Exoskeletts

In der kinematischen Analyse [5] wurden Auswirkungen des Exoskeletts auf die Gangbewegung und Belastung beim ebenen Gehen sowie beim Aufsteigen der Treppe festgestellt. Die Effekte beim Treppensteigen deuten auf eine Unterstützung der Bewegung durch das Exoskelett hin. Dies ist mit Blick auf die festgestellten Abweichungen der Drehachsen von Kniegelenk und Exoskelett nicht offensichtlich nachvollziehbar. Ein plausibler Erklärungsansatz kann im relativ großen Bewegungsausmaß beim Treppensteigen bei zugleich geringeren Winkelgeschwindigkeiten als bei den anderen Versuchsbedingungen bestehen. Großes Bewegungsausmaß und geringe Bewegungsgeschwindigkeit resultieren in einem relativ großen Zeitfenster, das sich für eine effektive Unterstützung durch das Exoskelett eignet. Innerhalb dieses Zeitfensters kann auch bei ggf. unzureichender Passform und Steuerung das Exoskelett in einer Form Kräfte auf den Körper ausüben, die ausreichen um die Gangkinematik nennenswert zu beeinflussen. Bei dem beobachteten, eher mäßig stabilen Sitz des Exoskeletts steht vermutlich ausreichend Zeit zur Verfügung um dennoch einen Kraftschluss zwischen Extremität und Exos-

kelett nach erfolgter Weichteilkompression zu erreichen. Hieraus lässt sich die These formulieren, dass langsame Bewegungsformen auch bei mangelhafter anatomischer Passform durch ein Exoskelett unterstützt werden können und das Timing der mechanischen Unterstützung sowie des Kraftschlusses zwischen Assistenzsystem und Extremität geringere Bedeutung hat als bei schnellen Bewegungen.

4.4 Unterstützungspotential aktiver Exoskelette

Gängige aktive Exoskelette erzeugen in den aktuierten Gelenken Drehmomente von bis zu 50-120Nm. Unter der Annahme, dass das Kniegelenk durch ein Exoskelett mit einem Drehmoment von 60 Nm unterstützt wird, dieses zum günstigsten Zeitpunkt einer Bewegung aufgebracht wird und zudem die aktuierte Drehachse des Exoskeletts kongruent zur Drehachse des biologischen Kniegelenks liegt, könnte das Exoskelett - basierend auf den vorliegenden Ergebnissen – die Kniestreckmuskulatur mit bis zu 0,7 Nm/kg Körpergewicht entlasten. Bei den getesteten Bewegungsmustern würde dies je nach Versuchsbedingung einer Entlastung der Kniestreckmuskulatur von ca. 10% beim Niedersprung von der Rampe bis hin zu ca. 50% Entlastung beim Gang in der Ebene entsprechen. Es kann folglich davon ausgegangen werden, dass Exoskelette das Potential aufweisen, den Bewegungsapparat nennenswert zu unterstützen. Unabdingbare Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die Drehachsen von Exoskelett und Bewegungsapparat hohe Kongruenz aufweisen. Dies betrifft sowohl die translatorische Komponente, d.h. die unmittelbare Entfernung der Drehachsen voneinander, als auch die Verschränkung der Achsen zueinander. Bei zu großer translatorischer Verschiebung der Antriebsachse in Relation zur anatomischen Achse würde das Moment des Exoskeletts nicht vollständig um die anatomische Achse generiert. Bei starken relativen Rotationen der Drehachsen zueinander würde das gewünschte Moment des Exoskeletts möglicherweise zu Frontal- oder Transversalmomenten führen. Diese wären nicht nur hinsichtlich des Vortriebs ineffektiv, sondern stellten je nach Art des unterstützten Gelenks ggf. sogar ein Gesundheitsrisiko dar.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die effektive Unterstützung des Nutzers durch exoskelettale Systeme erfordert insbesondere im mobilen Nutzungskontext einen hohen Wirkungsgrad um ausreichende Einsatzzeiten zu erreichen. Zur Vermeidung von Blindleistungen ist die Steuerung des Exoskeletts harmonisch an die Bewegungsmuster des Nutzers anzupassen und eine möglichst effektive Kraftübertragung vom Exoskelett auf den Nutzer zu erzielen. Für beide Kriterien stellt der stabile anatomische Sitz des Exoskeletts einen Erfolgsfaktor dar. Für die Entwicklung hoch mobiler Exoskelette wird die Verfolgung des Ansatzes, kompakte und leichte Systeme mit hohem Wirkungsgrad zu entwickeln als zielführend angesehen.

6 Literatur

- [1] B. S. Gurvinder, A. Singla, G. S. Virk: Lower Limb Exoskeletons: A Brief Review, 2016.
- [2] M. P. de Looze, T. Bosch, F. Krause, K. S. Stadler, L. W. O’Sullivan: Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. Ergonomics 59(5):671-81, 2016.
- [3] D. Zanotto, Y. Akiyama, P. Stegall, S. K. Agrawal: Knee Joint Misalignment in Exoskeletons for the Lower Extremities: Effects on User’s Gait. IEEE Trans. Robot, 31(4):978-87, 2015.

- [4] J. Hoffmann, B. Brüggemann, B. Krüger: Automatic Calibration of a Motion Capture System based on Inertial Sensors for Tele-Manipulation. In: 7th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 2010.
- [5] C. Plegge, T. Alexander: Effects of an active lower limb exoskeleton on kinematics in loaded gait. In: European College of Sport Science, editor. Book of Abstracts, 21st Annual Congress of the European College of Sport Science, ECSS, 6-9 July 2016, Vienna, Austria; 2016 .
- [6] A. Stienen, E. Hekman, F. van der Helm, H. van der Kooij: Self-Aligning Exoskeleton Axes Through Decoupling of Joint Rotations and Translations. IEEE Trans. Robot, 25(3):628-33, 2009.

Quantifizierung und Bewertung von Belastungen bei der Kabelbaummontage und Simulation einer Entlastung durch ein Unterstützungssystem

R. Benker, K. Heinrich, G.-P. Brüggemann

Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule Köln
Am Sportpark Müngersdorf 6, 50933 Köln
r.benker@dshs-koeln.de

Kurzzusammenfassung

Ziel der Laborstudie war die Analyse der Kräfte und Drehmomente an der oberen Extremität und am Rücken bei der Kabelbaummontage und in montagespezifischen Körperhaltungen. Das Ausmaß der Gelenkmomente diente als quantitative Belastungsgröße. Zusätzlich wurde das subjektive Belastungsempfinden abgefragt. Eine Kontrollgruppe bildeten Montagearbeiter der Volkswagen AG.

Die Kabelbaummontage belastet den Schulter-Nackenkomplex objektiv und subjektiv stark. Hohe Belastungen begünstigen das Auftreten von Überlastungsscheinungen. Auf Basis der Laborstudie wurde das von der Otto Bock HealthCare GmbH entwickelte Unterstützungs-system zur Entlastung des Schulter-Nackenkomplexes simuliert und dessen Wirkungsweise analysiert. Es zeigte sich eine Abhängigkeit des Entlastungsgrades des Schulter-Nacken-komplexes von dem eingestellten Rückstelldrehmoment und der Schulterflexion.

Abstract

“Quantification and evaluation of the loads during the assembly of wiring harness and simulation of a discharging by a support system“

The aim of the laboratory study was the analysis of forces and torques of the upper extremity and back during the assembly of wiring harness and assembly-specific postures. The magnitude of the joint torques served as quantitative intensity of loads. In addition the perceived exertion was asked. Assembly workers of Volkswagen AG formed a control group.

The shoulder/neck-area was heavily loaded objectively and subjectively during the assembly of wiring harness. High loads favor the appearance of overload symptoms. Based on the laboratory study the support system developed by the Otto Bock HealthCare GmbH to discharge the shoulder/neck-area was simulated and its effectiveness analyzed. There was a dependence of the degree of discharge of the shoulder/neck-area on the adjusted restoring torque and shoulder flexion.

Keywords: Montagearbeit, Belastungsanalyse, Subjektive Belastungsbewertung, Modellierung, 3D-Simulation

1 Einleitung

33 % aller Arbeitsausfälle in der Europäischen Union sind auf Muskel-Skelett-Erkrankungen zurückzuführen. Besonders betroffen davon sind Berufstätige in der Montage. Studien zeigen, dass bestimmte Berufsgruppen einem erhöhten Risiko von Muskel-Skelett-Erkrankungen

ausgesetzt sind [1, 2]. Bei Montagearbeitern kommt es verstärkt zu Überlastungsercheinungen im Schulter- [3], Ellenbogen- [4] oder Handgelenk [5]. Hauptrisikofaktoren sind unter anderem hohe Aktionskräfte und ungünstige Körperhaltungen. Ferner sind die Handhabung hoher Lasten und hoch repetitive Bewegungen als risikobehaftet zu werten [6, 7, 8]. Gleichzeitig erhöht sich aufgrund des demografischen Wandels zunehmend der Altersdurchschnitt der Arbeiter. Trotz Produkt- und Prozessoptimierungen können ergonomisch bedenkliche und belastende Tätigkeiten, besonders für die ältere Belegschaft, nicht komplett vermieden werden.

Bisher werden Montagetätigkeiten mittels Bewertungsbögen beurteilt [9, 10]. Ziel dieser Analysen ist es, belastende Arbeitssituationen zu untersuchen und zu bewerten. Dies erfolgt, indem Punkte für Körperhaltungen, Kräfte, Zusatzbelastungen und Lastenhandhabungen vergeben und addiert werden. Der Vergleich des Gesamtwerts mit einem Ampelschema ergibt das Ausmaß des Gesundheitsrisikos (grün: 0-25 Punkte = geringes Risiko, gelb: 26-50 Punkte = mögliches Risiko, rot: > 50 Punkte = hohes Risiko). Nachteile dieser arbeitswissenschaftlichen Bewertungsverfahren sind die zum Teil unterschiedlichen Ergebnisse je nach Bewerter, insbesondere bei komplexen Arbeitsabläufen. Zudem werden bei der Abschätzung des Auftretens von Überlastungsercheinungen nur äußere Kräfte betrachtet. Es wäre jedoch von Interesse die Belastungen an den Gelenken mittels direkter Messverfahren zu untersuchen. Viele Studien analysieren zwar die Epidemiologie von arbeitsbedingten Erkrankungen des Bewegungsapparates, jedoch ziehen nur wenige Studien [11, 12] die tatsächlich auftretenden Kräfte und Drehmomente an den Gelenken als Bewertung heran.

Ziel der Laborstudie war die Bestimmung der maximalen Kräfte und der daraus resultierenden Drehmomente an der oberen Extremität am konkreten Beispiel der Montage eines Kabelbaums an einer Automobilheckklappe und in montagespezifischen Körperhaltungen. Zusätzlich wurde das subjektive Belastungsempfinden der Probanden abgefragt. Eine Kontrollgruppe bildeten Montagearbeiter der Volkswagen AG.

Die Laborstudie ist eine Teilstudie im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes ORTAS (Orthetisch-bionisches Assistenzsystem). Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Assistenzsystems in Form einer Rumpforthese, das (ältere) Montagearbeiter unterstützt. Dabei soll das Unterstützungssystem stark belastete Gelenke der oberen Extremität durch Umleitung von Kräften auf weniger bedenkliche Körperbereiche entlasten. Die Erkenntnisse aus der Laborstudie sollen zunächst dazu dienen, ergonomisch ungünstige Körperhaltungen und Belastungen bei einer ausgewählten belastenden Überkopfarbeit in der Montage aufzudecken und längerfristig – durch Einsatz eines Unterstützungssystems – das Risiko von Überlastungsercheinungen des Bewegungs-apparates im Alter zu minimieren.

2 Methodik

Zur Beantwortung der Fragestellung wurde eine Querschnittsstudie durchgeführt, in der 37 Probanden analysiert wurden (Tabelle 2.1).

Hierfür dienten ein 3D-Bewegungsanalysesystem mit 14 Infrarotkameras (Vicon Nexus, Vicon Motion Systems, Oxford, Großbritannien) und eine auf einer Kraftmessplatte (Kistler Instrumente AG, Winterthur, Schweiz) verschraubte Apparatur (Abbildung 2.1). Die Aufnahmefrequenz der Vicon-Kameras betrug 100 Hz, die der Kraftmessplatte 1000 Hz. Durch die Lagerung der Apparatur auf der Kraftmessplatte waren alle von außen wirkenden Kräfte messbar. Aus den gemessenen Aktionskräften konnten die aufgebrachten Reaktionskräfte errechnet werden.

Tabelle 2.1: Beschreibung des Probandenkollektivs

	Frauen	Männer
Anzahl	16	21
Alter [Jahre]	$44,3 \pm 14,9$	$40,4 \pm 14,5$
Körperhöhe [m]	$160,1 \pm 4,2$	$180,9 \pm 5,4$
Masse [kg]	$59,1 \pm 7,3$	$79,5 \pm 8,7$

Eine Verschiebung der am Boden von der Kraftmessplatte angreifenden Kraft diente der Einleitung der Kraft in die Hand.



Abbildung 2.1: Messaufbau einer Heckklappe mit Kraftmessplatte und Kameras (rote Bereiche)

Die Probanden wurden zunächst anthropometrisch vermessen und mit reflektierenden Markern an anatomischen Punkten ausgestattet. Für die Kabelbaummontage montierten die Probanden in drei Versuchen zwei verschiedene Kabelbäume an einer Heckklappe. Zur Definition von Belastungsgrenzen bei Montagetätigkeiten wurde eine Maximalkraftanalyse durchgeführt. Hierfür wurden maximale isometrische Druckkräfte in praxisnahen und ergonomisch ungünstigen Körperpositionen untersucht. Im Rahmen der Maximalkraftanalyse hatte jeder Proband drei Durchgänge pro Körperposition. Als Körperpositionen wurden Überkopf, Überkopf mit rotiertem Oberkörper, Rumpfvorneigung, Rumpfvorneigung mit rotiertem Oberkörper und eine Referenz im Sitzen gewählt (Abbildung 2.2).

Aus den Markerkoordinaten, gefilterten analogen Kraftdaten und anthropometrischen Abmaßen des Probanden wurden mithilfe eines invers-dynamischen digitalen Menschmodells (Alaska dynamicus 8.2, Institut für Mechatronik, TU Chemnitz, 2013) und der Software Matlab (MathWorks R2013b) die Drehmomente und Gelenkwinkel der oberen Extremität und im Rücken zum Zeitpunkt des Kraftmaximums berechnet. Jeder Arm bestand aus drei Segmenten

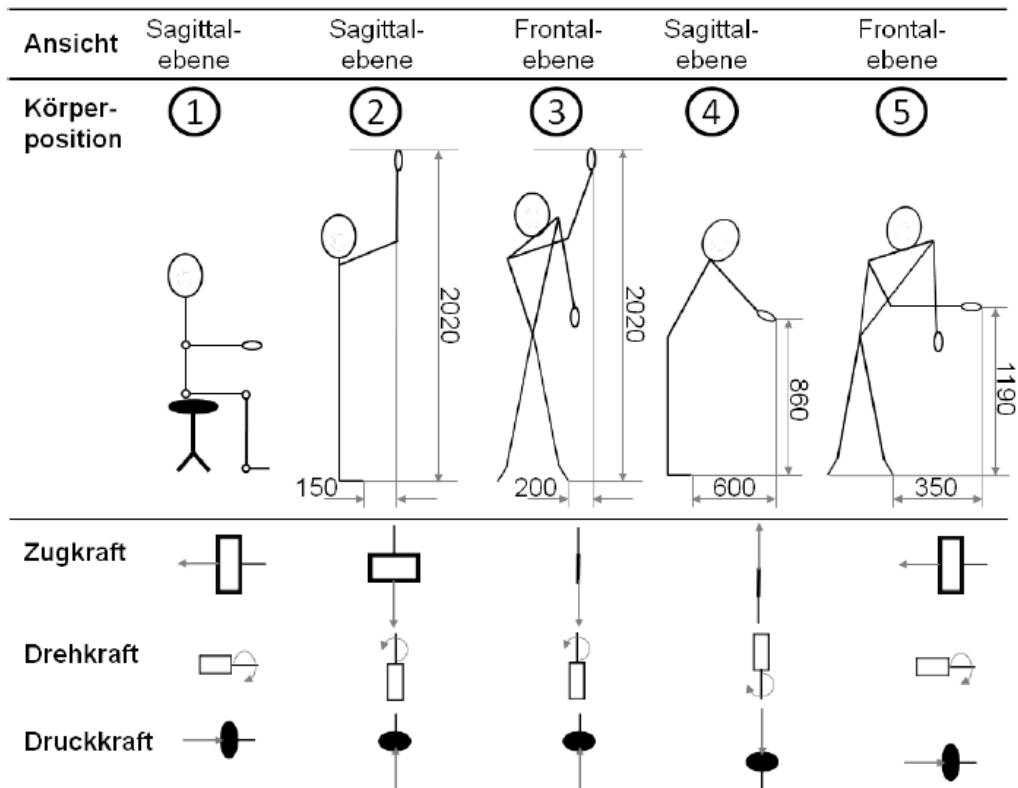


Abbildung 2.2: (1) Referenz, (2) Überkopf, (3) Überkopf mit Rotation, (4) Inklination, (5) Inklination mit Rotation

(Oberarm, Unterarm, Hand), der Rumpf bestand aus vier Segmenten (linke und rechte Schulter, Wirbelsäule, Becken) und der Kopf aus zwei Segmenten (Schädel und Halswirbelsäule). Die Wirbelsäule enthielt für jeden Wirbelkörper ein Teilsegment. Alle Segmente waren mit Kugelgelenken (je drei rotatorische Freiheitsgrade) verbunden. Individuelle Dimensionen und Trägheitseigenschaften wurden unter Verwendung von anthropometrischen Leitmaßen bestimmt (Körpermasse, Körperhöhe, Segmentlängen der Arme, maximale und minimale Segmentumfänge). Als Kraftmaximum wurde die Gesamtkraft betrachtet, die aus der vektoriellen Addition aus den drei Richtungskomponenten bestimmt wurde. Aus den Drehmomenten wurden Rückschlüsse auf die Höhe der Gelenkbelastungen gezogen. Anschließend wurden die absoluten Drehmomente der Laborstudie mit denen der Maximalkraftanalyse verglichen, um die relative Höhe der auftretenden Gelenkbelastungen einzurichten. Die absoluten Werte berechneten sich aus der Quadratwurzel der aufsummierten Drehmomente um die drei Hauptachsen eines Gelenks (Hand-, Ellenbogen-, Schultergelenk) und entsprechen der Länge des Drehmomentvektors. Zusätzlich wurde das subjektive Belastungsempfinden der Probanden pro Tätigkeit abgefragt, um die individuelle Belastbarkeit einzurichten und mögliche Zusammenhänge zwischen Belastung und Beanspruchung (Belastungsempfinden) ausfindig zu machen. Der Fragebogen wurde in Anlehnung an den Bewertungsbogen „Category Partitioning Scale“ CP50 [13] entwickelt und besteht aus fünf Kategorien à 10 Schritten (keine: 1-10, leicht: 11-20, mittel: 21-30, stark: 31-40, sehr stark: 41-50). Zum Vergleich der Belastungsbewertungen zwischen den gemessenen Probanden und Montagearbeitern wurden Mitarbeiter an der Montagelinie der Volkswagen AG mittels eines Fragebogens zum subjektiven Belastungs- und Schmerzempfinden am Arbeitsplatz befragt. Der Mitarbeiterfragebogen beinhaltete eine dreistufige Skala zur Beurteilung der Belastungsstärke

(hoch: 1, sehr hoch: 2, extrem: 3) und Schmerzstärke (leicht: 1, mittel: 2, stark: 3). Die Gegenüberstellung mit dem Probandenfragebogen erfolgte durch Standardisierung auf den Maximalwert 1.

Anschließend wurde eine Simulation durchgeführt, um die biomechanische Wirksamkeit des physisch unterstützenden Systems und der dadurch auftretenden Entlastung der oberen Extremität während der Kabelbaummontage zu analysieren. Unter Verwendung des digitalen Menschmodells Alaska dynamicus wurde das von der Otto Bock HealthCare GmbH entwickelte Unterstützungssystem virtuell nachgebaut und eingefügt. Die 3D-Simulation erfolgte auf Basis der aufgezeichneten Kräfte und Körperbewegungen bei der Kabelbaummontage eines Probanden (männlich; 1,75 m; 70 kg) der vorangegangenen Studie. Am Beispiel einer ausgewählten Clipsposition wurden an den Gelenken des virtuellen Unterstützungssystems (Abbildung 2.3, rote Pfeile) verschiedene Rückstelldrehmomente zwischen 1 und 40 Nm modelliert. Das Unterstützungssystem soll die an den Schultergelenken auftretenden externen Gelenkmomente mithilfe der verschiedenen Rückstelldrehmomente in den Rumpf umleiten und damit den Schulterkomplex entlasten.



Abbildung 2.3: Digitaler Nachbau des Unterstützungssystems von der Otto Bock HealthCare GmbH (rechts). Die Gelenke oberhalb der Schultergelenke wurden zur Unterstützung des Armes mit verschiedenen Rückstelldrehmomenten (1-40 Nm) versehen (roter Pfeil).

3 Ergebnisse

3.1 Laborstudie

Während der Kabelbaummontage wurde zum Befestigen der Clipse eine Druckkraft von 90 bis 100 % der maximalen willkürlichen isometrischen Druckkraft der Probanden benötigt.

Die höchsten absoluten Belastungen traten in der Lenden- (37,4 Nm) und Halswirbelsäule (27,2 Nm), sowie im Schultergelenk (25,0 Nm) auf. In Relation zur Belastung bei der Maximalkraftanalyse betrugen die Belastungen im Schultergelenk 63% und in der Halswirbelsäule 64%. Die höchsten relativen Belastungen wurden im Ellenbogen- (71%) und Handgelenk (93%) detektiert (Abbildung 3.1).

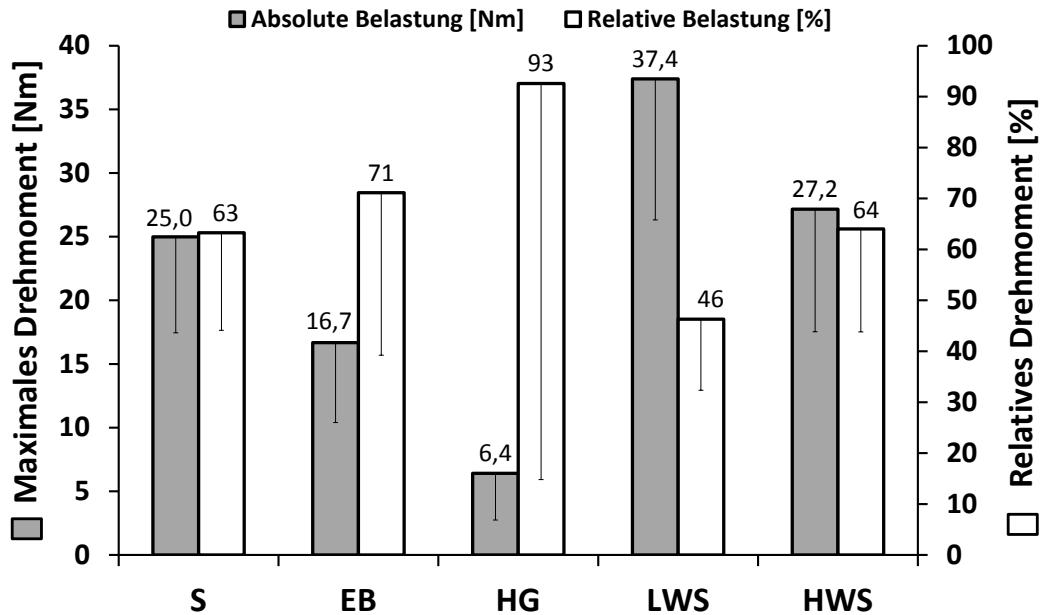


Abbildung 3.1: Maximales absolutes Drehmoment für Schultergelenk (S), Ellenbogengelenk (EB), Handgelenk (HG), Hals- (HWS) und Lendenwirbelsäule (LWS) bei der Kabelbaummontage (grau) und in Relation zur Belastung bei der Maximalkraftanalyse (weiß)

Das höchste subjektive Belastungsempfinden konnte für Männer und Frauen im Schultergelenk (0,53 bzw. 0,59) und an der Halswirbelsäule (0,49 bzw. 0,74) ermittelt werden. Die Probanden empfanden die Belastung im Handgelenk (0,52 bzw. 0,5) und in der Lendenwirbelsäule (0,43 bzw. 0,49) als mittel (Abbildung 3.2). Das geringste Belastungsempfinden wurde im Ellenbogengelenk (0,35 bzw. 0,38) detektiert. Das Belastungsempfinden wurde höher bewertet, je kleiner die Körperhöhe war ($R^2 = 0,16$) und je länger die Kabelbaummontage dauerte ($R^2 = 0,20$).

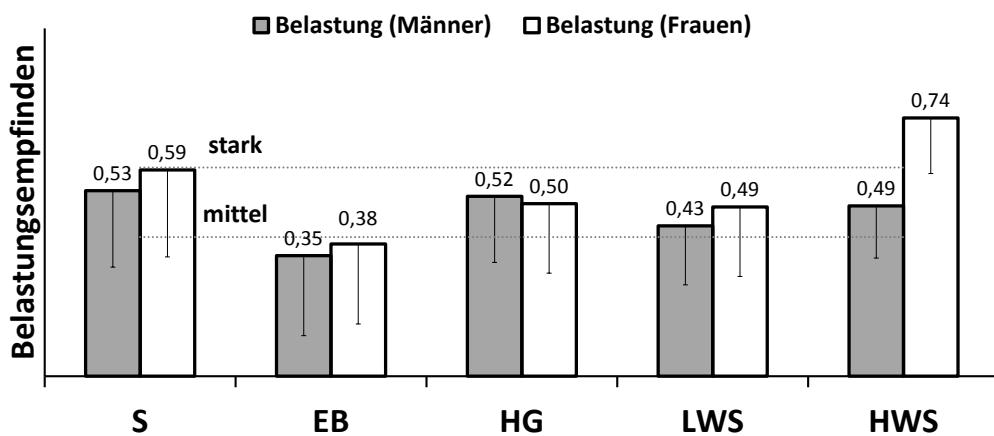


Abbildung 3.2: Belastungsempfinden von Frauen und Männern in der Laborstudie für Schultergelenk (S), Ellenbogengelenk (EB), Handgelenk (HG), Hals- (HWS) und Lendenwirbelsäule (LWS) bei der Kabelbaummontage

Der Mitarbeiterfragebogen ergab ein sehr hohes Belastungsempfinden an der Halswirbelsäule (0,58), im Schulter- (0,56), Handgelenk (0,51), sowie in der Lendenwirbelsäule (0,41). Zudem hatten die Montagemitarbeiter mittelstarke Schmerzen an Schulter- (0,54), Handgelenk (0,51)

und beiden Wirbelsäulenabschnitten (Halswirbelsäule: 0,46; Lendenwirbelsäule: 0,43) (Abbildung 3.3). Die Ausprägung von Schmerz- und Belastungsempfinden unterschied sich pro Gelenk kaum ($R^2 = 0,82$).

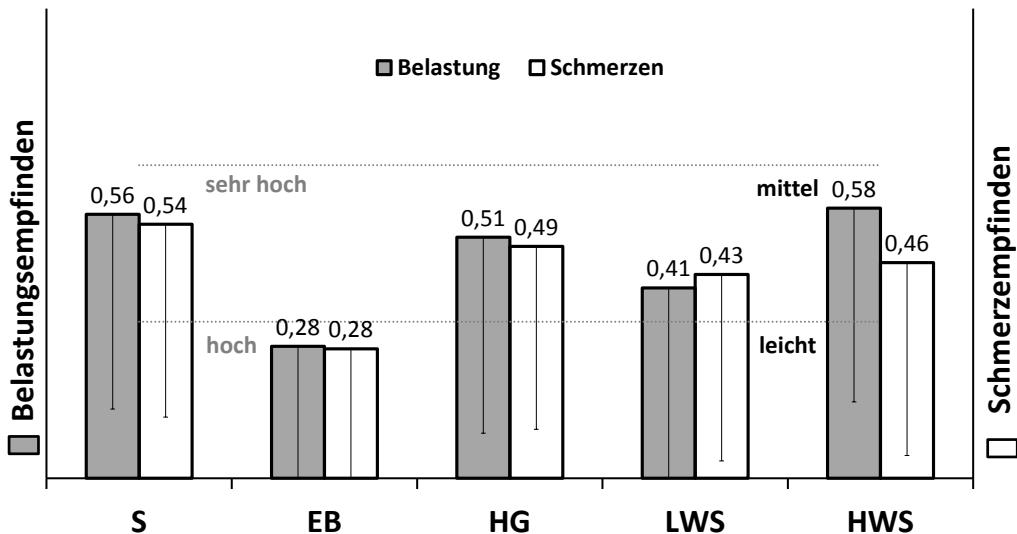


Abbildung 3.3: Belastungs- (grau) und Schmerzempfinden (weiß) von Montagearbeitern in der Feldstudie für Schultergelenk (S), Ellenbogengelenk (EB), Handgelenk (HG), Halswirbelsäule (HWS) und Lendenwirbelsäule (LWS)

3.2 Simulation

Wie in Abbildung 3.4 (links) ersichtlich ist, entlastete das in Alaska dynamicus implementierte virtuelle Unterstützungssystem das Schultergelenk bei Überkopfarbeit deutlich. Die geringste Belastung des Schultergelenks fand sich bei einem Rückstelldrehmoment von 12 Nm (rechts) und 18 Nm (links) am Beispiel der Kabelbaummontage für Clips 6. Die Belastungsreduktion im Schultergelenk belief sich rechts auf 6,7 Nm und links auf 7,8 Nm. Bei einem größeren Rückstelldrehmoment erhöht sich die Belastung wieder zunehmend (Abbildung 3.4, links). Ein Anheben des rechten Armes von 70° auf 90° diente der Befestigung von höher gelegenen Clips und führte zu einer Reduktion des optimalen Rückstelldrehmoments von 18 auf 9 Nm (Abbildung 3.4, rechts). Demnach gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Schulterwinkel und der Höhe des optimal eingestellten Rückstelldrehmoments ($R^2 = 0,76$).

4 Diskussion

4.1 Laborstudie

Hohe Belastungen des Schultergelenks lassen sich durch die Überkopfhaltung der Arme (über 90° Schulterflexion) erklären. Laut des montagespezifischen Kraftatlas ist die Belastung des Schultergelenks mit 25,0 Nm als mittelschwer (20 – 40 Nm für einarmige Belastungen), der Lendenwirbelsäule mit 37,4 Nm als leicht (< 40 Nm) einzustufen [13]. In Anlehnung an den montagespezifischen Kraftatlas kann die Belastung der Halswirbelsäule als mittelschwer und des Ellenbogengelenks als leicht eingestuft werden [13]. Die geringste absolute Belastung wurde mit 6,4 Nm im Handgelenk detektiert (Abbildung 3.1). Relativ betrachtet war das Handgelenk jedoch stark belastet, was sich durch die Befragung der Probanden nach dem subjektiven Belastungsempfinden während der Kabelbaummontage bestätigen ließ.

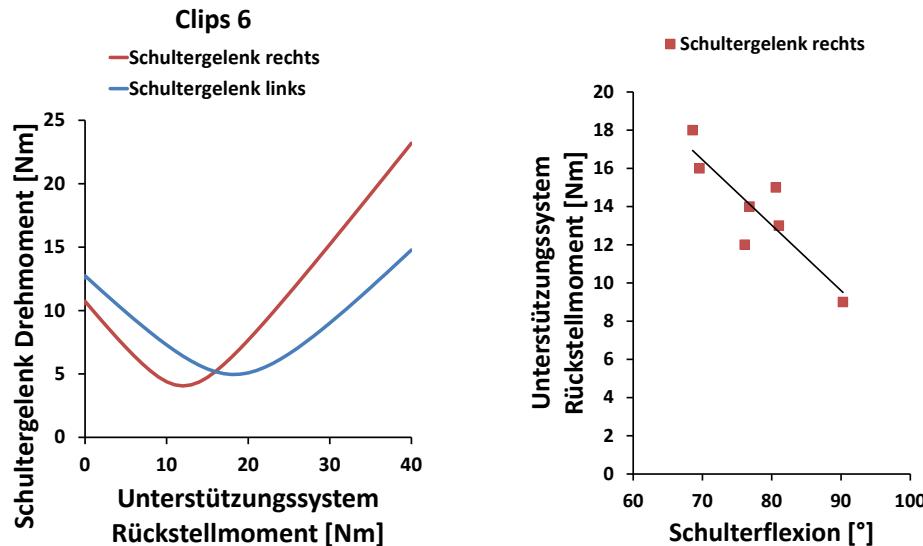


Abbildung 3.4: Belastung der rechten und linken Schulter am Beispiel von Clips 6 (links). Abhängigkeit der optimalen Entlastung von Rückstelldrehmoment und Schulterflexion (rechts)

Das höchste Belastungsempfinden konnte für Männer und Frauen im Schultergelenk und in der Halswirbelsäule gefunden werden. Aufgrund der geringeren Körperhöhe der Frauen und der einheitlichen Arbeitshöhe empfanden die Frauen die Belastung in der Halswirbelsäule höher als die Männer (Abbildung 3.2). Bedingt durch die anhaltende Überkopfposition während der Montage des Kabelbaums wurde das Schultergelenk für beide Geschlechter als sehr belastend eingestuft. Die Frauen benötigten im Mittel mehr Zeit für die Kabelbaummontage (131 sec. vs. 111 sec.) und waren dadurch länger einer größeren Belastung ausgesetzt, so dass sie vermutlich die Belastung in nahezu allen Gelenken der oberen Extremität höher einstuften. Die erhöhten Belastungen im Schulter- und Halswirbelsäulenbereich während der Kabelbaummontage bestätigten Mitarbeiter der Montagelinie der Volkswagen AG (Abbildung 3.3).

Die Laborstudie und Probandenbefragung haben gezeigt, dass die Kabelbaummontage den Schulter-Nackenkomplex sowohl objektiv als auch subjektiv stark belastete. Hohe Belastungen begünstigen das Auftreten von Überlastungerscheinungen.

4.2 Simulation

Auf dieser Grundlage wurde das Unterstützungssystem von der Otto Bock HealthCare GmbH entwickelt, das den Schulter-Nackenkomplex bei der Kabelbaummontage durch Umleitung externer Kräfte entlastet. Die 3D-Simulation der Wirkung des physisch unterstützenden Systems erfolgte in Alaska dynamicus. Mit zunehmendem Rückstelldrehmoment reduzierte sich durch eine Unterstützung der Arme die Belastung im Schultergelenk bis zu jener Einstellung, in der die Arme derart durch das Unterstützungssystem angehoben wurden, so dass das Schultergelenk dagegen steuern musste (Abbildung 3.4, links). Es existierte ein optimales Rückstelldrehmoment für jede Schulterposition, die wiederum von der Höhe und des Abstandes zum Clips abhängt (Abbildung 3.4, rechts). Zur Entlastung der Schultergelenke ist die Einstellung eines Rückstelldrehmoments ausreichend. Aufgrund der Blockierung des Rückstellgelenks ist es nicht notwendig, dass Schultergelenk 100 % zu entlasten. Gleichzeitig bleibt dadurch die Bewegungsfreiheit der Schulter erhalten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Laborstudie war die Untersuchung der Belastungen, Körperhaltungen und des subjektiven Belastungsempfindens an den Gelenken der oberen Extremität bei Überkopfarbeiten in der Montage. Als Montagetätigkeit wurde die Verlegung eines Kabelbaums an einer Heckklappe durch das Konsortium des im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes ORTAS (Orthetisch-bionisches Assistenzsystem) ausgewählt. Eine Maximalkraftanalyse diente der Messung der maximalen Kräfte und Gelenkbelastungen in montagespezifischen Körperpositionen. Zur Einordnung der relativen Höhe der Maximalkraft und Gelenkbelastungen wurden die Ergebnisse der Kabelbaummontage und Maximalkraftanalyse verglichen. Die Erkenntnisse sollen dazu beitragen, ergonomisch ungünstige Haltungen und Belastungen aufzudecken, um dadurch das Risiko von Überlastungsercheinungen des Bewegungsapparates im Alter zu minimieren. Zur Realisierung der Laborstudie wurden Methoden der markerbasierten dreidimensionalen Bewegungsanalyse und statistische Verfahren herangezogen.

Zusätzlich soll mittels einer Evaluationsanalyse die Wirksamkeit des von der Otto Bock HealthCare GmbH entwickelten Unterstützungssystems, das (ältere) Montagearbeiter entlasten soll, auf die Gelenkbelastungen, Funktion und Ermüdung der Muskulatur untersucht werden. Weitere Simulationen von Montagearbeiten nach Überarbeitung des Unterstützungs-systems, sowie am Beispiel anderer digitaler Probanden ist noch vorgesehen. Abschließend wird die Evaluationsanalyse des Unterstützungssystems mit der mittels Modellierung erzeugten 3D-Simulation des Entlastungsmechanismus verglichen.

6 Literatur

- [1] P. Frost, J. H. Andersen: Shoulder impingement syndrome in relation to shoulder intensive work. *Occupational and Environmental Medicine* 56(7), S. 494-498, 1999.
- [2] L. Punnett, L. J. Fine, W. M. Keyserling, G. D. Herrin, D. B. Chaffin: Shoulder disorders and postural stress in automobile assembly work. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 26(4), S. 283-291, 2000.
- [3] A. Bjelle, M. Hagberg, G. Michaelson: Occupational and individual factors in acute shoulder-neck disorders among industrial worker. *British Journal of Industrial Medicine* 38, S. 356-363, 1981.
- [4] R. A. Werner, A. Franzblau, N. Gell, A. Hartigan, M. Ebersole, T. J. Armstrong: Predictors of persistent elbow tendonitis among auto assembly workers. *Journal of Occupational Rehabilitation* 15(3), S. 393-400, 2005.
- [5] S. Barnhart, P. A. Demers, M. Miller, W. T. J. Longstreth, L. Rosenstock: Carpal tunnel syndrome among ski manufacturing workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 17, S. 46-2, 1991.
- [6] A. Barcenilla, L. M. March, J. S. Chen, P. N. Sambrook: Carpal tunnel syndrome and its relationship to occupation: a meta-analysis. *Rheumatology* 51(2), S. 250-261, 2012.
- [7] A. E. Barr, M. F. Barbe, B. D. Clark: Work-related musculoskeletal disorders of the hand and wrist: epidemiology, pathophysiology, and sensorimotor changes. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 34(10), S. 610-627, 2004.
- [8] Y. Roquelaure, G. Raimbeau, C. Dano et al.: Occupational risk factors for radial tunnel syndrome in industrial workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 26, S. 507-13, 2000.

- [9] K. Schaub, G. Caragnano, B. Britzke, R. Bruder: The European Assembly Worksheet. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 14(6), S. 616-639, 2012.
- [10] K. Schaub: Das „Automotive Assembly Worksheet“ (AAWS). In K. Landau (Hrsg.), *Montageprozesse gestalten: Fallbeispiele aus Ergonomie und Organisation*. Stuttgart: ergonomia Verlag, S. 91-111, 2014.
- [11] S. A. Ferguson, W. S. Marras, W. Gary Allread, G. G. Knapik, K. A. Vandlen, R. E. Splittstoesser, G. Yang: Musculoskeletal disorder risk as a function of vehicle rotation angle during assembly tasks. *Applied Ergonomics* 42(5), S. 699-709, 2011.
- [12] X. Wang, N. Black, S. Duprey, C. Roybin: An experimental investigation on push force and its perception during a flexible hose insertion task encountered in a truck assembly line. *Ergonomics*, 57(9), S. 1416-1426, 2014.
- [13] J. Wakula: Der montagespezifische Kraftatlas. Berlin: DGUV, 2009.

Mobiles Augmented-Reality-System für Handwerker

Einsatzevaluation durch Genauigkeitsmessungen

K. Nuelle, J. Kotlarski, T. Ortmaier

Leibniz Universität Hannover, Institut für Mechatronische Systeme
Appelstraße 11a, 30167 Hannover
Kathrin.Nuelle@imes.uni-hannover.de

Kurzzusammenfassung

In diesem Beitrag wird ein mobiles Augmented-Reality-System zur visuellen Assistenz von Handwerkern vorgestellt. Mit einem integrierten Laserprojektor werden Zusatzinformationen, wie Bohrlochsabzüge aus einem Bauplan, lagerichtig in das Sichtfeld des Handwerkers projiziert. Die relative Lage zwischen der Umgebung und dem Projektor wird mit der integrierten Kinect sowie Kamera- und Projektorkalibriermethoden berechnet. Die Selbstlokalisierung des Systems erfolgt mithilfe des rtab-SLAMs zur Laufzeit. Durch Koordinatentransformationen lassen sich anschließend die Bauplaninformationen in Projektionsbilder umrechnen. Durch experimentelle Untersuchungen wird der Einsatz des Systems im Bauwesen evaluiert. Im Fokus des Interesses stehen hierbei insbesondere die erreichbare Lokalisations- und Projektionsgenauigkeit.

Abstract

“Mobile Augmented Reality System for Craftsmen“

In this paper, we introduce a mobile augmented reality system for visual guidance of craftsmen. The integrated pico-projector displays constructional information within the worker’s field of vision onto working surfaces, for example drill hole positions onto a wall. Relative pose information between the environment and the projector is determined by the system’s integrated Kinect as well as camera and projector calibration methods. The system uses rtab-SLAM for self-localization. Calculated projection images present constructional information in correct poses through coordinate transformation. To evaluate the usability of the introduced system for constructional tasks, the projecting and localization accuracy are examined and presented.

Keywords: projective Augmented Reality, camera-projector-system, self-localization, accuracy, construction

1 Einleitung

Bei zahlreichen industriellen und handwerklichen Berufen wird ein erhöhter Automatisierungsgrad von Aufgaben zur Effizienzsteigerung bei gleichzeitiger Arbeitsentlastung angestrebt. Im Bauwesen ist dieser Trend anhand der steigenden Ausgaben im Forschungssektor ebenfalls zu verzeichnen [1]. Die Umsetzung gestaltet sich jedoch aufgrund sich stark verändernder Umgebungssituationen und individueller Tätigkeiten auf Baustellen schwierig.

Trotz flexibler Aufgaben und Arbeitsweisen existieren allerdings auch typische Prozesse von Handwerkern, die bei ausreichendem Vorwissen unterstützt und (teil-)automatisiert werden können. Zu denen zählen z. B. das Handling und Tragen schwerer Lasten. Hierfür werden zunehmend exoskelettäre Systeme entwickelt [2, 3, 4]. Neben der Kraftassistenz ist auch eine

visuelle Unterstützung der Handwerker denkbar, beispielsweise beim Ausmessen und Anzeichnen von Arbeitsbereichen. Durch Abgleich mit einem Bauplan stellt der Handwerker hierbei sicher, dass z. B. Bohrungen an ihrer exakten Position gesetzt werden ohne Leitungen innerhalb einer Decke, einer Wand oder dem Fußboden zu beschädigen. Diese Tätigkeit bedarf üblicherweise hohe Konzentration, viel Zeit und teilweise große Anstrengung, um effizient zu arbeiten und Fehler mit meist weitreichenden Folgen zu vermeiden.

Für Aufgaben, die einen Abgleich der Umwelt mit Planungsdaten erfordern, werden in strukturierten Umgebungen häufig visuelle Augmented-Reality(AR)-Systeme verwendet. Diese überlagern die Realität mit virtuellen Informationen [5]. Hierfür benötigen sie die Lage des Nutzerblickwinkels relativ zur Umwelt, um die korrekte Darstellung von Zusatzinformationen entweder durch am Kopf getragene, in der Hand geführte oder stationäres Display sowie Projektoren zu ermöglichen [6]. Auf Baustellen stehen viele planare Projektionsflächen zur Verfügung. Mit einem Projektor lassen sich die Bauplaninformationen direkt in zwei dimensionaler Form darstellen, sodass die Korrektur der Darstellung aufgrund des Nutzerblickwinkels nicht notwendig wird. Daher eignen sich AR-Systeme mit Projektoren hier besonders gut. Sie benötigen lediglich die relative Lage zwischen Projektor und Umgebung, die meist mithilfe einer Kamera bestimmt wird.

Aufgrund der sich täglich verändernden Umgebung auf Baustellen ist jedoch die Einbringung z. B. eines festinstallierten Kamera-Projektor-Systems wie in Produktionshallen oder in Operationssälen [7, 8] nicht praktikabel. Die meisten tragbaren AR-Systeme mit Projektoren benutzen zudem ein externes Tracking-System zur Lagebestimmung [9, 10], sodass diese ebenfalls nicht für einen Einsatz auf einer Baustelle geeignet sind. Das vorgestellte System löst dieses Problem durch Selbstlokalisierung mithilfe einer integrierten 3D Kamera unter Verwendung eines Feature-basierten Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Verfahrens [11]. Im Gegensatz zu anderen Ansätzen kann das entwickelte System somit ohne Veränderungen in der Umgebung auskommen.

Zur Unterstützung der Handwerker wird ein tragbares AR-System zur automatisierten Vermessung und Projektion von Zusatzinformationen vorgestellt, welches die Arbeit von Handwerkern erleichtert und gleichzeitig ihre Effizienz steigert. Bei dem System handelt es sich um ein Zusatzmodul für ein Arm-Exoskelett zur Assistenz von Handwerkern beim Umgang mit schweren Elektrowerkzeugen [12]. Es kann aber auch unabhängig von dem Exoskelett genutzt werden. Der integrierte Laserprojektor wird zur Darstellung von Informationen und Details aus einem Bauplan verwendet. Diese werden lagerichtig und intuitiv verständlich an die Wand in das Sichtfeld eines Handwerkers projiziert. Die Kalibrierung von Projektor und Kamera und entsprechende Koordinatentransformationen ermöglichen in Kombination mit dem SLAM-Verfahren die Umrechnung von Bauplaninformationen in Projektionsbilder. Zur Evaluation des Systems wird die erreichbare Lokalisations- und Projektionsgenauigkeit in einer Testumgebung quantifiziert, um eine angemessene Genauigkeit des Systems für den Einsatz im Bauwesen nachzuweisen.

2 Methoden

2.1 Systemaufbau

Der Prototyp (siehe Abbildung 2.1) besteht im Wesentlichen aus kommerziell erhältlichen Komponenten. Die Lokalisation erfolgt mit dem Microsoft Kinect für Xbox One-Sensor mit einem Gewicht von 1,4 kg, einer 1080 p Farbkamera (30 Hz – 15 Hz bei schlechter Sicht) und

einer 512x424 IR-Tiefenkamera (30 Hz). Zur Projektion von Zusatzinformationen ist der Laserprojektor Picopro von Celluon in das System integriert. Dieser besitzt ebenfalls eine Auflösung von 1280x720 p, die auf 1920x720 p digital ausgeweitet wird. Als letzte Komponente wird die inertiale Messeinheit BNO055 von Bosch verwendet, die mithilfe eines Arduino Nano ausgelesen wird. Sie stellt neben den Beschleunigungen, Drehraten und Magnetfeldstärke auch eine fusionierte Orientierung im Raum zur Verfügung. Alle Elemente sind mit einem 3D-gedruckten Gestell rigide miteinander verbunden, wobei der Winkel zwischen der Kinect und dem Laserprojektor mithilfe von Schrauben flexibel einstellbar ist.

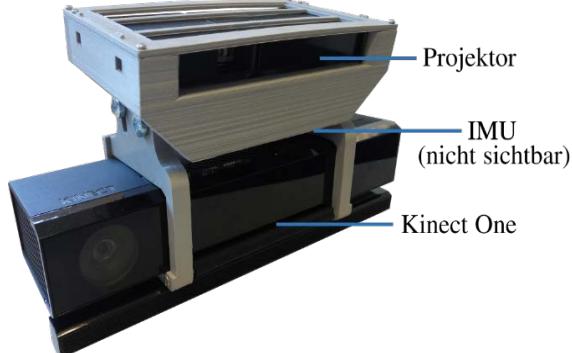


Abbildung 2.1: Aufbau des Augmented-Reality-Systems

2.2 Umwandlung von Bauplaninformationen in ein Projektorbild

Mithilfe des vorgestellten Systems sollen Bohrlochpositionen im Sichtfeld des Handwerkers eingeblendet werden. Alle Bauplaninformationen sind im Weltkoordinatensystem (KS_W) definiert, welches durch die im Bauwesen übliche Referenzmarke bestimmt ist. Die Marke legt die $(W)x$ -, $(W)y$ - sowie $(W)z$ -Achse fest. Um Positionen und Orientierungsinformationen aus dem Bauplan lagerichtig mit dem Projektor darzustellen, müssen sie aus dem Weltkoordinatensystem ins Projektorkoordinatensystem (KS_P) umgerechnet werden. Positionen werden dabei durch erweiterte Ortsvektoren $(W)\mathbf{p} = [p_x \ p_y \ p_z \ 1]^T$ und Orientierung von Körpern durch erweiterte Richtungsvektoren $(W)\mathbf{r} = [r_x \ r_y \ r_z \ 0]^T$ dargestellt. Zur Umrechnung wird die Transformationsvorschrift

$${}^{(P)}\mathbf{x} = {}^P\mathbf{T}_{W(W)}\mathbf{x}, \quad (2.1)$$

verwendet, wobei ${}_{(i)}\mathbf{x}$ sowohl eine Position als auch einen Richtungsvektor im $(KS)_i$ darstellen. Die Transformationsmatrix

$${}^P\mathbf{T}_W = \begin{bmatrix} {}^P\mathbf{R}_W & {}^P\mathbf{t} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

setzt sich dabei aus der Rotationmatrix ${}^P\mathbf{R}_W$, welche die Lage der Koordinatenachsen des (KS_W) im (KS_P) beschreibt, und dem Translationsvektor ${}^P\mathbf{t}$, der den Ursprung des (KS_W) im (KS_P) angibt, zusammen.

Bohrungen werden innerhalb des Bauplans durch eine Position und Form angegeben. Ihre Beschreibung erfolgt somit durch die Position eines Kreismittelpunkts $(W)\mathbf{p}_{K_i}$, dem Kreisdurchmesser d_{K_i} und dem Richtungsvektor der Kreisebene $(W)\mathbf{r}_{K_i}$. Alle verwendeten Koordinatensysteme des AR-Systems sind in der Abbildung 2.2 dargestellt. Das Weltkoordinatensystem ist durch die orangene Referenzmarke in der rechten unteren Ecke des Raums gekennzeichnet. Um

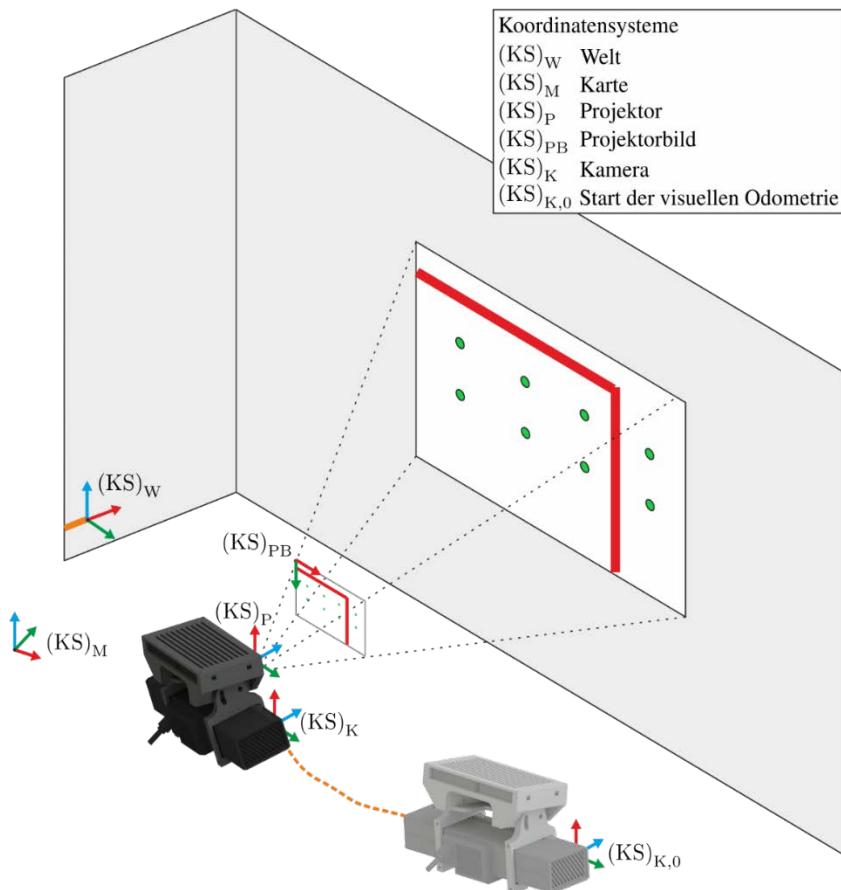


Abbildung 2.2: Koordinatensysteme des Augmented-Reality-Systems

die Beziehung zwischen der Umgebung $(KS)_W$ und dem Projektor $(KS)_P$ herzustellen, wird die Kinect $(KS)_K$ verwendet. Diese erstellt mithilfe des realtime appearancebased (rtab)-SLAM von Labbe [13] aus den rgb- und IR- bzw. Tiefenkamerabildern der Kinect eine Punktwolke im Punktwolkekoordinatensystem $(KS)_M$ und bestimmt gleichzeitig die Kinectlage ${}_{(M)}\boldsymbol{p}_K$ und ${}_{(M)}\boldsymbol{r}_K$ innerhalb dieser Punktwolke. Die Registrierung zwischen dem Bauplan und der Punktwolke wird aktuell manuell durchgeführt. Die verbleibenden Transformationen zwischen dem Projektorbild $(KS)_{PB}$ und der Kinect wird in der zweiteiligen Systemkalibrierung bestimmt, welche einmalig für das System durchgeführt werden muss.

2.3 Kalibrierung des Systems (Projektor und Kamera)

Die Kalibrierung unterteilt sich in die Kinectkalibrierung, die zuerst durchgeführt wird, und die Projektor-Kamera-Kalibrierung. Zur Verwendung der Kinect One im ROS-Framework, siehe Unterkapitel 2.5, wird das iai_kinect2-package von Wiedemeyer [14] verwendet, welches ein spezielles Programm zur Kalibrierung aller internen Kameras der Kinect beinhaltet. Die Kalibrierung erfolgt durch die Aufnahmen eines planaren Schachbrettmusters aus unterschiedlichen Lagen der Kinect. Durch die Detektion der Schachbrettecken werden die Transformationen zwischen den rgb- und den Tiefen- bzw. IR-Bild berechnet sowie die intrinsischen Kameraparameter des Lochkameramodells nach [15] bestimmt. Die Kameraparameter werden in der intrinsischen Transformationsmatrix ${}^{KB}\tilde{\boldsymbol{T}}_K \in \mathbb{R}^{3x4}$ von Kinect zu Kinectbild (für jede Kamera jeweils eine Matrix) abgespeichert.

Daraufhin kann die Kamera-Projektor-Kalibrierung nach [16] durchgeführt werden. Hierfür wird ebenfalls ein bekanntes Schachbrettmuster auf einer planaren Fläche angebracht. Auf der

selben Fläche wird mit dem Projektor ein weiteres Schachbrettmuster angezeigt. Beide Muster werden aus unterschiedlichen Blickwinkeln mit der zuvor kalibrierten rgb-Kamera aufgenommen, wobei die Kinect fest mit dem Projektor verbunden ist. Durch die Detektion der Eckpunkte beider Schachbretter in allen Bildern lassen sich mithilfe einer schrittweisen Optimierung die Transformation ${}^{KB}T_P$ zwischen dem Kinect-Kamerabild (KS_{KB}) und dem Projektor (KS_P) sowie die intrinsischen Projektorparameter berechnen. Die intrinsische Transformationsmatrix ${}^{PB}\tilde{T}_P \in \mathbb{R}^{3x4}$ von Projektorkoordinaten in Projektorbildkoordinaten lässt sich äquivalent zu ${}^{KB}\tilde{T}_K$ bestimmen.

Nach erfolgreicher Systemkalibrierung werden Vektoren aus dem Weltkoordinatensystem in Projektorbildkoordinaten durch die Multiplikationen der Einzeltransformationenmatrizen folgendermaßen umgerechnet:

$${}_{(PB)}\mathbf{p} = {}^{PB}\tilde{T}_P {}^P\mathbf{T}_K {}^K\mathbf{T}_{K,0} {}^{K,0}\mathbf{T}_M {}^M\mathbf{T}_{W(W)} \mathbf{p}, \quad (2.3)$$

$$s \cdot \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = {}_{(PB)}\mathbf{p} = {}^{PB}\mathbf{T}_{W(W)} \mathbf{p}, \quad (2.4)$$

wobei s dem Tiefenskalierungsfaktor entspricht. Um die Pixelkoordinaten u und v des Projektorbildes zu erhalten, müssen die x - und y -Koordinaten von ${}_{(PB)}\mathbf{p}$ jeweils durch die z -Koordinaten von ${}_{(PB)}\mathbf{p}$ geteilt und anschließend gerundet werden.

2.4 Arbeitsablauf mit dem System

Zur Darstellung von Bohrlochschablonen im Arbeitsumfeld von Handwerkern ergibt sich der nachfolgende Arbeitsablauf. Zunächst erfolgt die Kartierung der Umgebung, indem der rtab-SLAM im „Mapping“-Modus betrieben wird. Die Lage der Kinect zu Beginn der Aufzeichnung definiert dabei den Ursprung des Punktwolkenkoordinatensystems (KS_M). Danach wird manuell die relative Lage zwischen der erstellten Punktwolke und möglichen Bohrlochpositionen bestimmt. Dies erfolgt direkt innerhalb der Punktwolke durch Anklicken der gewünschten Punkte, an dem die Bohrungen platziert werden sollen. Die Orientierung der Kreisebene wird in diesem Fall vernachlässigt. Das bedeutet, dass der Normalenvektor einer Kreisebene parallel zur optischen Achse des Projektors ausgerichtet wird. Alternativ kann ein Bauplan manuell zur Punktwolke registriert werden. Die erzeugte, statische Transformation zwischen Bauplan und Punktwolke ${}^W\mathbf{T}_M$ muss anschließend im Programm gesetzt werden.

Nach dieser einmaligen Einmessung erfolgt die eigentliche Arbeit mit dem System im Lokalisierungsmodus des rtab-SLAMs. Hierbei bestimmt der Algorithmus durch Feature-Matching die Startlage der Kinect ($KS_{K,0}$) im Bezug zur Punktwolke. Wird das System anschließend auf Regionen mit Zusatzinformationen gerichtet, erscheinen diese lagerichtig im Sichtfeld des Handwerkers.

2.5 Programmstruktur

Als Softwareframework wird das Robot Operating System (ROS) verwendet. Die Verwaltung der Koordinatentransformationen erfolgt innerhalb von ROS mit dem tf-package [17]. Im Lokalisierungsmodus des Systems wird die Programmstruktur aus Abbildung 2.3 verwendet, die die Abhängigkeiten der ROS-Nodes veranschaulicht. Der rtab-SLAM (Lokalisierungsnote) greift auf die zuvor aufgenommene Punktewolke und die Kameradaten der Kinect zu und leitet die berechnete Lage der Kinect an die Visualisierungsnote weiter. Gleichzeitig erhält die Visualisierungsnote die Position und Form der hinterlegten Zusatzinformationen sowie alle Transformationsmatrizen vom tf-package. Die Note transformiert die Eckpunkte der Formen aus dem Bauplan in das Projektorbild. Mithilfe von OpenCV werden 2D-Bild mit den angepassten Informationen erzeugt und anschließend zum Projizieren an den Projektor gesendet. Die Projektionsgeschwindigkeit ist durch die Aufnahmefrequenz der Kinect auf 30 Hz beschränkt.

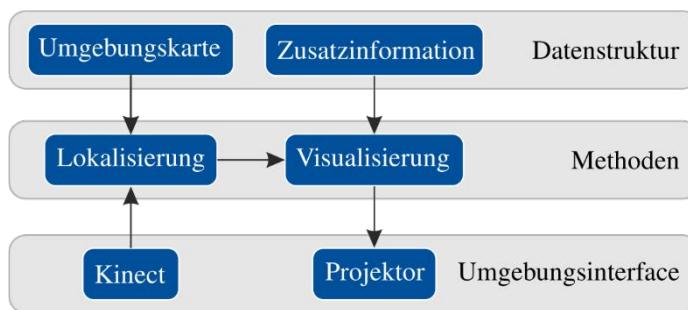


Abbildung 2.3: Programmstruktur

2.6 Genauigkeitsuntersuchung

Da die Genauigkeit des Systems maßgeblich von der Kalibrierung sowie dem SLAM-Verfahren abhängig, werden zwei unterschiedliche Test zur Bewertung dieser Fehlerquellen durchgeführt. Aus der Systemkalibrierung folgt ein Projektionsfehler, welcher sich in der Transformationsmatrix ${}^{PB}\mathbf{T}_K$ von der Kamera zum Projektorbild widerspiegelt. Zur Untersuchung der Projektionsgenauigkeit wird der Systemaufbau aus Abbildung 2.4 gewählt. Die relative Lage zur Umgebung wird hier nicht durch das SLAM-Verfahren, sondern durch die Detektion von AR-Marker im Kamerabild ${}^K\mathbf{T}_{AR}$ realisiert. Der Mittelpunkt von vier bekannten Aruco-Markern aus OpenCV bildet in diesem Fall das AR-Markerboard-Koordinatensystem $(KS)_{AR}$, welches das Weltkoordinatensystem ersetzt. Im $(KS)_{AR}$ werden vier äquidistante Punkte ${}_{(AR)}\mathbf{p}_i$ um den Ursprung definiert, die die Eckpunkte eines zu projizierenden AR-Markerboards bilden. Die Punkte werden mittels

$${}^{(PB)}\mathbf{p} = {}^{PB}\widetilde{\mathbf{T}}_P {}^P\mathbf{T}_K {}^K\mathbf{T}_{AR} {}_{(AR)}\mathbf{p} \quad (2.5)$$

in Projektorbildkoordinaten umgewandelt. Ein zweites, quadratisches AR-Markerboard wird mithilfe einer affinen Transformation so verzerrt, dass es innerhalb dieser Eckpunkte dargestellt wird. Im Idealfall stellt dies ein perfektes Quadrat im $(KS)_{AR}$ dar. Zur Detektion beider Markerboards wird das ar_sys package in ROS verwendet. Allerdings muss das Kamerabild zunächst mit einem adaptiven Filter vorverarbeitet werden, weil weiße Bereiche der gedruckten AR-Marker die gleiche Intensität wie schwarze Bereiche der projizierten AR-Marker besitzen. Die unterschiedliche Position und Rotation beider Markerboards beschreibt den Fehler durch die Projektion des Systems, allerdings beinhaltet dieser auch zusätzlich den Fehler des AR-Markertrackings.

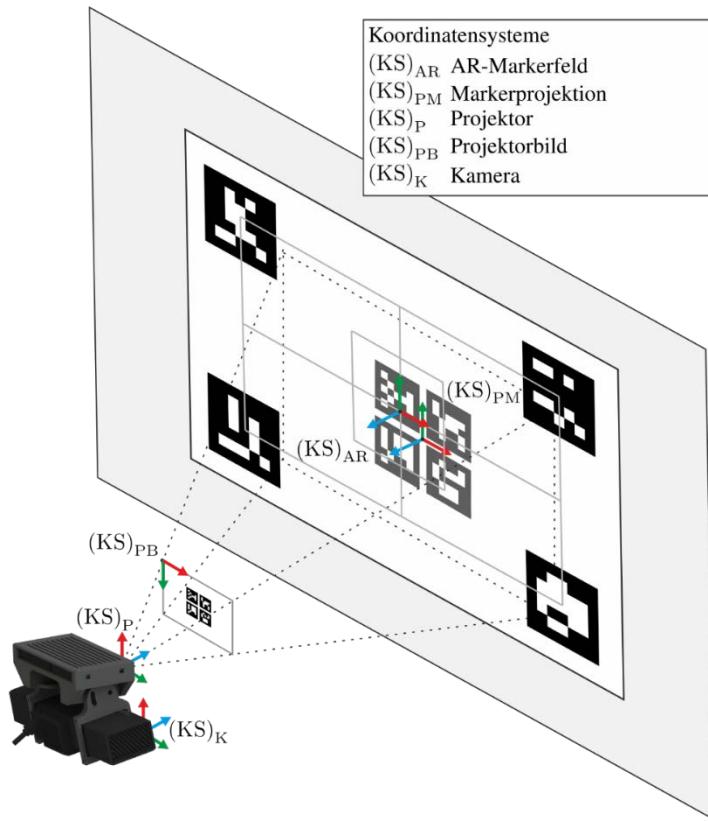


Abbildung 2.4: Systemaufbau zur Messung der Projektionsgenauigkeit, die Abweichung zwischen $(KS)_{AR}$ und $(KS)_{PM}$ entspricht dem Projektionsfehler

Die Genauigkeit des SLAM-Verfahrens wird anhand von definierten Bewegungen des Systems mit einem Roboter untersucht. Hierfür wird es am Endeffektor eines KUKA LBR iiwa 7 R800 befestigt, der eine Wiederholgenauigkeit von 0,1 mm aufweist. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2.5 dargestellt. Während der SLAM-Algorithmus ausgeführt wird, verfährt der Roboter 200 mm entlang einer Achse seines Weltkoordinatensystems und kehrt in seine Ausgangslage zurück. Anschließend rotiert er das System um einen definierten Winkel in beide Drehrichtungen um die Weltkoordinatenachsen, sodass nach Abschluss der Bewegung die Ausgangslage wieder erreicht wird. Dieser Vorgang wird für alle drei Achsen des Weltkoordinatensystems

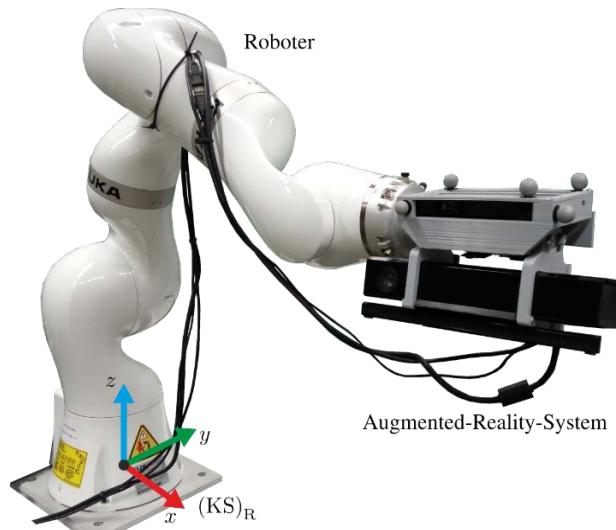


Abbildung 2.5: Versuchsaufbau zur Lokalisationsgenauigkeit

durchgeführt. Die Rotation um die x -Achse beträgt aufgrund von Singularitäten im Roboterarbeitsraum 35° sowie um die y -, z -Achse jeweils 90° . Dies hat den Vorteil, dass die zurückgelegte Strecke mit einer Genauigkeit von 0,1 mm bekannt ist und die Start- und Endlage jeder Bewegung identisch sind. Die Lageabweichung vom Beginn zum Ende jeder Teilbewegung wird direkt als Genauigkeitsfehler erfasst. Es muss kein Forward-Backward-Error des Trackings berechnet werden.

3 Ergebnisse

3.1 Lokalisierungsgenauigkeit

Für die Lokalisierungsgenauigkeit wurden 3 Bewegungen, die aus jeweils aus 9 Teilstücken bestanden, mit dem Roboter durchgeführt, siehe Unterkapitel 2.6. Jede Bewegung benötigte eine Zeit von 30 s. Die Lage der Kinect wurde während den Bewegungen mit dem rtab-SLAM ermittelt und abgespeichert. Die Positionsdaten einer Bewegung sind beispielhaft in Abbildung 3.1 dargestellt. Zur Berechnung des Genauigkeitsfehlers wurde die Differenz von Ist- und Sollposition nach jedem Teilstück berechnet. Aus den 27 Messdaten konnte ein durchschnittlicher Fehler von 15,1 mm mit einer Standardabweichung von 22,1 mm ermittelt werden, wobei ein durchschnittlicher Fehler von $1,0 \text{ mm} \pm 2,3 \text{ mm}$ bei translatorischen Bewegungen und von $48,0 \text{ mm} \pm 4,2 \text{ mm}$ bei rotatorischen Bewegungen vorliegt. Alle Fehlerwerte haben eine Median von 2,3 mm. Bei den drei Messungen kommt es allerdings zu Trackingfehlern während der letzten Rotation um die $(R)y$ -Achse des $(KS)_R$, siehe Positionsverlauf bei $t = 24\text{s}$. Während dieser Bewegung enthalten die Bilddaten eine zu geringe Feature-Anzahl. Eine Warnung des Programms wird ausgegeben.

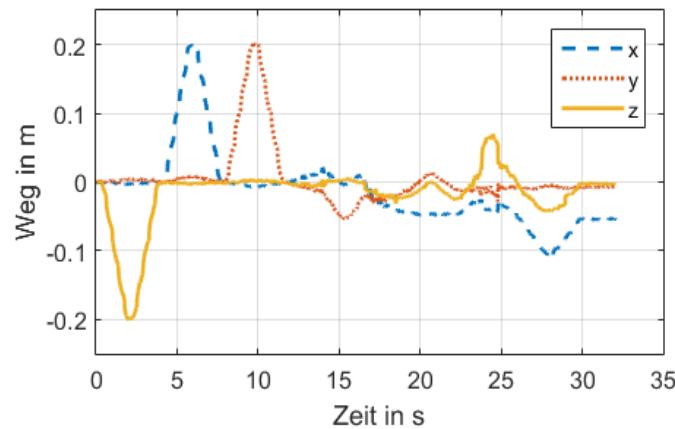


Abbildung 3.1: Positionsmesswerte einer Bewegung

3.2 Projektionsgenauigkeit

Zur Messung der Projektionsgenauigkeit wurden 19 statische rgb-Bilder der Kinect aus unterschiedlichen Lagen mit dem Aufbau aus Abbildung 2.4 aufgenommen. Der Rückprojektionsfehler setzt sich aus den Ergebnissen der Projektor-Kamera-Kalibrierung und dem Markertracking zusammen. Für die 19 Messungen wurde durchschnittlich ein Fehler von 2,9 mm mit einer Standardabweichung von 6,3 mm in $(AR)x$ -Richtung und einem Fehler von 1,3 mm mit einer Standardabweichung von 6,3 mm in $(AR)y$ -Richtung gemessen, sodass sich der Gesamtversatz zu durchschnittlich 8,0 mm mit einer Standardabweichung von 4,7 mm ergibt. Der Winkelfehler beläuft sich auf $1,6^\circ$ mit einer Standardabweichung von $1,0^\circ$.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein AR-System vorgestellt, dass lagerichtig Bohrlochschablonen in das Sichtfeld eines Handwerkers auf die zu bearbeitende Wand einblenden. Das System ist ein Zusatzmodul eines Exoskeletts, kann aber auch eigenständig verwendet werden. Neben den Bohrlochpositionen sollen zukünftig noch weitere Zusatzinformationen wie Leitungen innerhalb der Wand oder ähnliche Daten aus einem Bauplan dargestellt werden. Denkbar ist zudem die Anzeige von Arbeitsanweisungen. Aktuell läuft eine Studie zu geeigneten Darstellungsmöglichkeiten des Systems. Im Anschluss soll die Nutzerakzeptanz und –usability des AR-Systems ermittelt werden.

Die Projektionsgeschwindigkeit ist durch die Aufnahmefrequenz der Kinect auf 30 Hz beschränkt. Gerade bei schnelleren Bewegungen führt die geringe Aktualisierungsrate des Projektorbildes zu störenden Sprüngen der dargestellten Informationen. Daher wird die relative Lageänderung zukünftig zwischen zwei Kameraaufnahmen mit der bereits ins System integrierten IMU geschätzt. Schnell Systembewegungen verursachen zudem Fehlern innerhalb des rtab-SLAMs. Bei den Versuchen zur Lokalisierungsgenauigkeit mit maximaler Geschwindigkeit des Roboters wurde die Lage der Kinect bei den linearen Bewegungen durch den SLAM-Algorithmus sehr gut wiedergeben, allerdings kam es während den Rotationsbewegungen zu Trackingfehlern. In weiteren Laborversuchen soll daher in Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit die Genauigkeit und Robustheit der Lokalisierung untersucht werden.

Mit dem vorgestellten AR-System konnte eine Projektionsgenauigkeit von durchschnittlich $8,0 \text{ mm} \pm 4,7 \text{ mm}$ und eine Lokalisierungsgenauigkeit von $15,1 \text{ mm} \pm 22,1 \text{ mm}$ erreicht werden. Aktuell eignet sich das System somit für Anwendungen, bei denen die relative Position zwischen zwei Bohrungen mit einer hohen Genauigkeit vorliegen muss, aber eine Positionierung im Raum mit ca. 40 mm. zur Referenzmarke im ungünstigsten Fall ausreichen sollte. Je geringer die Rotationsbewegungen des Arbeiters dabei sind, desto genauer funktioniert das System. Die höchste Genauigkeit weist das System an der Wand, an der auch die Referenzmarke angebracht ist, auf.

Der Median des Lokalisierungsfehlers besitzt im Gegensatz zum Durchschnittswert eine geringere Größenordnung als der Projektionsfehler. Die durchschnittlichen Lokalisationsfehler sind von einzelnen Trackingfehlern bei Rotationen um die Horizontal stark beeinflusst, da die Decke eine zu geringe Feature-Anzahl für den rtab-SLAM aufweist. Dieses Problem wird zukünftig weiter untersucht, weil es auf Baustellen durchaus Regionen mit geringen Features geben kann. Zur Lösung können die Tiefeninformation in diesen Bereichen stärker zur Lokalisierung genutzt werden, indem die Wände der Umgebung detektiert werden und die Kinectlage mittels Triangulation der Tiefendaten berechnet wird. Allerdings muss dieses Vorgehen erst in Versuchen evaluiert werden. Nachdem einzelnen Fehlerquellen quantifiziert werden und der Geschwindigkeitseinfluss von Bewegungen auf die Genauigkeit geklärt ist, soll der Gesamtfehler des Systems im Umfang von Feldtests ermittelt werden. Hierfür wird eine automatische Registrierung mit einem Bauplan implementiert.

5 Literatur

- [1] C. Balaguer, M. Abderrahim: Trends in Robotics and Automation in Construction, Robotics and Automation in Construction. In: Tech, URL:
http://www.intechopen.com/books/robotics_and_automation_in_construction/trends_in_robotics_and_automation_in_construction, 2008.

- [2] H. Hodson: Robotic suit gives shipyard Workers super strength, New Scientist, URL: <https://www.newscientist.com/article/mg22329803-900-robotic-suit-gives-shipyard-workers-super-strength/>, 2014.
- [3] A. Zelinsky: Robot Suit Hybrid Assistive Limb. In: IEEE Robotics & Automation Magazine 16, S. 98 & 102, 2009.
- [4] K. Stadler, R. Altenburger, E. Schmidhauser, D. Scherly, J. Ortiz, S. Toxiri, L. Mateos, J. Massod: Robo-Mate: An exoskeleton for industrial use – concept and mechanical design. International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR), London, 2016.
- [5] R. Azuma: A Survey of Augmented Reality. In: Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, S. 355-385, 1997.
- [6] D. van Krevelen, R. Poelman: A Survey of Augmented Reality Technologies. Applications and Limitations, The International Journal of Virtual Reality 9, S. 1-20, 2010.
- [7] A. Doshi, R. Smith, B. H. Thomas, C. Bouras: Use of projector based augmented reality to improve manual spot-welding precision and accuracy for automotive manufacturing. Advanced Manufacturing Technology, S. 1-15, 2016.
- [8] J. Wu, M. Wang, K. Liu, M. Hu, P. Lee: Real-time advanced spinal surgery via visible patient model and augmented reality system. Computer Methods and Programs in Biomedicine 113, S. 869-881, 2014.
- [9] J.-P. Kobler, A. Hussong, T. Ortmaier: Mini-Projektor basierte Augmented Reality für medizinische Anwendungen. Tagungsband der 9. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie e.V. (CURAC), S. 115-118, 2010.
- [10] K. Gavaghan, S. Anderegg, M. Peterhans, T. Oliveira-Santos, S. Weber: Augmented Reality Image Overlay Projection for Image Guided Open Liver Ablation of Metastatic Liver Cancer. Lecture Notes in Computer Science: Augmented Environments for Computer-Assisted Interventions 7264. Springer Berlin Heidelberg, S. 36-46, 2012.
- [11] U. Frese, R. Wagner, T. Röfer: A SLAM Overview from a User's Perspective. KI - Künstliche Intelligenz 24, S. 191-198, 2010.
- [12] S. Bringeland, T. Heine, M. Hoffmann, T. Stein, B. Deml: Ergonomische Evaluation eines Handwerker-Kraftassistentenzsystems, Arbeit in komplexen Systemen –Digital, vernetzt, human?! Tagungsband 62. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Hrsg.: M. Jäger, GFA Press, Dortmund, 2016.
- [13] M. Labbé, F. Michaud: Online Global Loop Closure Detection for Large-Scale Multi-Session Graph-Based SLAM. Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, S. 2661-2666, 2014.
- [14] T. Wiedemeyer: IAI Kinect2. URL: https://github.com/code-iai/iai_kinect2, 2015.
- [15] Z. Zhang: A Flexible New Technique for Camera Calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 22, S. 1330-1334, 2000.
- [16] G. Falcao, N. Hurtos, J. Massich: Plane-based calibration of a projector-camera system. VIBOT Master, S. 1 -12, 2008.
- [17] T. Foote: tf: The transform library. IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA), S. 1-6, 2013.

Bewertungskonzept zur Identifikation von kognitiven Unterstützungstechnologien in der manuellen Montage

C. Herder, J. C. Aurich

Technische Universität Kaiserslautern, Lehrstuhl für Fertigungstechnik und
Betriebsorganisation Kaiserslautern,
Gottlieb-Daimler-Str., 67663 Kaiserslautern, Deutschland
publications.fbk@mv.uni-kl.de

Kurzzusammenfassung

Gerade in der Montage gestaltet sich die Automatisierung aufgrund komplexer Füge- und Handhabungsoperationen, großer Variantenanzahl und geforderter Flexibilität und Wandlungsfähigkeit deutlich schwieriger als in der Teilstoffigung. Dies führt dazu, dass der Mensch als zentrales Element in der Montage heute und auch in Zukunft eine signifikante Rolle spielt. Aufgrund der zentralen Stellung des Mitarbeiters in der Montage bieten Technologien, die den Mitarbeiter in seinen kognitiven Fähigkeiten unterstützen, große Potentiale. In diesem Beitrag wird ein Konzept vorgestellt, das durch eine Bewertungssystematik kognitiv anspruchsvolle Montageschritte identifiziert. Daraus ableitbar sind Anforderungen für eine Technologieplanung im Bereich kognitiver Unterstützungstechnologien.

Abstract

“Assessment concept for identification of cognitive support technologies in manual assembly”

In contrast to part production, automation in assembly proves difficult because of complex joining and handling processes such as high variant diversity and required flexibility and adaptability. Thus, humans will remain in today's and future assembly systems. Because of this, technologies supporting the cognitive skills of the worker have high potential to improve manual assembly systems. This paper presents a concept to identify challenging cognitive assembly activities with the help of an assessment concept. In doing so, requirements for technology planning of cognitive support technologies can be derived.

Keywords: Manuelle Montage, Unterstützungstechnologien, Kognition

1 Einleitung

Im Konsum- und Investitionsgüterbereich hat sich in jüngster Vergangenheit ein grundlegender Wandel der Marktsituation vollzogen. Noch bis vor einiger Zeit war hier ein Verkäufermarkt vorherrschend. Unter diesen Bedingungen bot eine Massenproduktion mit hohem Automatisierungsgrad hohe wirtschaftliche Vorteile. Im Rahmen des sich nun vollziehenden Wandels zu einem Käufermarkt können Unternehmen, die kundenindividuelle Produkte anbieten, Wettbewerbsvorteile generieren. Um diese Kundenforderungen auf effiziente Weise zu befriedigen, müssen heutige Produktionssysteme ein hohes Maß an Flexibilität und Wandlungsfähigkeit sowohl in Bezug auf Veränderungen des Marktes als auch im Hinblick auf Kundenwünsche aufweisen [1].

Trotz der hohen Zahl an verfügbaren Automatisierungslösungen wird die manuelle Montage auch in Zukunft ein wichtiges Element in Produktionssysteme darstellen. Gerade bei Produktionsumgebungen mit kleinen Losgrößen und Produkten mit hoher Variantenvielfalt ist der Mensch aufgrund seiner kognitiven Fähigkeiten nach wie vor unverzichtbar [2]. Der Mensch ist in der Lage, seine Umgebung durch mehrere Sinne wahrzunehmen, Tätigkeiten zu planen und mit seinem Umfeld zu interagieren. Weiterhin kann er sich an wechselnde Anforderungen und Situationen anpassen. Hieraus resultiert eine Wandlungsfähigkeit, die durch automatisierte Produktionssysteme wirtschaftlich kaum realisierbar ist [3].

Zur Optimierung der manuellen Montage gibt es mehrere Ansätze. Einerseits werden die Montagebewegungen als solche durch Anstrengungen im Bereich der Ergonomie stetig verbessert. Unterstützungstechnologien wie beispielsweise Augmented Reality (AR)-Systeme sind weiterhin in der Lage, den Menschen bei Montagetätigkeiten zu entlasten und somit Montageprozesse wirtschaftlicher zu gestalten [4]. Da die Einführung derartiger Unterstützungssysteme mit finanziellen Risiken verbunden ist, kann ein wirtschaftlicher Einsatz nur an ausgewählten Montagestationen mit komplexen Montagetätigkeiten erfolgen. Dazu bedarf es eines Instruments zur Quantifizierung dieser Komplexität. Hierzu gibt es bereits Ansätze, die auf einer Analyse von ausgeführten Bewegungen beruhen [5]. Wenig Beachtung findet in diesem Kontext die menschliche Kognition. Die Betrachtung der kognitiven Informationsverarbeitung ist jedoch für manuelle Montagetätigkeiten grundlegend, da diese alle Vorgänge von Wahrnehmung über Erinnerung bis hin zur Aufgabenplanung und -ausführung umfasst [6]. Die Identifikation von anspruchsvollen Montagevorgängen basiert heute oftmals auf Expertenwissen und Erfahrungen im spezifischen Produktionssystem. Ein allgemeingültiges und nachvollziehbares Konzept zur Bewertung der Komplexität fehlt an dieser Stelle. Im Rahmen dieses Beitrags sollen folglich die Grundlagen für ein solches Konzept erarbeitet werden, welches die Komplexität eines Montagevorganges nach Gesichtspunkten der Kognition bewerten kann.

2 Stand des Wissens

Ziel ist die Entwicklung eines Konzeptes, das eine Identifikation derjenigen Montageschritte ermöglicht, welche die kognitiven Fähigkeiten eines Menschen besonders stark beanspruchen. Zu diesem Zweck soll Wissen aus der Montagewissenschaft mit ingenieurspsychologischen Erkenntnissen zum beschriebenen Konzept integriert werden.

2.1 Montage

Die grundlegende Aufgabe der Montage besteht darin, in einer bestimmten Zeit aus einer Vielzahl von Einzelteilen und Baugruppen ein Produkt höherer Komplexität mit vorgegebenen Funktionen zusammenzubauen [1]. Der manuelle Montagevorgang kann dabei, auf Grundlage des Methods-Time-Measurement (MTM), in die fünf Grundbewegungen Hinlangen, Greifen, Bringen, Fügen und Loslassen unterteilt werden [7]. Jeder dieser Grundbewegung geht ein menschlicher Verarbeitungsprozess voraus. Bevor der Werker zielgerichtet „hinlangt“, muss er beispielsweise anhand von bereitgestellten Informationen (z. B. einer Stückliste) entscheiden, welche Komponente als nächstes benötigt wird. Ähnliche Verarbeitungsprozesse sind zwischen „Bringen“ und „Fügen“ notwendig: Bevor das Fügen beginnen kann, müssen die zu fügenden Teile relativ zueinander positioniert werden.

2.2 Multiple Ressourcentheorie

Um zu bewerten, welche Anforderungen eine Aufgabe an die kognitiven Ressourcen eines Menschen stellt, eignet sich das Konzept des *Mental Workload*. Nach gängiger Definition wird hierbei das Verhältnis der zur Ausführung einer Aufgabe erforderlichen Menge an kognitiver Verarbeitungskapazität bzw. -ressourcen zur verfügbaren Gesamtmenge der kognitiven Verarbeitungskapazität verstanden [8]. Mental Workload macht folglich eine Aussage darüber, inwieweit die kognitiven Kapazitäten eines Menschen mit einer bestimmten Aufgabe ausgelastet sind. Zur Quantifizierung des Mental Workload bedarf es somit eines Abgleichs zwischen den Kapazitäten des jeweiligen Workers und dem Anspruch, den die jeweilige Aufgabe an diese Kapazitäten stellt.

Eines der relevantesten Modelle hierzu ist das Modell der *Multiple Ressourcentheorie (MRT)* des US-Amerikaners *Christopher D. Wickens*. Wie bei anderen Ansätzen auch gilt bei der MRT die Grundaussage, dass der Mensch über eine begrenzte Anzahl an Ressourcen zur Informationsverarbeitung verfügt. Je nach Belegung dieser Ressourcen lässt sich mit Wickens Modell eine Aussage über die kognitive Auslastung des Menschen treffen, wodurch insbesondere die Leistungseinbußen bei gleichzeitigem Ausführen mehrerer Tätigkeiten abgeschätzt werden können. Wickens führte eine Vielzahl an Experimenten durch, welche die parallele Ausführung verschiedener Aufgaben zum Inhalt hatten. Hieraus konnte er ein mehrdimensionales Modell ableiten, welches wie nachfolgend beschrieben wird [9]. Die Ergebnisse werden in Tabelle 2.1 zusammengefasst.

Verarbeitungsstufen: Wickens identifizierte, dass die wahrnehmenden Ressourcen und die entscheidenden Ressourcen dieselben sind und von denen der Ausführung (Antwort) einer Aktivität getrennt sind. Beispiele hierfür sind der Fluglotse, der während der Durchgabe der aktuellen Position (Ausführend) immer noch ein Bild des Luftraumes im Kopf hat (Wahrnehmend-entscheidend) oder das Steuern eines Fahrzeugs (Ausführend) mit gleichzeitiger Wahrnehmung der vorausliegenden Straße (Wahrnehmend-entscheidend).

Wahrnehmungsmodalitäten: Hier bestätigte sich für Wickens der Zusammenhang, dass sich in der Phase der Wahrnehmung *auditive* und *visuelle* Reize weitgehend unbeeinflusst voneinander wahrnehmen lassen können. Im Umkehrschluss führt ein paralleles Wahrnehmen auf der gleichen Modalität (wie z. B. das zeitgleiche Wahrnehmen mehrerer Geräuschquellen) zu einer Absenkung der Verarbeitungsleistung.

Visuelle Kanäle: Weiterhin stellte sich heraus, dass der Mensch fähig ist, ohne signifikante Einschränkung der Leistungsfähigkeit gleichzeitig einen fokalen (Objekterkennung, fokussiertes Sehen) und peripheren (Wahrnehmen von Reizen außerhalb des vom Auge fixierten Punktes) Reiz wahrzunehmen. Diese Unterscheidung gilt nur für die visuelle Wahrnehmungsmodalität.

Verarbeitungscodierung: Eine weitere Unterscheidung liegt in der Kodierung, in der Informationen verarbeitet werden. Hier wird in *räumlich* und *verbal* getrennt. Ein Anwendungsbeispiel hier ist der Zusammenhang zwischen dem parallelen Ausführen einer manuellen Tätigkeit (räumlich) und dem Aussprechen einer wörtlichen Aussage (verbal), was erfahrungsgemäß recht problemlos vereinbar ist.

Tabelle 2.1: Bestandteile von Wickens' Multiple Ressourcentheorie

Verarbeitungsstufe	Ressource	Abkürzung	Beispiel
Wahrnehmung	Visuell Räumlich	VR	Distanzen abschätzen
Wahrnehmung	Visuell Verbal	VV	Text lesen
Wahrnehmung	Auditiv Räumlich	AuR	Lokalisieren eines Geräusches
Wahrnehmung	Auditiv Verbal	AuV	Hören einer Nachricht
Entscheidung	Entscheidend Räumlich	ER	Geistiges Bild des Fügevorgangs
Entscheidung	Entscheidend Verbal	EV	Sich an eine Zahl erinnern
Antwort	Antwortend Räumlich	AnR	Manuelle Aktivitäten
Antwort	Antwortend Verbal	AnV	Gesprochener Text

Diese Erkenntnisse lassen sich in einem Würfelmodell visualisieren (Abbildung 2.1). Das Modell erlaubt die vergleichsweise einfache Analyse zweier parallel ausgeführter Tätigkeiten und die Vorhersage daraus zu erwartender Leistungseinbußen aufgrund von Interferenzen. Diese fallen umso höher aus, in je mehr Dimensionen sich zwei Tätigkeiten auf dem Würfel überschneiden.

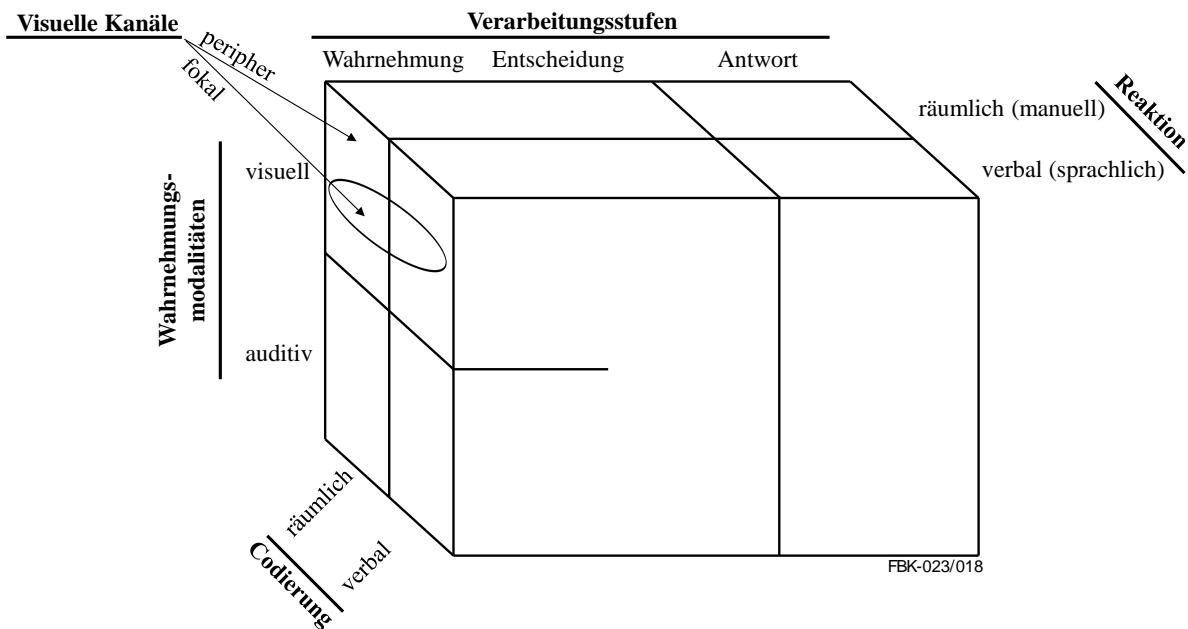


Abbildung 2.1: Würfelmodell der Multiplen Ressourcentheorie (nach [9])

2.3 Modellhafte Beschreibung der MRT

Eine Schwäche des Würfelmodells ist die Annahme, dass alle Tätigkeiten für sich betrachtet denselben Anspruch an die menschlichen Ressourcen stellen. Folglich wird nicht berücksichtigt, ob eine Aufgabe eher kompliziert oder eher einfach ist. Um dieser Schwäche zu begegnen, muss ein Modell, welches die eher qualitativen Aussagen des Würfelmodells mathematisch beschreibbar macht, folgende Kernpunkte aufweisen [9]:

- 1) Eine quantifizierbare Bewertung von einzelnen Montagetätigkeiten im Hinblick auf deren kognitive Komplexität.
- 2) Einen Berechnungsansatz, der die Leistungseinbuße bei Parallelausführung mehrerer Tätigkeiten ermittelt.

Wickens schlägt zur Erfüllung der ersten Anforderung das Werkzeug des sogenannten *Anforderungsvektors* vor, der zweiten Bedingung wird mit der *Konfliktmatrix* Rechnung getragen. Mit dem *Anforderungsvektor* wird die Komplexität einer einzelnen Tätigkeit im Hinblick auf die Anforderungen an Ressourcen aus Tabelle 2.1 mit Zahlenwerten von 0 (nicht beansprucht) bis 3 (hoch beansprucht) beschrieben. Die Zuweisung von Zahlenwerten zu den betrachteten Tätigkeiten stellt den Übergang von qualitativer zu quantitativer Analyse dar. Dieser subjektive Teil des Modells kann mithilfe von Bewertungstabellen erfolgen (z.B. [10]). Tabelle 2.2 zeigt einen beispielhaften Anforderungsvektor für eine Tätigkeit, die u. a. hohe Anforderungen an die visuell-räumliche Wahrnehmung stellt.

Tabelle 2.2: Beispiel für Anforderungsvektor

Tätigkeit	Anforderungsvektor							
	Wahrnehmend				Entscheidend		Antwortend	
	VR	VV	AuR	AuV	ER	EV	AnR	AnV
Montageschritt 1	3	1	0	0	2	0	2	0

Die *Konfliktmatrix* bildet die mathematische Beschreibung des MRT-Würfels. Sie ermittelt die Konfliktwerte für alle möglichen Ressourcenpaarungen. Grundlage für die Bildung ist die Annahme, dass sich der Konfliktwert proportional zur Anzahl der sich überschneidenden Ressourcen verhält. Zusammen mit einigen weiteren Gestaltungsregeln ergibt sich die in Tabelle 2.3 dargestellte Matrix [9]. Bei der Überprüfung zweier Tätigkeiten werden alle Ressourcen (VR, VV, etc.), die in beiden Anforderungsvektoren Werte größer 0 aufweisen, betrachtet. Der Konfliktwert ergibt sich als Summe aller Zellwerte aus Tabelle 2., die von beiden Tätigkeiten beansprucht werden.

Tabelle 2.3: Konfliktmatrix nach Wickens

			Tätigkeit B							
			Wahrnehmung				Entscheidung		Antwort	
			VR	VV	AuR	AuV	ER	EV	AnR	AnV
Tätigkeit A	W	VR	0,8	0,6	0,6	0,4	0,7	0,5	0,4	0,2
		VV		0,8	0,4	0,6	0,5	0,7	0,2	0,4
		AuR			0,8	0,4	0,7	0,5	0,4	0,2
		AuV				0,8	0,5	0,7	0,2	0,4
	E	ER					0,8	0,6	0,6	0,4
		EV						0,8	0,4	0,6
	A	AnR							0,8	0,6
		AnV								1,0

Das eigentliche Berechnungsmodell muss nun noch die Daten verarbeiten, die sich aus der Menge der Anforderungsvektoren und der Konfliktmatrix ergeben.

3 Konzept zur Bewertung von Montagesequenzen

Ziel ist, ein Bewertungskonzept zur Identifikation von kognitiv anspruchsvollen Montageschritten zu entwickeln. Dieses bildet die Grundlage, um in späteren Schritten Anforderungen an eine Technologieplanung im Bereich kognitiver Unterstützungstechnologien zu generieren.

Der Anspruch an das vorgestellte Konzept ist, dass dieses ein einfaches Anwenden der psychologischen Erkenntnisse des MRT-Modells auf typische Montageprozesse ermöglicht. Ziel ist die Identifikation kritischer Tätigkeiten, die durch Anwendung von unterstützenden Technologien vereinfacht werden können und schlussendlich die Steigerung von Zeit, Qualität und/oder Kosten eines Montageprozesses.

3.1 Anforderungen

Das Konzept zur Bewertung von Montagesequenzen muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Einfache und universelle Anwendung,
- Bewertung basierend auf psychologischen Erkenntnissen und
- Berücksichtigung von Eigenheiten von Montageprozessen.

3.2 Montageprozesse aus psychologischer Sicht

Montagesequenzen als Abfolge von Einzeltätigkeiten sind in ihrer Gesamtheit komplexe Vorgänge. Für eine Bewertung durch ein universelles Konzept müssen Montageprozessen in ihre wiederkehrenden Muster zerlegt werden (vgl. Kapitel 2.1). Tabelle 3.1 zeigt typische Elementarvorgänge, die bei den Montagefunktionen Kommissionieren bzw. Fügen in der betrieblichen Praxis anzutreffen sind und stellt weiterhin eine Verbindung zu den in Kapitel 2 erläuterten Ressourcen der mentalen Verarbeitung her. So sind die eigentlichen Grundbewegungen nach MTM der *ausführenden* Verarbeitungsstufe zuzuordnen. Die Effizienzsteigerung dieser Bewegungen ist vorrangig Arbeitsgebiet der Ergonomie und im betrachteten Fall eher von sekundärem Interesse. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf kognitiven Unterstützungstechnologien, die größtenteils auf die *wahrnehmend-entscheidende* Verarbeitungsstufe zugreifen. Für die in Tabelle 3.1 unter Wahrnehmung und Entscheidung aufgeführten Montagefunktionen gilt ebenfalls, dass sie wie die Grundbewegungen nach MTM in der überwiegenden Zahl realer Montagesequenzen vielfach vorzufinden sind. Aufbauen auf diesen Erkenntnissen wird im nächsten Schritt ein Bewertungskonzept zur Identifikation von kognitiv anspruchsvollen Montagetätigkeiten vorgestellt.

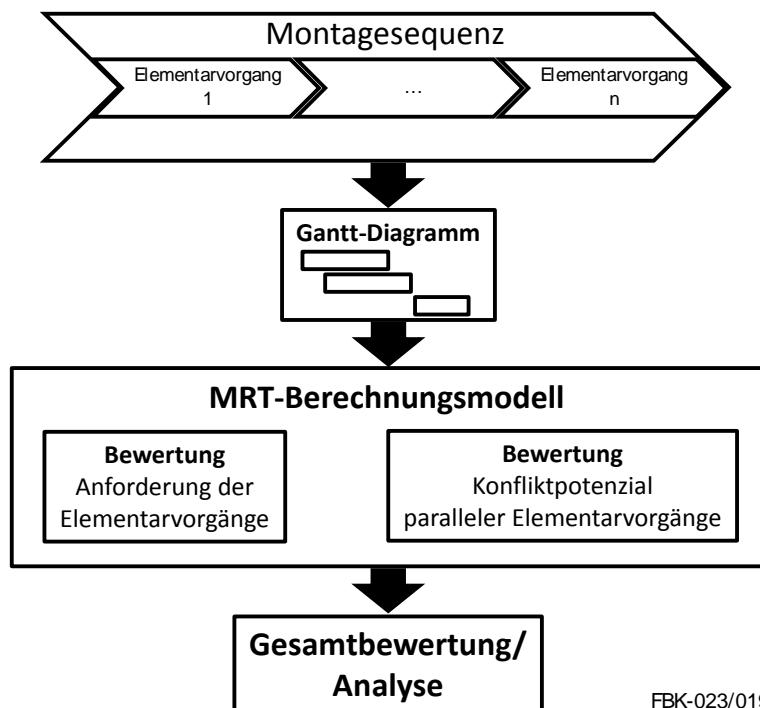
Tabelle 3.1: Stufen der mentalen Verarbeitung und Ressourcen manueller Montagefunktionen (nach [11])

Mentale Verarbeitung	Montagefunktionen	Ressourcen nach Wickens	
		Kommissionieren	Fügen
Wahrnehmung	<ul style="list-style-type: none">• Lokalisieren der Stückliste• Verarbeitung der Charakteristika• Identifizierung der Bauteile• Lokalisierung der Bauteile im Greifbereich	<ul style="list-style-type: none">• Lokalisierung der Anweisung• Verarbeitung von Position und Orientierung der Bauteile	Aufnahmemodalitäten
Entscheidung	<ul style="list-style-type: none">• Entnahme/Greifen der Bauteile	<ul style="list-style-type: none">• Fügen der vorgegebenen Bauteile/-gruppen	Verarbeitungscodes
Ausführung	<ul style="list-style-type: none">• Hinlangen• Greifen• Bringen	<ul style="list-style-type: none">• Fügen• Loslassen	Ausführungsmodalitäten

3.3 Bewertungskonzept

Um die in Kapitel 3.1 gestellte Forderung nach universeller Einsetzbarkeit zu erfüllen, empfiehlt sich ein Top-Down-Vorgehen. Zunächst muss der gesamte Montagevorgang in seine elementaren Montageschritte unterteilt und deren zeitlich-logische Abfolge erfasst werden. Ein mögliches Werkzeug hierzu ist das weitverbreitete Gantt-Diagramm. Hieraus ist direkt der sequenzielle Aufbau des Montagevorganges ersichtlich sowie ob und in welchem Maße parallel auszuführende Tätigkeiten auftreten.

Ist die Montagesequenz in ihre Elementarvorgänge untergliedert, kann hierauf das MRT-Berechnungsmodell aus Abschnitt 2.3 angewandt werden, um den Anspruch an die menschlichen kognitiven Fähigkeiten zu untersuchen. In diesem Schritt wird die Schwierigkeit der einzelnen Montageschritte durch eine Menge von Anforderungsvektoren charakterisiert. Im Falle von parallel ausgeführten Montagetätigkeiten wird zudem deren Konfliktpotenzial durch Be trachtung der Konfliktmatrix erfasst. Sind Konfliktmatrizen und Anforderungsvektoren erstellt, kann eine Gesamtbewertung erfolgen. Dies kann vorwiegend durch Vergleich der Bewertungen der einzelnen Montageschritte erfolgen. Montageschritte, die eine Ressource besonders hoch belasten, sind generell als potenziell unterstützungswürdig anzusehen. Weiterhin kann sich aus einem hohen Konfliktpotenzial eine Möglichkeit zur Verbesserung ergeben. Diese kann einerseits durch Umstellen der Montagesequenz, andererseits auch durch die Anwendung von Unterstützungs technologien erfolgen. Das Gesamtbewertungsschema wird in Abbildung 3.1 dargestellt.



FBK-023/019

Abbildung 3.1: Schema des Konzepts

4 Zusammenfassung und Ausblick

Ausgangspunkt für die Entwicklung dieses Konzeptes bildet der Bedarf nach einem allgemeingültigen und nachvollziehbaren Konzept zur Bewertung der Komplexität von Montagevorgängen hinsichtlich der Kognition. Basierend auf psychologischen Ansätzen auf dem Gebiet des Mental Workload wurde unter Berücksichtigung des Aufbaus typischer Montageprozesse der Rahmen für ein solches Konzept geschaffen. Ziel des Konzepts ist die einfache Bewertung von

Montagesequenzen hinsichtlich ihres Anspruchs an menschliche kognitive Ressourcen. Die Ergebnisse dieser Bewertung können zur Verbesserung der als kritisch eingestuften Montagestationen genutzt werden. Diese Verbesserung kann z. B. durch Änderung von Arbeitsabläufen, aber auch durch die Einführung von Unterstützungstechnologien realisiert werden.

Um das Konzept zu vervollständigen, muss eine mathematische Ausdifferenzierung der Bewertung erfolgen. Diese muss festlegen, durch welche Bewertungsoperationen die Gesamtbeurteilung eines Montageprozesses erfolgt. Nach der Ausdetaillierung erfolgt in den nächsten Schritten die Validierung und Weiterentwicklung des Konzeptes auf Grundlage von noch zu definierenden Beispielprozessen. Im Zuge dieser Tätigkeiten müssen auch die Bewertungstabellen, die in der eigentlichen Quantifizierung der Komplexität einzelner Montageschritte eine Schlüsselrolle einnehmen, an den Montagekontext angepasst und erweitert werden.

5 Literatur

- [1] H.-P. Wiendahl, H. A. ElMaraghy, P. Nyhuis, M. F. Zäh, H. H. Wiendahl, N. Duffie, M. Brieke: Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation. CIRP Annals - Manufacturing Technology 56 2, S. 783-809, 2007.
- [2] V. L. Shalin, G. V. Prabhu, M. G. Helander: A cognitive perspective on manual assembly. Ergonomics 39 1, S. 108-127, 2010.
- [3] C. Stoessel, M. Wiesbeck, S. Stork, M. F. Zaeh, A. Schuboe: Towards Optimal Worker Assistance: Investigating Cognitive Processes in Manual Assembly. In: M. Mitsuishi, K. Ueda, F. Kimura, F. (edit.): Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier. Springer London, S. 245-250, 2008.
- [4] A. Tang, C. Owen, F. Biocca, W. Mou: Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. Proceedings of the 2003 Conference on Human Factors in Computing Systems, Ft. Lauderdale, Florida, USA, S. 73-80, 2003.
- [5] B. Alkan, D. Vera, M. Ahmad, B. Ahmad, R. Harrison: A Model for Complexity Assessment in Manual Assembly Operations Through Predetermined Motion Time Systems. Procedia CIRP 4, S. 429-434, 2016.
- [6] M. F. Zaeh, M. Beetz, K. Shea, G. Reinhart, K. Bender, C. Lau, M. Ostgathe, W. Vogl, M. Wiesbeck, M. Engelhard, C. Ertelt, T. Rühr, M. Friedrich, S. Herle: The Cognitive Factory. In: H. A. ElMaraghy (Hrsg.): Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems. Springer Series in Advanced Manufacturing. Springer London, S. 355-371, 2009.
- [7] B. Lotter, H.-P. Wiendahl (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion - Ein Handbuch für die Praxis. VDI-Buch. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [8] D. Harris (edit.): Engineering psychology and cognitive ergonomics. Applications and services; 10th international conference, EPCE 2013, held as part of HCI International 2013, Las Vegas, NV, USA, July 21 - 26, proceedings, part II. Lecture notes in computer science Lecture notes in artificial intelligence, Bd. 8020. Berlin: Springer, 2013.
- [9] C. D. Wickens: Multiple resources and performance prediction. Theoretical Issues in Ergonomics Science 3 2, S. 159-177, 2002.
- [10] J. H. McCracken, T. B. Aldrich: Analyses of selected LHX mission functions. Implications for operator workload and system automation goals. No. ASI479-024-84., 1984.
- [11] S. Stork, A. Schubö: Human cognition in manual assembly. Theories and applications. Advanced Engineering Informatics 24 3, S. 320-328, 2010.

Smart Workbench:

Ein multimodales und bidirektionales

Assistenzsystem für den industriellen Einsatz

J. Höcherl¹, S. Niedersteiner¹, S. Haug², C. Pohlt¹, T. Schlegl¹, K. Weber², T. Berlehner³

¹Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg,
Regensburg Robotics Research Unit (RRRU)
Galgenbergstraße 30, 93053 Regensburg

johannes3.hoecherl@oth-regensburg.de, sascha2.niedersteiner@oth-regensburg.de,
clemens2.pohlt@oth-regensburg.de, thomas.schlegl@oth-regensburg.de

²Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg,
Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST)
Seybothstraße 2, 93053 Regensburg
sonja.haug@oth-regensburg.de, karsten.weber@oth-regensburg.de

³Infineon Technologies AG
thomas.berlehner@infineon.com

Kurzzusammenfassung

Bei monotonen Aufgaben in der industriellen Produktion lässt sich eine Konzentrationsabnahme der Arbeitenden beobachten, welche zu Qualitätsmängeln der Produkte führt. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines Systems zur Beobachtung des Arbeitsfortschritts, um eine schritthaltende Qualitätskontrolle und Unterstützung des Personals zu ermöglichen. Der bidirektionale Informationsaustausch erfolgt erstens über ein bildverarbeitungsgestütztes Gesteninterface und zweitens über die Darstellung visueller Handlungshilfen direkt auf der Arbeitsfläche. Die praktische Anwendbarkeit des Systems wird an einem industriellen Verpackungsprozess demonstriert. Eine Evaluation der Robustheit der Nutzerschnittstelle, der Benutzerakzeptanz und die daraus gewonnenen Erkenntnisse für das Anlagendesign, den Entwicklungsprozess und die Mitarbeiterbegleitung komplettieren den Artikel.

Abstract

“Smart Workbench: A multimodal and bidirectional assistance system for industrial applications“

Manual tasks in industrial production are often monotonous, leading to a decrease in concentration and therefore to quality deficiencies in the products. This paper presents the development of a system to track the work progress, enabling an online quality control and support of the worker. The bidirectional flow of information is handled first via an image-based gestural interface and second a direct presentation of advice on the work surface. To demonstrate the practical applicability, an industrial packaging task is implemented. The article concludes with an evaluation of the interface robustness and the user acceptance of the framework.

Keywords: Kontextsensitive Arbeiterunterstützung, Inline-Qualitätskontrolle, Nutzerfreundlichkeit, Bedienerakzeptanz, Interaktives Assistenzsystem

1 Motivation, Einordnung und Ziele der Smart Workbench

Um die heutigen hohen Anforderungen an die Qualität der industriellen Fertigung zu erfüllen, werden in vollautomatisierten Produktionsanlagen unterschiedliche Methoden zum Überwachen der qualitätskritischen Parameter der Erzeugnisse implementiert. Doch obwohl die Automatisierung weiter zunimmt, gibt es viele Tätigkeiten, die auf absehbare Zeit hin nicht wirtschaftlich automatisiert werden können. Die Teilautomatisierung von Prozessen durch eine Zusammenarbeit von Mensch und Maschine ist hierbei vielversprechend. Dadurch können (a) Arbeiter bei den vorher manuell durchgeführten Aufgaben entlastet, (b) eine automatische Qualitätssicherung oder (c) eine höhere Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Bei manuellen Tätigkeiten in der industriellen Produktion müssen mitunter monotone Aufgaben durchgeführt werden, welche zu einer Konzentrationsabnahme der Arbeitenden und damit zu Qualitätsmängeln führen. Abbildung 1.1 zeigt das vorgeschlagene *System zur kontextsensitiven Arbeiterunterstützung mit integrierter, kamerabasierter schritthalternder Qualitätskontrolle*. Damit soll die Qualität und, über eine kognitive Arbeiterentlastung, die Ergonomie verbessert werden.

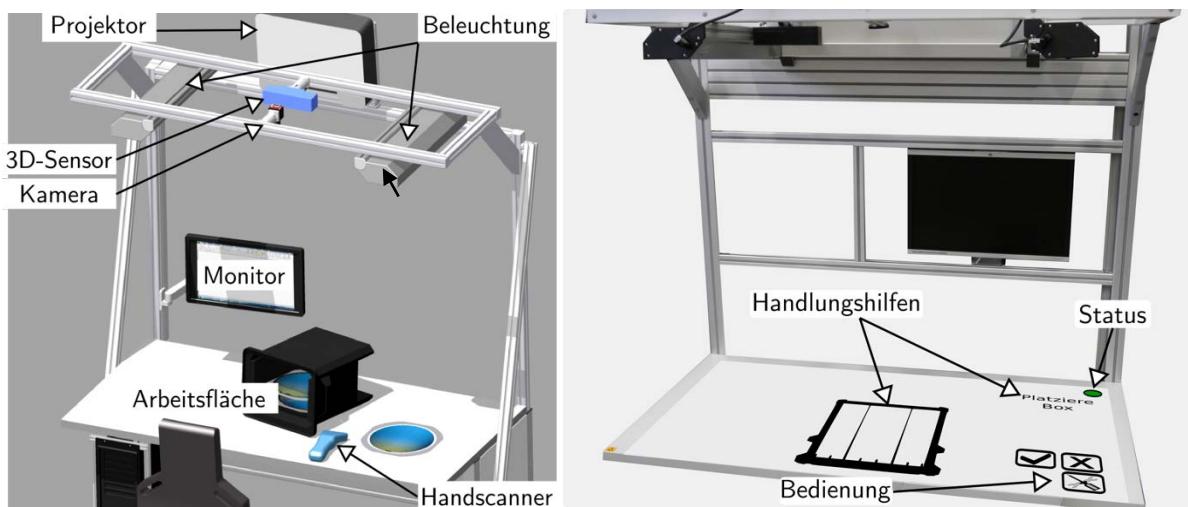


Abbildung 1.1: Entwickeltes industrielles Assistenzsystem
(links: Konzept; rechts: Umsetzung)

1.1 Stand der Technik von Assistenzsystemen mit integrierter Handlungshilfe

Industrielle intelligente Arbeitstische stellen z. B. das Local Positioning System [1], das Light Guide System [2], „Der Schlaue Klaus“ [3] oder der Arbeitsplatz 4.0 [4] dar. Diese Systeme unterstützen den Beschäftigten durch visuelle Handlungshilfen; je nach Anwendung können damit auch neue Arbeiter angelernt werden. Stork und Schubö berichten in [5] von einem Demonstrator mit an das menschliche Aufmerksamkeitsvermögen angepassten Handlungshilfen. Ähnliche Systeme sind auch für die Unterstützung von Behinderten bei alltäglichen Aufgaben bekannt. So beschreiben Peters et al. in [6] ein System, welches Menschen mit kognitiven Einschränkungen durch Verhaltensbeobachtung und verhaltensspezifische Hinweise beim Zahneputzen hilft. Ferner stellen Büttner et al. in [7] ein Datenbrillen-basiertes und ein Projektorbasiertes Assistenzsystem mithilfe einer Nutzerstudie gegenüber. Weiterhin zeigen Bächler et al., dass zusätzlich zur technischen Umsetzung auch eine partizipative Entwicklung möglich ist [8]. Das in diesem Artikel beschriebene System hat eine ähnliche Zielsetzung: Technische und soziale Aspekte der Entwicklung eines teilautomatischen Arbeitstisches für die Industrie werden anhand durchgeführter Tests und Nutzerstudien im Realumfeld evaluiert.

1.2 Ziele und Herausforderungen des vorgestellten Ansatzes

Die Ziele des Projekts Smart Workbench liegen in der Qualitätsverbesserung und, daraus folgend, in der Kostenverminderung bei händischen sowie teilautomatisierten Verpackungs- und Montageaufgaben. Dabei sollen Arbeiter, die nicht mit der Aufgabenstellung vertraut sind, von der Anlage angeleitet und entlastet werden. Um dies zu erreichen, werden kontextsensitiv textuelle, piktografische oder animierte Arbeitsanleitungen gezeigt. Nötig ist dazu eine durchgehende Beobachtung der Arbeitsfolge des Anlagenbedieners anhand definierter Schlüsselaktionen, die vorab durch eine Prozessanalyse identifiziert werden. Dieses generische Konzept wird auf eine Tätigkeit in der Industrie angewendet, bei der eine finale Qualitätskontrolle und die Verpackung der Produkte stattfinden. In diesem Artikel werden insbesondere die Nutzerfreundlichkeit und -akzeptanz evaluiert. Eine wesentliche technische Herausforderung stellt dabei die Bereitstellung einer robusten industrietauglichen Gestenschnittstelle dar. Ferner wurden die Evaluationen im Realumfeld mit dem tatsächlichen Personenkreis an einem realen Anwendungsfall durchgeführt. Nach reiflicher Recherche sind die Autoren überzeugt, dass es noch keine Publikation mit dieser Zielsetzung und den beschriebenen Randbedingungen gibt.

2 Systembeschreibung des vorgestellten kontextsensitiven Unterstützungssystems

Das in Abbildung 1.1 gezeigte System besteht aus einem standardisierten industriellen Arbeitstisch mit Beleuchtung, einem Arbeitsplatzrechner sowie einem Handscanner. Um dem Arbeiter eine intuitive, natürliche Schnittstelle zur Verfügung zu stellen, ist die Benutzung von 3D-Sensoren notwendig. Zusätzlich zu einem 3D-Sensor ist eine 2D-Kamera am Aufbau des Arbeitstisches montiert. Die Kamera wird primär für die Objekterkennung auf der Arbeitsoberfläche genutzt. Die Anzeige von Informationen für den Arbeiter und Bedienelementen wie Knöpfen auf der Arbeitsoberfläche (siehe Abbildung 1.1 rechts) erfolgt über einen handelsüblichen Weitwinkelprojektor. Zusätzlich ist seitlich des Arbeitsplatzes ein Monitor angebracht, um weiterführende Informationen oder eine Schnittstelle zur eventuellen Diagnose und Störungsbeseitigung bereitzustellen. Im Gegensatz zur Schnittstelle, die über den Projektor dargestellt wird, werden diese Funktionen mit herkömmlichen Eingabegeräten, wie Maus und Tastatur, bedient. Die Anlagensoftware ist modular aufgebaut. Das Modul *2D-Objekterkennung* ist mit der kommerziellen Bildverarbeitungsanwendung Cognex Vision Pro realisiert.

2.1 Robuste industrietaugliche Gestenschnittstelle zur Anlagenbedienung

Zur Bereitstellung einer intuitiven Schnittstelle wird das in Abbildung 2.1 abstrahiert dargestellte *Gestenerkennungssystem* genutzt. Der Arbeiter artikuliert zunächst einen Wunsch an das System. Dieser wird analysiert, d. h. es findet eine Segmentierung und Formextraktion statt. Die resultierenden Merkmale werden in der Klassifizierung mit hinterlegten Parametern verglichen und generieren eine Aktion, welche weiterverarbeitet wird und eine durch den Beschäftigten

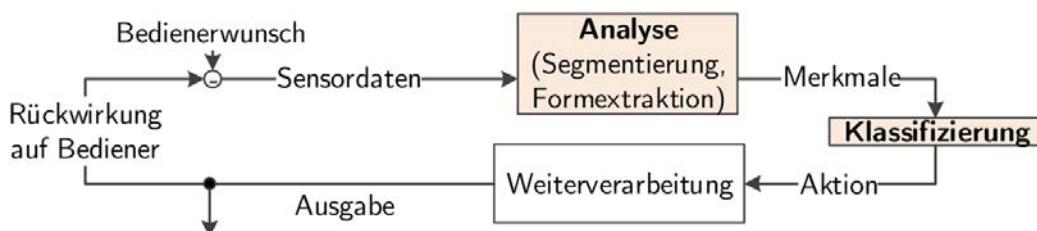


Abbildung 2.1: Geschlossener Wirkungsablauf der Beobachtung von menschlichen Extremitäten

wahrnehmbare Ausgabe auslöst. Die Ausgabe hat dabei eine direkte Rückwirkung auf den Folgewunsch des Anlagenbedieners und bildet so einen geschlossenen Wirkungsablauf.

2.2 Kontextsensitive Arbeiterassistenz durch kontinuierliche Fortschrittsüberwachung

Um dem Arbeiter die passende Unterstützung zu bieten sowie die Qualität des Produktes zu überwachen, benötigt das System Wissen darüber, welcher Arbeitsschritt gerade ausgeführt wird und wann dieser beendet ist. Grundlage hierfür ist ein Modell des Arbeitsprozesses, welches alle Arbeitsschritte sowie vorhersehbare Bedienungsfehler und qualitätskritische Abweichungen der ausgeführten Arbeiten vom Normablauf repräsentiert.

Das implementierte Modell abstrahiert den Arbeitsprozess als deterministischen endlichen Automaten. Einzelne Zustände des Automaten stellen dabei auszuführende Arbeitsschritte dar. Transitionen dienen der Erkennung des Abschlusses eines Arbeitsschrittes und der Abfrage von detektierbaren Fehlerzuständen. Um den aktuellen Zustand zu bestimmen, werden verschiedene Aspekte des Arbeitsablaufs beobachtet. Die 2D-Objekterkennung liefert zu allen bekannten und dem Arbeitsablauf zugeordneten Objekten deren Position und Orientierung auf dem Tisch. Zusätzlich stellt sie zu manchen Objekten weitere Informationen zur Verfügung, wie z. B. bei einer Kiste deren Öffnungszustand. Aus diesen Informationen und unter der Voraussetzung eines bekannten Anfangszustandes der Anlage, welcher durch den definierten Normablauf gegeben ist, kann in den meisten Fällen auf die erfolgreiche Beendigung eines Arbeitsschrittes geschlossen werden.

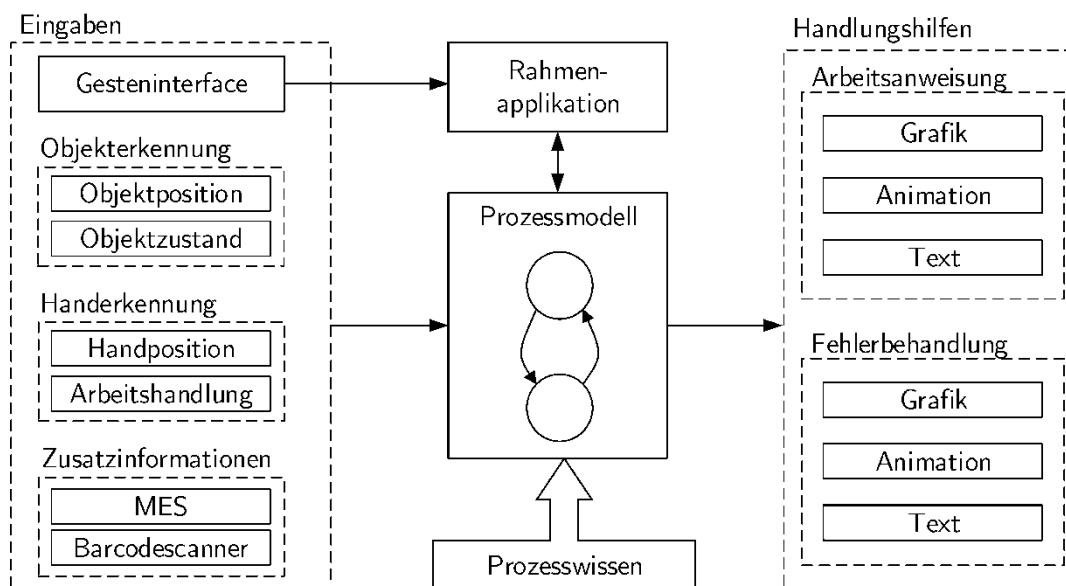


Abbildung 2.2: Einflussfaktoren auf das Prozessmodell sowie die daraus resultierenden Ausgaben

Wo dies aufgrund der Komplexität eines Teilprozesses nicht möglich ist oder eine Unterscheidung zwischen zwei möglichen Folgeschritten nicht vom System getroffen werden kann, wird der Beschäftigte über die interaktive Benutzerschnittstelle zu einer Eingabe aufgefordert. Bei manchen Prozessen ist es zudem möglich, weitere spezifische Informationen als Transitionsbedingungen zu nutzen, wie z. B. die Ausgabewerte zusätzlich benötigter Peripheriegeräte oder die Kommunikation mit einem übergelagerten Fertigungsmanagementsystem.

Der Zustand bzw. Zustandsübergänge des Automaten steuern das System. Eingangsaktionen der einzelnen Zustände werden benutzt, um einmalige Aktionen auszulösen. Solche Aktionen

sind zum Beispiel die Änderung der angezeigten Hinweise und Grafiken oder die Kommunikation mit einem übergeordneten MES. Eingabeaktionen dienen Steuerungsaufgaben, die während einem Arbeitsschritt durchgehend ausgeführt werden müssen, beispielsweise das Nachführen einer grafischen Markierung auf einem Objekt. Eine prinzipielle Darstellung der beschriebenen Einflussfaktoren ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

3 Anwendungsfall: Inspektion und Kommissionierung von Produktionsgütern

Die Anwendung des beschriebenen Arbeitsplatzkonzepts erfolgt auf einen Verpackungsprozess mit abschließender optischer Kontrolle der Produkte durch den Mitarbeiter. Beispieldhaft für am Prozess beteiligte Objekte ist in Abbildung 3.1 die Versandverpackung zu sehen, in welche die Produkte transferiert werden. Diese kann in den Positionen *Oben*, *Seite* und *Front* sowie den Zuständen *geöffnet* und *geschlossen* sowie *mit Etikett* und *ohne Etikett* vorhanden sein. Der Deckel der Box stellt, wenn diese geöffnet ist, ein eigenständiges Objekt dar.

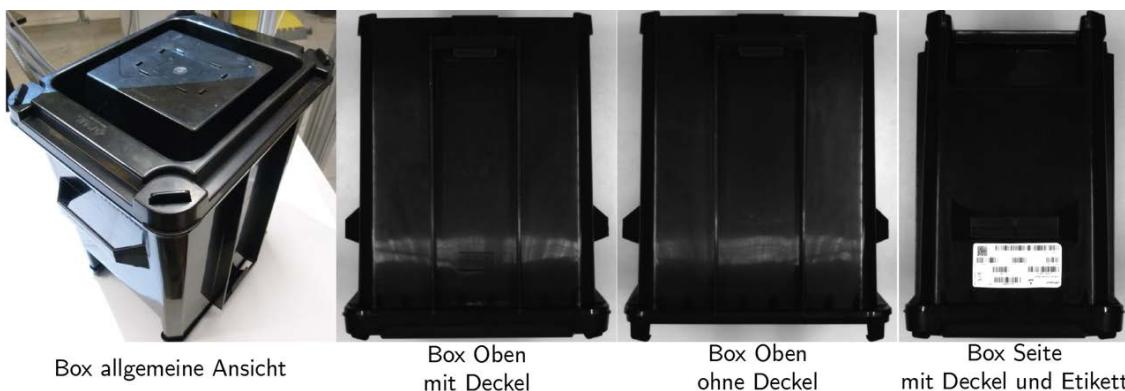


Abbildung 3.1: Exemplarische Positionen und Zustände der Versandverpackung

Der Ablauf des Arbeitsprozesses besitzt 20 Schritte und deckt 12 zusätzlich mögliche Fehlerfälle ab. Die vom System zu erfüllenden Aufgaben sind (I) die Ausgabe von In-situ-Handlungshilfen, (II) die Inline-Qualitätskontrolle und (III) die Fehlerkommunikation.

(I) Dem Arbeiter wird textuell, grafisch oder als Animation mitgeteilt, welcher Arbeitsschritt als Nächstes durchzuführen ist. Abbildung 3.2 zeigt Standbilder einer solchen Animation. Im dargestellten Arbeitsschritt werden die bereits erwähnten Etiketten ausgedruckt und müssen vom Operator auf die Versandverpackung aufgeklebt werden. Zusätzlich zur Einblendung der Animation wird dem Arbeiter die Klebeposition mit einem direkt auf die Box projizierten, farbigen Rechteck angezeigt. Die Markierung folgt der Box bei Verdrehungen oder Positionsänderungen dynamisch, um eine fehlerhafte Positionierung zu vermeiden.

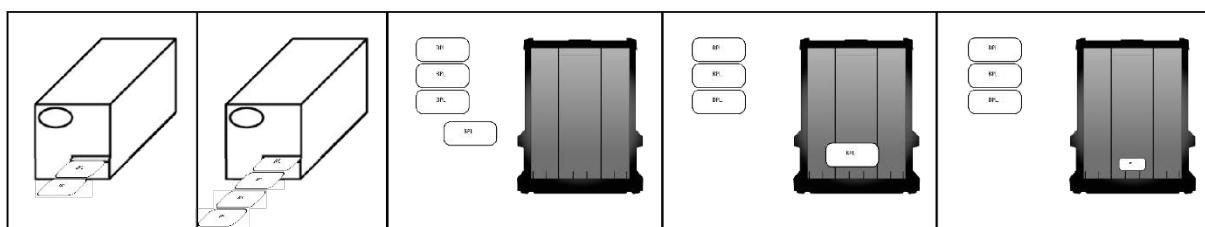


Abbildung 3.2: Animationsstandbilder zum Aufkleben eines Etiketts auf die Versandverpackung

(II) Bestimmte qualitätskritische Parameter des Arbeitsprozesses werden ebenfalls durch das System überwacht. In den meisten Fällen wird dies durch die Benutzung passender Transitionsbedingungen realisiert. Zu dem vorher genannten Beispiel, in welchem ein Etikett auf die Verpackung aufgebracht wird, ist die Bedingung für Transition ein Erkennen des aufgeklebten Etiketts. Somit wird effektiv verhindert, dass der Arbeiter das Aufbringen des Etiketts vergisst, da er erst nach der erfolgten Arbeitshandlung mit dem Prozess fortfahren kann.

(III) Für den Fall, dass bei der vom Arbeiter durchgeführten optischen Kontrolle ein Problem, wie z.B. Flecken oder Kratzer, festgestellt werden, ist eine Nacharbeit des Produktes nötig. Das System ersetzt die hierfür bisher benötigten Formulare in Papierform, auf welchen die Art und Position des Fehlers spezifiziert werden, durch die Einblendung einer entsprechenden grafischen Oberfläche in der Nutzerschnittstelle. Es wird so eine weitere Fehlerquelle beseitigt und der Gedanke einer papierlosen Fertigung unterstützt.

4 Evaluation der Robustheit der gestenbasierten Nutzerschnittstelle

Eine möglichst hohe Erkennungsrate der benutzten Gesten ist entscheidend zur Bedienbarkeit des Systems und zur Verringerung der Produktionsfehlerrate; eine Evaluation ist erforderlich.

4.1 Methodik zur Bestimmung der Erkennungsrate der genutzten Gesten

Für die Überprüfung wurden mit sieben Testpersonen jeweils mindestens zwei Testläufe durchgeführt; insgesamt ergaben sich 26 Testläufe. Die Testgruppe setzt sich einerseits aus Entwicklern sowie andererseits aus Führungskräften und Arbeitern, welche beide mit der Bedienung des Systems nicht vertraut sind, zusammen. Ein Testlauf beinhaltet jeweils eine komplette Durchführung des Prozesses. Im vorher beschriebenen Anwendungsfall sind zwei verschiedene Gesten zur Bedienung der Anlage erforderlich (Abbildung 4.1: Tipp-, Wischgeste). Zusätzlich wird das Einlegen eines Trockenmittels in die Versandverpackung überwacht (siehe Abbildung 4.1). Dies geschieht über die Verfolgung der Handposition und wird ausgelöst, wenn die Hand die Verpackung erreicht, nachdem sie zuvor beim Trockenmittelvorrat war.

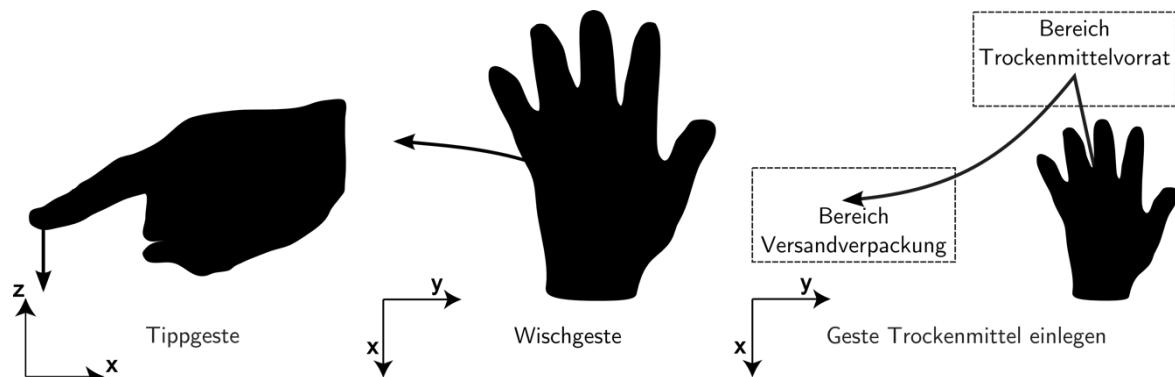


Abbildung 4.1: Tippgeste (Seitenansicht), Wischgeste und Geste Trockenmittel einlegen (Draufsicht)

4.2 Bewertung der Industrietauglichkeit sowie Rückschluss auf die Produktqualität

Wie in Tabelle 4.1 zu sehen ist, ist die Erkennungsrate der Gesten sehr hoch. Die Wischgeste, welche benutzt wird, um das Menü zu öffnen, erreicht mit 96,0 % das schlechteste Ergebnis. Die Erkennungsrate der Tippgeste ist jedoch weitaus kritischer für den Ablauf, da diese für die meisten Eingaben des Arbeiters genutzt wird. Mit nur 2,1 % Fehldetektion wurde hier ein praxistauglicher Wert erzielt. Das Einlegen des Trockenmittels in die Versandverpackung wurde

in allen Fällen korrekt detektiert. Dies ist von hoher Wichtigkeit, da es sich hierbei um einen für die Qualität des Produkts signifikanten Arbeitsschritt handelt. Falsch positive Erkennungen der Gesten traten während der Tests in keinem Fall auf.

Tabelle 4.1: Gestenerkennungsrate und Gestenvorkommen im vorgestellten Anwendungsfall

Aktion	Erkannt	Nicht erkannt	Erkennungsrate	Gestenhäufigkeit
Wischen	25	1	96,0 %	6,9 %
Tipp	320	7	97,9 %	86,3 %
Trockenmittel	26	0	100,0 %	6,9 %

5 Evaluation des Gesamtaufbaus Smart Workbench in einem Technologieunternehmen
Das Ziel der Untersuchung ist die Verbesserung der Mensch-Technik-Interaktion am Arbeitsplatz. Mit dem Feedback der qualitativen Evaluation können nutzerzentrierte Technologien zur Produktionsverbesserung geschaffen werden. Die Erhebung ist somit im Rahmen einer partizipativen Technikentwicklung zu sehen. Die theoretische Grundlage der Studie ist das Technology Acceptance Modell von Davis [9]. Nachfolgend werden die Befragungsergebnisse und der Versuch einer Generalisierung auf technische Unterstützungssysteme vorgestellt.

5.1 Methodik der durchgeführten empirischen Studie

Bei der Datenerhebung wurde vom Forschungsdesign einer Evaluationsstudie ausgegangen. Hierbei fand vor, während und nach der Einführung der Technik eine sozialwissenschaftliche Befragung statt [10]. Die Teilnahme an der Befragung war freiwillig; von den fünf der Untersuchungseinheit angehörigen Operatorinnen haben sich vier, von den drei Schichtleitern der Abteilung zwei zur Verfügung gestellt. Die Datenerhebung mit sechs Testpersonen (vier Operatorinnen und zwei Schichtleiter) (siehe Tabelle 5.1) wurde vom IST begleitet. Damit wird die Perspektive der Anwender wie auch der Verantwortlichen in den Fokus genommen. Zum Einsatz kamen die Erhebungsmethoden leitfadengestütztes, persönlich-mündliches Interview (A), Beobachtung (B) und schriftlicher Fragebogen (C). Es wurden die Einstellung gegenüber der Smart Workbench, dessen Nutzerfreundlichkeit, ein Abgleich mit dem Unterstützungswunsch der Arbeiter sowie die Vorgehensweise bei der Technikimplementierung untersucht. Die Entwicklungs- und Implementierungsbegleitung ist an den Leitfaden Usability [11] angelehnt.

Tabelle 5.1: Aufbau, Ablauf und Umfang der Erhebung

Instrument	Interview (A)		Beobachtung (B)		Fragebogen (C)
	Zeit	1 Woche vor Einführung	Bei Einführung	Nach Einführung	
Teilnehmer (TN)	3 Operatoren (TN 1,2,3)	2 Schichtleiter (TN 5,6)	3 Operatoren (TN 2,3,4)	3 Operatoren (TN 2,3,4)	
Alter	40+	40+	40+	40+	
Geschlecht	W	M	W	W	
Erfahrung Tätigkeit	~ 6 Jahre	~ 1&4 Jahre	~ 6 Jahre	~ 6 Jahre	
Verantwortung	-	~ 20 Mitarbeiter	-	-	
Erfahr. Automatisierung	Nein	Ja	Nein	Nein	

5.2 Analyse der Daten hinsichtlich Usability und Bedienerakzeptanz

In diesem Abschnitt wird die Nutzerfreundlichkeit und Akzeptanz der Technologie analysiert. Tabelle 5.2 zeigt Auszüge aus den Bedienerinterviews. Gebildet wurden die Kategorien subjektiver *Nutzen* des Systems, Wünsche bzw. *Bedenken*, *Fragen* bezüglich der neuen Technologie sowie die Vorgehensweise bei der Technikimplementierung (*Implem.*).

Tabelle 5.2: Analyse der Interviews mit drei Operatorinnen und zwei Schichtleitern (A)

[Tabelle 5.2, Tabelle 5.3 und Tabelle 5.4 enthalten exemplarische Aussagen von allen TN]

Nr.	Äußerung/Beobachtung (Operatorinnen)	Interpretation/Grund	Kategorie
1	„Wenn man halt schon wüsste, was es kann...“	Informationslücke	Nutzen
2	„..., wenn man vielleicht mal eingewiesen wird.“	Unmut Firmenpolitik	Nutzen
3	„Wo automatisiert wird, werden Leute abgebaut.“	Angst um Arbeitsplatz	Bedenken
4	„...ich befürchte, dass die Arbeit langsamer wird.“	Angst um Arbeitsplatz	Bedenken
5	„Normalerweise sollten alle einbezogen werden.“	Unmut Entwicklung	Implem.
6	„Ideen konnten wir nicht mit einbringen.“	Unmut Entwicklung	Implem.
7	„Erklären aller Abläufe und wie das gehen soll.“	Anregung	Implem.
8	„Ich weiß nicht, was verbessert wird.“	Informationslücke	Fragen
Nr.	Äußerung/Beobachtung (Schichtleiter)	Interpretation/Grund	Kategorie
1	„Es muss eine Gewöhnung geben.“	Erfahrung	Bedenken
2	„... muss in Köpfe eindringen ... Hilfestellung.“	Erfahrung	Bedenken
3	„Man muss explizit auf den Menschen eingehen.“	Fehlerpotential	Implem.
4	„...Schulungen, Einweisungen, Ansprechpartner...“	Fehlerpotential	Implem.
5	„Man muss alle schulen: Wartung, Nutzer, Leitung.“	Unmut Firmenpolitik	Implem.

Es ist ersichtlich, dass einerseits eine Informationslücke und eine Nichteinbeziehung der Stakeholder stattfand (Tabelle 5.2). Andererseits erkennen die Schichtleiter das Potential der Anlage, fordern allerdings eine umfangreiche Technologieeinführung (Tabelle 5.2).

Tabelle 5.3: Exempl. Beobachtungen und Äußerungen bei der Technologieeinführung (B)

Nr.	Situation/Tätigkeit	Äußerung / Beobachtung	(+ o -)	Kategorie
1	Objektpositionierung	Falsche Objekte → kein Hinweis	(o)	Nutzen
2	Oberflächen-Inspektion	Fehler werden nicht erkannt	(-)	Nutzen
3	Protokoll beilegen	Verwunderung automatischer Druck	(+)	Nutzen
4	Objektpositionierung	„Es muss immer exakt drin liegen.“	(-)	Nutzen
5	Fehlererkennung	„Er erkennt zu wenige Fehler.“	(-)	Nutzen
6	Prozesshinweise	Verkomplizierung der Arbeit	(-)	Nutzen
7	Wiederholtes Prüfen	„Da wirst du nicht fertig.“	(-)	Tauglichkeit
8	Gestensteuerung	„... kein Gefühl für die Steuerung.“	(o)	Tauglichkeit
9	Prozessreihenfolge	„Wir machen das andersherum.“	(-)	Nutzerfreu.
10	Prozesshinweise	„... ungewohnt, so viel zu lesen.“	(o)	Nutzerfreu.
11	Wiederholtes Bestätigen	„Ständiges Bestätigen nervt!“	(-)	Nutzerfreu.

Tabelle 5.3 zeigt die Analyse der erhobenen Daten bezüglich Usability. Die Kategorien gefühlter *Nutzen* der Technologie, *Tauglichkeit* für die Tätigkeit und Nutzerfreundlichkeit (*Nutzerfreu.*) wurden gebildet; in diesen bewerteten die TN das System positiv (+), neutral (o) oder

negativ (-). Es wird ersichtlich, dass die Bediener beim Kontakt mit der Anlage verbal oder über Gestik/Mimik vorwiegend negatives Feedback bzw. Änderungsvorschläge geäußert haben.

5.3 Analyse der Benutzerbedürfnisse an technische Unterstützungssysteme

Nachfolgend werden vor allem die Bewertung des Arbeitsumfeldes und Äußerungen zu gewünschter Arbeitsunterstützung vorgestellt (siehe Tabelle 5.4). Insbesondere die Assistenz bei motorischen Aufgaben wird gefordert. Das Hauptanwendungsbereich der Smart Workbench – die in-situ Anleitung mit Inline-Qualitätskontrolle – wurde als weniger wichtig empfunden.

Tabelle 5.4: Unterstützungswunsch bei Kommissionier- und Inspektionsaufgaben (A,B,C)

Nr.	Tätigkeit	Geäußerter Unterstützungs- bzw. Verbesserungswunsch
1	Allgemein	Personalisierte Benutzerprofile, Optimierung der Hardware-Verfügbarkeit
2	Allgemein	Arbeitsplatz erkennt automatisch, welches Teil gerade angeliefert wird
3	Allgemein	Weniger Variantenvielfalt → Einheitlichkeit, vereinfachte Beschaffung
4	Prüfen	„Nach längerem Sitzen schmerzt der Rücken“ → bessere Ergonomie
5	Prüfen	Barcodes automatisch scannen und Informationen übermitteln
6	Inspektion	Ergonomische Vergrößerung zur einfacheren Sichtkontrolle
7	Inspektion	Visumotorische Inspektion von Markierungen mit Mikroskop
8	Handling	Automatischer An- und Abtransport von zu inspizierenden Teilen
9	Handling	Positionierung der zu inspizierenden Teile in ergonomischer Lage
10	Handling	Wiederholte nicht ergonomische Verpackung → Handling-Unterstützung

5.4 Erkenntnisse für die Smart Workbench und andere Unterstützungssysteme

Zusammenfassend ist zu sagen, dass hinsichtlich Mitarbeiterbegleitung ein Schritt in Richtung menschzentrierter Produkteinführung gelungen ist. Zum normgerechten Anlagendesign gab es kaum Rückmeldung. In zukünftigen Vorhaben ist geplant, die soziotechnische Verzahnung weiter zu verstärken, z. B. durch noch frühzeitigeres Einbeziehen der Stakeholder und Abgleichen der Nutzerbedürfnisse mit den Systemfähigkeiten. Grundsätzlich ist festzustellen, dass Arbeiter bei ihren täglichen Tätigkeiten viele Verbesserungsvorschläge haben, die für die Anpassung der Technik genutzt werden können. Es ist daher sinnvoll, alle Beteiligten so frühzeitig und oft wie möglich einzubinden. Bereits häufiges Informieren wird vermutlich zu einer deutlichen Steigerung der Bedienerakzeptanz führen. Testläufe bei Arbeitern mit anderer Tätigkeit, z. B. Montage, könnten weitere aufschlussreiche Ergebnisse erzielen. Zusätzlich zur sozialwissenschaftlichen Begleitung ist auch umfassender technischer Support notwendig: Handbücher, Anweisungen, Schulungen, Ansprechpartner und die kontinuierliche Möglichkeit Feedback zu geben. Ohne Mitarbeiterbegleitung und Support wird auch eine gute Anlage schlecht angenommen. Somit wird das Potential der Mensch-Technik-Kooperation zur Erhöhung der Bedienerleistung und folglich zur Produktionssteigerung nicht ausgeschöpft. Die Benutzerakzeptanz ist also für die Einführung einer Innovation in der Produktion essentiell.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Vorliegender Artikel zeigt die Motivation, Umsetzung und Evaluation eines Prototyps zur contextsensitiven Arbeiterassistenz. Fokussiert werden die Robustheit der Interaktion, die Nutzerfreundlichkeit und -akzeptanz im beschriebenen Realumfeld sowie die Erkenntnisse für Anlagenentwicklung und -einführung. Diese Ergebnisse stellen den wesentlichen Beitrag zum Stand

der Wissenschaft dar. Durch die Bereitstellung von kontextsensitiver Arbeiterunterstützung ist eine Qualitätssteigerung der Produkte möglich. Mithilfe der kontinuierlichen Fortschrittsbeobachtung können Abweichungen frühzeitig erkannt und somit Produktionsfehler präventiv vermieden werden. Der Systemeinfluss auf die kognitive Last des Nutzers ist noch zu prüfen (vgl. [12]). Bei den Evaluationen wurden Operatorinnen und direkte Führungskräfte (Schichtleiter) befragt und beobachtet. Aufgrund des Prototypenstatus sind höhere Führungsebenen ohnehin involviert; das Wartungspersonal wurde deswegen noch nicht miteinbezogen. Kapitel 4 zeigt, dass der qualitätskritische Prozessschritt *Trockenmittel einlegen* durchgehend korrekt erkannt wird. Der Einfluss auf die Produktionsfehlerrate war im Bearbeitungszeitraum jedoch nicht bestimmbar, da bereits 0,001 % Rate erreicht wird und somit ein Beobachtungszeitraum über Jahre hinweg notwendig wäre. Die Benutzung der gestenbasierten Benutzerschnittstelle ist responsiv und für die industrielle Nutzung geeignet. Hinsichtlich Nutzerakzeptanz zeigt dieser Artikel einen ersten Schritt in Richtung partizipative Technikentwicklung bzw. menschenzentriertes Systemdesign und Produktion auf. Eine verstärkte Einbeziehung der Stakeholder wird in Zukunft vorgenommen, damit Technologien mit einer noch besseren Resonanz in der Industrie implementiert werden können. Die Autoren sind der Meinung, dass dies zu einer weiteren Verbesserung der Leistung der Arbeiter und somit zu einer Verbesserung der Produktion führen wird. Die gewonnenen Ergebnisse werden außerdem in weiteren Projekten genutzt, in welchen die Akzeptanz einer Assistenz durch Roboter untersucht wird.

7 Literatur

- [1] V. Jauch: Positionserkennung von Werkzeugen in der Montage. In: ATZproduktion 5 2, S. 110-15, 2012.
- [2] OPS Solutions LLC: Light Guide Systems. URL: www.ops-solutions.com, 2016.
- [3] OPTIMUM GmbH: Der Schlaue Klaus. URL: www.optimum-gmbh.de, 2016.
- [4] Bedrunka+Hirth GmbH: Arbeitsplatz 4.0. URL: www.bedrunka-hirth.de, 2016.
- [5] S. Stork, A. Schubö: Human cognition in manual assembly: Theories and applications. In: Advanced Engineering Informatics 24 3, S. 320-28, 2010.
- [6] C. Peters, T. Hermann, S. Wachsmuth, J. Hoey: Automatic Task Assistance for People with Cognitive Disabilities in Brushing Teeth - A User Study with the TEBRA System. In: ACM Trans. Access. Comput. 5 4, S. 1-34, 2014.
- [7] S. Büttner, M. Funk, O. Sand, C. Röcker: Using Head-Mounted Displays and In-Situ Projection for Assistive Systems-A Comparison: Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, 2016.
- [8] A. Bächler, T. Hörz, G. Krüll, S. Authenrieth, L. Bächler, T. Heidenreich, P. Kurtz: Assistenzsysteme für manuelle Industrieprozesse: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, 2014.
- [9] F. D. Davis: Massachusetts Institute of Technology: A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems. Theory and results, 1986.
- [10] R. Stockmann, W. Meyer: Evaluation: eine Einführung. Opladen u.a., 2014.
- [11] Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH: Leitfaden Usability, Guideline. Berlin, 2010.
- [12] J. Höcherl, T. Schlegl, T. Berlehner, H. Kuhn, B. Wrede: Smart Workbench: To-ward Adaptive and Transparent User Assistance in Industrial Human-Robot Applications: 47th International Symposium on Robotics (ISR 2016). Munich, Germany, 2016.

Assistive Sicherheitstechniken in der geriatrischen Pflege

Konfigurerende Logiken bei partizipativer Technikentwicklung

J. Hergesell, A. Maibaum

Technische Universität Berlin

Fraunhoferstr. 33-36, 10587 Berlin

jannis.hergesell@innovation.tu-berlin.de, arne.maibaum@innovation.tu-berlin.de

Kurzzusammenfassung

Assistiven Sicherheitstechniken wird das Potential zur Lösung für die mit dem demographischen Wandel assoziierten Herausforderungen der geriatrischen Pflege zugeschrieben. Allerdings besteht eine Diskrepanz zwischen postuliertem Nutzen und dem tatsächlichen Einsatz im Pflegealltag. Am Beispiel von Sicherheitsassistenzten in der Pflege wird gezeigt, dass Pflegetechnik durch eine mangelnde Integration der verschiedenen Wahrnehmungs- und Deutungsmuster der involvierten Akteursgruppierungen bei der Technikimplementierung hinter ihrem Potential zurückbleibt oder abgelehnt wird. Der Artikel empfiehlt die Ergänzung bisheriger Ansätze der partizipativen Technikentwicklung um formationsspezifische und historisch gewachsene Wahrnehmungs- und Deutungsmuster, um einer Dominanz der inhärent in die Techniknutzung eingeschriebenen ökonomischen Logiken entgegenzuwirken.

Abstract

“Assistive safety technologies in geriatric care - Strategic interests and side effects”

Assistive safety technologies are frequently regarded as a potential solution for problems associated with demographic changes in the context of geriatric care. However, there is a discrepancy between the postulated benefits and their actual use in everyday care practices. Using the example of safety assistants in care, this article demonstrates that care technology falls short of fulfilling its potential or is even rejected, if the different perceptive and interpretative patterns of the involved actors are insufficiently integrated. The article recommends that previous approaches of participatory technology development should be complemented with a formation-specific and historically grown perception and interpretation patterns in order to counterbalance the predominance of the economic rationalities inherently inscribed in the use of such technologies.

Keywords: Assistive Sicherheitstechnik, Pflege, partizipative Technikentwicklung, Demenz, Lebensqualität

1 Technische Assistenzsysteme in der Pflege

Technische Assistenzsysteme verbreiten sich gegenwärtig im gesamten Gesundheitssektor, dies gilt besonders für die geriatrische Pflege. Für die mit dem demographischen Wandel assoziierten Herausforderungen der Pflege wie Personalmangel (Pflegenotstand), wachsende Anzahl an Pflegebedürftigen, mangelnde Qualität der Versorgung, Überbelastung der professionell Pflegenden und pflegenden Angehörigen sowie die langfristige Finanzierbarkeit von Pflege

[1, 2, 3] postulieren sowohl gesundheitspolitische Akteure und Kostenträger wie auch Interessenvertreter von Pflegenden, Gepflegten sowie Angehörigen technische Assistenzsysteme als Lösungsstrategien. Technische Assistenzsysteme sollen „[...] nach Beschreibung der Technikentwickler die Lebensqualität der Pflegebedürftigen verbessern sowie die Arbeit der Pflegekräfte erleichtern und damit die Effizienz und Effektivität von Pflegeleistungen erhöhen.“ [4]

Den hauptsächlichen positiven Zuschreibungen von Pflegetechnik und der prinzipiellen technischen Machbarkeit von technisch assistierter Pflege stehen im auffallendem Kontrast die geringe Verbreitung von Assistenzsystemen im Pflegealltag sowie die ablehnende Haltung von Teilen der Pflegenden und Gepflegten gegenüber. Neben der bloßen Unkenntnis bezüglich der technischen Lösungen von Pflegeproblemen wird eine Technisierung der Pflege oft wegen diffuser Ängste vor „Entmenschlichung“ der Pflege oder des Ersatzes qualifizierter Pflegender durch Assistenzsystemen abgelehnt bzw. kritisiert.

Mit verschiedenen Methoden wird versucht, einer dysfunktionalen und einseitigen Implementierung von Technik entgegenzuwirken. Ansätze für eine integrativer Technologie bieten zum Beispiel die partizipative Technikentwicklung [5] oder das „constructive technology assessment“ [6]. Als Antagonisten in der Technikentwicklung werden üblicherweise die Pole „Entwickler“ und „Anwender“ gesehen. Das Ziel der Entwickler ist es, die Technik zu implementieren, während die Anwender und die Nutzer mehr Empfänger der Technik sind. Vermittelt werden muss deshalb die „[...] Diskrepanz zwischen den von Entwicklern antizipierten Nutzen und der tatsächlichen Lebenswirklichkeit der Anwender.“ [2]. Wenn dies gelingt, steht am Ende des Prozesses „nützliche“ Technik. Gerade im Bereich der (geriatrischen) Pflege gibt es Projekte, die versuchen, diesen Plan umzusetzen und Assistenzsysteme nicht als Entwicklung des technisch Machbaren, sondern des sozial Erwünschten zu konzipieren [7]. Zur Überwindung der Kluft zwischen Anwendern und Entwicklern erfolgt hierbei zuerst eine dezidierte Bedarfsanalyse aller beteiligten Parteien. Auf Grundlage der Befunde der Analyse soll die Technik bedarfs- und wunschgerecht gestaltet werden. Hierzu dienen zum Beispiel Szenarien [7] oder Workshops mit den Entwicklern und Anwendern [8].

Als Problem stellt sich hier oft schon die unklare Anwender- bzw. Nutzerkonzeption dar. Besonders bei Technik, die in der Interaktion zwischen Pflegenden und Gepflegten situiert ist, greift eine Fokussierung auf den Gepflegten als Anwender zu kurz. Zudem zeigt sich, dass gerade im geriatrischen Bereich die potentiellen Nutzer nicht auf die antizipierte Weise partizipieren können. Nahezu unmöglich ist eine angemessene Nutzerbeteiligung im Falle dementiell erkrankter Pflegebedürftiger [9]. Im Zuge des akuten Ressourcenmangels und des prognostizierten Anstiegs demenzieller Erkrankungen [10] werden gerade die Entwicklung und der Einsatz in der Pflege von Menschen mit Demenz forciert.

Schwerer wirkt aber noch die mangelnde Integration verschiedener Logiken der beteiligten Akteure. Um technische Assistenzsysteme für die geriatrische Pflege für alle Beteiligten zufrieden- und gewinnbringend entwickeln und einsetzen zu können, müssen die Perspektiven aller Akteure und die komplexen sozialen Dimensionen von technischen Assistenzsystemen berücksichtigt werden. Neben den gewünschten Effekten verändern sich Identitäts- und Rollenauffassungen sowie Interaktionsordnungen von Pflegenden, Gepflegten und Angehörigen sowie gesamtgesellschaftliche Auffassungen von Alter(n) und kompetenter, ethisch vertretbarer Pflege. Hierbei kommt es vor allem zu Konflikten zwischen Akteuren, welche an einer an ökonomischen Logiken orientierten Effizienzsteigerung durch Pflegetechnik interessiert sind und Akteuren, welche durch Pflegetechnik pflegeimmanente Werte wie psychosoziale Betreuung und qualifizierte

Pflege unterstützt sehen wollen bzw. eine Gefährdung dieser Werte durch Technikimplementierung befürchten. Der sozialwissenschaftliche Forschungsstand zu den sozialen Dimensionen von Assistenztechniken ist allerdings bisher wenig ausdifferenziert. Im Folgenden wird auf die in der Technikentwicklung kollidierenden Wahrnehmungs- und Deutungsmuster hingewiesen und aufgezeigt, wie deren Aushandlung stattfindet und welche Auswirkungen der Einsatz von Assistenztechniken auf die sozialen Strukturen der Pflege entwickeln können.

2 Empirie: Problemwahrnehmungen und konfigurerende Interessen im Pflegealltag

Die verwendeten empirischen Beispiele sind Auszüge aus drei komparativen Fallstudien. Die Fallauswahl wurde auf assistive Sicherheitstechniken in der Pflege von demenziell erkrankten Menschen eingeschränkt. Hiermit sind Assistenztechniken gemeint, welche der unmittelbaren physischen Sicherheit von Menschen mit Demenz dienen sollen, auf Basis von Informations- und Kommunikationstechnologien (KIT) funktionieren und (hauptsächlich) von den Pflegenden genutzt/gesteuert werden (passive Nutzung der Gepflegten) [11, 12].

Bei den eingesetzten Sicherheitstechniken handelte es sich um 1) den sogenannten „Chip im Schuh“, welcher im Falle des Verlassens der Einrichtung die Pflegenden mittels eines akustischen Warntons alarmiert 2) ein sensorbasiertes Assistenzsystem, welches anhand von Bewegungssensoren dem Pflegepersonal durch Benachrichtigung auf einen Pieper oder ein Smartphone Auskunft über Bewegungen und potentielle Risiken der Gepflegten gibt sowie einen tragbaren GPS-Tracker zur Ortung von Gepflegten, welche das Gelände der Einrichtung verlassen und 3) den Hausnotruf bzw. die Kooperation zwischen einem ambulanten Pflegedienst und dem Personal des Hausnotrufs, welche durch ein Hausnotrufgerät (und modulare Erweiterungen wie Feuer-, Wasser- und Gasmelder oder Tür-, Fenster- und Sturzdetektoren) und einem am Körper getragenen Notrufknopf in Kontakt mit den Gepflegten treten. Statt die Akteure in ihrer nominellen Rolle zu sehen, wurden induktiv aus dem Feld heraus sechs Akteursgruppierungen identifiziert, welche im Kontext von technischen Assistenztechniken in Hinblick auf die grundsätzliche Entscheidung zur Implementierung und der konkreten Anwendung im Pflegealltag relevant sind: Pflegedienstleistungen, professionell Pflegende, Gepflegte, Angehörige und soziales Umfeld, Technikentwickler und -anbieter sowie sozial- und gesundheitspolitische Akteure sowie Kostenträger. Diese Akteursgruppierungen wurden mittels strukturierter Leitfadeninterviews, fokussiert-ethnographischen Beobachtungen und prozessproduzierter Daten untersucht. Die Attribute, welche den assistiven Sicherheitstechniken zugeschrieben werden bzw. für welche Problemlagen sie eine Lösung darstellen sollen, sind vornehmlich persuasiv-positive Konnotationen. Generell lässt sich feststellen, dass die Implementierung von Pflegetechnik mit der Steigerung von Effizienz (Kostenreduktion und Prozessoptimierung) sowie der Lebensqualität von Gepflegten (Autonomiezuwachs und gesteigerte Sicherheit) als auch der formell und informell Pflegenden (Vermeidung von Fehleinsätzen, Entlastung von Kontrollaufgaben sowie emotionaler Belastung und mehr Zeit für Arbeit am Patienten) beworben und assoziiert wird. Diese mit der Pflegetechnik verbundenen Lösungsstrategien scheinen auf den ersten Blick für alle Akteursgruppierungen vorteilhaft und wenig konfliktbehaftet. Offenbar werden alle Interessen der an der Pflege beteiligten Akteursgruppierungen berücksichtigt, so dass die Implementierung der Assistenztechniken eine ausschließlich produktive Wirkung entfalten müsste. Genau an diesem Punkt jedoch zeigt sich der Mehrwert einer sozialwissenschaftlichen Analyse der konkreten, inhärent in die Technik eingeschriebenen Vorstellungen von „guter Pflege“ sowie von nicht in-

tendierten Effekten der Techniknutzung. Die Empirie zeigt, dass die heterogenen Sozialisationen der verschiedenen Akteursgruppierungen – teils antagonistische – Auffassungen von „guter“ Pflege bzw. der unscharfen und daher missverständlichen Begrifflichkeiten der Effizienz- und Lebensqualitätssteigerung zur Folge haben, welche sich aufgrund ihrer latenten Natur nicht (oder nur unzureichend) durch die bisherigen Ansätze der partizipativen Technikentwicklung erheben lassen.

Prinzipiell lassen sich zwei verschiedene Deutungs- und Wahrnehmungsmuster innerhalb der Akteurskonstellation identifizieren, welche die Problemstellungen, die durch Technikeinsatz gelöst werden sollen, unterschiedlich definieren und zu Unzufriedenheit oder gar einem Scheitern der Technikimplementierung führen können: Die Akteursgruppierungen der Entwickler und Anbieter von Pflegetechnik sowie die sozial- und gesundheitspolitischen Akteure als auch die Kostenträger sind Träger einer an ökonomischen Kriterien im Sinne einer Zweck-Mittel-Relation orientierten Logik der Effizienzsteigerung, während die Pflegenden, die Angehörigen sowie die Gepflegten pflegeimmanente Wahrnehmungs- und Deutungsmuster internalisiert haben. Die generell geteilten, anscheinend deckungsgleichen Problemwahrnehmungen der Akteursgruppierungen – welche sich als ein chronischer Mangel an zeitlichen, personalen und finanziellen Ressourcen in der Pflege subsummieren lassen – ziehen durch die unterschiedlichen Logiken verschiedene Auffassungen von Problemfokussierungen und angestrebten Lösungsstrategien nach sich.

Pflegeimmanente Wahrnehmungs- und Deutungsmuster umfassen einen solidarischen, humanistischen Anspruch an die Pflege demenziell erkrankter Menschen, welche fachlich-korrekte medizinische Versorgung ebenso umfasst wie qualifizierte psychosoziale Betreuung der Gepflegten. Aus dieser Perspektive heraus sollte die alltägliche Versorgung auf die individuellen Bedürfnisse der Gepflegten eingehen und über die bloße Grundversorgung der Gepflegten hinaus eine Gewährleistung von Lebensqualität im Sinne der Achtung der Würde der Gepflegten, einer größtmöglichen Aufrechterhaltung der Selbstständigkeit (Autonomie) der Gepflegten und einer Teilhabe an der Gesellschaft garantieren. Die Bedingungen zur Erfüllung dieser Ziele werden in der Bereitstellung von gut qualifizierten Fachkräften und einer Arbeitsorganisation, welche ausreichend zeitliche Ressourcen zur Verfügung stellt, gesehen.

Ökonomische Wahrnehmungs- und Deutungsmuster fokussieren dagegen die Finanzierbarkeit von Pflege, rechtliche Aspekte wie Kostenertattung oder Regularien zur Einhaltung von gesetzlichen Standards sowie die möglichst effektive Gestaltung der Arbeitsorganisation in einem betriebswirtschaftlichen Sinne. Fokussiert werden hier weniger die alltäglichen Pflegesituations, sprich die Wahrnehmung des Einzelfalls, sondern eher der ökonomische Umgang mit Ressourcen im Pflegebereich an sich, durch welchen die langfristige Versorgung pflegebedürftiger Menschen unter den Bedingungen des demographischen Wandels gewährleistet werden können. Erreicht werden sollen diese Ziele durch eine Effizienzsteigerung, also die möglichst effiziente Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen und der Kostenreduktion bzw. der Vermeidung von als nicht notwendig erachteten Pflegehandlungen.

Eine Beachtung der Differenz der Akteursgruppierungen und ihrer unterschiedlichen Wahrnehmungs- und Deutungsmuster findet in den aktuellen Technikentwicklungsprozessen nicht oder nur in einer unzureichenden Maße statt. Die Wirkkraft der unterschiedlichen Sozialisationen und der daraus resultierenden differenten Wahrnehmungs- und Deutungsmuster der Akteursgruppierungen in Hinsicht auf das Potential der wechselseitigen Fehlinterpretation darf nicht unterschätzt werden. Es handelt sich nicht nur um konkrete Fehlinformationen im Sinne einer

missglückten Bedarfsanalyse oder des Unvermögens, die Ziele von Techniknutzung zu kommunizieren, sondern um grundsätzlich unterschiedliche Auffassungen, Prioritäten und Ziele einer „technisierten Pflege“. Verkürzt bedeutet dies, dass die inhärent in die Technik eingeschriebenen Logiken seitens der Initiatoren, Entwickler und Anbieter von Assistenzsystemen nicht an die Normen und Werte der Anwender bzw. Nutzer im Pflegealltag anschlussfähig sind und daher abgelehnt oder als fehlkonzipiert wahrgenommen werden. Im Umkehrschluss bedeutet dies ebenso, dass die Pflegenden ihre Wünsche und Ziele bzw. von ihnen abgelehnte Folgen einer Technisierung im Entwicklungs- und Evaluationsprozess nicht nachvollziehbar artikulieren bzw. ihre Anforderungen nicht in der Form kommunizieren können, so dass die Entwickler und Anbieter der Pflegetechnik diese nicht ursächlich nachvollziehen und umsetzen können.

2.1 Verschiedene Perspektiven auf technisch assistierte Lebensqualität

Exemplarisch lassen sich diese Differenzen bei dem zentralen Aspekt der Schaffung und Erhaltung von Lebensqualität durch assistive Sicherheitstechniken zeigen. Der Begriff der Lebensqualität wird im Diskurs um technische Assistenzsysteme prominent genutzt. Pflegetechnik wird insgesamt ein großes Potential zugeschrieben, sowohl die Lebensqualität der Gepflegten als auch die der Pflegenden zu steigern.

Dass eine Steigerung von Lebensqualität prinzipiell begrüßenswert ist, steht für alle Akteursgruppierungen außer Frage. Ebenso kann als Konsens angesehen werden, dass die Steigerung von Lebensqualität durch Technik ermöglicht werden kann. Bei einer genaueren Analyse zeigt sich jedoch, dass Lebensqualität – in diesem Fall die Lebensqualität von Gepflegten und Pflegenden – mit unterschiedlichsten Bedeutungsinhalten gefüllt wird. Je nach Perspektive können dabei unterschiedliche Ideale und Handlungsvorschläge adressiert werden. Auf den ersten Blick verfolgen diese scheinbar das gemeinsame Ziel der Steigerung der Lebensqualität. Bei einer genaueren Betrachtung wird aber deutlich, dass unterschiedliche, teils sogar gegensätzliche Definitionen von Lebensqualität und deren Steigerung durch Pflegetechnik vorliegen:

Die an pflegeimmanenter Wahrnehmungs- und Deutungsmustern orientierten Akteursgruppierungen sehen die Lebensqualität von Gepflegten konstituiert durch individuelle, durch Pflegende ermöglichte Bedürfniserfüllung. Selbstbestimmung, also die Gestaltung des Alltags nach eigenen Kriterien, ist ebenso ein zentraler Indikator für die Lebensqualität der Gepflegten. Die Selbstbestimmung wird aus dieser Perspektive durch die Unterstützung von qualifiziertem Pflegekräften konzipiert, welche die krankheitsbedingten Defizite der Gepflegten kompensieren und durch eine gezielte psychosoziale Betreuung im Rahmen der Möglichkeiten die Kompetenzen der Erkrankten erhalten und fördern. Lebensqualität für die Gepflegten wird also durch eine qualitativ hochwertige, zeitintensive und primär psychosoziale Betreuung auf Basis einer genauen Betrachtung des Einzelfalls verstanden. Lebensqualität für Pflegende wird als eine Entlastung von nicht genuin pflegerischen Alltagsanforderungen wie der Kontrolle der physischen Sicherheit der Gepflegten, bürokratischer Verwaltung aber auch der Vermeidung von Überbelastung durch Personal- bzw. Zeitmangel gesehen. Immer wieder betonen die Pflegenden, dass sie ihre Arbeit als sinnstiftend und erfüllt wahrnehmen, wenn sie ihrem Anspruch an die eigene Arbeit gerecht werden können eine qualitativ hochwertige Betreuung der Gepflegten über die bloße materielle Versorgung und Aufsicht hinaus garantieren können. Pflegetechnik soll daher keine pflegerische Expertise ersetzen, sondern einen besseren Einsatz von individueller Betreuung ermöglichen und Freiräume schaffen, sich intensiv mit einzelnen Gepflegten befassen zu können. Die Technik soll nach diesen Vorstellungen also vor allem eine Assistenz

bei der Durchführung der pflegerischen Kernaufgaben der psychosozialen Betreuung darstellen und keineswegs pflegerische Expertise im Sinne einer Handlungsvorgabe ersetzen.

Die an ökonomischen Logiken orientierten Akteursgruppierungen assoziieren dagegen Lebensqualität eher mit einer insgesamt effizienten Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen. Für sie ist eine effiziente Durchführung der Pflege die Garantie für bzw. Ausgangspunkt zur Steigerung der Lebensqualität. Es ist festzustellen, dass Lebensqualität aus dieser Perspektive heraus ein wesentlich weniger scharf definierter Begriff ist und oft auch eher zur strategischen Legitimierung von Zielvorstellungen genutzt wird als dass sie ein zentrales Kriterium des eigenen Handelns ist. Die Lebensqualität von Gepflegten, besonders im Falle von Menschen mit Demenz, wird in der Schaffung von größtmöglicher Sicherheit – im Sinne des effizienten Schutzes vor physischen Verletzungen – gesehen. Selbstbestimmung und Autonomie sind auch bei dieser Akteursgruppierung zentrale Indikatoren von Lebensqualität, allerdings wird diese hier als eine möglichst große Unabhängigkeit von Pflege bzw. Pflegenden aufgefasst. Als Versorgungsform, welche die größtmögliche Autonomie garantiert, wird die ambulante Pflege mit möglichst wenig pflegerischer Intervention verstanden. Lebensqualität für die Pflegenden ist nach ökonomischen Wahrnehmungs- und Deutungsmustern die Entlastung von „unnötiger“ Pflege bzw. der Minimierung von Pflegeeinsätzen, welche keine grundpflegerische oder sicherheitskritische Implikation aufweisen. Die Entlastung von prekären Arbeitsbedingungen durch möglichst effiziente, standardisierte Arbeitsorganisation wird als zentrales Mittel zur Steigerung von Lebensqualität wahrgenommen. Dementsprechend soll mit Pflegetechnik erreicht werden, dass personalintensive Pflegeeinsätze reduziert und die Selbstbestimmung der Gepflegten sowie die Entlastung der Pflegenden gefördert wird. Dies wird anhand von in die Techniken eingeschriebenen standardisierten Funktionen ermöglicht, welche einen effizienten Einsatz der Pflegenden bewirken soll. So könnte z. B. durch die Reduktion von Kontrollgängen der Pflegenden in stationären Einrichtungen durch Überwachungstechnik eine Entlastung erfolgen. Darüber hinaus werden von ihnen Eigenschaften der Technik präferiert, welche über die konkrete Pflegesituation hinaus in einem größeren Kontext Pflegehandlungen effizienter gestalten und so zu einem allgemeinen Zuwachs an Lebensqualität für alle Beteiligten führen. Entsprechend den unterschiedlichen Auffassungen von Lebensqualität sind auch die Vorstellungen der durch die Technik zu erfüllenden Funktionen und Eigenschaften verschieden, auch wenn sie auf den ersten Blick als geteilte Zielvorstellungen erscheinen. Die geteilten Ziele und Vorstellungen und wie diese durch Technik erreicht werden können, differieren also bei einer detaillierten Betrachtung, was eine Implementierung von Pflegetechnik und einen Einsatz gemäß ihres prinzipiellen Potentials erschwert.

2.2 Beispiel 1: technische Assistenz während Nachtwachen

Wie sich diese nicht deckungsgleichen Vorstellungen im Pflegealltag auswirken, lässt sich an der Nutzung der Technik während der Nachtwachen illustrieren. Hier besteht das typische Problem, dass oft nur eine Pflegekraft für über zwanzig Gepflegte zuständig ist, welche darüber hinaus durch die Demenz einen verschobenen Tag-Nacht-Rhythmus aufweisen. Die Pflegekraft muss daher neben der regelmäßigen Kontrolle, ob sich alle Bewohner in ihren Zimmer aufhalten und nicht gestürzt bzw. wohlauf sind, noch psychosoziale Betreuung von desorientierten oder agitierten Bewohnern leisten. In der untersuchten Einrichtung wird ein sensorbasiertes Assistenzsystem eingesetzt, welches per Bewegungsmeldern der Pflegekraft mitteilt, wenn ein Bewohner aufgestanden ist oder das Zimmer verlässt – so sollen die Bewohner effizient gegen

Stürze geschützt, Störungen durch nächtliche Kontrollen vermieden und das Pflegepersonal von Unsicherheit und Kontrollgängen entlastet werden. Allerdings kontrollieren die Pflegekräfte weiterhin im (ständlichen) Rhythmus die Zimmer, da sie zum einen eine hohe Verantwortung für die Pflegenden wahrnehmen, die sie nicht hundertprozentig an das Assistenzsystem abgeben wollen, und zum anderen, da sie ihre Aufsichtstätigkeit nicht auf bloße Sicherheitsaspekte, in diesem Fall die Sturzvermeidung, reduzieren wollen. Das Assistenzsystem soll vor allem kritische Situationen melden, etwa wenn ein „gefährdeter“ Gepfleger sein Bett oder Zimmer verlassen hat, sprich ein „Sicherheitsrisiko“ im Sinne einer physischen Verletzung vorliegt. Die Pflegenden sehen aber auch etwaige Angst- oder Erregungszustände oder andere Bedürfnisse der Bewohner, welche diese durch ihre Erkrankungen nicht mehr verbal artikulieren können, als Implikation für eine psychosoziale Pflegemaßnahme an, auch wenn diese nicht durch das Assistenzsystem gemeldet werden. Diese Aufsichtsmaßnahmen werden von den Pflegenden auch nicht als „Störung“ im Sinne einer Verletzung der Autonomie interpretiert, sondern eher als pflegerische Maßnahme zur Bedürfniserfüllung.

Die Folge ist, dass das eigentliche Ziel des Assistenzsystems, die Kontrollgänge zu reduzieren und die Bewohner vor „unnötigen“ Störungen zu schützen, weder erreicht noch erwünscht ist. Die inhärent in die Technik eingeschriebene Vorstellung von Entlastung – im Sinne der Verhinderung von nicht sicherheitsrelevanten Pflegemaßnahmen und der Reduktion von unmittelbarer Interaktionen zwischen Pflegenden und Gepflegten – entspricht nicht den Pflegevorstellungen der Pflegekräfte und den von ihnen antizipierten Bedürfnissen der Gepflegten. Auch wenn das Assistenzsystem durchaus ebenfalls in der Lage ist, nächtliche Stürze zu vermeiden, besteht so die Tendenz der Pflegenden, die grundsätzliche Eignung der Assistenz in Frage zu stellen, sie im Pflegealltag eher zu ignorieren bzw. sie nicht zu nutzen und so zu der Einstellung zu gelangen, eine Technisierung der Pflege bringe keine deutlichen Steigerungen der Lebensqualität.

2.3 Beispiel 2: technische Assistenz bei „Weglauftendenzen“

Wie sich diese nicht deckungsgleichen Vorstellungen von Lebensqualität durch Technik in der Praxis auswirken, lässt sich auch am Beispiel des in der Pflege von Demenz weitverbreiteten Problems der „Weglauftendenz“ oder des „Bewegungsdrangs“ illustrieren. Ein Symptom von dementiellen Erkrankungen ist die sogenannte Agitiertheit, welche Menschen mit Demenz veranlasst, ihre Wohnung oder die stationäre Einrichtung zu verlassen, um ihrem Bewegungsdrang nachzugehen. Im Pflegealltag stellt dies ein großes Problem dar, da sich die Betroffenen auf Grund ihrer Erkrankung oft nicht mehr orientieren können, sich verlaufen und Gefahren wie dem Straßenverkehr ausgesetzt sind. Die Pflegenden müssen daher ständig die Anwesenheit der Gepflegten kontrollieren und im Falle der Abwesenheit zeitintensive und emotional belastende Maßnahmen wie die Suche oder eine Vermisstenmeldung einleiten. Am Beispiel des „Chips im Schuh“ und der GPS-Ortung wird deutlich, welche unterschiedlichen Problemwahrnehmungen und damit in die Technik eingeschriebenen Lösungsstrategien die verschiedenen Logiken implizieren. Die Pflegenden betrachten den Bewegungsdrang der demenziell Erkrankten nicht als prinzipiell störend und als zu unterbinden, sondern sehen die Auslebung der Agitation als Freiheitsrecht der Gepflegten an. Ihre Aufgabe als Pflegende ist, die individuelle Betreuung der Gepflegten bei ihren „Spaziergängen“ außerhalb der geschützten Bereiche der Einrichtungen, sprich die Ermöglichung der Wahrung von Selbstbestimmung und in einem gewissen Maße auch die soziale Teilhabe durch Bewegung in der Öffentlichkeit, zu verwirklichen. Für

die Pflegenden besteht daher vor allem das Problem, dass sie über das Verlassen der Einrichtungen informiert sowie personell ausreichend ausgestattet sein müssen, um die Betreuung zu gewährleisten. Die in verwendeten Techniken inhärent eingeschriebenen Nutzungsvorgaben bzw. deren Einsatz im Pflegealltag fokussieren aber weniger auf die Ermöglichung der Bewegungsfreiheit der Gepflegten als auf die Verhinderung von Sicherheitsrisiken und personal- und zeit- sowie kostenintensiven Suchmaßnahmen. Daher „warnen“ sie die Pflegenden im Falle eines Verlassens bzw. ermöglichen ein schnelles Auffinden der gesuchten Personen. In der beobachteten Praxis hat dies zur Folge, dass die Menschen mit Demenz von den Pflegenden dann von dem Verlassen der Einrichtungen abgehalten bzw. möglichst schnell in diese zurückverbracht werden; sprich dass ein möglichst effizienter Umgang im Sinne der ökonomischen Logik und nicht eine Orientierung an pflegeimmanenter Werten wie der Durchführung einer individuellen Betreuung während eines „Spaziergangs“ erfolgt. Zwar erzwingt die eingesetzte Technik dieses Vorgehen nicht, in der Empirie ließ sich diese Form des Umgangs allerdings beobachten. Die Pflegenden handeln, durch die Pflegetechnik impliziert, eher entgegen den eigenen Vorstellungen, was zu einer Unzufriedenheit mit den Funktionen der Technik führen kann bzw. bleibt aus ihrer Perspektive die Technik hinter den von den Pflegenden an sie gestellten Anforderungen zurück.

3 Ursachen und Folgen der konfigurerenden Wahrnehmungs- und Deutungsmuster

Um den Hintergrund der verschiedenen konfigurerenden Wahrnehmungs- und Deutungsmuster der Akteursgruppierungen und deren Implikationen für den Technikeinsatz ursächlich verstehen zu können, müssen also die historisch gewachsenen Strukturen in der Pflege beachtet werden. Die wechselseitige Begrenzung von ökonomischen und pflegeimmanenten Interessen in der Pflege ist eine seit der Konstitution der Pflege bestehende Struktureigentümlichkeit, welche aus der personalen sowie inhaltlichen Trennung zwischen politischer Regulation des gesellschaftlichen Problems der Behandlung von Pflegebedürftigkeit und dem Pflegepersonal resultiert. Zentrale Probleme der Pflege wie der Personalnotstand, die geringe soziale Gratifikation der Pflegenden, die Dominanz der naturwissenschaftlichen Medizin gegenüber der Pflege und die „verschleppte“ Professionalisierung sind auf diese Trennung der unterschiedlichen Logiken zurückzuführen.

Die (beginnende) Technisierung der Pflege läuft nun Gefahr, diesen Prozess fortzusetzen und damit auch die tradierte Fehlinterpretation und -kommunikation zwischen den Pflegenden und den politischen Akteuren zu verfestigen. Die grundsätzliche Diskrepanz der verschiedenen Wahrnehmungs- und Deutungsmuster, welche die verschiedenen Akteursgruppierungen während ihrer (Berufs)Sozialisation internalisiert haben, sind durch dialogische Strategien nicht zu überwinden. Die Gefahr der Fehlinterpretation der verschiedenen Kulturen untereinander oder durch Dritte bleibt bei einer partizipativen Technikentwicklung persistent. Selbst wenn einzelne Begriffe wie Steigerung von Effizienz und Lebensqualität anscheinend konsensfähig sind, trifft dies nur auf einer lexikalischen, nicht aber semantischen Ebene zu. Gleichzeitig ergibt sich auch bei Partizipation ein darüber hinausgehender Effekt: Der Unterschied der Kulturen geht nicht nur weitestgehend verloren, es zeigt sich auch, dass die Wahrnehmungs- und Deutungsmuster der ökonomischen Kultur eine viel stärkere Anschlussfähigkeit zu den Mustern der Technikentwickler haben. Kategorien, die berechenbar, normierbar und rational sind, sind in den Entwicklungsprozessen einfacher technisch umsetzbar. Die Zahlensprache der Kostenträger findet

eine größere Resonanz bei den Ingenieuren und Entwicklern, auch dann, wenn sie durch eine dritte Partei vermittelt werden.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Aushandlungen zur Technikimplementierung zwischen den Vertretern der ökonomischen und pflegeimmanenten Logiken nicht in einem emanzipierten, machtfreien Raum stattfinden, sondern die Chancen zur Durchsetzung der eigenen Interessen – sowohl absichtsvoll gegen die Widerstände der Opposition als auch unbewusst durch die Nutzung latent wirkender Machtfaktoren – ungleich verteilt sind. Die politischen Akteure und Technikentwickler verfügen meist über einen höheren sozialen Status als die Pflegenden, was im Vorhinein schon eine Dominanz der ökonomischen Logiken impliziert. Im Falle von Pflegetechnik für Menschen mit Demenz zeigt sich, dass die politischen Akteure und Kostenträger über das große Machtpotential verfügen, die Technikimplementierung zu initiieren. So werden – schon bevor konkrete Technikentwicklungen stattfinden – massiv die Zielvorstellungen nach den Logiken dieser Akteure selektiert und prinzipiell kontingente Ziele und Zwecke der Technik pfadabhängig manifestiert und so der Möglichkeitsspielraum der Technikgenese reduziert. Über Ausschreibungen, Leitbilder und Förderprogramme beeinflussen und selektieren die politischen Akteure und Kostenträger im Zusammenspiel mit Technikentwicklern Pflegetechniken, welche ihren Wahrnehmungs- und Deutungsmustern entsprechen; eine emanzipierte Partizipation der Pflegenden findet so nur begrenzt oder ohne wirklichen Erfolg statt.

Als Tendenz der untersuchten, also nach dem bekannten Muster entwickelten Sicherheitstechniken kann festgehalten werden, dass die Assistenz durch die in sie inhärent eingeschriebenen, an ökonomischen Logiken orientierten Nutzungs- und Verfahrensweisen standardisierte Handlungsimpulse an die Pflegenden ausgeben. Die von den Pflegenden als wichtig erachteten individuellen Handlungsspielräume bzw. die Autonomie situativer und am Einzelfall orientierter Pflege wird so eingeschränkt. Die Konzentration auf die physische Sicherheit der Gepflegten führt zu einer Abnahme von pflegerischen Interpretationen von Selbstbestimmung und Lebensqualität zu Gunsten einer Einhaltung von formalen Vorgaben und möglichst effizienter Arbeitsorganisation. So werden über die konkreten „erwünschten“ Technikeffekte auch zentrale, identitätsstiftende Pflegeleitbilder und -prinzipien durch den Technikeinsatz beeinflusst. Pflegetechnik wirkt also nicht nur eindimensional-funktional auf konkrete Situationen, sondern ihre (langfristigen) Effekte können nachhaltige Strukturveränderungen in der Pflege wie gesamtgesellschaftliche Auffassungen vom Umgang mit Pflegebedürftigkeit, eine „Deprofessionalisierung“ der Pflegenden durch Kompetenzabgabe an Technik sowie geänderte Interaktionen zwischen Pflegenden und Gepflegten entfalten. Auch wenn dieser Prozess von den Pflegenden oftmals nicht aktiv reflektiert oder konkret benannt wird, stößt er intuitiv auf Ablehnung, erschwert oder verhindert die Implementierung von Technik in den Pflegealltag und lässt vor allem eine Nutzung der Potentiale von Pflegetechnik nicht zu.

4 Potentielle Erweiterung einer partizipativen Technikentwicklung in der Pflege

Um eine unerwünschte Entwicklung zukünftig zu verhindern, bedarf es also nicht nur einer partizipativen Technikentwicklung, sondern es müssen die Wahrnehmungs- und Deutungsmuster des Feldes erkannt und integriert werden. Dafür ist eine Aufarbeitung der im Feld historisch gewachsenen Akteurskonstellation ebenso nötig wie eine sorgfältige Beachtung der in der Akteurskonstellation impliziten Machtbalancen. Nur so ist möglich, auch die latenten Machtstrukturen zu erkennen und diesen ggf. entgegenzuwirken. Im Fall der Pflege könnte dies mutmaßlich durch eine stärkere Einbindung der Pflegenden in den Entwicklungsprozess geschehen.

Diese Einbindung müsste aber über eine rein dialogische Partizipation hinausgehen, z. B. könnten Pflegende bereits auf der Ebene der Ausschreibung der Technikentwicklungsprojekte mit einbezogen werden. Auf diese Weise scheint auch eine politische Emanzipation der Pflegenden auf der administrativen Ebene möglich.

5 Literatur

- [1] V. Hielscher, L. Nock, S. Kirchen-Peters: Technikeinsatz in der Altenpflege. Potentiale und Probleme in empirischer Perspektive. Baden-Baden, Nomos, 2015.
- [2] D. Buhr, I. Heine, T. Heine: Pflegeassistenzen. Technische Unterstützungssysteme, Hrsg. R. Weidner, T. Redlich, J. Wulfsberg, Wiesbaden, VS-Verlag, S. 200-202, 2015.
- [3] H. Kühne: Chancen und Herausforderungen. Nutzerbedarfe und Technikakzeptanz im Alter. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, Nr. 24, S. 28-35. 2015.
- [4] N. Weinberger, M. Decker: Technische Unterstützung für Menschen mit Demenz. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, Nr. 24, S. 36-45. 2015.
- [5] S. Derpmann, D. Compagna: Erste Befunde der Bedarfsanalyse für eine partizipative Technikentwicklung im Bereich stationärer Pflegeeinrichtungen. Working Papers kultur- und techniksoziologische Studien. Hrsg.: Shire, Compagna: (WPktS 05/2009), 2009.
- [6] A. Rip, H. te Kulve: Constructive Technology Assessment and Sociotechnical Scenarios. The Yearbook of Nanotechnology in Society. Hrsg.: E. Fisher, S. Jameson, M. Wetmore, Volume I: Presenting Futures, Berlin etc. Springer, S. 49- 70, 2008.
- [7] S. Cieslik, P. Klein, D. Compagna, K. Shire: Das Szenariobasierte Design als Instrument für eine partizipative Technikentwicklung im Pflegedienstleistungssektor. Technologiegestützte Dienstleistungsinnovation in der Gesundheitswirtschaft. Hrsg.: K. A. Shire, J. M. Leimeister, Wiesbaden: Springer-Gabler, S. 85-110, 2012.
- [8] S. Buxbaum-Conradi, S. Heubischl, T. Redlich, R. Weidner, M. Moritz, P. Krenz: Sozial nachhaltige Entwicklung technischer Unterstützungssysteme. Technische Unterstützungssysteme. Hrsg. R. Weidner, T. Redlich, J.P. Wulfsberg. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 129-139, 2015.
- [9] R. G. Heinze et. al.: Wirtschaftliche Potentiale des Alters. s.l.: Kohlhammer Verlag Stuttgart, 2011.
- [10] H. Bickel: Das Wichtigste 1. Die Häufigkeit von Demenzerkrankungen. Deutsche Alzheimer Gesellschaft e.V. Selbsthilfe Demenz Hrsg., Berlin, 2014.
- [11] S. Heeg, C. Heusel, E. Kühnle, S. Külz, H. von Lützau-Hohlbein, H. Mollenkopf, F. Oswald, R. Peier, O. Rienhoff, R. Schweizer: Technische Unterstützung bei Demenz, Hrsg.: Robert Bosch Stiftung Technische Unterstützung bei Demenz. Bern: Hans Huber, 2007.
- [12] C. Weiß, M. Lutze, D. Compagna: Abschlussbericht zur Studie. Unterstützung Pflegebedürftiger durch technische Assistenzsysteme. Berlin, 2013.

Selbstbestimmte Technologie und selbstbestimmte Anwendung

Ethische und sozialwissenschaftliche Perspektiven auf zukünftige technologische Voraussetzungen in der gesundheitlichen Versorgung im ländlichen Raum

A. Koppenburger, M. Garthaus, R. Simon, H. Remmers

Universität Osnabrück, Institut für Gesundheitsforschung und Bildung,
Abteilung Pflegewissenschaft
Barbarastr. 22c, 49076 Osnabrück

anne.koppenburger@uni-osnabueck.de, marcus.garthaus@uni-osnabueck.de,
roland.simon@uni-osnabueck.de, remmers@uni-osnabueck.de

Kurzzusammenfassung

Hier vorgestellte ethische Reflektionen im Zusammenhang mit Technik und Pflege geht vom Begriff des Fortschritts und der Schwierigkeit aus, in seinem Rahmen individuelle Selbstbestimmung zu denken. Dabei sind die Begriffe Autonomie und Achtsamkeit im Kontext pflegerischer Versorgung zentral. Die Anwendung digitaler Technologien in der pflegerischen Versorgung erfordert darüber hinaus eine Überarbeitung klassischer Annahmen zum Verhältnis von Mensch und Technik. Im Projekt „Dorfgemeinschaft 2.0“, welches auf die Entwicklung von technologiegestützten Versorgungsstrukturen im ländlichen Raum zielt, soll dieser Herausforderung theoretisch, praktisch-ethisch und empirisch nachgegangen werden.

Abstract

“Ethical and social science perspectives on future technological conditions of health services in rural areas“

This paper presents ethical reflections on the relation of digital technology and care. By arguing that autonomy and mindfulness are central values of health care relations the very notion of the idea of progress is presented here as an obstacle to conceive self-determination. Digital technology therefore challenges us to revisit the relation of human, technology and nature. Dealing with these challenges the research project “Dorfgemeinschaft 2.0” aims at the development of service structures aided by digital technologies taking account of context-sensitive project structures (theoretically and empirically based).

Keywords: Pflegeethik, Technikethik, Autonomie, Subjektivität, Demand-Pull-Ansatz

1 Einleitung

In dem Forschungsprojekt „Dorfgemeinschaft 2.0“ (BMBF 2015-2020) soll ein tragfähiges Konzept der gesundheitlichen und sozialen Versorgung im ländlichen Raum erarbeitet werden. Im Fokus des Projekts stehen die Integrationspotentiale informations- und kommunikations-technologischer Innovationen in bestehende Versorgungsinfrastrukturen sowie die Entwicklung technologiegestützter Versorgungskonzepte. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick

zu den ethischen und techniktheoretischen Implikationen des Vorhabens sowie zu den methodologischen Vorüberlegungen für die Untersuchung ethischer Fragestellungen im Kontext der pflegerischen Versorgung. Ausgehend von der These, dass das Prinzip der Selbstbestimmung als ethischer Wert pflegerischen Handelns auf die Anwendung von digitalen Technologien zu übertragen ist, wird argumentiert, dass die Denkfigur des Fortschritts nicht ausschließlich auf der gesellschaftlichen Ebene, sondern vor allen Dingen auch auf der individuellen Ebene als Autonomiegewinne gedacht werden sollte. Daran anschließend werden Überlegungen vorgestellt, wie das Verhältnis von Mensch-Technik-Natur angesichts intelligenter Technologie neu bestimmt werden kann und welche Implikationen für das pflegewissenschaftliche Interesse an Expressionsweisen menschlicher Empfindungen darin enthalten sind. Abschließend werden die theoretischen Ausgangspositionen gerahmt von der Darstellung erster methodologischer Konzeptualisierungen zur Untersuchung der ethischen Fragestellungen.

2 Fortschritt und Selbstbestimmung

Die Einführung von Technologien in die Versorgung von Menschen mit einem erhöhten Pflegebedarf wird, wie die meisten technischen Neuerungen, insofern ihnen ein Nutzen unterstellt wird, mit dem Begriff des Fortschritts bezeichnet. Fortschritt kann als ein zentraler Begriff technischer Visionen und Zukunftsvorstellungen ambivalent gesehen werden, denn zum einen drückt sich vor dem Hintergrund historischer Erfahrungen im Begriff des Fortschritts sowohl die Möglichkeit der Erneuerung und der Verbesserung von menschlichen Lebensumständen aus als auch das Scheitern technischer Ideen zu Ungunsten von Menschen. Hans Jonas hat in seinen Gedanken zu Ethik und Technik diese Ambivalenz grundlegend festgestellt [1].

2.1 Fortschritt

Mit dem Gedanken des Fortschritts verbinden Menschen einerseits die Hoffnungen auf die Lösung bestehender Probleme, etwa der Überwindung von Krankheiten und die Verbesserung von Versorgungsproblemen. Andererseits schwingt im Begriff des Fortschritts eine Skepsis mit, die ihren Grund in historischen Erfahrungen hat. Das von Walter Benjamin gezeichnete Bild des Fortschritts als Sturm, der einen Trümmerhaufen hinterlässt, illustriert treffend diese historische Erfahrung [2].

Die angedeutete Ambivalenz des Fortschritts fordert dazu heraus, diese Denkfigur, die im Zusammenhang mit der Entwicklung von Technik mitschwingt, und die über das Erleben bloßer Veränderung hinausgeht, in den Blick zu nehmen, um daraus wiederum für die Nutzung assistiver Technologien ethische Folgerungen abzuleiten.

Der moderne Fortschrittsgedanke ist, so Karl Löwith, zweideutig: er ist sowohl christlich, als auch antichristlich. Dadurch, dass überhaupt die Idee des Fortschritts, vom Alten Testament zum Neuen Testament, in die Geschichte eingeführt werde, sei der Fortschritt ein christlicher Gedanke; dadurch, dass er die Ablösung des Bestehenden fordert, also die Überwindung bestehender Institutionen, auch der Kirche und ihrer Lehre, sei er antichristlich [3]. Dem Fortschrittsdenken ist dabei ein Verständnis von Zeit zu Grunde gelegt, das im Gegensatz zu einem mythisch-zyklischen Zeitverständnis als linear anzusehen ist. Ausgehend von einer bestimmten Form christlicher Eschatologie findet der Gedanke des Fortschritts seine Ausprägung bei unterschiedlichen Denkern. Vor allem Hegel und seine Geschichtsphilosophie haben dem Fortschrittsdenken Gestalt und Wirkung gegeben [4], dessen nun entscheidender ethischer Impetus ist, ein Ziel benennen zu können, auf das die Entwicklung notwendig hinauszulaufen habe.

Ethisch ist dieses Ziel insofern, als dass es das Gute implizieren soll. Wer aber definiert, was das Gute ist? Dieses Ziel des Fortschritts richtet sich nicht nach den Bedürfnissen von Individuen, sondern ist ausgerichtet auf das Bedürfnis einer Gesellschaft. Foucault hat diese Zielorientierung als Biomacht (*le biopouvoir*) bezeichnet und die Ausübung von Macht mit der Einflussnahme auf die gesundheitliche Entwicklung der Bevölkerung, entweder zu deren Schaden oder zu deren Nutzen, in Beziehung gesetzt [5]. Wenn also das Ziel der größtmögliche Nutzen für die größtmögliche Menge an Menschen ausgegeben wird, weist das Fortschrittsdenken in ethischer Hinsicht auf eine nicht klassische, aber wirkmächtige Form des Utilitarismus hin [6].

2.2 Autonomie und Selbstbestimmung

Die Erfahrung, dass im Bereich des Gesundheitswesens Macht über andere Menschen ausgeübt wurde auch unter dem vermeintlichen Anspruch, zur Lösung von Problemen beizutragen und damit Gutes erreichen zu wollen, hat zu einer bedeutenden Entwicklung innerhalb der Ethik im Gesundheitswesen geführt. Die Erfahrungen der menschenverachtenden Experimente in den nationalsozialistischen Konzentrations- und Vernichtungslagern und das Tuskegee-Experiment in den USA an dunkelhäutigen Menschen ohne deren Wissen und Einwilligung haben dazu geführt, dass ein Umdenken in der Medizin und der medizinischen Forschung stattgefunden hat. Diese Erfahrungen haben ihren Niederschlag in der heute im Gesundheitswesen sehr verbreiteten Prinzipienethik („*Principles of Biomedical Ethics*“) von Tom L. Beauchamp und James F. Childress [7] gefunden. In dieser Ethik stehen die vier Prinzipien der Autonomie, des Nicht-Schadens, des Wohlergehens/ der Fürsorge und der Gerechtigkeit im Vordergrund, die sich zwar gegenseitig zu ergänzen haben, der Autonomie aber wird dabei ein Primat zugestanden.

Diese Prinzipienethik hat den Vorteil, dass sie einem Fortschrittsdenken, das geprägt ist von der Notwendigkeit der Gesundheitsversorgung einer Bevölkerung, im schlimmsten historischen Fall eines „Volkskörpers“, die individuellen Bedürfnisse und Bedarfe von Menschen als handlungsleitenden Maßstab hervorhebt und schützen soll. Im Prinzip der Autonomie ist die unbedingte Selbstbestimmung des Menschen ausgedrückt, deren Durchsetzung im Rahmen medizinischer Versorgung einen ärztlichen Paternalismus zurückweist. Dabei schließt Selbstbestimmung die Selbstverantwortlichkeit ein.

2.3 Ethik der Achtsamkeit

Die im Rahmen der Pflegeethik gestellte Frage, wie viel Autonomie für den Menschen zumutbar sei [8], greift ein Problem auf, dass in der Pflegeethik im Rahmen einer Care – Ethik bzw. einer „Ethik der Achtsamkeit“ [9] zur Sprache kommt: In wie weit ist der Mensch in der Lage, autonom zu handeln? Elisabeth Conradi These lautet: „An Care-Interaktionen beteiligte Menschen sind unterschiedlich autonom. Achtung ist nicht auf eine Unterstellung von Autonomie angewiesen“ [9]. Joan Tronto betont, dass es keine wirkliche Autonomie und Unabhängigkeit gäbe [10]. Deshalb sei es wichtig, eine Balance zu halten zwischen den Bedürfnissen der Versorger und den „Bedürfnissen“ der Versorgten. Nach Conradi könne es auch gefährlich sein, einem Menschen in bestimmten Situationen eines erhöhten Pflegebedarfs zu viel Autonomie zuzumuten [9]. Denn es gehe ja gerade um Menschen, die in ihrer Situation der Pflegebedürftigkeit einen Verlust von Autonomie zu beklagen haben.

Die Antwort einer Care-Ethik auf die Frage nach den Möglichkeiten und den Gefahren, die in der Autonomie liegen, lautet in diesem Sinne, dass eine Haltung von den Beteiligten zu fordern

sei, die auf eine Achtsamkeit zielt, die aber nicht auf Reziprozität ausgerichtet ist. Dies bedeutet eine Aufgabe an Pflegende, sich in solche Care-Beziehungen hineinzugeben und dies immer wieder zu reflektieren. Reziprozität meint dabei die Gegenseitigkeit innerhalb einer Beziehung von Menschen und der damit verbundenen gegenseitigen Verpflichtung des Angebots von Tauschgütern. Dadurch, dass diese Beziehungen zumeist nicht symmetrisch sind, unterstreicht Reziprozität eine Hierarchisierung innerhalb dieser Beziehungen [9].

2.4 Möglichkeiten

Eine Care-Ethik bietet die Möglichkeit, die Gefahren zu vermeiden, die sich mit der Vorstellung vom technischen Fortschritt verbinden, nämlich der Gefahr, ausschließlich in Nützlichkeitskategorien zu denken und dabei das individuelle Erleben und eine gesellschaftliche Notwendigkeit gegeneinander auszuspielen. Eine Ethik, die die Achtsamkeit aller Akteure einfordert, ermöglicht einen Blick für Menschen, deren Selbstständigkeit und Selbstbestimmung insoweit eingeschränkt ist, dass die Zuschreibungen der Autonomie eine Überforderung darstellen kann. Das ethische Interesse, das sich aus den normativen Ansprüchen der Begriffe *Fortschritt* und *Autonomie* ableiten lässt, führt zu der konkreten Fragestellung, wie sich innerhalb eines Projekts, das in der pflegerischen Versorgung auf die Möglichkeiten digitaler Technologien setzt, die Selbstbestimmung adäquat wahrgenommen und im Rahmen des Einsatzes von Technologien bewahrt werden kann. Die Gefahr, dass nicht die Menschen, die durch Technologie unterstützt werden sollen, sondern die Technologie zum Maßstab des Handelns wird, erscheint im Hinblick auf den mit dem Fortschrittsgedanken verbundenen Utilitarismus real.

3 Der Zweck der Digitalen Technologie

Die bisherige Auseinandersetzung um die Digitalisierung gesundheitsbezogener Versorgungsprozesse ist vielfach von einem skandalisierenden Unterton gekennzeichnet. Beinah lässt sich von der Polarisierung zwischen den euphorischen Versprechungen und den düsteren Gefahren sprechen. Darin bildet sich jenes theoretische Vakuum ab, von dem Philip Brey schreibt, dass es durch interdisziplinäre Forschung zu techniktheoretischen Fragestellungen zu füllen sei [11]. Vordergründige Aufgabe techniktheoretischer Untersuchungen sei es nach wie vor die *Black Box Technologie* zu öffnen. Erst so ließen sich die sozialen Implikationen von Technologien untersuchen, die durch soziale Praxen, wissenschaftliche Forschung und Entwicklungsparadigmen hervorgebracht werden. Derzeit, so resümiert Brey seine Betrachtung der technikphilosophischen Forschung, mangelt es an den theoretischen Grundlagen für eine ethische Bewertung technologischer Artefakte [11, 12]. Für das Feld des professionellen Pflegehandelns trifft diese Diagnose nun allerdings nicht in diesem strengen Ausmaß zu; es lassen sich aus pflegewissenschaftlicher Perspektive professionstheoretisch orientierte Wissensbestände aufzeigen, die eine belastbare handlungstheoretische Grundlage darstellen [ex. 14]. Allerdings ist, insbesondere mit Blick auf die grundsätzliche Aufgabe, die *Black Box Technologie* zu öffnen, hier zu fragen, inwiefern der technischen Vermitteltheit sozialer Interaktion in den Theorien des professionellen pflegerischen Handelns Rechnung getragen wird. Eine vorsichtige These vermutet eine Leerstelle genau dort, wo mit Mark B. N. Hansen von den „Medien des 21. Jahrhunderts“ gesprochen werden kann [13].

Medientheoretische Analysen verweisen auf Ubiquität gegenwärtiger intelligenter technologischer Artefakte, welche als Bestandteil von Digitalisierungsprozessen die klassischen Funktionsweisen von Medien, wie das Aufzeichnen, Speichern und Übertragen in einer qualitativen

Dimension übertreffen: die Allgegenwärtigkeit Daten registrierender, verarbeitender und Rückkoppelungen initiierender Technologien beeinflusst – quasi unbemerkt – in doppelter Hinsicht menschliche Erfahrungen [13]. Einerseits verändert sich die Weise, *wie* Erfahrungen gemacht werden; die technologisch bedingte Dezentralisierung des qualitativen Empfindungsvermögens scheint den Mensch als „komplexeste[n] Handlungsträger des Fühlens“ abzulösen [13]. Andererseits ist auch die subjektive Verfasstheit, die das Resultat menschlicher Erfahrungen bildet, in konsequenter Weise beeinflusst. Diesem Postulat liegt die Annahme radikaler Ökologisierung kognitiver Kapazitäten zugrunde. Die technologische Vermittlung von Empfindungen, das heißt die (objektivierende) Quantifizierung von (qualitativen) Empfindungen mittels in die Umwelt verlagerter Sensorik, verschiebt auch die sinnliche Erfahrung aus dem Körper in die Umwelt.

Diese Verschiebungen bleiben nicht ohne Wirkung auf die Konstitution des Subjekts, wie es pflegewissenschaftlich erfasst wird. Daher ist zu fragen, inwiefern die Theoretisierung des professionellen Sinnverständens in der Pflege angesichts der Verlagerung des Empfindungsvermögens auf eine präpersonale Ebene, gerade um jene Zugänge, die von den Operationen digitaler Geräte erzeugt werden, zu erweitern wären? Hülksen-Giesler (Herv. i. Orig.) zeigt, dass neben einer „reflexiv-argumentativen Begründung pflegerischen Handelns (...) die Aspekte eines ›elementaren Verstehens‹ als konstitutiv für eine im sinnverständenden *Zugang zum Anderen* fundierten Pflege“ [14] zu betrachten wären. Die theoretischen Prämissen Hülksen-Gieslers stammen vor allen Dingen aus der Hermeneutik Wilhelm Diltheys und Hans-Georg Gadamers. Kennzeichnend für diese Ansätze sind die Vorrangstellung des intentionalen Subjekts, dessen Subjektivierung zwar historisierbar ist, also ebenfalls auf einer präpersonalen Ebene stattfindet, dessen Erfahrungen dennoch den Horizont der sinnhaften Wirklichkeitskonstruktion darstellen. Mit Marc B. Hansen ist hier eine Perspektive aufgezeigt, die eine Reflektion von Subjektivierungsprozessen unter Berücksichtigung von Medien des 21. Jahrhunderts durchführt, deren Erkenntnisse, für die Konstruktion sinnhafter Pflegebeziehungen insofern von Bedeutung sind, als dass sie die den objektiven Daten inhärente Subjektivität als verteilte Handlungsmacht aufzeigt.

Was Hansen auf eine mikroskopische Ebene herunterbricht und als Beziehung zwischen verteilten Erfahrungsträgern (menschlichen und nicht menschlichen) und dem resultierenden, aus der nicht-trivialen Umwelt erfolgenden Zugriff befragt, untersucht Jean-Luc Nancy [15] auf der makroskopischen Ebene in dem Verhältnis zwischen Natur und Technik und erhellt damit eine supplementäre Beziehung: „Die Technik kommt nicht von außerhalb der Natur und röhrt nicht von außen an die Natur. Sie hat ihren Platz in ihr und besser noch: Wenn wir die Natur als das bestimmen, was von selbst seine Zwecke erfüllt, dann müssen wir auch die Technik als einen Zweck der Natur ansehen, denn aus ihr kommt das Tier, das zur Technik fähig ist – oder ihrer Bedarf“ [15]. Entscheidend für die hier zur Diskussion stehende Frage nach den technikethischen Grundlagen einer Bewertung von digitalen Technologien in der Pflege, ist die von Nancy als dynamisch beschriebene Zweck-Mittel-Relation, die sich fortwährend in dem Verständnis der Natur-Technik-Beziehung entfaltet. Nancy führt aus, dass eine vermeintlich „eigene Ordnung“ der Technik zu jedem Zeitpunkt neue Zwecke setze, die zugleich Mittel seien, für die Erfüllung von sozialen, kulturellen, politischen und ökonomischen Zwecken (ebd.). Diese unablässige Vervielfältigung von Zwecken durch die Technik (Struktion), die aus der Natur hervorgegangen sei, enthülle die Zwecklosigkeit der Natur [15].

Die Setzung der Natur als zwecklos ist bedeutsam, denn die anhaltende Struktion im Sinne Nancys – das grenzenlose Nebeneinander von Natur und Technik – verweist wiederum auf die technologisch bedingte *Aufhebung* von Sinn in seiner Bedeutung als letzten Zweck. Wenn also nicht die Natur der Technik einen Zweck (nämlich Mittel zu sein) verordnet, sondern es vielmehr die oben genannten gesellschaftlichen Zwecke sind, die Technik hervorbringen, dann erscheint auch nicht die Technik als das Erschreckende, sondern die menschlichen Zwecke, für die es in der Natur keine Rechtfertigung gibt. Im Gegenteil, es ist die Aufladung des Naturbegriffs mit intrinsischen Werten und einem normativen Gehalt, die eine Auseinandersetzung um den Technologieeinsatz in der Pflege verzerrt [16].

Augenscheinlich wird der projektonenbeladene Naturbegriff dann, wenn Werte und Normen auf Tätigkeiten übertragen werden, die einer als natürlich hypostasierten Konvention angehören. Der konstruierte Gegensatz von Natur und Technik verschleiert gerade jene gesellschaftlichen Verhältnisse, die durch einen emanzipatorischen Technologiezugriff zu überwinden wären. Eine selbstbestimmte Anwendung von Technologie im Rahmen pflegerischer Versorgung enthält das Potential zur Neubestimmung professions- und versorgungspolitischer Probleme. Im Forschungsprojekt „Dorfgemeinschaft 2.0“ werden im Zusammenhang mit der Digitalisierung daher auch die Möglichkeiten der Übertragung spezifischer ärztlicher Tätigkeiten auf die Pflegekräfte untersucht.

4 Projektbezug und -hintergrund: Dorfgemeinschaft 2.0

Die vorangestellten und nachfolgenden Überlegungen sind eingebettet in das BMBF-geförderte Forschungsprojekt „Dorfgemeinschaft 2.0“ (2015-2020), das einerseits an die geführten Diskussionen um den fortschreitenden Einsatz (smarter) Technologien und Digitalisierungsprozesse in der Pflege anschließt und analog die bereits seit langem lebhafte Debatte „um die zukünftige Entwicklung der ländlichen Räume“ [17] aufgreift.

Angesichts der sich abzeichnenden sozio-demografischen Entwicklungstendenzen und (drohenden) Engpässe in der wohnortnahmen Versorgung [18] werden (technologiegestützte) Lösungsansätze insbesondere in peripheren ländlichen Räumen diskutiert [19]. Für die Gruppe der Älteren nimmt die Bedeutung von (außerhäuslicher) Mobilität und altersgerechten Wohnkonzepten (samt wohnungsnaher Service- und Dienstleistungskonzepte) zu [20]. Gepaart mit einer sich prekär zusätzenden Pflegesituation wird augenblicklich der Einsatz von assistiven Technologien als *Lösung* zur Abmilderung der Problemlagen kontrovers diskutiert [21, 22]. Die Veränderungen dieser „Person-Umweltkonstellationen“ [17, 23] sowie ihre ethischen Implikationen sind somit essentiell, wenn es um Fragen zur bedarfsorientierten Entwicklung von technologiebasierten Unterstützungssystemen in dörflichen Gemeinschaften geht.

Erforderlich ist eine methodologisch angemessene Analyse „des räumlichen, sozialen und funktionalen Handlungskontextes und der Identifikation der Anforderungen und Wünsche“ [21] potenzieller Adressaten [24].

Um mögliche soziale Implikationen in diversen Bereichen (Gesellschaft, Individuum) ethisch beurteilen zu können, ist es zunächst notwendig, die konkreten Technologien in ihren Funktionsweisen, aber auch in Bezug auf die Entwicklungsprozesse voneinander zu unterscheiden [25]. Gesundheitsbezogene (digitale) Technologien lassen sich differenzieren in jene Technologien, die auf gesellschaftlicher Ebene effektiv werden (z. B. Digitalisierung epidemiologischer Forschung) und jene, die das Individuum adressieren (z. B. Health Apps mit Self-Tra-

cking-Funktionen zur Speicherung biometrischer Daten; Telemedizinische Dienste; Anwendungen der digitalen Diagnostik) [26]. Eine sich hier abzeichnende Tendenz ist die zunehmende Einrichtung von bspw. Online-Sprechstunden und in einer nächsten Entwicklungsstufe sog. Electronic Health Companions. Letztere, so die Vision, sollen auf Grundlage einer Vielzahl von erhobenen personenbezogenen Daten (Stichwort *Quantified Self*) das Individuum wie ein ‚Leibarzt‘ durch den Alltag begleiten [27, 28].

In dem hier im Fokus stehenden Forschungsprojekt „Dorfgemeinschaft 2.0“ werden u.a. digitale Technologien zur Anwendung kommen, die dieses Spektrum abbilden: in das Wohnumfeld eingeflochtene Hilfssysteme und Monitoring-Technologien aus dem Bereich der Altersgerechten Assistenzsysteme bis hin zum virtuellen Dienstleistungszentrum, welches bspw. das Abrufen von Gesundheitsdienstleistungen wie den häuslichen Pflegedienst, ermöglicht.

5 Exemplarische Umsetzung und methodische Vorüberlegungen

Anknüpfend an die in Kap. 2.4 aufgeworfene und zu diskutierende Frage einer zunehmend gefährdeten Selbstbestimmung soll an dieser Stelle ein kurzer Einblick in die Projektstruktur gegeben werden. Insgesamt verfügt das Projekt Dorfgemeinschaft 2.0 über neun Teilprojekte, in denen zu unterschiedlichen Fragen des Technologieeinsatzes (hier u.a. *Rollende Praxis*, *Dorfladen*, *Mobilität* u. *Digitalisierte Pflege*) geforscht wird. Die Ansteuerung, Koordination und Kopplung der einzelnen Dienstleistungen wird über eine zentrale IT-Infrastruktur realisiert. Als Koordinationsplattform kommt das virtuelle Dienstleistungszentrum (vgl. Kapitel 4) zum Einsatz. In der Vergangenheit wurde deutlich, dass der vorwiegend technologiegetriebene Ansatz der Technologieentwicklung (*Technology Push*) einer Akzeptanzbildung gegenüber den Technologien nicht zuträglich ist. Allerdings sei aber gerade die Akzeptanz zwingende Voraussetzung für die Vermarktung der technologischen Artefakte [29; 30].

In den Mittelpunkt drängen sich daher methodische Überlegungen, *wie* potentielle technologische Konzepte und ihre sozialen Implikationen zu antizipieren sind. Zunächst soll der konkrete bzw. tatsächliche Bedarf technologischer und sozialer Unterstützung aller relevanten Akteure in unterschiedlichen Lebensbereichen empirisch ermittelt werden. Dies bedeutet, dass noch *bevor* technologische Festlegungen getroffen werden, eine Orientierung an den tatsächlichen Bedarfslagen im (Pflege-) Arrangement erfolgen soll (*Demand Pull*) [21, 31].

Dies setzt zunächst die Eingrenzung des Handlungskontextes voraus. Im Blickfeld des Forschungsprojektes steht u.a. die Bedarfserhebung von technischen Unterstützungssystemen im *privaten Wohnumfeld*.

Die Frage, wie eine kontextsensitive, ethisch informierte Technikentwicklung begünstigt werden soll, wird innerhalb des Projekts auf Ebene des Teilprojekts „**Ethik und Datenschutz**“ angesteuert: Ein Ziel ist, Gremienstrukturen für den bürgernahen Ethikdiskurs im Zusammenhang mit dem geplanten Technikeinsatz zu etablieren, die den spezifischen Bedürfnissen der Menschen in der Modellregion entsprechen sollen, insbesondere der schutzbedürftigen Personen. In dem eingerichteten *Arbeitskreis Ethik* (Diskussionsforum aller beteiligten Akteure) wird eine Sensibilisierung der ForscherInnen und PraxispartnerInnen für ethisch relevante Fragestellungen angestrebt. Die auszubauenden Strukturen sollen potenzielle Fehlentwicklungen des Technikeinsatzes frühzeitig aufdecken. Die Identifizierung und Entwicklung konkreter Anwendungsfälle steht hierbei im Mittelpunkt. Diese (problemzentrierten) Anwendungsfälle dienen in erster Linie als Hintergrundfolie ähnlich gelagerter Anwendungsfälle und begünstigen einen technikethischen Diskurs.

Mit Blick auf die potenziellen Adressaten (hier: TechnikanwenderInnen) und die Frage nach Wahrung ihrer individuellen Bedürfnisse und Bedarfe (zur Autonomie und Selbstbestimmung vgl. Kap. 2.4) wird innerhalb des Modellprojekts ein empirisch-analytisches Untersuchungsdesign entwickelt, welches auf das subjektive Wahrnehmen, Erleben und die individuellen Interessen der Betroffenen ausgerichtet ist.

Als besonders zuträglich für den präferierten Ansatz und zur Erschließung der subjektiven Voraussetzungen soll sich ein empirisch-analytisches Methodenbündel aus Teilnehmender Beobachtung sowie (teilstandardisierten) Einzel- und Gruppeninterviews (z.B. in Form von Dialog- oder Fokusgruppen) erweisen [21]. Voraussetzung ist eine Perspektivenvielfalt, die die Besonderheiten des ländlichen Raumes zu erschließen vermag. Eingeschlossen werden zunächst die im privaten Wohnumfeld lebenden Akteure sowie Bezugspersonen, u.a. Pflegekräfte, Angehörige und Ehrenamtliche.

Die auf die subjektive Technologieanwendung ausgerichtete Methodik und die zu beobachtenden Bedarfslagen, Abläufe und Aktivitäten bieten sich als Reflektionsgrundlage für sich anschließende Gruppendiskussionen (wiederum mit Akteuren aus dem häuslichen Pflegearrangement) an. Der sich aus diesen Analyseschritten abzeichnende, technisch zu adressierende Unterstützungsbedarf bildet nachfolgend die Voraussetzung zur Ableitung von Anforderungsprofilen an technologische Arrangements (*Pflichtenheft*). Diese gilt es unter fortlaufender, zyklischer Einbindung von NutzerInnen und TechnikentwicklerInnen in eine „mögliche technische Assistenz zu transformieren“ [21]. Eine sukzessive Rückkopplung und iterative Verknüpfung sowohl der Bedarfs- als auch der Technikentwicklerseite (vgl. ebd.) soll dabei der Gefahr möglicher Fehlentwicklungen bzw. –entscheidungen entgegenwirken und einen Akzeptabilitätsvorschuss befördern.

Diese (beispielhafte) methodische Herangehensweise kann verstanden werden als Rahmung einer bedarfsorientierten Technikentwicklung. In ihr soll insbesondere auch das Verhältnis von Selbstbestimmung und technischem Assistenzsystem sowie der häufig andiskutierte *Trade-Off* zwischen z.B. Privatheit und Unabhängigkeit verhandelt werden [32].

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgelegten Überlegungen sind Teil eines Diskussionsprozesses, in dem ethische, techniktheoretische und methodologische Überlegungen zu einem Untersuchungsdesign für die Fragestellungen im Forschungsprojekt „Dorfgemeinschaft 2.0“ zusammengeführt werden. Der kritische Umgang mit Begriffen und Denkformen, wie er hier vorgelegt wurde, geht über reine Anwendungsfragen von Technologien hinaus, insofern die Fragen nach ethischen Perspektiven und dem Zweck von Technologie in einen Zusammenhang gestellt werden. Die empirische Forschung in diesem Bereich fordert dazu auf, sich mit konkreten Technologien und mit deren Bedeutung für Menschen, vor allem im ländlichen Raum, auseinander zu setzen.

7 Literatur

- [1] H. Jonas: Warum Technik ein Gegenstand der Ethik ist: Fünf Gründe. Hrsg.: H. Lenk, G. Ropohl: Technik und Ethik. Stuttgart: Reclam, S. 81-91, 1993.
- [2] W. Benjamin: Illuminationen. Ausgewählte Schriften 1. Frankfurt: Suhrkamp, 1977.
- [3] K. Löwith: Weltgeschichte und Heilsgeschehen. Stuttgart u.a.: Kohlhammer, 1979.

- [4] K. Ott: Technikethik. Hrsg.: J. Nida-Rümelin: Angewandte Ethik. Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung. Ein Handbuch. 2., aktualisiert Auflage. Stuttgart: Körner, S. 568-647, 2005.
- [5] M. Foucault: Die Geburt der Biopolitik. Geschichte der Gouvermentalität II. Vorlesung am Collège de France 1978/1979. Frankfurt/ M., 2006.
- [6] J. Nida-Rümelin: Theoretische und angewandte Ethik: Paradigmen, Begründungen, Bereiche. Hrsg.: J. Nida-Rümelin: Angewandte Ethik. Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung. Ein Handbuch. 2., aktualisiert Auflage. Stuttgart: Körner, S. 2-87, 2005.
- [7] T. L. Beauchamp, J. F. Childress: Principles of Biomedical Ethics. Fifth Edition. New York: Oxford University Press, 2001.
- [8] M. Hiemetzberger: Ethik in der Pflege. Wien: facultas.wuw, 2013.
- [9] E. Conradi: Take Care. Grundlagen einer Ethik der Achtsamkeit. Frankfurt/ New York: Campus, 2001.
- [10] J. Tronto: Moral Boundaries. A political argument for an ethics of care. New York, London: Routledge, 1993.
- [11] P. Brey: Philosophy of Technology after the Empirical Turn. *Techné: Research in Philosophy and Technology* 14(1), S. 36-48, 2010.
- [12] M. Hülsken-Giesler, B. Wiemann: Die Zukunft der Pflege – 2053: Ergebnisse eines Szenarioworkshops. *Technikfolgeabschätzung. Theorie und Praxis* 24(2), S. 46-57, 2015.
- [13] M. B. N. Hansen: Medien des 21. Jahrhunderts, technisches Empfinden und unsere originäre Umweltbedingung. Hrsg.: E. Hörl: Die technologische Bedingung. Berlin: Suhrkamp, S. 365-409, 2011.
- [14] M. Hülsken-Giesler: Der Zugang zum Anderen. Zur theoretischen Rekonstruktion von Professionalisierungsstrategien pflegerischen Handelns im Spannungsfeld von Mimesis und Maschinenlogik. *Schriftenreihe Pflegewissenschaft und Pflegebildung*, Band 3. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, unipress, 2008.
- [15] J.-L. Nancy: Von der Struktion, Hrsg.: E. Hörl: Die technologische Bedingung. Berlin: Suhrkamp, S. 54-72, 2011.
- [16] D. Birnbacher: Natürlichkeit. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2008.
- [17] M. Sternberg: Alter(n) in ländlichen Räumen und demographischer Wandel. Eine Analyse in vier deutschen Gemeinden. Hamburg, Verlag Dr. Kovač, 2010.
- [18] N. van den Berg, S. Schmidt, U. Stentzel, H. Mühlan, W. Hoffmann: Telemedizinische Versorgungskonzepte in der regionalen Versorgung ländlicher Gebiete. Möglichkeiten, Einschränkungen, Perspektiven. *Bundesgesundheitsblatt* 58(4), S. 367-373, 2015.
- [19] A. Giesecking, V. Gerling: Gesundheitliche und pflegerische Versorgung in ländlichen Räumen. Hrsg.: G. Naegele, E. Olbermann, A. Kuhlmann: Teilhabe im Alter gestalten. Aktuelle Themen der Sozialen Gerontologie. Wiesbaden, Springer VS, S. 324-340, 2016.
- [20] R. G. Heinze: Altengerechtes Wohnen: Aktuelle Situation, Rahmenbedingungen und neue Strukturen. Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Wohnen im Alter. Bonn, Selbstverl. des BBR 18(2), S. 133-146, 2013.

- [21] N. Weinberger, M. Decker: Technische Unterstützung für Menschen mit Demenz. Zur Notwendigkeit einer bedarfsorientierten Technikentwicklung. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 24(2), S. 36-45, 2015.
- [22] R. Haux, A. Hein, G. Kolb et al.: Information and Communication Technologies for Promoting and Substaining Quality of Life, Health and Self-sufficiency in Ageing Societies – Outcomes of the Lower Saxony Research Network Design of Environments for Ageing (GAL). *Informatics for Health and Social Care* 39/3-4, S. 166-187, 2014.
- [23] H. Mollenkopf, F. Oswald, H.-W. Wahl: Neue Person-Umwelt-Konstellationen im Alter: Befunde und Perspektiven zu Wohnen, außerhäusliche Mobilität und Technik, Hrsg.: H.-W. Wahl, H. Mollenkopf: Alternsforschung am Beginn des 21. Jahrhunderts. Berlin, AKA Verlag, S. 361-380, 2007.
- [24] A. Elsbernd, S. Leh Meyer, U. Schilling: So leben ältere und pflegebedürftige Menschen in Deutschland. *Lebenslagen und Technikentwicklung. Lage*, Jacobs Verlag, 2014.
- [25] L. Neven: By anymeans? Questioning the link between gerontechnological innovation and older people's wish to live at home, in: *Technological Forecasting & Social Change* 93, S. 32-43, 2015.
- [26] D. Lupton: Critical Perspectives on Digital Health Technologies, *Sociology Compass* 8, S. 1344-1359, 2015.
- [27] R. G. Heinze, J. Hilbert: Digitalisierung und Gesundheit: Transforming the Way We Live. Hrsg.: G. Naegele, E. Olbermann, A. Kuhlmann: *Teilhabe im Alter gestalten. Aktuelle Themen der Sozialen Gerontologie*. Wiesbaden, Springer VS, S. 421-434, 2016.
- [28] M. Müschenich: Goodbye Electronic Health Record – welcome Electronic Health Companion Blog online verfügbar unter <http://www.markus-mueschenich.de/index.php/blog/> (Stand 15.08.2016), 2014.
- [29] B.-J. Krings, K. Böhle, M. Decker, L. Nierling, C. Schneider: Serviceroboter in Pflegearrangements. In: M. Decker, T. Fleischer, J. Schippl, N. Weinberger (Hrsg.): *Zukünftig Themen der Innovations- und Technikanalyse. Lessons Learned und ausgewählte Ergebnisse*. KIT Scientific Reports 7668. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, S. 63-121, 2014.
- [30] M. Decker, R. Dillmann, T. Dreier, M. Gutmann, I. Ott, I. Spieker genannt Döhmann: Service robotics: do you know your new companion? Framing an interdisciplinary technology assessment. *Poiesis & Praxis* 8 1, S. 25-44, 2011.
- [31] J. Hirsch: Technik, die gewollt ist – Ein Vergleich verschiedener Entwicklungsansätze von Techniken zur Unterstützung von Menschen mit Demenz. Vortrag auf der ENI 2015 – 8. Wissenschaftlicher Kongress für Informationstechnologie im Gesundheits-, Pflege- und Sozialbereich, Hall in Tirol, 28.-29.09.2015, 2015.
- [32] A. F. Linke: Autonomie bei technischen Assistenzsystemen. Ein Trade-Off zwischen Privatheit, Unabhängigkeit und Sicherheit. Hrsg.: K. Weber, D. Frommelt, A. Manzeschke, H. Fangerau: *Technisierung des Alltags. Beitrag für ein gutes Leben?* Stuttgart, Franz Steiner Verlag, S. 179-193, 2015.

Evaluierung der Nutzerakzeptanz tragbarer Hilfsmittel zur passiven Kraftunterstützung für Altenpflegekräfte

C. M. Hein¹, M. Pfitzer², T. C. Lüth¹

¹Technische Universität München, Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik
Boltzmannstraße 15, 85748 Garching
christina.hein@tum.de, tim.lueth@tum.de

²Kuratorium Wohnen im Alter, Luise-Kiesselbach-Haus Riem
Graf-Lehndorff-Str. 24, 81829 München
pfitzer-michael@kwa.de

Kurzzusammenfassung

Diese Untersuchung evaluierte die Nutzerakzeptanz von Anzügen mit elastischen Bändern zur passiven Kraftunterstützung in der Altenpflege. Zwei unterschiedliche Anzüge, der *Smart Suit* und der *Rakunie*, wurden hinsichtlich der subjektiv wahrgenommenen Unterstützung und dem Komfort untersucht. Die Ergebnisse für den *Rakunie* zeigen eine höhere Nutzerakzeptanz. Daneben wurde bei beiden Anzügen ein Zusammenhang zwischen Komfort und der Bereitschaft, den Anzug erneut zu tragen, gefunden. Die vorgestellte Studie zeigt wichtige Aspekte für den praktischen Einsatz von tragbaren Hilfsmitteln für den Einsatz im Pflegealltag auf. Diese sind unter anderem übertragbar in den Bereich der tragbaren Roboter, die ein derzeit aktives Forschungsgebiet darstellen.

Abstract

“User Acceptance Evaluation of Wearable Aids for Passive Force Enhancement for Geriatric Nurses”

This study investigated the user acceptance of passive force enhancing suits with elastic belts for geriatric nurses. Two different suits, namely *Smart Suit* and *Rakunie*, were compared in order to assess aspects on subjective power assistance and comfort. We found that the results for the *Rakunie* were generally more favorable. Simultaneously, for both suits we established that there is a correlation between subjective comfort and the willingness to use the aid again. While nowadays many research projects focus on wearable robots, this study demonstrates crucial aspects of their practical use during care work.

Keywords: Altenpflege, Hilfsmittel, Patiententransfer, Smart Suit, Rakunie

1 Einleitung

Beschäftigte in Pflegeberufen, insbesondere in der Altenpflege, weisen ein erhöhtes Risiko für Muskel-Skelett-Erkrankungen auf [1]. In [2] wurde in einem Experiment ermittelt, dass bei 6 von 10 häufigen Hebeaufgaben in Pflegeberufen der Grenzwert für die Bandscheibenbelastung im Bereich von Lendenwirbelsäule und Kreuzbein [3] überschritten wird. Der Einsatz von Hilfsmitteln, wie beispielsweise Patientenlifter, kann die körperliche Belastung für Mitarbeiter

reduzieren. Deren geringer Einsatz wird häufig mit einem zusätzlichen Zeitaufwand begründet [4].

Als Hilfsmittel für den Patiententransfer werden Steck- oder Bettlaken, Gleitmatten und Rollbretter, Haltegurte sowie Patientenlifter eingesetzt (siehe Abbildung 1.1). Die Wirkung von Steck- oder Bettlaken beruht in der Regel auf einer Verlängerung des Hebelns der Arme, wodurch das notwendige Vorbeugen des Oberkörpers reduziert wird [5]. Gleitmatten und Rollbretter dienen dazu, die Reibung und somit die durch die Pflegekraft aufzubringende Kraft zu verringern. Während das Rollbrett speziell für den liegenden oder halbsitzenden Transfer zwischen zwei Betten angewandt wird, wird die Gleitmatte darüber hinaus auch für Bewegungen im Bett und für das Umsetzen auf einen Stuhl eingesetzt [6]. Bei der Benutzung des Haltegürtels kann die Pflegekraft die Griffe am Gürtel des Patienten fassen und ihn somit beim Aufstehen, Umsetzen und Gehen unterstützen [6]. Alternativ kann auch die Pflegekraft den Gürtel anlegen, sodass der Patient sich beim Aufstehen daran festhalten kann. Der Haltegurt ist bei verschiedenen Transfervorgängen einsetzbar und kann mit anderen Hilfsmitteln kombiniert werden [4]. Ein Patientenlifter wird bei stark bewegungseingeschränkten Patienten eingesetzt. Nachdem der Patient auf das Tragetuch gelegt wurde, übernimmt der Patientenlifter das gesamte Gewicht zum Heben und Tragen [7].

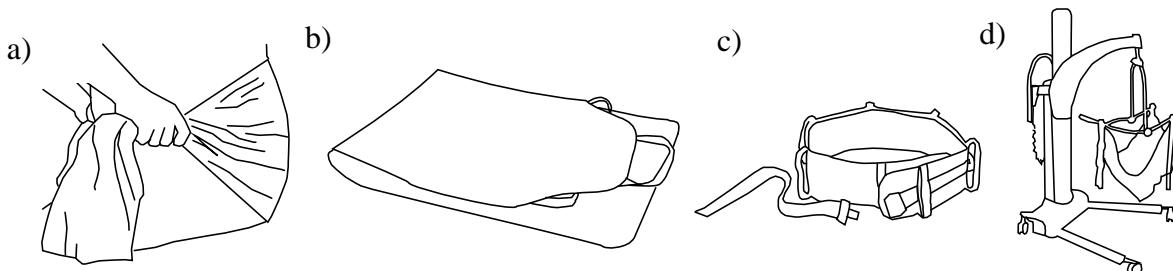


Abbildung 1.1: Hilfsmittel für den Patiententransfer: Steck- oder Bettlaken (a), Gleitmatte (b), Haltegurt (c) und Patientenlifter (d).

Eine Alternative stellen tragbare Hilfsmittel dar, die nicht extra zum Einsatzort gebracht werden müssen. Als Unterstützung stehen Lumbalorthesen und -bandagen zur Verfügung. Eine systematische Metastudie [8] kam zu dem Ergebnis, dass diese die Rumpfbewegung limitieren, jedoch konnte keine Reduktion der Aktivität des Musculus erector spinae (Rückenstrecker) im Elektromyogramm nachgewiesen werden. Im Rahmen dieses Beitrages wurde daher die Nutzerakzeptanz von zwei in Japan entwickelten, passiv kraftunterstützenden Anzügen in einem deutschen Altenpflegeheim untersucht. Die Funktionsweise beider Modelle beruht darauf, dass flexible Gurte im Bereich von Rumpf und Gesäß bei einem Vorbeugen des Oberkörpers gespannt werden. Hierdurch soll die notwendige Kraft für in dieser Körperhaltung durchgeführte Arbeiten sowie für das Aufrichten reduziert und somit musculoskeletalen Beschwerden vorbeugt werden.

In einem Experiment mit drei Probanden zur objektiven biomechanischen Beurteilung des *Smart Suits* wurde mittels EMG-Messung eine Reduktion der Muskelaktivität von durchschnittlich 24,4% gezeigt [9]. Bei dem Einsatz bei Pflegekräften im Krankenhaus zeigte sich ein Zusammenhang zwischen Komfort und wahrgenommener Unterstützung [10]. In einem weiteren Experiment trugen 20 Pflegekräfte den *Smart Suit Lite* für je einen halben Tag. Anschließend wurden diese um vergleichende Angaben zwischen der Ermüdung der Muskeln mit dem Anzug gegenüber ohne Hilfsmittel gebeten. 90 % der Probanden gaben an, eine Reduktion der Ermüdung wahrnehmen zu können [9]. Laut Händlerangaben reduziert wie der *Smart Suit* auch der

Rakunie die Muskelkraft für das Aufrichten im Musculus erector spinae (Rückenstrecker) um 14 % und im Musculus biceps femoris (Beinbeuger, bewegt das Becken) um 10 %.

Im Rahmen von diesem Beitrag wurde untersucht, inwiefern die bereits genannten positiven subjektiven Bewertungen *des Smart Suits* bei Altenpflegekräften reproduziert werden können. Darüber hinaus wurde ein Vergleich mit einem weiteren auf dem Markt erhältlichen Anzug mit gleichem Funktionsprinzip, dem *Rakunie*, vorgenommen. Da tragbare Hilfsmittel keinen zusätzlichen Zeitaufwand in deren Anwendung erfordern, stellen diese einen alternativen Ansatz zur Prävention für Pflegekräfte im Altenheim gegenüber verbreiteten Hilfsmitteln wie Patientenlifter dar. Diese Studie soll die Nutzerakzeptanz solcher Hilfsmittel untersuchen und somit auch Anforderungen verdeutlichen, die bei zukünftigen Entwicklungen beachtet werden sollten.

2 Methode

Im Rahmen dieses Beitrages wurde der *Smart Suit* (Smart Support Technology Inc. Tokyo, Japan) und der *Rakunie* (Morita Holdings Corporation, Osaka, Japan) von acht bzw. sechs Pflegekräften während der alltäglichen Arbeit getragen. Es handelt sich somit um eine *Felduntersuchung*, da die Untersuchung in einem natürlichen Umfeld stattfand. Es wurde eine quasi-experimentelle Versuchsplanung gewählt, da eine natürliche Gruppierung (Pflegekräfte am KWA) untersucht wurde und keine Randomisierung hinsichtlich der Versuchsteilnehmer möglich war. Die Zusammensetzung des Probandenkollektivs kann Tabelle 2.1 entnommen werden. Da 84,9 % der Pflegekräfte in der stationären Pflege weiblich sind [11], erlaubt die Studie mit nur weiblichen Probanden aussagekräftige Rückschlüsse für die adressierte Berufsgruppe. Den Versuchsteilnehmern war es erlaubt, den Versuch bei Einschränkungen oder Beschwerden jederzeit abzubrechen. Obwohl nur eine geringe Zahl an Probanden an der Studie teilnahm, lässt diese erste systematische Erhebung Abschätzungen zur Nutzerakzeptanz zu und verdeutlicht durch den Einsatz in der natürlichen Arbeitsumgebung praktische Anforderungen an derartige Anzüge.

Tabelle 2.1: Aufteilung des Probandenkollektivs nach Geschlecht und Alter.

		<i>Smart Suit</i>	<i>Rakunie</i>
Geschlecht	männlich	0	0
	weiblich	8	6
Alter	25 - 29	1	1
	30 - 39	3	2
	40 - 49	2	1
	50 - 59	2	1
	60 - 65	0	1

2.1 Untersuchungsobjekte

Der *Smart Suit Lite* (siehe Abbildung 2.1) wurde an der Hokkaido University (Japan) entwickelt und unter dem Namen *Smart Suit* über die Smart Support Technology Inc. (Tokyo, Japan) vertrieben. Zu diesem Anzug existieren verschiedene wissenschaftliche Publikationen, die sich mit der Auslegung und Simulation der elastischen Bänder [9, 10, 12] sowie der Evaluierung an Pferdetrainer [13], Melker [14], Pflegekräften [10] und einem humanoiden Roboter [15, 16] sowie der Beurteilung der Standstabilität mit vorgebeugtem Oberkörper [17] befassen. In einem

mitgelieferten Wäschenetz kann der Anzug in einer gewöhnlichen Waschmaschine gewaschen werden.



Abbildung 2.1: *Smart Suit* als Trägervariante (a und b) und in eine Weste integriert (c und d). Beide Varianten können über der Pflegekleidung getragen werden und besitzen gekreuzte flexible Bänder im Rückenbereich, die beim Vorbeugen des Oberkörpers gespannt werden.

Der *Rakunie* (siehe Abbildung 2.2) wird ebenfalls durch ein japanisches Unternehmen, der Morita Holdings Corporation (Osaka, Japan), angeboten. Er wurde gemeinsam mit der Forschungsgruppe um Nobutoshi Yamazaki der Keio Universität (Tokio, Japan) entwickelt. Der Aufbau unterscheidet sich vom *Smart Suit* durch eine deutliche Materialreduktion, die Anbringung der Gurte unterhalb der Knie und die Möglichkeit, die Spannung des Anzuges durch das Öffnen von zwei Verschlüssen für Arbeitspausen im Sitzen zu lösen. Laut Herstellerangabe darf der Anzug nur durch Handwäsche gereinigt werden.

Allen Probanden wurde eine Einführung in das entsprechende Hilfsmittel gegeben, und sie wurden beim Anlegen und korrekten Einstellen unterstützt. Zusätzlich wurde eine Handreichung zur Verfügung gestellt, in der die wichtigsten Informationen zusammengefasst waren.



Abbildung 2.2: Der *Rakunie* Anzug kann über (a und b) oder unter der Pflegekleidung getragen werden. Die gekreuzten Bänder im Rückenbereich und die Bänder an den Oberschenkeln werden beim Vorbeugen gespannt.

2.2 Messmittel Fragebogen

Mittels Fragebögen wurde die subjektive Wahrnehmung in Form von quantitativen Parametern zur *unterstützenden Wirkung* und zum *Komfort* als zentrale Einflüsse auf die Nutzerakzeptanz

erfasst. Um diese beiden Aspekte zu konkretisieren, konnten die Probanden zusätzliche Angaben machen. Bei der unterstützenden Funktion konnte angegeben werden, ob die Ermüdung der Muskeln im Rückenbereich verringert wurde und ob eine aufrechte Haltung unterstützt wurde. Der Komfort konnte konkretisiert werden, indem angegeben wurde, ob Druckstellen existieren und ob der Anzug den vollen Bewegungsfreiraum erhält. Abschließend wurde gefragt, ob der Proband den Anzug *erneut nutzen* würde.

Die Probanden füllten selbst zeitnah nach dem Ablegen des Anzuges die Fragebögen aus. Die Fragen wurden mithilfe von visuellen Analogskalen von 0 % bis 100 % beantwortet, wobei jeweils 0 % einer Behinderung und 100 % einem Nutzen entsprachen. Die Angaben wurden in 5 %-Schritten ausgewertet.

3 Ergebnisse und Auswertung

Die Beurteilung von Pflegekräften in Form von 8 Fragebögen zum *Smart Suit* und von 6 Fragebögen zum *Rakunie* wurden erhoben und ausgewertet. Da keine Normalverteilung und nur kleine Stichprobenumfänge vorliegen, wird die Auswertung anhand von Kennwerten wie Median, Median der Abweichungsbeträge (MAD) und Spannweite (Range) vorgenommen (siehe Tabelle 3.1). Die Evaluierung zeigte Unterschiede zwischen den beiden Modellen.

Der *Smart Suit* wurde überwiegend negativ beurteilt (siehe Abbildung 3.1). Die Mediane liegen beinahe vollständig im neutralen und negativen Bereich. Jedoch wurde die Unterstützung einer aufrechten Körperhaltung von allen Teilnehmern positiv bewertet (siehe Frage 3). Insgesamt ist ersichtlich, dass die Antworten bei den meisten Fragen hohen Spannweiten unterliegen. Eindeutig im negativen Feld liegen die Bewertungen des Komforts (siehe Frage 4-6). Es wurde nur durch einen geringen Anteil der teilnehmenden Pflegekräfte eine Unterstützung wahrgenommen (siehe Frage 1).

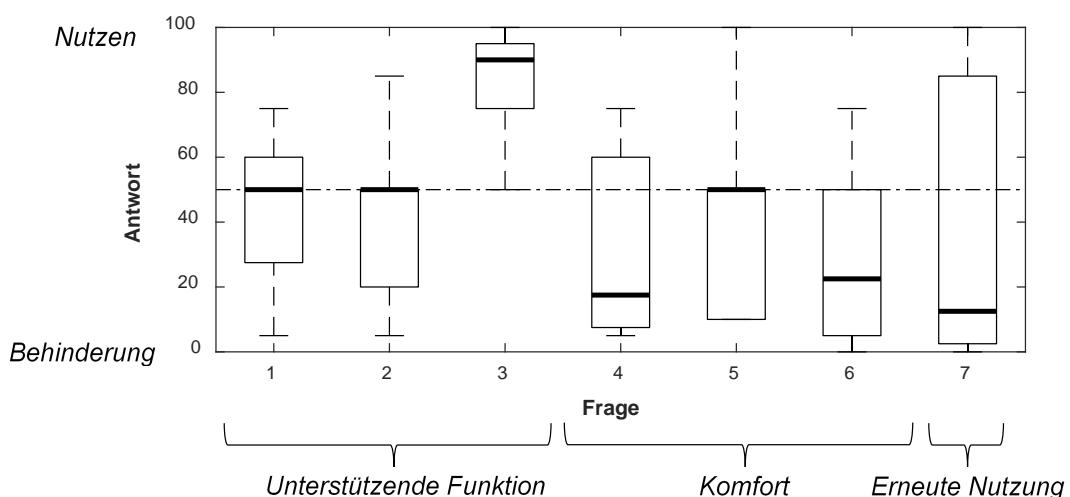


Abbildung 3.1: Boxplot der Antworten zum Smart Suit. Die Nummern der Fragen entsprechen Tabelle 3.1.

Die Rückmeldungen der Pflegekräfte zum *Rakunie* (siehe Abbildung 3.2) fielen positiver aus. Dies wird ersichtlich, da bis auf Ausnahme von Frage 2 alle Mediane im positiven Bereich liegen. Mehr Pflegekräfte gaben an, eine Unterstützung wahrzunehmen (siehe Frage 1). Gleichzeitig sind die Spannweiten der Antworten auch hier sehr hoch, was zeigt, dass einzelne Pflegekräfte einige Aspekte eindeutig negativ bewertet haben. Insgesamt ist die Bereitschaft für eine erneute Nutzung des Anzuges beim *Rakunie* deutlich höher als beim *Smart Suit* (siehe

Frage 7). Während lediglich 3 von 8 Probanden den Smart Suit erneut nutzen würden, waren beim Rakunie 4 von 6 Probanden hierzu bereit.

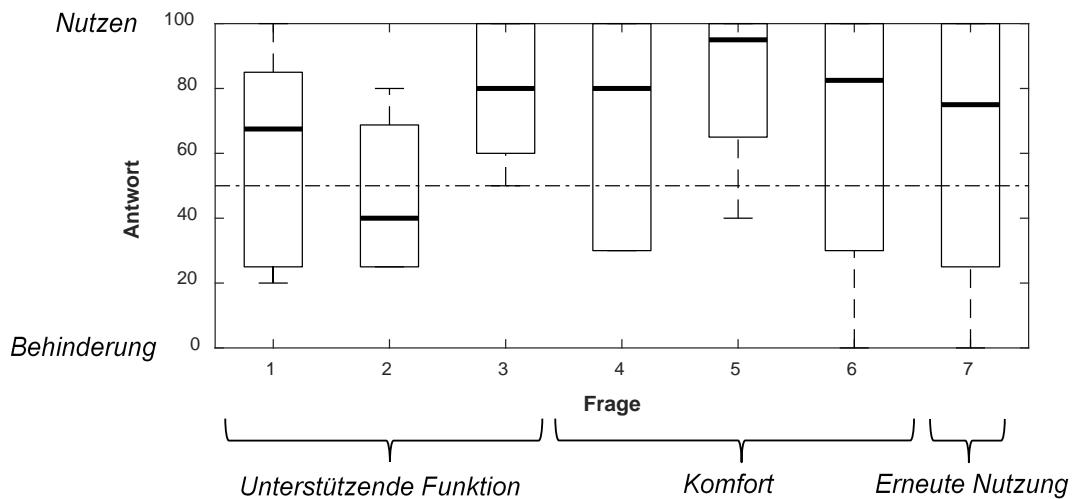


Abbildung 3.2: Boxplot der Antworten zum Rakunie. Die Nummern der Fragen entsprechen Tabelle 3.1.

Tabelle 3.1: Kennwerte wie Median, Median der Abweichungsbeträge (MAD) und Spannweite (Range) der Antworten zu *Smart Suit* und *Rakunie*.

Frage	Smart Suit	Rakunie
Unterstützende Funktion		
1: Verringerte Belastung im Rücken	Median = 50 MAD = 18,3 Range = 70	Median = 67,5 MAD = 25,8 Range = 80
2: Reduzierte Ermüdung der Muskeln	Median = 50 MAD = 20,6 Range = 80	Median = 40 MAD = 20,4 Range = 55
3: Unterstützung aufrechte Haltung	Median = 90 MAD = 12,8 Range = 50	Median = 80 MAD = 15,6 Range = 50
Komfort		
4: Bewertung Komfort	Median = 17,5 MAD = 25,3 Range = 70	Median = 80 MAD = 26,7 Range = 70
5: Druckstellen	Median = 50 MAD = 23,3 Range = 90	Median = 95 MAD = 21,3 Range = 60
6: Erhalt Bewegungsfreiraum	Median = 22,5 MAD = 22,2 Range = 75	Median = 82,5 MAD = 33,9 Range = 100
Erneute Nutzung		
7: Bereitschaft erneute Nutzung	Median = 12,5 MAD = 39,4 Range = 100	Median = 75 MAD = 37,5 Range = 100

In Abbildung 3.3 ist in einem Streudiagramm der Zusammenhang zwischen dem subjektiv wahrgenommenen Komfort und der Bereitschaft zur erneuten Nutzung dargestellt. Im Diagramm wird eine positive Korrelation sichtbar. Dies bestätigt auch die Berechnung des Spearman'schen Korrelationskoeffizienten r_{SP} mit Bindungen [18].

$$r_{SP} = 1 - \frac{6 \sum_i D_i^2}{(n^3 - n) - (T_C + T_B)} = 0,84 \quad (3.1)$$

mit dem Stichprobenumfang $n = 14$ und der Differenz D der Ränge von Komfort C und von der Bereitschaft zum erneuten Tragen B eines Probanden. Hierbei berechnen sich die Kennziffern T_C bzw. T_B zu

$$T_C = \frac{1}{2} \sum_k (t_{C,k}^3 - t_{C,k}) \text{ bzw. } T_B = \frac{1}{2} \sum_k (t_{B,k}^3 - t_{B,k}) \quad (3.2)$$

mit der Anzahl der Beobachtungen gleichen Ranges $t_{C,k}$ bzw. $t_{B,k}$. Der Spearman'sche Korrelationskoeffizient r_{SP} stellt einen Schätzer für den realen Korrelationskoeffizienten ρ_{SP} dar. Es wird die Nullhypothese $H_0: \rho_{SP} = 0$ gegen die Alternativhypothese $H_A: \rho_{SP} \neq 0$ mit einem Signifikanzniveau $\alpha = 0,01$ geprüft.

Da r_{SP} den kritischen Wert $\rho_{SP,krit}(n = 14; \alpha = 0,01) = 0,67$ [18] übersteigt, kann die Nullhypothese abgelehnt werden und somit eine Korrelation zwischen den beiden Parametern bestätigt werden.

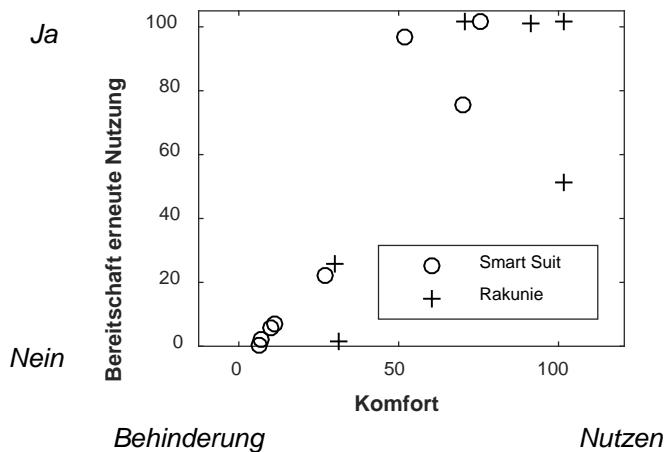


Abbildung 3.3: Das Streudiagramm von wahrgenommenem Komfort und der Bereitschaft für eine erneute Nutzung des Hilfsmittels zeigt eine positive Korrelation.

4 Diskussion

Neben den in der Auswertung betrachteten quantitativ bewerteten Aspekten der beiden Anzüge stellten sich während der praktischen Nutzung weitere Punkte heraus, die deren Gebrauchstauglichkeit und damit Nutzerakzeptanz für den Bereich der Altenpflege beeinflussten. Dies ist aufgrund der hygienischen Anforderungen die Waschbarkeit der Anzüge. Während die *Smart Suits* in Wäschennetzen bei 30 °C mit einem desinfizierenden Waschmittel gesäubert werden konnten, war bei den *Rakunie*-Anzügen nach Herstellerangaben nur eine Handwäsche zulässig. Um die *Rakunie*-Anzüge für diese Studie nutzen zu können, wurden diese dennoch mit der Maschine gereinigt. Der Hersteller gewährleistet hier keinen dauerhaften Erhalt der mechanischen Eigenschaften. Zum anderen muss berücksichtigt werden, dass die Altenpflege eine körperlich anspruchsvolle Arbeit ist, wodurch leichte Kleidung stark bevorzugt wird. Hier wurde der *Rakunie* deutlich positiver als der *Smart Suit* bewertet, da er sehr leicht und atmungsaktiv ist.

Die hier vorgestellte Evaluierung kann nicht direkt mit der von den Entwicklern publizierten Studie [10] verglichen werden. Der Unterschied im Versuchsdesign ist, dass die Anzüge in der hier vorgestellten Untersuchung einen gesamten Arbeitstag in Gebrauch waren, während in [10] die Anzüge lediglich einen halben Arbeitstag getragen wurden. Vor allem aber können auch kulturelle Unterschiede zu den verschiedenen Ergebnissen führen.

Derzeit wird viel Forschung im Bereich der tragbaren Roboter bzw. Exoskelette betrieben. Da diese Studie die eingeschränkte Nutzerakzeptanz bei einem flexiblen, leichtgewichtigen Anzug zeigt, verdeutlicht sie auch die hohen Ansprüche an den Komfort von steifen Strukturen für solche Roboter. Das Erreichen von einem hohen Komfort ist notwendig, um die Bereitschaft für ein Tragen über längere Zeiträume zu erzielen.

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Am Körper tragbare, passiv kraftunterstützende Hilfsmittel stellen einen neuartigen Lösungsansatz bei belastender körperlicher Arbeit dar. Aufgrund ihrer technischen Einfachheit stellen elastische Gurte eine Alternative zu aktiv angetriebenen tragbaren Robotern für Kraftunterstützung dar. Speziell für den Einsatz im Pflegealltag zeigten sich folgende praktische Anforderungen an tragbare Hilfsmittel:

- Da die Altenpflege eine körperlich anstrengende Tätigkeit ist, muss eine geringe Wärmeentwicklung unter dem Anzug gewährleistet werden.
- Die Anzüge müssen maschinenwaschbar sein, um in der Praxis den hygienischen Anforderungen zu genügen.
- Für einen breiten Einsatz muss eine hohe Nutzerakzeptanz erzielt werden. Diese kann nur bei einem hohen Tragekomfort erreicht werden.

Die vorgestellte Untersuchung zeigt somit die Hürden für tragbare Hilfsmittel auf und soll Entwicklern die Anforderungen an tragbare Hilfsmittel verdeutlichen.

6 Danksagung

Wir danken der Alfried Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung für die großzügige finanzielle Förderung dieser Arbeit. Unser Dank gilt außerdem den Mitarbeitern des Kuratoriums Wohnen im Alter gAG, insbesondere des Luise-Kiesselbach-Hauses, für die Offenheit und die große Bereitwilligkeit, mit der sie an dieser Evaluierung teilgenommen haben.

7 Literatur

- [1] S. Freitag, I. Fincke, M. Dulon, R. Ellegast, A. Nienhaus: Messtechnische Analyse von ungünstigen Körperhaltungen bei Pflegekräften – eine geriatrische Station im Vergleich mit anderen Krankenhausstationen. *ErgoMed* 5 31, S. 130-140, 2007.
- [2] U. Rheder, G. Deuretzbacher, O. Kempendorf, S. Molata, H. Michaelis: Biomechanische Analyse von Tätigkeiten in Pflegeberufen. In: D. Wolter, K. Seide (Hrsg.): Berufsbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule. Berlin: Springer, S. 78-89, 1998.
- [3] T. R. Waters, V. Putz-Anderson, A. Garg: Application Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. Cincinnati, Ohio: US Department of Health and Human Services, Division of Biomedical and Behavioral Science, 1994.
- [4] A. Ammann: Rückengerechtes Arbeiten in der Pflege. Leitfaden für gesundheitsfördernde Transfertechniken. Hannover: Schlütersche, 2013.

- [5] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Hrsg.): Rückengerechter Patiententransfer in der Kranken- und Altenpflege. Bundesweites Präventionsprogramm der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand. Berlin, 2002.
- [6] G. Bartoszek, G. Höppner, E. Sirsch: Sich bewegen können. In: I. Köther (Hrsg.): THIEMEs Altenpflege. Zeitgemäß und zukunftsweisend. Stuttgart [u.a.]: Thieme, S. 81-108, 2005.
- [7] N. Menche, C. Keller: Beobachten, Beurteilen und Intervenieren. In: N. Menche (Hrsg.): Pflege heute. Lehrbuch für Pflegeberufe. München: Elsevier, Urban & Fischer, S. 281-536, 2011.
- [8] M. N. M. van Poppel, M. P. de Looze, B. W. Koes, T. Smid, L. M. Bouter: Mechanisms of Action of Lumbar Supports. A Systematic Review. Spine 25 16, S. 2103-2113, 2000.
- [9] Y. Imamura, T. Tanaka, Y. Suzuki, K. Takizawa, M. Yamanaka: Motion-Based-Design of Elastic Material for Passive Assistive Device Using Musculoskeletal Model. Journal of Robotics and Mechatronics 23 6, S. 978-990, 2011.
- [10] Y. Imamura, T. Tanaka, Y. Suzuki, K. Takizawa, M. Yamanaka: Motion-based Design of Elastic Belts for Passive Assistive Device Using Musculoskeletal Model. 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), S. 1343-1348, 2011.
- [11] Destatis: Pflegestatistik 2013. Pflege im Rahmen der Pflegeversicherung - Deutschlandergebnisse. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2015.
- [12] T. Tanaka, Y. Satoh, S. Kaneko, Y. Suzuki, N. Sakamoto, S. Seki: Smart Suit: Soft Power Suit with Semi-active Assist Mechanism - Prototype for Supporting Waist and Knee Joint. 2008 International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), S. 2002-2005, 2008.
- [13] T. Kusaka, T. Tanaka, S. Kaneko, Y. Suzuki, M. Saito, H. Kajiwara: Smart Suit for Horse Trainers - Power and Skill Assist Based on Semi-active Assist and Energy Control. 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), S. 509-514, 2010.
- [14] H. Nara, T. Kusaka, T. Tanaka, T. Yamagishi, S. Ogura: Development on Smart Suit for Dairy Work Assistance. 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), S. 2840-2843, 2013.
- [15] Y. Imamura, T. Tanaka, K. Ayusawa, E. Yoshida: Verification of Assistive Effect Generated by Passive Power-Assist Device Using Humanoid Robot. 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), S. 761-766, 2014.
- [16] K. Miura, E. Yoshida, Y. Kobayashi, Y. Endo, F. Kanehioro, K. Homma, I. Kajitani, Y. Matsumoto, T. Tanaka: Humanoid Robot as an Evaluator of Assistive Devices. 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), S. 679-685, 2013.
- [17] Y. Imamura, T. Tanaka, H. Nara, Y. Suzuki, K. Takizawa, M. Yamanaka: Postural Stabilization by Trunk Tightening Force Generated by Passive Power-Assist device. 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), S. 2836-2839 2013.
- [18] J. Hedderich, L. Sachs: Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2016.

Akzeptanz durch Anpassung?

Mensch und Technik im philosophischen und wissenschaftshistorischem Kontext der Sinnfälligkeit

K. Liggieri

Mercator Research Group: Räume anthropologischen Wissens
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
Kevin.Liggieri@rub.de

Kurzzusammenfassung

Im Folgenden soll am Beispiel der psychotechnischen „Sinnfälligkeit“ die Anpassung, die heutzutage von den Ingenieurwissenschaften als Ergonomie, Anthropotechnik oder Usability Engineering betitelt wird, genauer in den Blick genommen werden. Die wissenschaftshistorische und philosophische Herangehensweise ist dabei produktiv, da hierdurch Problemfelder aufgedeckt werden können, die heute zwar präsent sind, aber keineswegs mehr explizit mitreflektiert werden. So wird momentan immer mehr Wert auf eine gelungene Mensch-Maschine-Interaktion gelegt, in der Technik Akzeptanz vermitteln, Komplexität reduzieren sowie den Mensch in den Mittelpunkt stellen soll (siehe dafür das Forschungsprogramm „Technik zum Menschen bringen“ vom Bildungsministerium für Bildung und Forschung). Als Vorläufer und Bezug sollen im Folgenden Ideen der Sinnfälligkeit diskutiert werden: Ein Konzept der 1920er und 1930er Jahre, bei dem im Bezug zu heutigen Diskussionen Änderung aber auch Kontinuitäten im Umgang zwischen Mensch und Technik auffällig werden.

Abstract

“Acceptance by adapting? Man and technology in the philosophical and historical context of „Sinnfälligkeit“”

Fritz Giese – a famous scientist of psychotechnics – responded to this debate with his concept of objectpsychotechnics in order to adapt the environment to the worker. The idea behind this adjustment was, that man should be working in a trouble-free and decent environment, because of his complex biological nature, which allows him only to do productive work in aforesaid environment. The economic movement or operation should always be intuitive and energy saving. The term for this problem was „Sinnfälligkeit“, which was rather discovered by engineers than by psychologists. Below I will investigate how engineers and also psychologists operate with the concept of „Sinnfälligkeit“.

Keywords: Psychotechnik, Sinnfälligkeit, Ordnung, Arbeitsplatz, Faktor Mensch

1 Einleitung

Die Sonderausstellung „Arbeitssitz und Arbeitstisch“, die am 25. Mai 1929 von der Deutschen Gesellschaft für Gewerbehygiene und dem Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit im Deutschen Arbeitsschutzmuseum (Berlin Charlottenburg) organisiert wurde, um dann auf Grund starken Anklangs als Wanderausstellung durch Deutschland (zuerst nach Süddeutschland) zu ziehen, führte nicht nur Beispiele für ‚gute‘ Konstruktionen vor, sondern bot auch aufkläreri-

schen Charakter, da die Idee eines ergonomischen Arbeitsplatzes an die Arbeiter und die Öffentlichkeit herangetragen werden sollte. Die Ausstellung, die eine interdisziplinäre Arbeit von Gewerbeärzten, Gewerbeaufsichtsbeamten und Betriebsingenieuren darstellte, hatte sich zum Ziel gesetzt, die „Bedeutung einer Arbeitsökonomie“ durch eine „zweckmäßige Gestaltung von Arbeitssitz und Arbeitstisch“ vorzuführen. [1] Um die vorzeitige Ermüdung bzw. Abnutzung zu verhindern und damit eine leistungsfähigere Arbeit zu ermöglichen. Mensch und Maschine/Arbeitsplatz waren so unvereinbar, folgt man dem Gedanken der Zeit, dass man irgendwie versuchen musste, eine Anpassung beider Seiten zu ermöglichen, um das Gesamtsystem effizient arbeiten zu lassen. Die Ausstellung teilte sich demzufolge in zwei Abteilungen auf: In der ersten ging es um die medizinisch-physiologisch richtige Körperhaltung, in der zweiten um den Bezug zur Praxis. In der ersten Abteilung wurden u.a. zur Anschauung der statischen Arbeit auf den Körper drei lebensgroße Nachbildungen einer Näherin gezeigt, in der die Ermüdung durch Haltung und Handbewegung verdeutlicht wurde. An einem sitzenden Skelett sollte den Besuchern dann positiv deutlich signalisiert werden, wie durch die richtige Wahl der Stützpunkte am Körper eine Erleichterung bei der Arbeit zustande kommt. Die Ausstellung illustrierte daneben auch anhand von verschiedenen Arbeitsschemeln und -stühlen eine Entwicklungsgeschichte des ‚ergonomischen Arbeitsplatzes‘ mit jeweils dargestelltem Fortschritt im Bezug zum vorherigen Modell. Durch diese Aufteilung in Theorie und Praxis versuchte die Ausstellung dementsprechend didaktisch Mensch und Arbeit in Form der Arbeitsumwelt aufeinander ‚abzustimmen‘. Dabei wurden die physiologisch richtigen Körperhaltungen am Arbeitstisch durch Modelle sowie bebilderte und statistische Darstellungen zur Anschauung und Nachahmung dargeboten. Leider, so der Zeitgenosse Ludwig Hilbersheimer, waren die dargestellten Modelle bis auf wenige Ausnahmen „noch rein theoretisch“. [2] Obwohl sich Firmen wie Siemens, AEG, Singer oder Hinz & Stoll dem neuen ergonomischen Stuhl direkt widmeten, blieb noch 1929 der einheitliche Arbeitsstuhl eine Ausnahme. Dabei wäre nach Hilbersheimer eine „allgemeine Anwendung [...] außerordentlich wünschenswert“, denn jedes Mittel, welches „produktionssteigernd“ wirkte, ohne den Arbeitenden zu belasten, sollte in der Praxis Verwendung finden. [2]

Was diese Ausstellung sowie der kritische Kommentar von Hilbersheimer verdeutlicht, ist die in den 1920er Jahren immer stärker aufkommende Idee einer praktischen Anpassung der Arbeitsumwelt/Technik an den Menschen. Diese Anpassung verdeutlicht auf der einen Seite das Ziel den Menschen zu entlasten und damit eine Effizienzsteigerung zu bewirken, auf der anderen Seite, zeigt sie aber auch, wie sich der Blick auf den Menschen änderte. Im Unterschied zu Frederick W. Taylors Scientific Management, welches den Menschen in Zeit- und Bewegungsstudien als fast maschinelles Glied an die Arbeit und die Maschine anpassen wollte, sollte nun in der deutschen Ingenieurswissenschaft sowie in der praktischen Psychologie – vorwiegend dem Zweig, den man Psychotechnik nannte – mehr auf den Menschen als ‚Faktor‘ wie auch als Problem eingegangen werden. Die Idee hinter dieser Anpassung war, dass der Mensch als komplexes lebendiges Wesen bei seiner Arbeit ein störungsfreies, ordentliches und ergonomisches Umfeld (u.a. Arbeitsstuhl) benötigte, um produktiv und effizient arbeiten zu können. Hatte man bis dahin lange versucht den Menschen durch Training und Auslese an die Technik anzupassen, so versuchte man nun die Technik im gleichen Zug auch an den Menschen anzupassen. Kurz gefasst: Die Technik musste zwangsläufig, wollte sie produktiv mit dem Menschen interagieren ‚benutzerfreundlich‘ und so der humanistisch klingende Terminus ‚menschenfreundlich‘ werden.

Im Folgenden soll am Beispiel der psychotechnischen „Sinnfälligkeit“ diese Anpassung, die heutzutage von den Ingenieurwissenschaften als Ergonomie, Anthropotechnik oder Usability Engineering betitelt wird, genauer in den Blick genommen werden. Die wissenschaftshistorische und philosophische Herangehensweise ist aus dem Grund produktiv, da hierdurch Problemfelder und Diskurse aufgedeckt werden können, die heute zwar argumentativ präsent sind, aber keineswegs mehr explizit mitreflektiert werden. So wird momentan immer mehr Wert auf eine gelungene Mensch-Maschine-Interaktion gelegt, in der Technik Vertrauen und Akzeptanz vermitteln, Komplexität reduzieren sowie den Mensch in den Mittelpunkt stellen soll (siehe dafür das Forschungsprogramm „Technik zum Menschen bringen“ vom Bildungsministerium für Bildung und Forschung). Die Fragen, die sich philosophisch und wissenschaftshistorisch an diese „Akzeptanz durch Anpassung“ anschließen, lauten somit: Woher kommen solche Motive und Programme? Wenn der Mensch bei jeder Technikentwicklung der Maßstab sein soll und sich an ihm Design und Ethik zu messen hat, wie schafft man dann gelungene (ethische wie funktionale) Akzeptanz im Umgang mit der Technik? Wie geniert man Benutzerfreundlichkeit, durch die der Mensch (auch ungelernt) ‚einfach‘ – intuitiv – mit der Maschine agieren kann? Als Vorläufer und Bezugspunkt dieser modernen Entwicklung soll im Folgenden verschiedenen Motive der Sinnfälligkeit diskutiert werden: Die Sinnfälligkeit ist ein Konzept der 1920er und 1930er Jahre, bei dem im Bezug zur heutigen Diskussionen Änderung aber auch Kontinuitäten im Umgang zwischen Mensch und Technik auffällig werden. Durch diese Analyse kann vielleicht einsichter werden, woher die so geläufige und scheinbar naturwüchsige (sinnvolle) Idee kommt, die Maschine für den Menschen als eigenständigen, individuellen Benutzer zu designen, und welches Menschenbild hinter solchen Annahmen steht, das auch heute noch virulent ist.

2 Akzeptanz durch Anpassung?

2.1 Gestaltung von Mensch und Material

Die Psychotechnik Fritz Giese gliederte sich in zwei verschiedene Funktionskategorien, die sich zumindest schematisch später bei der arbeitswissenschaftlichen Anthropotechnik/Ergonomie wiederfinden lassen: Zum einen eine Technik, die den Menschen an die Umwelt (Maschinen, Betrieb, soziales Umfeld) anpasste, und zum anderen eine Technik, die diese Umwelt an den arbeitenden Menschen anpasste. Im ersten Fall eichte man, mit Giese gesprochen, „den Menschen, das Subjektive des Zusammenhangs, [...] sinngemäß den Wirklichkeitsanforderungen [an].“ [3] Hier sprach man von „Subjektpsychotechnik“, z. B. in Form von Eignungsprüfung oder Anlernverfahren. Im zweiten Falle konnte man dagegen „geradezu umgekehrt vorgehen und die Dinge, die Umwelt, das Materielle der natürlichen psychologischen Natur des Menschen angleichen; sie zuschneiden auf die verhältnismäßig unveränderliche Natur unserer Eigenart.“ [3] Giese verwendete hierfür den Begriff „Objektpsychotechnik“ (z. B. als Anpassung der Werkzeuge, Maschinen, Beleuchtung, Reklamemittel an die psychophysischen Voraussetzungen der Menschen). Die Subjektpsychotechnik befasste sich demzufolge mit der Schulung, Berufskunde, Berufsberatung, und Menschenbehandlung. Die objektpsychotechnischen Gebiete einer psychotechnischen Eichung sollten „ein der Psychophysik der Person adäquates Maß“ oder schlichter ein „objektpsychotechnisches Maß“ anstreben. [4] Im gewissen Sinne wurde also der Mensch mit seiner ‚Natur‘ das Maß der Dinge. Nach ihm mussten sich Raum und Gerät richten. In dieser Ausrichtung auf den Menschen liegt auch schon eine be-

stimmte Evokation von Akzeptanz, da menschengerechte Maschinen nicht nur größere Sicherheit, sondern damit zusammenhängend auch Vertrauen ermöglichen. Trotz der humanistischen Rhetorik vieler Autoren blieb der Mensch ökonomisch dennoch eine ‚Sache‘, auf die man genau Acht geben musste, da durch seine dynamische Interaktion mit der Umwelt Berechnungen und Auswirkungen schwerer zu bemessen waren. Das Hauptproblem lag dabei darin, bei dem außerordentlichen Faktor ‚Mensch‘, der sich mit seiner Leiblichkeit nicht so einfach rationalisieren ließ, eine Ordnung herzustellen. Gerade deswegen wurde der Mensch als wichtiges Produktionsglied begriffen, da er auch andere Glieder – besonders die teuren Maschinen – durch seine Unachtsamkeit zerstören und damit einen großen finanziellen Schaden anrichten konnte. Aus der ökonomischen Blickweise waren demzufolge – wie schon beim US-amerikanischen Taylorismus – auch im Konzept der Objektpsychotechnik/Sinnfälligkeit Mensch und Maschine Material zur Anpassung aneinander für einen höheren Zweck der optimalen Organisation. Wendet man den Blick in einem zweiten Schritt genauer auf die psychotechnische Gestaltung von Arbeitsgeräten und Arbeitsplätzen, so zeigt sich die enge Beziehung zwischen Arbeitspsychologie, Physiologie und Psychotechnik und damit die differenzierte Behandlung einer menschlichen ‚Psychophysik‘. Denn durch den Blick auf die menschlichen Fehler, Unfälle und Leistungseinschränkungen öffnete sich zwangsläufig ein Fokus auf den Menschen, der sich um diese anthropologischen Eigenarten zentrierte. Dieses Biologische, das Lebendige an sich, aber war niemals rein rational, mechanisch oder gleichbleibend, sondern dynamisch, teils unvorhersehbar. Wie, so die Frage der Ingenieure und Psychotechniker, konnte man die Arbeitsgeräte auf dieses ‚Lebendige‘ einstellen und damit eine Akzeptanz generieren?

2.2 Zur Sinnfälligkeit von Gerät und Platz

Durch eine effizient an die psychophysischen Eigenarten der Menschen angepasste Arbeitsumgebung (hier: Arbeitsplatz und Werkzeug) sollte sich der wirtschaftliche Nutzen der Arbeit erhöhen. Nach dem Mediziner und Philosoph Gerd Fabian ließ sich das heterogene Gebiet der Objektpsychotechnik (Unfallverhütung, Reklamemittel, Arbeitsgeräte, Beleuchtung, etc.) in Leistungsstudien im Betriebe sowie Rationalisierung des Arbeitsplatzes aufteilen. Hierbei wurden vom Psychologen, der sich in Spezialfragen bestenfalls vom Techniker belehren lassen sollte, verschiedene Faktoren wie Material, Werkzeug und Maschinen auf ihre Eigenarten, ihre Typen, Zwecke und Verwendung untersucht – immer mit Blick auf die psychophysische Auswirkung beim Menschen. Erst durch dieses Wissen konnte man „kollektive“ Elemente wie die Nähe zum Nachbarn oder „Beleuchtungsstörungen“ sowie „individuelle“ Elemente (z.B. Aufmerksamkeit, Arbeitswille) analysieren. [4] Ausgehend von dieser subjektpsychotechnischen Arbeitspsychologie konnte zu einer praktischen objektpsychotechnischen Eichung der Geräte, der Maschinenbedienungsteile, des Arbeitsplatzumfeldes (meist Rationalisierung nach Zeit, Ermüdung und Bewegung) und der Arbeitsstellung vorangeschritten werden.

Die geforderte optimale, ökonomische Bewegung oder Bedienung sollte immer ‚naturgemäß‘ und damit intuitiv und energiesparend sein. Der wirkmächtige Terminus hierfür war, wie schon angedeutet, „Sinnfälligkeit“, der wie Giese bemerkte, eher von den Ingenieuren als von den Psychologen entdeckt wurde. [5]

„Sinnfälligkeit“ meinte in diesem Gebrauch ein „In-den-Sinn-Fallen“ des richtigen Zusammenhangs. Dieses ‚Fallen‘ sollte unterbewusst vor sich gehen, und entlastete somit, wenn man im Terminus der Psychotechniker bleiben möchte, das reflektierende Bewusstsein. Die Bedienung

sollte demzufolge, wie beim heutigen Handy mit seinem Touch-Screen, bestenfalls selbsterklärend sein. Man handelte zweckentsprechend, musste darüber aber nicht nachdenken. Da man also die Maschine intuitiv ohne ein direktes Wissen über sie, bedienen konnte, brauchte man weder gut ausgebildete Arbeiter noch übermäßig technikgebildete Bediener. Die Technik „erklärte“ sich durch die menschengerechte Gestaltung von selbst. Diese „Sinnfälligkeit“ konnte sich die Psychologie bei der Werbung und der Gestaltung von Bedienelementen zur Nutze machen, da sich durch Design Denkleistungen (und damit Fehler, Unfälle und Zeitverlust) reduzieren ließen. Die Sinnfälligkeit bezog sich, Giese zufolge, auf verschiedene Formen, wie traditionelle Assoziationen, Gewohnheit, physiologische Bewegungserleichterung oder Instinktbewegung.

Dass diese sinnfällige Art menschlich-technischen Vermittlung auch heute noch technischen Konstruktionen zu Grunde liegt, da sie nicht nur von einem instinktiven Technikgebrauch, sondern ebenso von einer ganz bestimmten anthropologischen Technikgestaltung ausgeht, soll im Folgenden erläutert werden. Der Grundgedanke lautete: Die Technik soll und kann die „reaktiven Bewegungen“ durch passende Konstruktion fördern. [5] Oder einfacher: Die Technik ist nicht Gegner, sondern Partner des Menschen. Der Mensch war im Gegenzug nicht mehr einfach mechanischer Motor, bei dem es reichte physiologische Bewegungsabläufe zu analysieren, sondern er war in der Verbindung zu Maschine ein senso-motorischer Teil, dessen psychische Eigenarten (wie Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Geschicklichkeit) in den Vordergrund rückten. In dieser auch emphatisch aufgeladenen Argumentation schuf die einfache, intuitive Handhabung von Technik nicht nur Sicherheit und Vertrauen, sondern eben auch Akzeptanz. Ein Beispiel hierfür wäre ein Kraftfahrer, der gleichzeitig bremsen und ausweichen soll. Die Bedienung der Geräte (Lenkrad, Kupplung, Handbremse, Fußbremse) erweist sich als komplexer als im ersten Moment gedacht, da bei der Handlung die „Sinnfälligkeit“ wirkmächtig wird. Mit der linken Hand muss der Fahrer das Steuer *drehen*, mit der rechten Hand die Handbremse *anziehen*, mit dem linken Fuß muss er die Kupplung *drücken*, und mit dem rechten Fuß die Bremse *treten*. Was im Fahrmanöver selbst weniger problematisch, weil intuitiv abläuft, zeigt seine Schwierigkeit, wenn eines der angeführten Bedienelemente nicht so „selbstverständlich“ funktioniert. Bestenfalls ist das Auto perfekt an den Fahrer und seine Bewegungen und Sinne angepasst, es verwächst als technisches Gerät phänomenologisch mit dem Fahrer. Kann der Fahrer sich allerdings nicht so einfach „in den Sinn fallen“ lassen (bspw. durch schlechte Konstruktion), so fällt er aus – es kommt zum *Un-fall*. Vertrauen, Sicherheit und Akzeptanz hängen demnach stark von der Anpassung der Technik an den Menschen ab. Die Psychotechniker, die in solchen Fällen genauer auf die Handhabungen der Geräte achteten, wurde schnell klar, dass für eine perfekte Anpassung u.a. die Handbremse „rückwärts“ gezogen werden musste, einmal aus Gründen der Kraftaufwendung, zum anderen – und das scheint mediatorisch interessant – aus Traditionsgründen eines Pferdeanziehens. Diese Mediation von alten Medien in neue, die zentral für eine gelingende Akzeptanz ist, zeigt sich bis heute im Design und Produktionsprozess. So hat der Windows-Desktop einen „Papierkorb“ und eine „Schreibmaschinenseite“, also eigentlich vordigitale Artefakte, die aber vermittelt im neuen Medien wieder auftauchen für eine gelingende Akzeptanz und Sinnfälligkeit. Der User erblickt im Fremden etwas Bekanntes und die „Unheimlichkeit“ des Unbekannten Mediums schwindet. Der Mensch und seine Sinne sowie kognitiven Fähigkeiten müssen sich bei guter Sinnfälligkeit nicht auf etwas gänzlich Neues einstellen (obwohl der PC im Unterschied zur Schreibmaschine genau so etwas revolutionär

Neues und Anderes auf Soft- und Hardware-Ebene darstellte), sondern finden Anschlusskommunikation. Auch Giese führte diese Analogieschlüsse an, um Bewegungs- und Arbeitsabläufe effizienter zu gestalten, wobei er jedoch unbeachtet ließ, dass solche traditionellen Sinnfälligkeiten stets kultur- und sogar generationsgebunden sind.

Um ein weiteres Beispiel anzuführen, sei nur darauf verwiesen, was für assoziative Probleme sich bei einem einfachen Hausbesuch ergeben würden, wenn die unterste Klingel nicht auf das Erdgeschoss und die oberste Klingel nicht auf den obersten Stock verweist. Diese Modi von traditionellen Assoziationen ermöglichen und generieren Anschlussfähigkeit. Akzeptanz wird somit durch Annektierung bekannter, folglich schon verinnerlichter Handlungsweisen erreicht. Werkstoffkennzeichnung sowie Rot als Warnfarbe oder der Blitz als Zeichen von Gefahr waren im ingenieurpsychologischen Kontext der 1920er Jahre dabei nur drei Beispiele einer „Selbstverständlichkeit“ und „Gedächtnisstütz[e]“ für den „einfachen“ Arbeiter. [6] Rupp sprach in diesem Sinne von der „Enge des Bewußtseins“, welches zum einen durch eine Begrenzung der menschlichen Aufnahmefähigkeit und zum anderen durch eine Abhängigkeit von Ordnung und Gliederung gekennzeichnet war, mit der Signale und Eindrücke den Menschen erreichten. [7] Ähnlich wie bei heutigem Technikdesign wurde versucht eine enge, nicht zu reflektierende Überlappung von Zeichen und Sinngehalt angestrebt, bei der der Mensch schnell und intuitiv seinen Handlungsauftrag erkennt, und das Interface selbst damit nicht mehr als Grenze oder Problem wahrnimmt. Um ein letztes Beispiel der sinnfälligen Tradition auch in der heutigen Zeit zu geben, sei nur auf die imperativen „Handregel“ verwiesen, die den meisten technischen Konstruktionen seit den 1920er Jahren zu Grunde lag und immer noch liegt: Rechtsverschiebung und -drehung führt nach rechts, rückt ein (öffnet) oder vergrößert. Linksverschiebung bzw. -drehung führt nach links, rückt aus (schließt) oder verkleinert.

In allen Forderungen nach Sinnfälligkeit sollte, wie gezeigt, das Denken damit entlastet werden bzw. den Arbeitern nicht ‚im Wege stehen‘. Der Mensch sollte durch Technik schnell, gefahrlos und effizient an sein gewähltes Ziel kommen, ohne (menschliche oder maschinelle) Hindernisse und Verluste. Die menschliche Handlung wurde damit zum intuitiven, dadurch weniger fehlerbehafteten Reflex.

3 Zusammenfassung: Die Maschine ist nicht dein Freund

Blickt man auf die Ausführungen, sowie auf die eingangs angeführte Frage nach der Akzeptanz durch Anpassung, so schien sich der Blick auf die Interaktion Mensch und Maschine in den 1920er Jahren beim Aufkommen der Sinnfälligkeit zu wandeln, obwohl bis heute verschiedene Paradigmen (Vertrauen, einfache Bedienung, universeller Anwender, Unfallvermeidung) konstant geblieben sind. Wo der Mensch im Taylorismus der 1910er Jahre mit seinen Zeit- und Bewegungsstudien noch einen Irrtumsfaktor darstellte, sah die Psychotechnik in ihm schon psychologische und physiologische Möglichkeiten wie Grenzen. Möglichkeiten und Grenzen, die auch bei der modernen Betrachtung bspw. des Bundesministeriums für Bildung und Forschung durchscheinen. Auch das Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von 2015 – mit dem sprechenden Titel „Technik zum Menschen bringen“ – zielt eindeutig auf diese Mensch-Maschine-Interaktion ab, die sich (mit Blick auf politische, soziale und finanzielle Förderung) nicht gerade subtil anthropophil aufstellt. In diesem Programm wird ganz gezielt auf ein „Hand in Hand“ von Mensch und Technik eingegangen, bei der eine „verantwortungsvolle“ Technik, die nicht nur dem Menschen dienen und ihn damit in den „Mittel-

punkt“ rücken, sondern die auch die „Akzeptanz“ sowie das „Vertrauen“ durch „ethische Reflexion“ und Design mehren sollte [8]. Diese Motive waren, wie gezeigt wurde, schon in der Sinnfälligkeit argumentativ wie auch technisch angelegt und haben sich zwar durch informationsverarbeitende Maschinen differenziert, die humanistische Maxime einer partnerschaftlichen ‚Zusammenarbeit‘ von Mensch und Maschine, sowie einer menschengerechten Bedienung ist allerdings gleich geblieben.

Im menschlichen Faktor bündelt sich demnach, so das Credo der Sinnfälligkeit wie auch des modernen Usability-Engineering, zum einen die Angst vor einer unberechenbaren und überraschenden Irratio in Form von Leistungsschwankungen, wie zum anderen eine Chance auf ethische Gesichtspunkte der Arbeit (Humanisierung). Der Mensch ist zwar in dieser Lesart der Maschine in gewissem Sinne unterlegen, auf der anderen Seite muss sich die Maschine aber ethisch auf ihn ‚einstellen‘. Es wurde in der vorliegenden Analyse ersichtlich, dass eine naturwissenschaftliche Exaktheit nicht so einfach auf den Menschen mit seinen Statuten übertragen werden konnte: Das Lebendige scheint damals und heute in der Beschreibung als zu komplex, zu chaotisch, zu unberechenbar für eine schlichte Mathematisierung. Vielen der psychotechnischen Forscher wurde daher deutlich, dass der Problemfaktor ‚Mensch‘ eine neue, eigene Behandlung benötigte, die das Konzept der Sinnfälligkeit bereit stellte. Die Chance war dabei den Menschen als Menschen, und nicht mehr als sklavische ‚Muskelmaschine‘ zu sehen, und die Maschine sinnfällig auf diesen lebendigen Menschen anzupassen. Nicht nur der Mensch wandelte sich durch die Sinnfälligkeit, auch die Maschine wurde notwendigerweise eine andere. So wurde die Technik selbst in diesem Argumentations- aber auch Konstruktionsprozess immer mehr ethisch und damit anthropologisch gekerbt. Damit ist aber nicht nur ein (positiver) humanistischer Aspekt verbunden, wie die vorliegende Analyse deutlich macht, sondern vielmehr ein ökonomischer: Durch die ‚menschenfreundliche‘ und ‚benutergerechte‘ Maschine geht es dem Menschen nicht unbedingt besser, aber er arbeitet effizienter und störungsfreier (Schadensreduktion) und damit produktiver in der Interaktion mit der (sinnfälligen) Maschine. Dass diese ökonomisch-dominanten damit ebenso disziplinierenden Zugriffe auf den Menschen auch in modernen Formen eines ergonomischen Usability Engineering und Produktdesign noch vorhanden sind, sollte zumindest bemerkt – besser noch begriffen werden –, bevor man vorschnell von einer ‚Humanisierung der Arbeit‘ oder vom ‚menschenfreundlichem‘ Design spricht. Denn die Maschine ist, so gesprochen, nicht dein Freund, sondern höchstens dein Arbeits- oder Kommunikationspartner. Die Sinnfälligkeit jedoch trägt dazu bei, das Interface, die Schnittstelle, die die Maschine zu etwas Anderem, Unbekannten, Nicht-Menschlichem macht, zu verwischen.

4 Literatur

- [1] Anonym: Wanderausstellung Arbeitssitz und Arbeitstisch. In: Hygienischer Wegweiser 6, 1931.
- [2] L. Hilbersheimer: Arbeitssitz und Arbeitstisch. In: Die Form: Zeitschrift für gestaltende Arbeit 4, 1929.
- [3] F. Giese: Psychotechnik. Breslau: Ferdinand Hirt, 1928.
- [4] G. Fabian: Einführung in die Psychotechnik des Arbeitsgerätes und des Arbeitsplatzes. In: F. Baumgarten/G. Fabian. Psychotechnik der Menschenwirtschaft. In: F. Giese (Hg.). Objektpsychotechnik. Handbuch sachpsychologischer Arbeitsgestaltung. Halle a.: Carl Marhold, S. 619-684, 1930.

- [5] F. Giese: Methoden der Wirtschaftspsychologie. In: E. Abderhalden (Hg.). Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abteilung VI, Teil C, Band 2. Berlin/Wien: Urban und Schwarzenberg, S. 119-744, 1927.
- [6] E. Ganzenhuber: Normung und Psychotechnik. In: Maschinenbau/Der Betrieb, 10, S. 250-252, 1931.
- [7] H. Rupp: Die Aufgaben der psychotechnischen Arbeits-Rationalisierung. In: Psychotechnische Zeitschrift, 6, S. 17-19, 1928.
- [8] BMBF: Technik zum Menschen bringen. Forschungsprogramm zur Mensch-Technik-Interaktion. Bonn: Thiel, 2015.

Welche technische Unterstützung wünschen sich Menschen mit Demenz?

Erfahrungen mit interdisziplinär angelegten Bedarfserhebungen

C. Brändle, J. Hirsch, N. Weinberger, B.-J. Krings

Karlsruhe Institut für Technologie, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

Karlstraße 11, 76138 Karlsruhe

claudia.braendle@kit.edu, johannes.hirsch@kit.edu, bettina-johanna.krings@kit.edu,

nora.weinberger@kit.edu

Kurzzusammenfassung

Die Einbindung von späteren Anwendern in Technikentwicklungsprozessen sowie die Erhebung von Bedarfen an Technik stellen aktuell eine große Herausforderung dar: Dies gilt ausdrücklich für die Einbindung sensibler Personengruppen, wie zum Beispiel von Menschen mit Demenz. Aber auch die Erwartungshaltung von Technikentwicklern an die Tiefe und den Konkretisierungsgehalt der Ergebnisse einer Bedarfserhebung, die „Übersetzung“ von nicht-technisch formulierten Anforderungen in eine technische Sprache sowie den Austausch zwischen Entwicklern und eingebundenen Personengruppen sind hier anzuführen. Lösungsvorschläge für diese Herausforderungen sind Übersetzungsformate wie „Action Sheets“ oder die Durchführung von Vorprojekten vor dem Start der eigentlichen Technikentwicklung.

Abstract

“What kind of technical support do people with dementia want? – Experiences with an interdisciplinary assessment of needs “

The involvement of future users in the technology development process and the assessment of needs and demands towards technology often represent a major challenge: This applies particularly to the integration of sensitive groups such as people with dementia. It also relates to the expectations of developers regarding the depth and substance, the results of a needs assessment can provide, the "translation" of non-technical requirements into a more technical language as well as the exchange between developers and the involved groups of people. Solutions to these challenges are translation tools such as "Action Sheets" or the implementation of so-called pre-projects.

Keywords: Bedarfsoorientierte Technikentwicklung, partizipative Technikgestaltung, Methoden der Nutzereinbindung, Action Sheets

1 Einleitung

Die Vorstellung spätere Nutzer einer Technologie möglichst frühzeitig in den Entwicklungsprozess einzubinden und ihre wirklichen Bedarfe zu erheben, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dies gilt insbesondere im Feld der bedarfsgerechten Technologien für Menschen mit Demenz [1]. Diesem so genannten „Demand-Pull-Ansatz“, der Nutzereinbindungen *und* Bedarfserhebungen im oder vor dem Technikentwicklungsprozess vorsieht, steht die Abkehr vom so genannten „Technology-Push-Ansatz“ gegenüber [2], bei dem technologische Innovationen

hauptsächlich von Seiten der Wissenschaft und Technik vorangetrieben werden. Diesem Wandel liegt die Hoffnung zugrunde, Technologien zu entwickeln, „die die Menschen wirklich wollen und brauchen“. Trotz der Vorteile, die ein Vorgehen nach dem Demand-Pull-Ansatz haben kann, bestehen allerdings bedeutsame Herausforderungen bei der tatsächlichen Umsetzung, vor allem bei einer so vulnerablen Gruppe wie Menschen mit Demenz. Eine standardisierte Empfehlung für das Vorgehen in dieser Art von anwenderorientierten Technikentwicklungsprojekten ist dabei nur schwer zu formulieren: Schließlich gleicht weder ein Projekt dem nächsten, noch sind die „wirklichen“ Bedarfe der Menschen mit Demenz umstandslos zu erheben. Es stehen zwar unterschiedliche sozialwissenschaftliche Methoden zur Bedarfserhebung für die Einbindung von Anwendern zur Verfügung, doch welche dieser Methoden und Verfahren eignet sich für welches Projekt und für welche anvisierte Nutzergruppe? Wenn es gelungen ist, die Bedarfe der späteren Anwender an die Technik zu erheben, wie können diese Ergebnisse für Technikentwickler aufbereitet werden, damit diese in sinnvoller Weise technisch umgesetzt werden können?

Der vorliegende Beitrag kann zwar keine allgemeingültigen Antworten auf diese Fragen liefern, aber er soll einen ersten Einblick in konkrete Herausforderungen zweier Bedarfsermittlungen geben, die Menschen mit jeweils unterschiedlich weit fortgeschrittener Demenz adressieren und die zu unterschiedlichen Stadien im technischen Entwicklungsprozess – nämlich vor und während des Prozesses – durchgeführt wurden und werden. Dabei handelt es sich die Forschungsprojekte *Movemenz* und *QuartrBack*¹, die der Frage nachgehen, wie innovative Technologien dazu beitragen können, Menschen mit Demenz einen sicheren Zugang zu ihren gewohnten Quartieren zu ermöglichen, menschliche Begegnungen zu bewahren und ihre physische Mobilität zu erhöhen.

Im Folgenden werden zunächst beide Projekte hinsichtlich ihres Aufbaus und ihrer Zielsetzung vorgestellt. Im Anschluss daran werden folgende Fragen genauer betrachtet: Welche Akteure wurden im Hinblick auf die Bedarfsermittlung von Technik eingebunden? Welche Methoden kamen dabei zur Anwendung? Inwiefern konnten Menschen mit Demenz in den Entwicklungsprozess eingebunden werden? In einem vierten Kapitel steht die Vermittlung von erhobenen Bedarfen an die Technikentwickler sowie die Frage, wie und ob diese in den Partizipationsprozess eingebunden wurden, im Fokus. Davon ausgehend werden im letzten Abschnitt die Herausforderungen der frühzeitigen Nutzereinbindung und der Vermittlung der erhobenen Bedarfe an die Technikentwickler genauer herausgearbeitet.

2 Die Projekte Movemenz und QuartrBack

Das Projekt „Mobiles, selbstbestimmtes Leben von Menschen mit Demenz im Quartier“ (*Movemenz*) wurde Ende 2015 abgeschlossen. Ziel des Projektes war es, Ideen für innovative Technologien zu generieren, deren Einsatz es Menschen mit Demenz in einem stationären Pflege-setting ermöglichen soll, mobil zu bleiben, einen leichteren und möglichst sicheren Zugang zum umliegenden Quartier zu erhalten und so ihre Teilhabe am sozialen Leben zu stärken. Dabei bot *Movemenz* als ergebnisoffen angelegtes Vorprojekt einen geeigneten Rahmen sowohl

¹ Die Projekte sind vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert: *Movemenz* unterscheidet sich dabei als zweijähriges Vorprojekt von Projektcontexten mit vorgegebenen Technologien, bei denen partizipative Verfahren der Nutzereinbindung die Entwicklung begleiten oder ihr vorangestellt werden. *QuartrBack* ist ein „klassisches“ Technikentwicklungsprojekt mit einer Laufzeit von drei Jahren. Daraus ergibt sich für den vorliegenden Text eine asymmetrische Darstellung der Projekte: In *Movemenz* lag ein stärkerer Fokus auf den Methoden, bei *QuartrBack* eher auf der spezifischen Technik.

für den Einsatz unterschiedlicher Methoden der bedarfsorientierten Technikentwicklung, als auch ein offenes Feld für Technikentwickler, innovative technische Ansätze zur Verbesserung der Mobilität von Menschen mit Demenz in der stationären Pflege zu entwerfen. [3] Hauptorientierungspunkt für die Technikentwickler waren die nicht-technischen Bedarfe der späteren Anwender und anderer relevanter Akteure (Menschen mit Demenz, Angehörige, professionelle und ehrenamtliche Pflege- und Betreuungskräfte, Pflegedienstleister, Akteure im Quartier). Ganz im Sinne einer entwicklungsbegleitenden Technikfolgenabschätzung wurden die unterschiedlichen Phasen des Projektes von einem multidisziplinär besetzten „Runden Tisch“ begleitet. Hier wurden diejenigen ethischen, rechtlichen, technischen und pflegewissenschaftlichen Aspekte aus den Projekterfahrungen thematisiert und (kontrovers) diskutiert. Dabei wurden Technologien, die den zentralen Bedarf nach schneller Lokalisierung und Unterstützung im Hilfsfall adressieren, bereits frühzeitig im Projekt als mögliche technologische Innovationen identifiziert, um die Förderung von Mobilität von Menschen mit Demenz im Quartier zu fördern.

Noch während der Laufzeit von *Movemenz* wurde ein neues Projekt *QuartrBack* „Intelligente Notfallkette im Quartier für Menschen mit Demenz“ ins Leben gerufen, welches das Bedürfnis nach mehr Sicherheit bei der Bewegung im öffentlichen Raum von Menschen mit Demenz und ihren Angehörigen adressiert. Bei *QuartrBack* liegt der Fokus auf Menschen, die sich in einem frühen bis mittleren Stadium der Demenz befinden und noch zu Hause leben. Hier erhofft man sich mithilfe der im Rahmen von *QuartrBack* zu entwickelnden Technologien, den Übergang in ein institutionelles Pflegesetting und die damit einhergehenden Verluste an Mobilität und Zugangsmöglichkeiten zum gewohnten Lebensumfeld hinauszuzögern. Die Kernidee von *QuartrBack* beruht dabei auf einem Zusammenspiel von drei Komponenten: Der Mensch mit Demenz erhält ein Hilfsmodul, mit dem sich sein aktueller Standort lokalisieren lässt, der aber auch Bewegungsdaten an eine zentrale Dienstleistungseinheit (ServiceCenterPflege oder SCP), sendet. Das SCP stellt die zweite Komponente dar: Hier werden die Daten gesammelt und über einen mitlernenden Algorithmus ein individuelles Bewegungsprofil des Anwenders erstellt. Schließlich pflegen Menschen generell bestimmte Routinen bei der Bewegung in den ihnen bekannten Sozialräumen, im Folgenden als Quartier bezeichnet. [4] Dieser Umstand ist bei Menschen mit Demenz noch ausgeprägter, sie gehen oft dieselben Wege und besuchen dieselben Orte, oft mit einer für sie besonderen biografischen Bedeutung. [5] Erkennt das System nun eine bemerkenswerte Abweichung von der üblichen Bewegungsroutine eines Anwenders oder sprechen andere Daten, wie beispielsweise das aktuelle Wetter, für eine mögliche Gefahrensituation, setzt sich die intelligente Notfallkette in Gang: Das SCP wählt auf Grundlage der vorliegenden Daten ein passendes Handlungsszenario für die Hilfssituation aus und aktiviert einen passenden Helfer aus dem individuellen Helfernetz des Menschen mit Demenz über eine App. Dieses Helfernetz bildet die dritte Komponente des *QuartrBack*-Systems und besteht aus Angehörigen, ehrenamtlichen Helfern und Mitarbeitern mobiler Dienste. Bereits an der Beschreibung des *QuartrBack*-Systems wird deutlich, dass eine Einbindung von Anwendern und Akteuren im Quartier sinnvoll ist: So können die späteren Nutzer des Hilfsmoduls und der App Einfluss auf die konkrete Ausgestaltung der Technologien nehmen, aber auch ihre Hoffnungen und Bedenken äußern, zum Beispiel, wenn es um Fragen des Datenschutzes geht. Da in diesem Projekt nicht nur sensible Personengruppen involviert sind, sondern auch Technologien gerade in Bezug auf Datenschutz sicher entwickelt werden müssen, bot sich hier eine begleitende Technikfolgenabschätzung an. Daher wurde ebenfalls ein multidisziplinär besetzter Expertenbeirat

zusammengestellt, dessen Mitglieder² aus ihren unterschiedlichen Perspektiven heraus die im Projekt zu entwickelnden Technologien bewerten.

3 Welche Methoden wurden eingesetzt und welche Personengruppen eingebunden?

3.1 Bedarfserhebung vor einem Technikentwicklungsprojekt

Als Vorprojekt war *MovemenZ* auf die Ermittlung von unterschiedlichen Bedarfen potentieller Nutzer angelegt, was die Fülle an durchgeführten partizipativen Formaten innerhalb des Projektes erklärt. Das Projekt lässt sich in zwei Phasen unterteilen. In der ersten Phase lag der Fokus auf der Bedarfserhebung: Welche Bedarfe haben Menschen mit Demenz, die sich in einem stationären Pflegesetting befinden, wenn es um Mobilität und den Zugang zur umliegenden Nachbarschaft geht? Für die Bedarfserhebung wurden die Methoden der teilnehmenden Beobachtung, der leitfadengestützen Einzelinterviews sowie die der Fokusgruppe eingesetzt. Den Start der Erhebung bildete die teilnehmende Beobachtung, bei der das Projektteam für insgesamt zwei Wochen den Alltag von Menschen mit Demenz in einer Einrichtung der stationären Pflege beobachtete. Im Anschluss daran wurden sechs der betroffenen Bewohner in Einzelinterviews zu ihrer Lebensgeschichte, ihren aktuellen Lebensumständen sowie zu ihrem Zugang zu der Umgebung außerhalb des Pflegeheimes und ihrer generellen Haltung zu Technik befragt. Aus den Beobachtungsergebnissen wurden Zwischenhypthesen abgeleitet, die in den späteren Maßnahmen zur Bedarfserhebung aufgegriffen wurden. So wurden neben Betroffenen auch Hausdirektionen, die Pflegedienstleitung, der örtliche Bürgermeister und eine Vertreterin des Quartiers interviewt. Darüber hinaus wurden Fokusgruppen durchgeführt, bei denen Angehörige, Ehrenamtliche und Vertreter des Pflegepersonals gemeinsam über die aus den Beobachtungen abgeleiteten Hypothesen sowie über Fragen der Mobilität von Menschen mit Demenz diskutierten.

Fokus der zweiten Projektphase war die Technikvalidierung: Die Ergebnisse aus den vorangegangenen Beobachtungen, Fokusgruppen und Interviews wurden analysiert und im Rahmen eines iterativen Workshop-Prozesses Ideen zu technischen Lösungen erdacht, die die daraus abgeleiteten Bedarfe adressieren könnten. Die Generierung von innovativen Technologien, die das Mobilitätsverhalten von Menschen mit Demenz unterstützen und fördern, war Mittelpunkt des ersten Workshops mit Technikentwicklern. Deren technische Lösungsvorschläge sowie die Ergebnisse aus der Bedarfserhebung wurden in einem zweiten Workshop mit Angehörigen, Ehrenamtlichen sowie Pflege- und Betreuungskräften kritisch diskutiert. Bewertet wurden die Technologien vor allem in Hinblick darauf, ob sie wichtige nicht-technische Aspekte und Bedarfe von Menschen mit Demenz erfüllen oder nicht. Diese Rückmeldungen wurden mit den Technikentwicklern in einem dritten Workshop aufgenommen, bei dem die verschiedenen technischen Optionen gefiltert und diejenigen Technologien verworfen wurden, von denen es (1) bereits ähnliche Produkte auf dem Markt gibt bzw. im Rahmen anderer Projekte entwickelt werden oder bei denen (2) allgemeine Bedenken oder Zweifel an der praktischen Anwendbarkeit, Akzeptanz oder generellen Umsetzbarkeit bestanden. Am Ende wurden drei Technik“räume“ identifiziert, bei denen sowohl Entwickler wie auch Angehörige und Vertreter des Pflegearrangements das Potential erkannten, die Mobilität von Menschen mit Demenz zu verbessern. Diese drei Technikoptionen wurden in einem gemeinsamen Workshop mit Technikentwicklern und Pflege- und Betreuungskräften aus der jeweiligen Perspektive heraus bewertet. Dabei konnten die Technikideen in einem Aushandlungsprozess zwischen der technischen und

² Mit einer Ausnahme waren keine Experten des Runden Tisches (*MovemenZ*) im Expertenbeirat (*QuartrBack*).
Seite 100

pflegerischen Perspektive weiter an die unterschiedlichen Bedarfe der Bewohner mit Demenz, aber auch der in der stationären Pflege Beschäftigten, angepasst werden. In einem letzten Workshop mit den Technikentwicklern wurden die Ergebnisse des gemeinsamen Workshops noch einmal rekapituliert und ein technisches Pflichtenheft verabschiedet, welches durch den Runden Tisch zu drei Technikideen erarbeitet wurde. [6]

In *Movemenz* können zwei Arten der Einbindung von Menschen in einem späten Stadium der Demenz unterschieden werden: Eine passive Einbindung von Betroffenen fand über die teilnehmende Beobachtung im stationären Pflegesetting statt. Dies bot einen tiefen Einblick in den Alltag von Menschen mit Demenz und ermöglichte es den Beobachtenden, das konkrete Mobilitätsverhalten sowie die Herausforderungen und Eigenheiten bei der Bewegung in und außerhalb des Heims zu erfassen. Daraus ließ sich eine Vielzahl an (nicht-)technischen Bedarfen ableiten. Eine aktive Einbindung von Menschen mit Demenz in den Forschungsprozess fand über Interviews mit sechs Bewohnern mit Demenz statt, bei denen eher allgemein gehaltene Ergebnisse erhoben werden konnten. So schien es Menschen mit fortgeschrittener Demenz schwer zu fallen, konkrete Bedarfe zu artikulieren oder sich vorzustellen, wie Technik ihren Alltag erleichtern könnte. Es bleibt zu untersuchen, ob für Projekte, die zu Technik für Menschen mit fortgeschrittener Demenz forschen, passive Verfahren, wie die teilnehmende Beobachtung, besser für die Bedarfserhebung geeignet sind, als eine aktive Einbindung in Interviews oder Workshops. Quer dazu liegend müsste allerdings zunächst eruiert werden, ob Menschen mit fortgeschrittener Demenz überhaupt Technologien brauchen und wenn ja, welche.

3.2 Bedarfserhebung während einer Technikentwicklung

Im Projekt *QuartrBack* ist sowohl eine Bedarfserhebung von nicht-technischen und technischen Anforderungen als auch die Einbindung von potentiellen Nutzern in den Entwicklungsprozess geplant. So wurden bereits Ende 2015 in zwei Quartieren insgesamt vier Workshops durchgeführt, die den Kern der Bedarfserhebung bilden. Eine zweite Workshop-Runde fand im Juli und September 2016 statt und sollte das „Insider-Wissen“ der Einwohner zu den ihnen vertrauten Quartieren abfragen. Im Zuge der Technikentwicklung sollen zudem potentielle Anwender, aber auch Workshop-Teilnehmer in Prototypen- und Feldtests eingebunden werden. Bei den ersten vier Workshops zur Bedarfserhebung wurden je zwei Workshops pro Quartier durchgeführt, in denen unterschiedliche Personengruppen getrennt befragt wurden. So wurden zunächst jeweils 3000 BürgerInnen je Quartier per Stichprobe angeschrieben und zu einem Bürger-Workshop eingeladen. Insgesamt nahmen 56 BürgerInnen an den beiden Workshops teil. Zusätzlich fanden in den Städten so genannte „Akteurs-Workshops“ statt. Mit „Akteuren“ sind hier Beschäftigte oder Engagierte aus sozialen Verbänden oder Einrichtungen, sowie Vertreter der Stadt, der Polizei und im Fall eines der Quartiere, Mitglieder einer bereits bestehenden lokalen Allianz für Menschen mit Demenz, gemeint. Die Bürger-Workshops wurden nach dem World-Café-Verfahren abgehalten, bei dem die Teilnehmer an vier Tischen in Kleingruppen mit wechselnder Zusammensetzung über das *QuartrBack*-System diskutierten. Die Akteurs-Workshops wurden im Stil von Fokusgruppen durchgeführt. Bei allen Workshops sollten die Teilnehmer aus zwei unterschiedlichen Perspektiven – die des Menschen mit Demenz und die des Helfers im Helfernetzwerk – die im Projekt zu entwickelnden Technologien und die Ausgestaltung des Helfernetzes diskutieren. Die konkreten Fragen an den einzelnen Tischen lauteten:

1. Welche Rahmenbedingungen müssen erfüllt sein, damit ich Helfer werde?
2. Wie muss für mich als Betroffener das ideale Helfernetz gestaltet sein?
3. Was erwarte ich als Betroffener von der Technik? Was befürchte ich?
4. Welche Möglichkeiten muss die Helfer-App für mich bieten?

Die Fragen wurden auch bei einem Treffen des Expertenbeirates im World-Café-Format behandelt. Insbesondere die Diskussionen bei den beiden Tischen zur Technik auf Helfer- und Betroffenenseite konnte viele Hinweise liefern, welche Erwartungen an die zu entwickelnden Technologien gestellt werden, welche Bedarfe damit erfüllt werden sollen, aber auch, welche Ängste insbesondere in Bezug auf Datenschutz und Privatsphäre mit der Techniknutzung einhergehen können. Neben dieser Einbindung von Nicht-Betroffenen ist eine Einbindung von Menschen mit Demenz im frühen bis mittleren Stadium vorgesehen. Bisher konnte ein Betroffener in das Projekt integriert werden: Er ist, zusammen mit seiner Frau, Mitglied des Expertenbeirates und kann über die Laufzeit des Projektes Rückmeldungen zu den Technologien und zu weiteren nicht-technischen Aspekten liefern. Zudem sollen Menschen mit Demenz auch in die Feldtests zum Ende der Projektlaufzeit eingebunden werden, um die bereits erhobenen Bedarfe aus den vorangegangenen partizipativen Elementen zu verifizieren.

4 Wie wurden die nicht-technisch Bedarfe für die Technikentwickler nutzbar gemacht?

Im Projekt *Movemenz* wurden nach der teilnehmenden Beobachtung als erste Ergebnisse Zwischenhypthesen gebildet, welche im Rahmen der Fokusgruppe und der Einzelinterviews diskutiert und um weitere Fragen ergänzt wurden. Mit den gesammelten Ergebnissen der ersten Projektphase ging es in die zweite Phase des Projektes, bei denen Workshops mit wechselnden Teilnehmern – Technikentwickler und Angehörige sowie Pflege- und Betreuungskräfte – abgehalten wurden. Dabei stand der eigentliche Austausch und der Wechsel zwischen den Perspektiven im Vordergrund: So wechselten sich die Workshops mit Technikentwicklern und die Workshops mit Angehörigen und Pflege- und Betreuungskräften ab. Diskutiert wurden jeweils die Ergebnisse des vorangegangenen Workshops. Dabei waren insbesondere die Einschätzungen sowie die Expertise der Angehörigen und der VertreterInnen des Pflegearrangements wichtig für die Beurteilung der technischen Lösungsvorschläge. Bei diesem Wechselspiel kam den AutorInnen des Projektteams die Rolle des Übermittlers zu. Am Schluß dieses Prozesses wurde ein gemeinsamer Workshop durchgeführt, bei dem ein direkter Austausch zwischen Technikentwicklern und den Experten für den Alltag von Menschen mit Demenz ermöglicht werden konnte. Beide Gruppen diskutierten dabei gemeinsam am physischen Objekt über die verbliebenen, als sinnvoll erachteten Technologien. Im Vorfeld kam auf Seiten des Projektteams die Frage auf, ob ein solcher Workshop gelingen könnte. So gab es Bedenken, ob die Technikentwickler aufgrund ihrer Routine in der wissenschaftlichen Arbeit die Diskussion dominieren könnten. Zudem könnte eine unterschiedliche Sprache den Austausch erschweren und die sehr technisch und wissenschaftlich geprägte Sprache der Technikentwickler die Betreuungs- und Pflegekräfte, die eher nicht-technisch, aus ihrem Alltag heraus argumentieren, „einschüchtern“. Diese Bedenken stellten sich jedoch als unbegründet heraus. Beide Gruppen waren sehr rege an der Diskussion beteiligt und gingen stark aufeinander ein. Insbesondere für die Diskussion über die konkrete Ausgestaltung der Technologien war dieses Workshop-Format besonders gut geeignet, da sich hier die Technikentwickler als Adressaten sowie die Pflege- und Betreuungskräfte als indirekte spätere Nutzer direkt und ohne

dazwischengeschalteten Vermittler austauschen konnten: So konnten sehr schnell wichtige technische Anforderungen identifiziert und gleich bei den entsprechenden Umsetzern – den Technikentwicklern - angesprochen werden, was auch den Arbeits- und Zeitaufwand verringerte, der sonst in die Aufbereitung der Diskussion und deren Vermittlung geflossen wäre. Ein solch direkter Austausch zwischen Entwicklern und späteren Nutzern kann damit auch in anderen Projekten sinnvoll sein.

Im *QuartrBack*-Projekt entstanden aus den vier Workshops, die zur Erhebung der Bedarfe durchgeführt wurden, mehrere Stunden Audiomaterial und entsprechend umfangreiche Transkriptionen. Eine erste Herausforderung bestand darin, diese Menge an Daten aufzuarbeiten und sie für die Technikentwickler nutzbar zu machen. Dabei wurden die Transkriptionen nach dem Verfahren der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet und die verschiedenen Aussagen nach übergeordneten Themen geclustert. So wurde beispielsweise die Idee, einen Notfallknopf an das Hilfsmodul des Betroffenen anzubringen, immer wieder durch die Bürger und die Akteure angesprochen. Daher wurden alle Aussagen zum Thema „Notfallknopf“ zusammengetragen und in einem zweiten Schritt ausdifferenziert und in kleineren Einheiten zusammengefasst. So konnten die Aspekte des *QuartrBack*-Systems, welche den Befragten besonders wichtig waren, klar herausgearbeitet werden. Bezuglich der Anforderungen und Bedenken sowohl an die Technik als auch an das Helfernetz gab es nicht immer Konsensescheidungen, viele Aspekte wurden kontrovers diskutiert und waren nicht immer eindeutig zu bestimmen, z. B. wenn es um Designfragen der Technologien ging. Eine weitere Herausforderung bestand also darin, wie diese umfangreichen und kontrovers diskutierten Bedarfe sinnvoll an die Technikentwickler weitergegeben werden konnten. Eine Lösungsmöglichkeit ergab sich im Austausch mit WissenschaftlerInnen des Universitätsklinikums Heidelberg, welche den Ansatz sogenannter „Action Sheets“ (AS) verfolgten, bei denen die von den involvierten Betroffenen angegebenen Bedarfe in Form eines übersichtlich gestalteten, knapp zusammengefassten Dokuments an Technikentwickler übermittelt wurden. [7] Dieses Konzept wurde für *QuartrBack* adaptiert und es wurden über 150 sehr kleinteilig gehaltene Action Sheets erstellt. Diese enthielten zunächst folgende Informationen: Titel, Ursprung, eine User Story, für die exemplarische Zitate aus den Transkripten verwendet wurden, sowie Abhängigkeiten zu anderen Action Sheets. Diese Action Sheets wurden dem Projektconsortium und insbesondere den Technikentwicklern zur Diskussion gestellt, um ihnen die Möglichkeit zu geben, die Action Sheets aus ihrer eigenen Perspektive zu bewerten. Bei der Bewertung der Action Sheets wurden dabei durchaus von den Workshop-Teilnehmern angesprochene Wünsche an die Technik von den Entwicklern abgelehnt, z. B. weil diese technisch nicht umsetzbar seien, weil die Anforderung deutlich über den Rahmen des Projektes hinausgehen würden oder weil datenschutzrechtliche Gründe gegen die Idee sprächen. Dabei ist es im Sinne eines transparenten Einbindungsprozesses von besonderer Bedeutung, diese begründete Ablehnung einiger Bedarfe an die Workshop-Teilnehmer zurück zu spiegeln. Diese Rückmeldung war Teil der zweiten Workshop-Runde, die im Sommer 2016 stattfand.

5 Fazit: Chancen und Herausforderungen der Nutzbarmachung nicht-technischer Bedarfe für Technikentwickler

Projekte, die sich vom Gedanken des Demand-Pull-Ansatzes leiten lassen und, statt einem von Technik- und Wissenschaftsseite forciertem „technology push“, auf Bedarfserhebung und

frühzeitige Einbindung von Anwendern setzen, sehen sich früher oder später mit eben jenem Problem des Vermittelns zwischen den partizipierenden Anwendern und den Technikentwicklern konfrontiert. Die Erfahrungen aus den Projekten *Movemenz* und *QuartrBack* können dabei wichtige Hinweise auf methodische Herausforderungen liefern, die sich hinsichtlich dieser notwendigen sozialen und technischen „Übersetzungsleistung“ ergeben. Zu diesen Herausforderungen gehören neben der Initiierung eines Dialogs zwischen Nutzern und Entwicklern an sich, auch die Kommunikation der unterschiedlichen Bedarfe beider Seiten an den Projektprozess im Sinne eines Demand-Pull-Ansatzes selbst sowie die Herausforderung der Einbindung von Menschen mit Demenz als wichtige Akteure in Technikentwicklungsprojekten.

5.1 Lessons Learned: Action-Sheets

So kann aus *QuartrBack* heraus das Konzept der Action Sheets auch für andere Projekte eine vielversprechende Methode sein, um nicht-technische Bedarfe an Technik in ein für Technikentwickler nutzbares Format umzuwandeln. Dennoch bestehen hier nach wie vor Schwierigkeiten, die eine Weiterentwicklung des Konzeptes in der Zukunft sowie eine individuelle Anpassung des Konzeptes je nach Art und Zielsetzung des Projektes nötig machen. Einerseits betrifft dies den hohen Arbeits- und Zeitaufwand, den die Erhebung der Bedarfe, ihre genaue Analyse und ihre Überführung in das Format der Action Sheets kosten, der vor dem Start der Entwicklung eingeplant werden sollte. Andererseits birgt auch die eigentliche „Übersetzungsleistung“ – das Überführen nicht-technisch formulierter Bedarfe in Action Sheets – zusätzliche Hindernisse: In den Action Sheets wurden z. B. gezielt ausgewählte Zitate der Teilnehmer zu ihren Wünschen oder Anforderungen an die Technik verwendet. Diese waren für die Technikentwickler jedoch oft nicht ohne zusätzliche Erläuterungen verständlich. An dieser Stelle kam es zu einem Dilemma: Soll man die sogenannte User Story, die für die Entwicklung wesentliche Szenarien verdeutlicht, auf Grundlage der Zitate und ihres Kontextes reformulieren? Die konkreten Bedarfe lassen sich aber kaum auf diese Weise genauer herausarbeiten, zumindest nicht, ohne einen eigenen *bias* seitens des „Übersetzers“ miteinzubringen. Dieses Problem wird verstärkt durch die fehlende Möglichkeit, Entwickler bei Nachfragen mit den Workshop-Teilnehmern in Kontakt zu bringen.

5.2 Lessons learned: Unterschiedliche Erwartungen an die Bedarfserhebung

Eine weitere Herausforderung bei der Vermittlung zwischen Technikentwicklern und befragten Anwendern betrifft die Erwartungshaltung, die die Entwickler an die Ergebnisse der Bedarfserhebung haben. Dies gilt insbesondere für die Konkretheit der Aussagen zur Ausgestaltung der Technologien, die im Rahmen der frühzeitigen Einbindung von potentiellen Anwendern eher allgemein blieben. Tatsächlich waren die Workshops besonders offen gestaltet worden, um den Befragten möglichst viel Gestaltungsraum bei der Technikentwicklung einzuräumen. Dabei nannten die Befragten Aspekte, die den Technikentwicklern als „einleuchtend“ erschienen oder die nicht im Projektrahmen umgesetzt werden konnten. Dies führte zu einer Ernüchterung bei den Entwicklern, die sich mehr umsetzbare Impulse sowie konkretere Wünsche aus den Workshops erhofft hatten. Dass mit den Workshops auch viele ihrer eigenen Ideen und Überlegungen von den möglichen Anwendern bestätigt wurden, wurde kaum positiv angemerkt. Diese Herausforderungen ergeben sich vor allem aus dem Umstand, dass es sich bei *QuartrBack* eher um ein „klassisches“ Technikentwicklungsprojekt mit

Bedarfserhebung und Nutzereinbindung handelt, bei dem schon bestimmte Technologien feststehen, die auf Grundlage der Bedarfserhebung im Zuge des *Movement*-Projektes und unter Berücksichtigung der Bedarfe zukünftiger Nutzer weiterentwickelt werden. Es ist daher bei dieser Art von Projekt von besonderer Bedeutung, im Vorfeld klar zu kommunizieren, welche Bedarfe man erheben will, in welchem Rahmen diese umgesetzt werden können und was man hinsichtlich der Tiefe und der Detailreiche von der Bedarfserhebung erwarten kann. Die Annahme liegt nahe, dass sich ähnliche Schwierigkeiten bei der Vermittlung zwischen Technikentwicklern und eingebundenen Nutzern, sowohl was den Umfang, als auch die Art der „Übersetzungsleistung“ angeht, auch in anderen „klassischen“ Entwicklungsprojekten ergeben. Die genannten Möglichkeiten, mit diesen Herausforderungen umzugehen, sowie die Nutzung von ActionSheets als potentiellem „Übersetzungsmedium“ können daher auch für andere Projekte interessant sein, unabhängig davon, welche Technologie und welche Nutzergruppe in ihnen adressiert wird.

5.3 Lessons learned: Vorprojekte

Eine ganz andere Perspektive bieten außerdem offen angelegte Vorprojekte wie *Movemenz*. Sie können eine interessante Alternative für „klassische“ Technikentwicklungsprojekte darstellen, da hier die Einbindung von Anwendern in einer systematischen Bedarfserhebung im Vordergrund steht und erst im Anschluss nach möglichen Technologien gesucht wird, die die dabei identifizierten Bedarfe adressieren. Ein iteratives und auf konsensuale Ergebnisse ausgerichtetes Verfahren, wie es in *Movemenz* angewendet wurde, kann hierbei sehr sinnvoll sein. Denn innerhalb solcher Vorprojekte wird sowohl den Technikentwicklern die Möglichkeit gegeben, sich in einem offenen Rahmen Technologien zur Unterstützung zu überlegen, als auch für die soziale Komponente von Technik sensibilisiert zu werden. Letzteres ergab sich durch den kritischen Blick derjenigen Menschen, die die Technologien später nutzen sollen oder auf deren Lebens- und Arbeitsweise diese Technologien eine nicht zu vernachlässigende Auswirkung haben. Dank der im Projekt gegebenen Möglichkeit eines direkten Austausches in einem gemeinsamen Workshop von Technikentwicklern und potentiellen Nutzern ist kaum Übersetzungs- oder Vermittlungstätigkeit auf Seiten des Projektteams notwendig: So konnten Verständnisfragen der Technikentwickler direkt an die Workshop-Teilnehmer gerichtet werden, genauso wie umgekehrt die Workshop-Teilnehmer Fragen nach den technischen Möglichkeiten gezielt an die Entwickler stellen konnten, was den Austausch insgesamt sehr vereinfachte. Generell können Vorprojekte dieser Art aufgrund der genannten Vorteile interessante Alternativen für größer angelegte Technikenentwicklungsprojekte mit einem starkem Fokus auf Demand-Pull-Ansätze darstellen. Dies gilt dabei insbesondere für Projekte, die die Bedarfe einer bestimmten Nutzergruppe (seien es nun Menschen mit Demenz und ihre Pflegenetzwerke oder völlig andere Nutzergruppen) in den Blick nehmen, bei der Wahl der letztendlichen Technologien zum Umgang mit diesen Bedarfen aber noch offen sind.

6 Literatur

- [1] N. Weinberger, M. Decker, B.-J. Krings: Pflege von Menschen mit Demenz - Bedarfsorientierte Technikgestaltung. In: T. Schultz, F. Putze, A. Kruse (Hrsg.): Technische Unterstützung für Menschen mit Demenz, Symposium 30.09.-01.10.2013. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, S. 61-74, 2014.

- [2] G. F. Nemet: Demand-pull, technology push, and government-led incentives for non-incremental technical change. *Res. Policy* 38, Elsevier Science Publisher, S. 700-709, 2009.
- [3] N. Weinberger, M. Decker: Technische Unterstützung für Menschen mit Demenz? Zur Notwendigkeit einer bedarfsorientierten Technikentwicklung. *Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis* 24 2, S. 36-45, 2015.
- [4] Y. Zheng, L. Zhang, X. Xie, W.-Y. Ma: Mining interesting locations and travel sequences from GPS trajectories. *WWW*, 2009.
- [5] Q. Lin, D. Zhang, X. Huang, X. Zhou: Detecting Wandering Behavior Based on GPS Traces for Elders with Dementia. Conference Paper, 12th International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision, 2012.
- [6] N. Weinberger, B.-J. Krings, M. Decker: Enabling a mobile and independent way of life for people with dementia - Needs-oriented technology development. In: Dominguez-Rué, E.; Nierling, L. (Hrsg.): *Ageing and technology. Perspectives from the social sciences*. transcript, S. 183-204, 2016.
- [7] A. Kunz, S. Pohlmann, O. Heinze, A. Brandner, C. Reiß, M. Kamradt, J. Szecsenyi, D. Ose: Strengthening Interprofessional Requirements Engineering Through Action Sheets: A Pilot Study. *JMIR Hum Factors*, (forthcoming).

Technikakzeptanzmodelle: Theorieübersicht und kritische Würdigung mit Fokus auf ältere Nutzer/innen (60+)

S. Misoch, C. Pauli, E. Ruf

Interdisziplinäres Kompetenzzentrum Alter (IKOA)

Fachhochschule St. Gallen

Rosenbergstrasse 59, 9001 St. Gallen (CH)

sabina.misoch@fhsg.ch, cora.pauli@fhsg.ch, esther.ruf@fhsg.ch

Kurzzusammenfassung

Die Technikakzeptanz und -nutzung von Senioren/innen rückt im Zuge des demographischen Wandels zunehmend in den Fokus der Forschung. Im nachfolgenden Beitrag werden bisherige Modelle der Technikakzeptanz kurz dargestellt und hinsichtlich ihrer Erklärungskraft für Senior/innen kritisch diskutiert. Die die Technikakzeptanz rahmenden Faktoren sind bezogen auf Senior/innen insgesamt wenig erforscht und werden in den Modellen zu wenig oder gar nicht berücksichtigt. Ein Modell, welche die Technikakzeptanz von Senior/innen erklärt und voraussagt, müsste Faktoren wie „Service“, „Technikgeneration“, „Design/symbolische Bedeutung“, „Integration in Habitualisierungen“ und „Gender“ beinhalten. Für die Akzeptanz ist weiter wesentlich, dass Endnutzer/innen in die Entwicklung von altersspezifischen Technologien miteinbezogen werden.

Abstract

“Technology acceptance models”

Technology acceptance and use by older adults is gaining increasing attention in research due to demographic change. Various technology acceptance models are presented in this contribution and their explanatory value is critically discussed. Contextual factors related to technology acceptance in relation to older individuals have been scarcely researched and are rarely considered in explanatory models. A model that explains and predicts technology acceptance in older individuals should include factors such as „service“, „design“, „integration in habituation“, „gender“, „technology generation“ und „symbolic meaning“. The inclusion of end users into development of age-specific technologies is also essential for acceptance.

Keywords: Technikakzeptanzmodelle, Technikakzeptanz, Senior/innen, Partizipative Forschung, demographischer Wandel

1 Einleitung

Infolge des demographischen Wandels und der damit einhergehenden Veränderung der Gesellschaftsstruktur ist eine Verlagerung des Schwerpunkts der Technikakzeptanzforschung auf ältere Personen unabdingbar sowie die Identifizierung derjenigen Faktoren, welche in der Gruppe der Älteren die Zustimmung bzw. Ablehnung moderner Technologien bestimmen. Gero(n)technologien werden in der Regel von Ingenieur/innen (jüngere, technikaffine Personen) für ältere, in der aktuellen älteren Generation noch wenig technikaffine Personen entwickelt. Die Techni-

kakzeptanz älterer Nutzer/innen ist jedoch von anderen Faktoren abhängig als diejenige jüngerer Nutzer/innen, so dass klassische Modelle der Technikakzeptanz entsprechend angepasst und erweitert werden müssen. Um Produkte und Dienstleistungen altersgerecht zu gestalten, müssen die Bedürfnisse älterer Nutzer/innen umfassend berücksichtigt werden. Dabei gilt es, die für die Technikakzeptanz wesentlichen Grundvoraussetzungen zu definieren und entsprechend zu berücksichtigen. Ziel ist es, ein umfassendes Modell zu entwickeln, das die relevanten Faktoren für die Bereitschaft der Techniknutzung und die realisierte Nutzung von Technik speziell bezogen auf Nutzer/innen im Alter 60+ abbildet.

2 Bisherige Modelle & Kritik

2.1 Grundmodelle und deren Erweiterungen

Basis der meisten Modelle der Technikakzeptanz ist das Modell TRA (Theory of Reasoned Action) von Ajzen & Fishbein [1, 2]. Dabei handelt es sich um eine grundlegende und generelle Theorie zur Vorhersage menschlichen Verhaltens (nicht nur bezogen auf Techniknutzung). Als Alternative zur TRA hat Warshaw [3] ein Modell entwickelt, das die Wahrscheinlichkeit der Produktanschaffung durch ein Individuum modelliert – ein Prozess, dem die Akzeptanz vorausgehen muss.

Das Technikakzeptanzmodell TAM von Davis et al. [4], basierend auf der von Ajzen & Fishbein [2] erarbeiteten Theory of Reasoned Action (TRA), bezieht sich konkret darauf, warum Menschen Technologien nutzen. Der Fokus des Modells liegt dabei auf der beruflichen Nutzung von Computertechnologie. Vergleichsstudien zwischen TRA und TAM zeigen, dass Computernutzung durch „intention to use“ am besten vorhergesagt werden kann [4]. Eine Meta-Analyse zur Anwendung des TAM in unterschiedlichen Kontexten zeigte, dass dieses ein valides, robustes und weitverbreitetes Modell darstellt, das jedoch noch breiter angewendet werden könnte [5]. Der Faktor Alter findet in diesem Modell keine Berücksichtigung.

Venkatesh & Davis [6] entwickelten ein erweitertes TAM (TAM 2) und unterzogen dieses einer empirischen Prüfung. Das Ziel von TAM 2 war, Schlüsseldeterminanten von „perceived usefulness“ (U) und „behavioral intention“ (BI) zu eruieren. Dabei wurde das ursprüngliche TAM um soziale Variablen und kognitive Prozesse erweitert, der Faktor Alter wurde dabei jedoch nicht direkt modelliert.

Das Modell TAM & Gender von Venkatesh & Morris [7] wurde hauptsächlich im institutionellen Umfeld empirisch getestet, kann seine aber Gültigkeit auch im Bereich der privaten Nutzung von Technologien entfalten. Ziel war es herauszufinden, inwiefern Gender bei der individuellen Adoption von neuen Computertechnologien eine Rolle spielt. Das erweiterte TAM Modell von Venkatesh & Morris beinhaltet nebst den ursprünglichen Komponenten die Faktoren „subjective norms“ (SN), Gender und die Determinante „experience“. Die Ergebnisse der Studie zeigen auf, dass Männer sich beim Entscheid, eine neue Technologie zu nutzen vor allem an der Determinante „perceived usefulness“, also Nützlichkeit, orientieren, während bei Frauen „ease of use“ (Einfachheit) und auch subjektive Normen (SN) eine grösere Rolle spielen. Mit zunehmender Erfahrung vermindert sich jedoch der Einfluss der SN auch bei Frauen.

Das Modell UTAUT (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology; Abbildung 2.1) von Venkatesh et al. [8] synthetisiert acht Modelle: 1. TRA [1], 2. TAM [4], 3. die „Theory of Planned Behavior“ TPB [9], 4. das „Motivational Modell“ MM [10], 5. ein Modell, das das TAM und TPB kombiniert; C- TAM- TPB [11], 6. das Modell „PC Utilization“ MPCU [12, 13], 7. die „Innovation Diffusion Theory“ IDT [14] und 8. die „Social Cognitive Theory“ SCT [15, 16, 17, 18].

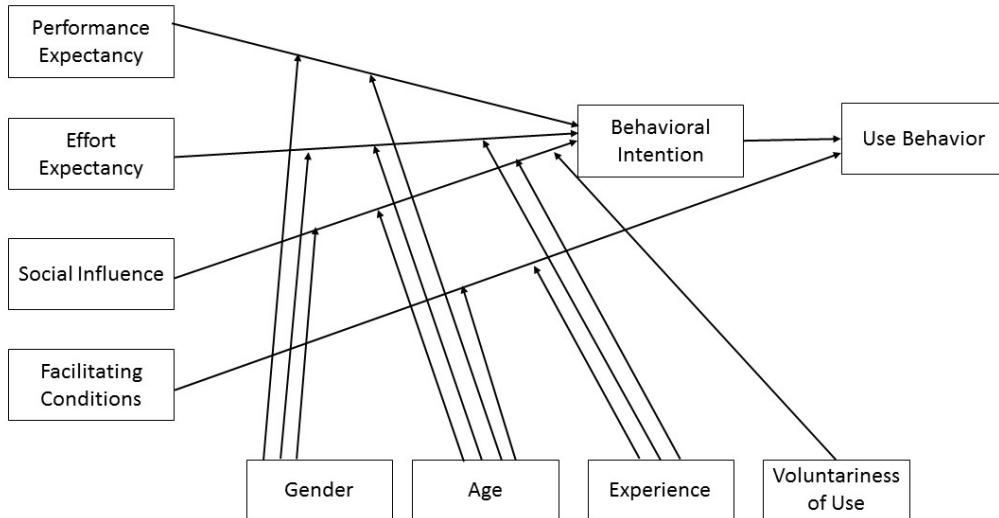


Abbildung 2.1: UTAUT. Erstellt nach Venkatesh et al. (2003)

Das bislang einzige Modell, das die Variable Alter dezidiert berücksichtigt, ist das STAM, das Modell der Technikakzeptanz für Senior/innen (STAM; Senior Technology Acceptance & Adoption Model, Abbildung 2.2) von Renaud & van Biljon [19]. Dieses modelliert verschiedene Einflüsse auf die Bereitschaft, eine Technik (Mobiltelefone) zu akzeptieren und in Folge dessen zu nutzen, wobei hier auch das Alter der Nutzer/innen Berücksichtigung findet. Renaud & van Biljon differenzieren zwischen „adoption“ und „acceptance“ und gehen davon aus, dass der Prozess der „adoption“ entscheidende Voraussetzung für jegliche Akzeptanz darstellt. Sie beziehen sich dabei auf den Diffusionsprozess von Rogers [20] und den Prozess der „domestication of technology“ von Silverstone & Haddon [21]. Unter „user context“ definieren sie demographische Variablen (auch Alter), Persönlichkeitsfaktoren und soziale Einflüsse, welche

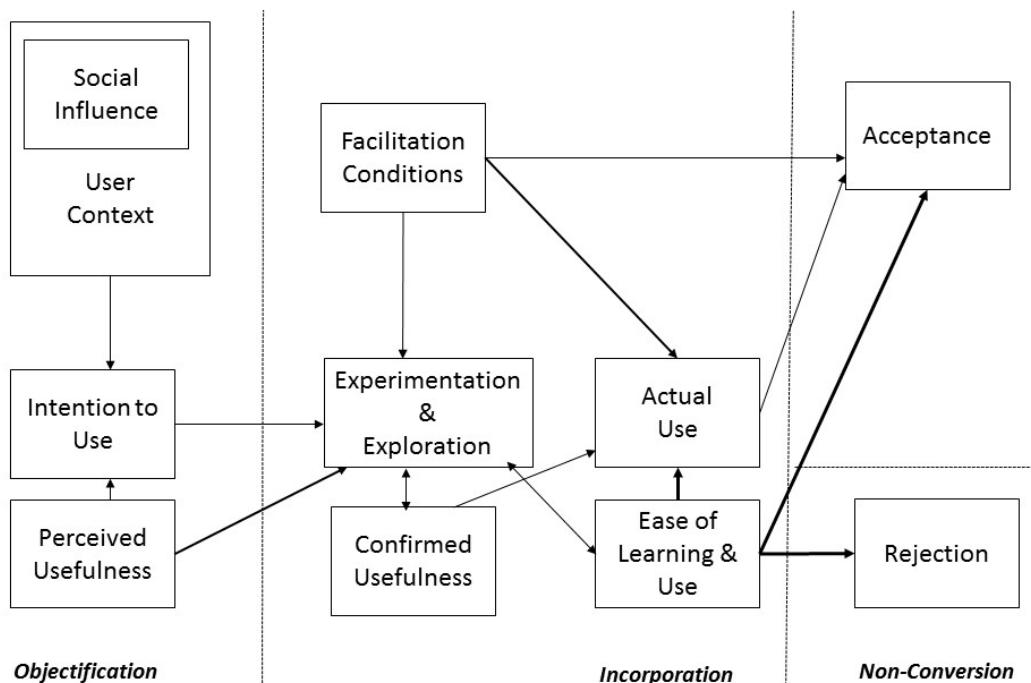


Abbildung 2.2: STAM. Senior Technology Acceptance & Adoption Model. Erstellt nach Renaud & van Biljon (2008)

die Akzeptanz und Nutzung einer Technologie entscheidend beeinflussen. „Acceptance & rejection“ werden durch die Erlernbarkeit und Einfachheit der Nutzung modelliert, welche die Nutzung entscheidend bestimmen.

2.2 Kritik bisheriger Modelle

1. Der Faktor „Alter“ fehlt in vielen Modellen entweder gänzlich, wie z.B. im klassischen Modell von Davis, TAM [4] oder er wird nur indirekt berücksichtigt, wie in den erweiterten Modellen UTAUT, TAM2 und TAM & Gender [8, 6, 7], in denen der Faktor durch die „subjective norm“ wirksam wird. Das STAM-Modell van Renaud & van Biljon [19] wurde für ältere User/innen entwickelt, fokussiert hierbei aber spezifisch auf die Nutzung von Mobiltelefonen. Bestehende Modelle der Technikakzeptanz (z.B. UTAUT), richteten sich vor allem auf die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) im Arbeitsumfeld (vgl. Venkatesh & Davis [22]).
2. Die Gültigkeit eines Transfers dieser Annahmen auf die Akzeptanz anderer Technologien ist jedoch nicht sicher und bislang vergleichsweise wenig untersucht [23].
3. Altern ist zudem ein hochgradig individueller Prozess, physiologische, psychologische und sozial-ökonomische Unterschiede zwischen Menschen können sich mit zunehmendem Alter erheblich verstärken [24, 25]. Nach Jakobs [26] „streuen“ Ältere als Forschungsgegenstand im Vergleich zu Jüngeren stärker, was eine Zusammenfassung in eine einheitliche Gruppe erschwert.
4. Da viele Studien entweder Fachpersonen oder Studierende als Probanden einsetzen [5], stellt sich die Frage, inwieweit bisherige Ergebnisse von sehr viel jüngeren und homogeneren Gruppen auf die älteren Geburtskohorten übertragbar sind. Zumal die Nutzung unbekannter Technologien bei älteren Nutzer/innen oftmals große Ängste auslösen [27].

2.3 Wichtige Ergänzungen

Technikakzeptanz wird von verschiedenen Größen beeinflusst: Neben individuellen Eigenschaften (Geschlecht, Lebenssituation, psychischer und physischer Zustand) spielen auch die Zugehörigkeit zu Gruppen z. B. zu einer bestimmten Generation (und damit verbunden der Technik, mit dieser aufgewachsen ist [28]) wie auch Kohorteneffekte [29] eine Rolle. Akzeptanz variiert aber auch abhängig von der Art der Technik und ihren Nutzungskontexten [30]. Es kann deshalb zu eingeschränkt sein, von „der“ Technikakzeptanz im Allgemeinen zu sprechen. Das Spektrum akzeptanzfördernder wie hemmender Faktoren ist gerade im Alter sehr breit und variiert abhängig von Technikbereichen (Gesundheit, Unterhaltung, Kommunikation etc.).

Um Aspekte der Technikakzeptanz im Alter möglichst umfassend abbilden zu können, sollten neben soziodemografischen auch *gesundheitliche* und *psychologische/mentale/kognitive* Faktoren berücksichtigt werden. Altersbedingte Veränderungen werden u.a. in folgenden Bereichen festgestellt, welche direkten Einfluss auf die Techniknutzung haben können: Sensorische Informationsaufnahme, Aufmerksamkeit (selektive und geteilte), Gedächtnis, Reaktionsfähigkeit sowie Motorik und sensomotorische Fertigkeiten. Diese altersbedingten Veränderungen müssen berücksichtigt werden, vor allem wenn diese den sensorischen und kognitiven Bereich betreffen und wichtige Implikationen für das jeweilige Design der Technik haben. Einen Überblick über die beeinträchtigenden Funktionen und Bereiche geben z.B. Gamberini et al. [31] und zitieren Schieber [32], welcher Veränderungen im visuellen und auditiven System analysierte und jeweils neun Designkriterien zur Kompensation dieser Veränderungen vorschlägt. Neben generellen Funktionseinschränkungen sind auch altersbedingte gesundheitliche Probleme zu berücksichtigen, wie z.B. Arthritis, Tremor aufgrund von Erkrankungen, welche die Bedienung von Geräten erschweren können [31].

Die Einbeziehung einer *Genderperspektive* ist aufgrund der noch bestehenden Unterschiede bezüglich der Erfahrung mit Technik zwischen den Geschlechtern unerlässlich. Aufgrund des statistisch hohen Anteils älterer Frauen muss die Forschung auf diese Gruppe und deren Selbstverständnis im Hinblick auf Technik reagieren. Zu klären wäre u. a., ob Frauen spezifische Anforderungen an technische Geräte stellen.

Es zeigt sich, dass sich die Nutzerakzeptanz an dem *spezifischen Kontext* der jeweiligen Technik orientiert und damit besonders dynamischen Prozessen unterworfen ist [33]. Es scheint ein Unterschied zu sein, ob die Interaktion „freiwillig“ ist, wie z.B. bei Unterhaltungsmedien, oder ob es sich um Medizintechnik handelt, welche nach Gaul [33] viel emotionaler erlebt wird. Die Annahme von Gaul et al. [33] ist, dass sich die Akzeptanz verschiedener Techniken (z.B. von Medizintechnik oder der IKT) aufgrund unterschiedlicher Nutzungskontexte und -motive grundlegend unterscheidet. Aus diesem Grund ist es unentbehrlich, die Technikakzeptanz in Abhängigkeit von den jeweiligen Nutzungsmotiven zu erforschen. Neben der Berücksichtigung von Nutzereigenschaften wie dem Alter, der kognitiven Fähigkeiten und der Technikerfahrung bei der Untersuchung von Technikakzeptanz sollte damit auch der spezifische Nutzungskontext als möglicher Einflussfaktor berücksichtigt werden.

Die Generationszugehörigkeit hat nach Jakobs et al. [26] neben Alter, Geschlecht und Lebensgeschichte eine starke Auswirkung auf die Einstellung zu Technik, ihrer Nutzung und Bewertung. Daher sollte nicht nur der Faktor Alter in den Modellen berücksichtigt werden. Die Modelle müssen dynamischer sein und der spezifische Kontext muss berücksichtigt werden, und insbesondere auch der Generationszugehörigkeit muss Rechnung getragen werden. Die Zugehörigkeit zu einer Technikgeneration bestimmt die Vertrautheit mit [28] und Erwartungen an eine Technologie [27]. Da Technologien sich jedoch rasant ändern, ist der in jungen Jahren erlernte Umgang mit der Technik A für die Nutzung der Technik B Jahrzehnte später nicht mehr adäquat, was den Aneignungsprozess und schlussendlich die Akzeptanz maßgeblich beeinflussen kann. So ist beispielsweise die Anwendungsmöglichkeit eines Computers sehr vielfältig. Weiter gibt es auch verschiedene Wege, einen bestimmten Arbeitsschritt (Bsp. Abspeichern eines Dokuments) zu bewerkstelligen. Die so entstehende Offenheit auf Ebene des Nutzens wie auch der Bedienung kann einen Widerspruch zu in der formativen Phase erlernten Mustern der Technikfunktion und Beherrschung darstellen (ein Gerät hat eine klar definierte Funktion und eine klar definierte Bedienung) und das Erlernen des Umgangs mit aktuellen Technologien erschweren. In Zukunft werden andere Generationen älterer Personen Gerotechnologien nutzen und aufgrund ihrer Erfahrungen sind bei diesen wieder neue Aspekte der Akzeptanz relevant.

Die Ergebnisse bisheriger Studien [33] machen deutlich, wie wichtig es ist, die *Nutzer/innen in die Entwicklung technischer Produkte mit einzubeziehen*. Zum einen können durch die Berücksichtigung der Fähigkeiten der Nutzer/innen in allen Altersgruppen enorme Akzeptanzbarrieren abgebaut werden. Um altersgerechte Techniken zu entwickeln, ist der Einbezug essentiell, um die o.g. Punkte und die damit einhergehende große Varianzen der älteren Generationen adressieren zu können. Die Nutzerakzeptanz im spezifischen Kontext der jeweiligen Technik ist besonders dynamischen Prozessen unterworfen, welche mit abgebildet werden sollten. Studien zeigen, dass Akzeptanz und Nutzung gerade bei assistiven Technologien stark von der Beteiligung der Nutzer am Entwicklungsprozess abhängen [34].

3 Zusammenfassung und Ausblick

Bisherige Modelle der Technikakzeptanz berücksichtigen den Faktor Alter gar nicht oder nur in sehr spezifischen Kontexten. Die Technikakzeptanz älterer Nutzer/innen folgt jedoch – auch abhängig von Technikgeneration und altersbezogenen physiologischen und kognitiven Bedingtheiten – den zuvor beschriebenen speziellen Logiken und ist von anderen Faktoren abhängig als diejenige jüngerer Nutzer/innen, so dass klassische Modelle der Technikakzeptanz entsprechend angepasst und erweitert werden müssen. Um Dienstleistungen und Produkte altersgerecht zu gestalten, müssen die Bedürfnisse älterer Nutzer/innen umfassend berücksichtigt werden. Besonders wichtig ist dabei, die älteren Nutzer/innen auf partizipativer Basis in den Entwicklungsprozess miteinzubeziehen. Dies auch um sicherzustellen, dass grundsätzlich die richtigen Probleme adressiert werden.

3.1 Der Ansatz des Interdisziplinären Kompetenzzentrums (IKOA) der FH St. Gallen

Die Entwicklung eines neuen Technikakzeptanzmodells für ältere Nutzer/innen (60+) wird derzeit durch das Interdisziplinäre Kompetenzzentrum (IKOA) der Fachhochschule St. Gallen vorgenommen. In einem ersten Schritt zur Modellentwicklung wurden vorgängig bisherige Technikakzeptanzmodelle einer Review unterzogen und Daten aus der Literatur und bereits gemachte empirische Erfahrungen (qualitative Forschungen zur Techniknutzung) zur Technikakzeptanz hinzugezogen. Die hieraus abgeleiteten Hypothesen (siehe unten) werden laufend durch qualitative Studien vertieft und ergänzt. Es wurden zum einen Mitglieder der partizipativen Forschergruppen 60+ des IKOA mittels Gruppendiskussionen [35] zu ihrer Techniknutzung und den rahmenden Bedingungen befragt. Zum andern wird zurzeit durch das IKOA der FHS St. Gallen ein Living Lab aufgebaut für die Pilottestung eines AAL-Produktes. In diesem Rahmen sollen Faktoren, welche die Technikakzeptanz befördern, systematisch mittels qualitativen Methoden erhoben werden. Das Konzept des Living Labs basiert auf einem Ansatz der Partizipation: Die Teilnehmenden sollen nicht nur zur Nutzung einer technischen Innovation befragt werden, sondern an deren Weiterentwicklung partizipativ mitwirken. Die im Rahmen des Living Labs erhobenen Daten werden anschliessend inhaltsanalytisch ausgewertet [36]. Das daraus resultierende Modell wird in der Folge mittels einer quantitativen Studie überprüft werden.

Aufgrund bisheriger empirischer Evidenz und als Ergebnis der Gruppendiskussion werden folgende Hypothesen aufgestellt:

Neben der Nützlichkeit, der Einfachheit der Anwendung usw. müssen bei der Zielgruppe 60+ weitere Faktoren berücksichtigt werden. Wir gehen davon aus, dass die Faktoren „Service“, „Technikgeneration“, „Design/symbolische Bedeutung“, „Integration in Habitualisierungen“, „Gender“ für ältere User/innen eine wesentliche Rolle spielen und sich auf die Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft von technischen Geräten und digitalen Dienstleistungen auswirken. Mit den genannten Faktoren ist Folgendes gemeint:

- *Service*: Ältere Nutzer/innen fühlen sich schnell verunsichert oder haben Angst, durch falsche Bedienung etwas kaputt zu machen. Sie verwenden „trial and error“ – Methoden die der intuitiven Bedienung neuer Technologien oftmals inhärent sind ungern und zurückhaltend (Technikgeneration). Sie sind deshalb verstärkt auf die Unterstützung durch Drittpersonen angewiesen, um Sicherheit und Nutzungsstrategien im Umgang mit unvertrauten Technologien aufzubauen.
- *Technikgeneration*: Der Umgang mit neuen Technologien erfordert andere Nutzungsvorstellungen und Aneignungsstrategien als aus der formativen Phase vertraut. Die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Technikgeneration beeinflusst entsprechend auch die Akzeptanz neuer Technologien.

- *Design/symbolische Bedeutung:* Das Zuhause spielt eine zentrale Rolle für ältere Menschen. Gegenstände, welche das Gefühl der eigenen Ordnung und Ästhetik stören, werden abgelehnt. Geräte sind zudem – je nach Aussehen und Funktion – auch mit Bedeutung aufgeladen (moderne Kaffeemaschine = Teilhabe; Blutdruckmessgerät = Krankheit) und finden entsprechend einfacher oder schwerer die Akzeptanz im Zuhause von Nutzer/innen. Aber auch portable, bzw. ausser Haus genutzte Geräte können aus Sicht älterer Nutzer/innen stigmatisierend wirken, was einen Einfluss auf die Akzeptanz hat (Bsp. Notfallknopf am Handgelenk). Dem stigmatisierenden Effekt kann mit ansprechender Ästhetik entgegengewirkt werden. Das Design muss auch den im Alter sich allenfalls verändernder sensorischen und kognitiven Bedingungen Rechnung tragen.
- *Integration in Habitualisierungen:* Über Jahre und Jahrzehnte aufgebaute alltägliche Handlungsroutinen werden nur ungern verändert. Neue Geräte und deren Handhabung sollen sich möglichst einfach in diese einbauen lassen.
- *Gender:* Frauen nutzen Technik anders als Männer. Sie haben weniger Selbstvertrauen und grössere Ängste im Zusammenhang mit der Nutzung von (neuen/unbekannten) Technologien.

Eine Weiterentwicklung bisheriger Modelle für ältere Nutzer/innen müsste deshalb um diese Faktoren erweitert werden. Zudem muss die Heterogenität der Lebensphase „Alter“ berücksichtigt werden und die Tatsache, dass diese Phase eine große Lebensspanne umfasst und verschiedene umgebende und personenimmanente Bedingungen wirksam werden. Diese Weiterentwicklung wird derzeit vom Interdisziplinären Kompetenzzentrum Alter (IKOA) der FHS St. Gallen vorgenommen.

4 Literatur

- [1] M. Fishbein, I. Ajzen: Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research. Reading MA: Addison-Wesley, 1975.
- [2] I. Ajzen, M. Fishbein: Understanding attitudes and predicting social behavior. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1980.
- [3] P. R. Warshaw: A new model for predicting behavioral intentions: an alternative to Fishbein. American Marketing Association, 17(2) (May, 1980), S. 153-172, 1980.
- [4] F. D. Davis et al.: User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models. Management Science 35(8), S. 983-1003, 1989.
- [5] W. R. King, J. He: A meta-analysis of the technology acceptance model. Information & Management, 43(6), S. 740-755. doi: 10.1016/j.im.2006.05.003, 2006.
- [6] D.R. Compeau, C.A. Higgins: Computer-Self-Efficacy: Development of a Measure and Initial Test. MIS Quarterly 19(2), S. 189-211, 1995.
- [7] D.R. Compeau, C. A. Higgins, S. Huff: Social Cognitive Theory and Individual Reaction to Computing Technology: A Longitudinal Study. MIS Quarterly 19(2), S. 145-158, 1999.
- [8] V. Venkatesh, M. G. Morris, G. B. Davis, F. D. Davis: User acceptance of information technology: Toward an unified view. MIS Quarterly, 27(3), S. 425-478, 2003.
- [9] I. Ajzen: The Theory of Planned Behavior. Organizational Behavior and Human Decision Processes 50(2), S. 179-211, 1991.
- [10] F. D. Davis, R. P. Bagozzi, P. R. Warshaw: Extrinsic and intrinsic motivation to use computers in the workplace. Journal of Applied Social Psychology 22(14), S. 1111-1132, 1992.

- [11] S. Taylor, P. A. Todd: Understanding Information Technology Usage: A Test of Competing Models. *Information Systems Research* 6(4), S. 167-187, 1995.
- [12] R. L. Thompson, C. A. Higgins, J. M. Howell: Personal Computing: Toward a Conceptual Model of Utilization. *MIS Quarterly* 15(1), S. 124-143, 1991.
- [13] H. C. Triandis: *Interpersonal behavior*. Monterey: Brooke/Cole, 1977.
- [14] E. M. Rogers: *Diffusion of Innovations*. New York: Free Press, 1995.
- [15] A. Bandura: *Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory*. Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall, 1986.
- [16] D. R. Compeau, C. A. Higgins: Application of Social Cognitive Theory to Training for Computer Skills. *Information Systems Research* 6(2), S. 118-143, 1995.
- [17] V. Venkatesh, F. D. Davis: Theoretical extension of the technology acceptance model: four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2), S. 186-204, 2000.
- [18] V. Venkatesh, M.G. Morris: Why don't men ever stop to ask for directions? Gender, social influence, and their role in technology acceptance and usage behavior. *MIS Quarterly*, 24(1), S. 115-139, 2000.
- [19] K. Renaud, J. A. van Biljon: Predicting technology acceptance by the elderly: A qualitative study. Paper presented at the SAISCSIT 2008: Riding the wave of technology. George, South Africa, 2008.
- [20] E. M. Rogers: *Diffusion of Innovations* (5th ed.). New York: Free Press, 2003.
- [21] R. Silverstone, L. Haddon: Design and the Domestication of Information and Communication Technologies: Technical Change and Everyday Life. In R.S. a. R. Mansell (Hrsg.), *Communication by design: The politics of information and communication technologies*. Oxford: Oxford University, S. 44-74, 1996.
- [22] V. Venkatesh, F. Davis: A critical assessment of potential measurement biases in the technology acceptance model: Three experiments. *Int. J. Human-Computer Studies*, 45, S. 19-45, 1996.
- [23] K. Arning, M. Ziefle: Different Perspectives on Technology Acceptance: The Role of Technology Type and Age. In: A. Holzinger and K. Miesenberger (Eds.): *USAB 2009*, Springer: Heidelberg, S. 20-41, 2009.
- [24] P. B. Baltes, M. Baltes: Psychological Perspectives on Successful Aging: The Model of Selective Optimization with Compensation. In: P. B. Baltes, M. Baltes (eds.): *Successful Aging: Perspectives from the Behavioral Sciences*. New York, NY: Cambridge University Press, S. 1-33, 1990.
- [25] J. Birren: *Handbook of the Psychology of Aging*. San Diego: Academic Press Inc., 2006.
- [26] E. Jakobs, K. Lehnken, M. Ziefle: *Alter und Technik – Studie zu Technikkonzepten, Techniknutzung und Technikbewertung älterer Menschen*. Aachen: Apprimus-Verlag, 2008.
- [27] H. Pelizäus-Hoffmeister: *Zur Bedeutung von Technik im Alltag Älterer: Theorie und Empirie aus soziologischer Perspektive*. Wiesbaden: VS Verlag, 2013.
- [28] R. Sackmann, A. Weymann: *Die Technisierung des Alltags. Generationen und technische Innovationen*. Frankfurt New York: Campus, 1994.
- [29] G. Rudinger, E. Jansen: *Technik, Neue Medien und Verkehr*. In: S.-H. Filipp, U. Staudinger (Hrsg.): *Entwicklungspsychologie des mittleren und höheren Erwachsenenalters*. Göttingen: Hogrefe [Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C Theorie und Forschung; Serie V, 6], S. 559-593, 2005.

- [30] E.-M. Jakobs: Technikakzeptanz und -teilhabe. Technikfolgenabschätzung Theorie und Praxis (TaTuP) 3(14), S. 68-75, 2005.
- [31] L. Gamberini, M. Alcaniz, G. Barresi, M. Fabregat, F. Ibanez, L. Prontu: Cognition, technology and games for the elderly: An introduction to ELDERGAMES Project. PsychNology Journal4 (3), S. 285 -308, 2006.
- [32] F. Schieber: Human Factors and Aging: Identifying and Compensating for Agerelated Deficits in Sensory and Cognitive Function. In: K.W. Schaie, N. Charness, (Eds.): Impact of Technology on Successful Aging. New York: Springer, S. 85-99, 2003.
- [33] S. Gaul, M. Ziefle, W. Wilkowska et. al.: Ambient Assisted Living 2010 3. Deutscher AAL-Kongress mit Ausstellung, Assistenzsysteme im Dienste des Menschen - zuhause und unterwegs, 26.-27. Januar 2010 in Berlin.
- [34] J. Hammel: Assistive Technology as Tools for Everyday Living and Community Participation While Aging. In: D. C. Burdick, S. Kwon (Hrsg.): Gerotechnology: Research and Practice in Technology and Aging. A Textbook and Reference for Multiple Disciplines. New York: Springer, S. 119-131, 2004.
- [35] S. Misoch: Qualitative Interviews. Berlin/München/Boston: Walter de Gruyter, 2015.
- [36] P. Mayring: Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (10). Weinheim: Beltz, 2008.

Soziotechnisch unterstütztes Wohnen im Alter

Stand und Umsetzungsperspektiven

R. G. Heinze

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Allgemeine Soziologie, Arbeit und Wirtschaft
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
rolf.heinze@rub.de

Kurzzusammenfassung

Neue Technologien ermöglichen es älteren Menschen, immer länger in der eigenen Wohnung zu verweilen, was die große Mehrheit der älteren Bevölkerung auch wünscht. Viele Wohnungen sind in den vergangenen Jahren technisch aufgerüstet worden und verfügen zunehmend über universelle informationstechnische Infrastrukturen. Allen technischen Unterstützungskonzepten ist jedoch gemein, dass sie bislang den Status von Forschungsprojekten nicht überwunden haben. Die notwendigen Schnittstellen zu den potenziellen Anwendungsbereichen funktionieren nicht ausreichend, es mangelt an der Regelumsetzung. Der Schub für integrierte Lösungen wird nur unter Einbeziehung aller betroffenen Akteure und der Schaffung von Standardisierung gelingen. Gefordert ist ein Schnittstellenmanagement zwischen verschiedenen Sektoren.

Abstract

“Socio-technically supported housing in old age. Current state and perspectives“
New technologies allow older people to stay longer in their own homes. The great majority of the older population also wants this. Many apartments have been technically upgraded in recent years and increasingly have universal information technology infrastructures. However, all technical support concepts have in common that they have not yet overcome the status of research projects. The necessary interfaces to the potential fields of application do not work adequately, there is a lack of regular implementation. The thrust for integrated solutions will only succeed with the involvement of all stakeholders and the creation of standardization. Interface management between different sectors is required.

Keywords: Wohnen im Alter, technische Assistenzsysteme, demografischer Wandel, Gesundheit, Gerontologie

1 Die Alterung der Gesellschaft als „Treiber“ für sozio-technische Innovationen

Der demografische Trend ist eine wesentliche „driving force“ des Dienstleistungs- und Technikbedarfs, denn jeder zweite Mann und drei von vier Frauen werden im Laufe des Lebens pflegebedürftig. Die Auflösung der traditionellen Großfamilie und die wachsende Individualisierung lässt die Nachfrage steigen. Wenn auch die große Mehrheit der älteren Bevölkerung möglichst lange in der eigenen Wohnung verbleiben möchte (Trend: I-stay@home statt Altenpflegeheim“ oder „Independent Living“), wird ab einem bestimmten Grad der Hilfs- und Pflegebedürftigkeit neben der Unterstützung durch professionelle soziale Dienste sowie das Familien- oder Nachbarschaftsnetzwerk Technikassistenz benötigt: von technischen Systemen zur

Erhöhung der Sicherheit (Hausnotruf, Aktivitätskontrollen etc.) bis zum Tele-Health-Monitoring.

Schon seit einigen Jahren werden Wohnungen auch technologisch aufgerüstet. Altersgerechte Assistenzsysteme (AAL: Ambient Assisted Living) mit Komponenten wie Sensorik zur Lokalisierung und Unterstützung der Nutzer, Assistenz bei Gefahren, der Bestimmung von Vitalparametern etc. sowie intelligente Vernetzungen haben sich ausgebrettet. Sie reichen von technischen Systemen zur Erhöhung der Sicherheit (Hausnotruf, Aktivitätskontrollen etc) bis zum Tele-Health-Monitoring und immer mehr ältere Menschen haben auch den Wunsch, ihre Gesundheit und Sicherheit durch neue Assistenztechnologien *selbst* zu managen. Im Bereich technischer Assistzenzen gibt es inzwischen auch ein umfangreiches Angebot, das vom Badewannenlifter bis hin zu „sensiblen“ Pflegebetten reicht. Es geht nicht nur um die Unterstützung der selbstständigen Lebensführung, sondern auch um die Unterstützung der Pflegepersonen. Im Gegensatz zum umfänglichen Angebot im Bereich der assistiven Technologien ist der Einsatz von Technik zur Kompensation kognitiver Beeinträchtigungen, insbesondere dementieller Erkrankungen, noch relativ gering. Diese Überwachungs- und Ortungsgeräte werden aus ethischen Gründen bislang noch kritisch gesehen. Ähnliches gilt für technische Lösungen, die zur Informationsbeschaffung und Beratung bzw. zur Dienstleistungsvermittlung eingesetzt werden. Auch hier ist – befördert durch die erweiterten Datenübertragungsmöglichkeiten – in den letzten Jahren eine Reihe von Modellprojekten gestartet worden. Die Bedienbarkeit der Technik ist gerade für ältere Menschen von großer Bedeutung, wobei die derzeitig erprobten Systeme von neuen Technologien (wie Touchscreen) profitieren könnten. Die Technik besteht inzwischen häufig aus kaum mehr wahrnehmbaren intelligenten Sensoren, die in ein umfassendes Netzwerk integriert werden. Dies kann inzwischen ohne direkte Kabelverbindungen, also „wireless“, geschehen. Drahtlose Kommunikation wird sich zudem in Zukunft weiter vereinfachen, da die Kommunikationsmodule kleiner und günstiger werden und die mobilen Geräte weniger Energie für die Kommunikation aufwenden müssen. Zum Standard gehören mittlerweile auch Fernbedienungen, mit deren Hilfe allein durch gesprochene Befehle oder Tastenwahl elektrische Geräte bedient werden können: Licht anschalten, Radiosender wählen oder telefonieren – alles ist über Sprachbefehle möglich. Allerdings handelt es sich häufig um Insellösungen, die eine Kommunikation und Abstimmung untereinander (noch) nicht zulassen. Gefordert sind deshalb ganzheitliche, vernetzte Technologiekonzepte, also eine Standardisierung. Derzeit gibt es verschiedene interoperable Dienste (über Plattformen oder offene Schnittstellen), die das traditionelle Nebeneinander der verschiedenen Komponenten von „Home Automation“ bzw. AAL überwinden helfen und damit solche Wohntechnologien attraktiver machen (vgl. [1] sowie Beiträge in [2, 3]).

Der in letzter Zeit forcierte „Hype“ um die Digitalisierung der Lebenswelten wird sich ebenfalls auf altersgerechte Assistenzsysteme auswirken, denn viele der Anwendungen von „Big Data“ zielen auf den Gesundheits- und Wohnbereich und verheißen bei Nutzung nicht nur mehr Komfort, sondern auch ein längeres Leben. Allerdings wird bislang das Recht auf informationelle Selbstbestimmung, die Schaffung von Sicherheitsstandards und generell der Diskurs um ethische Anforderungen weitgehend ausgeblendet.

2 Vernetztes Wohnen als Vision

Als eine Innovation an der Schnittstelle zwischen Technik und Sozialem kann das „vernetzte Wohnen“ bezeichnet werden. Vernetzte Wohnlösungen können Antworten auf die Herausforderungen des demographischen Wandels sein. Dabei ist von einem doppelten Begriff der Vernetzung auszugehen: Vernetzung der technischen Infrastruktur (ist in Deutschland relativ weit fortgeschritten) und Vernetzung der relevanten Akteure (bislang nur „Insellösungen“). Im Zuge des demografischen Wandels wächst jedoch nicht nur die Zahl der chronisch Kranken, sondern generell der Bedarf an unterstützenden Dienstleistungen und intelligenten Assistenzsystemen für altengerechtes Wohnen und Leben. Technische Assistenzsysteme können die Lebensqualität für eine wachsende Zahl von Menschen im häuslichen Umfeld steigern, allerdings geschieht dies in Deutschland bisher nur in Modellprojekten. Deshalb müssen die „normalen“ Wohn- und Haushaltsbedingungen beachtet und der Einsatz von Technik dort untersucht werden. Sicherheit und Unabhängigkeit im Alter können durch technische Assistenzsysteme in allen Lebensbereichen verbessert werden: von der Überwachung bis hin zur Meldung von Notfällen, aber auch im Rahmen von Prävention und Rehabilitationsmaßnahmen. Manche Wohnungen (vor allem im gehobenen Segment) sind in den letzten Jahren bereits technisch aufgerüstet worden und verfügen über universelle informations- und kommunikationstechnische Infrastrukturen. Hinsichtlich der technischen Vernetzung hat sich bislang noch kein eindeutiger Standard herausgebildet, die Funkbasierung dürfte sich weiter ausbreiten.

Vor allem das automatische Notrufsystem und das Orientierungslicht stellen Optionen zur Unterstützung einer selbstständigen Lebensführung dar. Verschiedene Befragungen haben aufgezeigt, dass Ältere und gesundheitlich Beeinträchtigte den Technikeinsatz vor allem dann positiv einschätzen, wenn es ihnen konkret Sicherheit und Selbstständigkeit vermittelt. Eine dementsprechend gestaltete Wohnung kann auch wesentlich dazu beitragen, Hilfe- und Pflegebedürftigkeit zu vermeiden oder zumindest aufzuschieben, wobei Ansatzpunkte für eine seniorenenorientierte Gestaltung nicht nur Geräte, Einrichtungsgegenstände und Installationen selbst bieten, sondern auch deren Anordnung im Innenbereich über die Gesamtarchitektur der Wohnung bis hin zur Quartiersgestaltung. Technische Assistenzsysteme ermöglichen nicht nur, länger in den eigenen vier Wänden zu leben, sondern erhalten für ältere Menschen die individuelle Mobilität, die ein wichtiger Faktor für die Lebensqualität darstellt. Um die Wohnsituation zu verbessern und den Alltag zu erleichtern, gibt es inzwischen vielfältige Möglichkeiten. Nach der Generali-Altersstudie (2013) [4] bestehen klare Prioritäten, was den 65- bis 85-Jährigen besonders wichtig ist. Vor allem barrierefreie Badezimmer (65 Prozent), die Vermeidung von Treppensteigen (59 Prozent) sowie die Möglichkeit, über ein Haustrufsystem bzw. Alarmknopf ständig Hilfe rufen zu können (53 Prozent), werden als besonders wichtig eingestuft. Eine elektronische Sicherung der Wohnung bzw. des Hauses (25 Prozent) und telemedizinische Anwendungen werden hingegen als weniger wichtig eingestuft. Die bekundete Bereitschaft, die Kosten für die jeweilige Modifikation zu übernehmen, ist durchaus hoch. Für das barrierefreie Badezimmer wären über 50 Prozent der 65- bis 85-Jährigen bereit, einen Großteil der Kosten auch selbst zu übernehmen, 48 Prozent wären bei der Einrichtung eines Hausnotrufsystems bzw. eines Alarmknopf zur Kostenübernahme bereit, 42 Prozent bei baulichen Anpassungen, um Treppen zu vermeiden.

Während die Hausnotrufsysteme lediglich das Eintreten von Notsituationen melden und Hilfe initiieren können, werden mit der Telemedizin diagnostische Verfahren, die vorher das Aufsuchen einer Arztpraxis oder einen ärztlichen Hausbesuch voraussetzen, in die Wohnung der

Patienten verlagert. Allerdings zeigen sich hinsichtlich telemedizinischer Anwendungen, die die Körperfunktionen überwachen und automatisch einen Arzt informieren, deutliche Vorbehalte. Man möchte wohl selbst darüber entscheiden, wann der Arzt Informationen bekommt. Zudem gibt es Zweifel hinsichtlich der Zuverlässigkeit der E-Health-Systeme. Generell informieren sich inzwischen über 50 Prozent der Internetnutzer (bei den über 65-Jährigen sogar 60 Prozent) über Krankheitssymptome in Internetsuchmaschinen, um zu erfahren, welche Krankheit dahinterstecken oder welche Behandlung sinnvoll sein könnte (Befragung von 783 N./BITKOM PM v. 13.5. 2016). An den Gesundheits-Apps und den „Wearables“ (Fitnessarmbänder, Uhren etc) zeigt sich, wie sich zwei grundlegende sozioökonomische und kulturelle Trends – die Individualisierung und die Digitalisierung – treffen und gegenseitig verstärken. Exemplarisch kann dies anhand der digitalen „Selbstvermessung“ („Quantified Self“) belegt werden. Die „Selbstvermessung“, die bislang primär im Bereich der Fitness praktiziert wird, umfasst die Messung von Vitalparametern, körperlichen Aktivitäten wie Anzahl der Schritte pro Tag etc. durch am Körper getragene digitalisierte und miniaturisierte Messgeräte, die über Funknetze ihre Daten an Speichersysteme übermitteln.

Die Sensoren können also auch zur Steigerung der Lebensqualität älterer Menschen genutzt werden. Intelligente Sensortechniken gekoppelt mit telemedizinischen Anwendungen ermöglicht es älteren Menschen, ihren Wunsch, möglichst lange selbstständig zu leben, zu erfüllen. An diesen Anwendungsbeispielen zeigt sich der fließende Übergang von technischen Assistenzsystemen zu telemedizinischen Anwendungen. „Telemedizin umfasst ein breit gefächertes Spektrum von Möglichkeiten der Bereitstellung und/oder Anwendung von gesundheitlichen Dienstleistungen mittels Informations- und Kommunikationstechnologie zur Überbrückung einer räumlichen Distanz, falls Patient und betreuende Gesundheitsprofessionen bzw. diese untereinander nicht am selben Ort sind. Die Anwendung umfasst sogenannte Apps auf Smartphones, die Übertragung physiologischer Daten vom Patienten zum Gesundheitsdienstleister (Telemonitoring), aber auch beispielsweise die Übertragung von diagnostischen Bildern zur Beurteilung an einen entfernt stationierten Experten (Telekonsultation)“ (Sachverständigenrat Gesundheitswesen 2014, 580 [5]).

Überblicksstudien sprechen von signifikant positiven Effekten für Patienten, allerdings fehlen für Deutschland großangelegte Studien. „Insgesamt können die vorliegenden Studien noch keine hinreichenden Belege dafür liefern, welche Art der Telemedizin (von Apps über Telefone bis Monitoring physiologischer Parameter) bei chronischen Erkrankungen den größten Effekt besitzt oder sich als besonders kosteneffektiv erweist“ ([5], 581). Im Fokus telemedizinischer Anwendungen zur Versorgung chronischer Erkrankungen steht das Monitoring im häuslichen Umfeld, denn darüber kann der Verbleib im eigenen Zuhause bei Erkrankungen (z.B. Herzinsuffizienz) oder Rehabilitationsmaßnahmen ermöglicht werden. Allerdings darf nicht vergessen werden, dass die Inanspruchnahme auch von sozialraumorientierten Versorgungsstrukturen abhängt. Technik und Soziales gehören zusammen, digitale Beziehungen können nicht soziale Beziehungen im Wohnumfeld oder familiären Netzwerken kompensieren – und dies gilt explizit, wenn es um persönliche Hilfeleistungen oder sogar um Pflege geht.

Allen technischen Unterstützungskonzepten ist jedoch gemein, dass sie bislang den Status von Forschungs- und Entwicklungsprojekten noch nicht überwunden haben. Die notwendigen Schnittstellen zu den potenziellen Anwendungsbereichen funktionieren nicht ausreichend, was sicherlich auch daran liegt, dass oft technische Visionen im Vordergrund standen. Es mangelt an der Regelmumsetzung; viele und hohe Hürden (vor allem die Fragmentierung im deutschen

Gesundheits- und Sicherungssystem) stehen im Weg. Insbesondere muss die technische Entwicklung aber auch den konkreten Kundennutzen im Blick haben. Soziotechnische Lösungen werden nur dann erfolgreich sein, wenn für die Nutzer ein deutlicher „Mehrwert“ entsteht, der in der Verbesserung der Lebensqualität und in einer leichteren Bewältigung alltäglicher Verrichtungen liegen kann. Der Schub für integrierte Lösungen wird nur unter Einbeziehung aller betroffenen Akteure und der Schaffung von Standardisierung gelingen. Gefordert ist ein Schnittstellenmanagement zwischen verschiedenen Sektoren.

3 Vom Leuchtturm zur Verstetigung

Im Feld „Smart Homes“ und „Ambient Assisted Living“ hat sich in letzter Zeit viel getan. Die derzeit angebotenen Lösungen zum vernetzten Wohnen mit technischer Assistenz können technisch zumeist überzeugen, allerdings fehlt in vielen Bereichen noch die Verstetigung in der Regelversorgung. Empirische Erfahrungen zeigen zudem, dass die neuen technischen Lösungen oft als unpersönlich wahrgenommen werden. Sicherheit im Alter als mehrdimensionaler Bedarf wird aber zu einem gesundheits- und sozialpolitischen Thema und bietet zahlreiche Anknüpfungspunkte für sozial-innovative Dienstleistungskonzepte. „Assistive Technologien scheinen eine konkrete Antwort der Digitalisierung auf die demografischen und sozialepidemiologischen Probleme zu bieten. Von im Lebensbereich integrierter Sensorik zur Vitaldatenkontrolle oder Notfallantizipation bis hin zu Robotik für die Unterstützung im Haushalt werden auch hier zahlreiche vernetzte Produkte entwickelt, die einerseits die wachsenden Pflegekosten im Zaum halten und andererseits den betroffenen Personen eine effektivere Pflege und ein selbstbestimmteres Leben geben sollen. Darüber hinaus erscheinen auch entlastende Effekte auf Dritte (Angehörige, Pflegekräfte etc.) möglich. Allerdings herrscht ein Mangel an belastbarer Evidenz, die einen tatsächlichen Nutzen von Assistenzlösungen zeigen würde“ [6].

Darüber hinaus müssen die technischen Lösungen abgestimmt und verknüpft werden mit den Angeboten und Dienstleistungen der traditionellen Anbieter sozialer Dienste und aus der Gesundheitswirtschaft. Großes Interesse besteht schon heute an „einfach“ anwendbaren Techniken, komplexere Lösungen werden bislang kaum nachgefragt. Im Bereich der Sicherheitsdienstleistungen stoßen insbesondere Hausnotrufsysteme bei älteren Menschen auf ein wachsendes Interesse – insbesondere, seit die Technik wesentlich vereinfacht wurde.

Trotz der zunehmenden Diskurse zur Techniknutzung von Älteren und „Silver Surfern“ wird in vielen Altersstudien noch immer von der These ausgegangen, dass moderne Kommunikations- und Informationstechnologien eher unangemessene Ansprüche an ältere Menschen stellen statt sie zu unterstützen. Nicht wenige ältere Menschen, gerade Hochbetagte, haben auch Angst, wenn es um das Internet geht. Nach verschiedenen Umfragen schrecken noch immer viele Senioren vor dem komplizierten Internet zurück und überlassen die Handhabung anderen Familienmitgliedern (oft Kinder/Enkelkinder) (vgl. [7]). Dennoch hat sich der Anteil an internetnutzenden „Silver Surfern“ in den letzten Jahren deutlich gesteigert: Viele Ältere schreiben inzwischen Emails und informieren sich im Internet bei Gesundheitsfragen.

Technische Assistenzsysteme können auch das selbstbestimmte Wohnen im Alter unterstützen, empirische Erfahrungen weisen aber darauf hin, dass die Inanspruchnahme stark auch von sozialraumorientierten Versorgungsstrukturen abhängt. Technik und Soziales gehören zusammen, digitale Beziehungen können nicht verlässliche soziale Beziehungen kompensieren. Der Fokus sollte sich deshalb von „Smart Homes“ auf Quartiere verlagern und zudem die Nutzer

und weitere Netzwerke und Organisationen stärker aktiv einbeziehen (kollaborative Produktions- und Konsumprozesse mit dem Ziel sozialer Innovationen).

Während die Hausnotrufsysteme lediglich das Eintreten von Notsituationen melden und Hilfe initiieren können, werden mit der Telemedizin diagnostische Verfahren, die vorher das Aufsuchen einer Arztpraxis oder einen ärztlichen Hausbesuch voraussetzen, in die Wohnung der Patienten verlagert. Allerdings zeigen sich hinsichtlich telemedizinischer Anwendungen, die die Körperfunktionen überwachen und automatisch einen Arzt informieren, deutliche Vorbehalte. Viele möchten selbst darüber entscheiden, wann der Arzt Informationen bekommt (43 %). Die durch elektronische Überwachungssysteme gegebene Möglichkeit, in einer kritischen Situation neue Sicherheit zu bekommen, überzeugt bislang scheinbar bisher nur eine Minderheit. Dabei können Sensoren auch zur Steigerung der Lebensqualität älterer Menschen genutzt werden. Intelligente Sensortechniken gekoppelt mit telemedizinischen Anwendungen ermöglicht es älteren Menschen, ihren Wunsch, möglichst lange selbstständig zu leben, zu erfüllen. An diesen Anwendungsbeispielen zeigt sich der fließende Übergang von technischen Assistenzsystemen zu telemedizinischen Anwendungen. Überblicksstudien sprechen von signifikant positiven Effekten für Patienten, allerdings fehlen für Deutschland großangelegte Studien. Im Fokus telemedizinischer Anwendungen zur Versorgung chronischer Erkrankungen steht das Monitoring im häuslichen Umfeld, denn darüber kann der Verbleib im eigenen Zuhause bei Erkrankungen (z.B. Herzinsuffizienz) oder Rehabilitationsmaßnahmen ermöglicht werden.

Der Einstieg der großen Internet- und IT-Konzerne (z.T. mit Pharmakonzernen und Krankenkassen) in den Gesundheits- und „Smart-Home“-Markt wird ein Übriges in diese Richtung bewegen. Gleichwohl bleibt vieles noch abstrakt und wird medial inszeniert, an konkreten Umsetzungen mangelt es noch. Die Debatte um technische Assistenzsysteme in Deutschland braucht deshalb sowohl in der Gesundheits- und Pflegepolitik wie auch in der Praxis des Wohnens einen neuen Aufbruch. Mit dem "Gesetz für sichere digitale Kommunikation und Anwendungen im Gesundheitswesen (E-Health-Gesetz)" hat die jetzige Bunderegierung einen (allerdings längst überfälligen) Fahrplan für die Einführung einer digitalen Infrastruktur und zu Anwendungen auf der elektronischen Gesundheitskarte vorgelegt. Jetzt wird es darauf ankommen, die im internationalen Vergleich hinterherhinkende E-Health-Strategie endlich in konkrete Umsetzungsperspektiven für eine nutzenbringende integrierte und digitalisiert gestützte Versorgungsinfrastruktur münden zu lassen. Zudem wäre zu diskutieren, wie die Digitalisierungsperspektiven mit kooperativen Organisationsmodellen (z.B. Genossenschaften) zur Begrenzung der marktgetriebenen Wissenskonzerne zu verbinden sind.

Eine aktive Beteiligung der Bürger an ihren Daten ist schon deshalb zwingend, da sonst „digitale Leibeigenschaft“ droht. Eine Lösung für mehr digitale Selbstbestimmung könnte eine „Persönliche Daten Genossenschaft“ (MIDATA.COOP) mit folgenden Zielen sein:

- Sichere Aufbewahrung, Verwaltung und Teilen der persönlichen Daten.
- Bürger entscheiden, welche Daten sie mit wem, zu welchem Zweck und wann teilen und entscheiden, wie Gewinne aus der Zweitnutzung investiert werden.
- Genossenschaft nimmt gegenüber Mitgliedern die Verantwortung für Datensicherheit und Verwendung.
- Demokratisierung des persönlichen Datenmarktes und damit Begrenzung der Macht der großen Internetkonzerne.

Plakative Hinweise, dass Digitalisierungsprozesse die Lebensqualität (auch in der Pflege) erhöhen können, können deshalb die Hindernisse auf Mikroebene bislang kaum beseitigen. Die

Angst vor Kontrolle nimmt dann ab, wenn das Gefühl, im Notfall Hilfe zu erhalten, durch digitale Assistenz gesteigert wird. Das Sicherheitsempfinden kann hier Zweifel relativieren. Empirische Untersuchungen aus dem Feld der Smart-Home-Technologien bestätigen zwar, dass Bedenken bezüglich der Privatheit eine Barriere der Techniknutzung darstellen, andererseits bestätigte sich, „dass Ältere bereit waren, einen Teil ihrer Privatsphäre aufzugeben, wenn durch den Einsatz von Technik die Unabhängigkeit in den eigenen vier Wänden erhalten werden konnte“ [8, S. 123].

4 Integrative Versorgungsstrukturen anstatt „Silos“

Einer breiten Umsetzung steht in Deutschland nach wie vor die mangelnde Kooperation der beteiligten Akteure entgegen – neben der Wohnungswirtschaft auch der Kostenträger wie etwa Kranken- und Pflegekassen. Die Anbieter technischer Systeme müssen bislang fehlende Standards entwickeln, die Interoperabilität von Systemen sicherstellen und stärker auf die aktuelle Situation und Wünsche der Nutzer und deren kognitive Fähigkeiten eingehen. Gefragt sind vorzeigbare „Best-Practice-Lösungen“, die auch die Frage der Finanzierbarkeit neuer Dienstleistungen thematisieren. „Die weitere Entwicklung des Marktes erfordert es, dass die Marktpartner – Wohnungsunternehmen, Gerätehersteller und die Anbieter von Dienstleistungen – über das bisherige Maß hinaus kooperativ an der Entwicklung von tragfähigen Geschäftsmodellen oder Geschäftsmodellvarianten arbeiten. Zusätzlich zu den traditionellen Markttrollen sollten neue Konzepte erprobt werden, mit denen die Belastung für die Mieterhaushalte möglichst gering gehalten wird bzw. deren Zahlungsmöglichkeit nicht übersteigt und für die anderen Beteiligten – Wohnungsunternehmen, Geräteanbieter und Anbieter von Dienstleistungen – Kosten und Nutzen in einem angemessenen Verhältnis zueinanderstehen“ [1]; vgl. auch [9].

Ein Aufbrechen der im deutschen Sozialsystem vorherrschenden sektoralen Trennungen („Siloedenken“) ist dazu erforderlich, aber wohl nur etappenweise zu realisieren. Dies gilt auch für das Verhältnis von sozialen Dienstleistern und der Wohnungswirtschaft, die sich erst in den letzten Jahren aufeinander zubewegt haben. Viele Diskussionen und Handlungsempfehlungen leiden zudem darunter, dass zu sehr die technische Vernetzung in der Wohnung in den Blick genommen wird, ohne auch die soziale Vernetzung im Wohnquartier bzw. den Stadtteil zu berücksichtigen. Die Akteure müssen explizit von der Vorteilhaftigkeit der Kooperation überzeugt werden. Insbesondere die Aktivierung der Sozialversicherungsträger stellt eine zentrale Herausforderung für zukünftige Vernetzungsstrategien in einer alternden Gesellschaft dar. Aufgrund der zersplitterten Struktur (innerhalb eines Quartiers sind zahlreiche Pflege- und Krankenversicherungen anzusprechen) ist die konkrete Umsetzung allerdings schwierig. Die Sozialversicherungsträger als Kostenträger wird man letztlich nur dann überzeugen können, wenn sich Kostenreduzierungen eindeutig nachweisen lassen (z. B. über eine empirisch fundierte Vergleichsberechnung zwischen ambulanter und stationärer Versorgung bzw. der Berechnung eines verhinderten bzw. verzögerten Heimeintrittes).

Die Zurückhaltung gegenüber neuen technischen Assistenzsystemen wird sich in den nächsten Jahren relativieren. Technologische Innovationen werden zumeist von Jüngeren zunächst erprobt und diffundieren erst langsam in die älteren Personengruppen, was z.B. am Beispiel des Smartphones demonstriert werden kann.

Gleichwohl bleibt vieles im Feld technikunterstütztem, selbständigem Wohnen im Alter noch abstrakt, an Umsetzungen in der Breite mangelt es. Die Debatte um technische Assistenzsysteme in Deutschland braucht deshalb sowohl in der Gesundheits- und Pflegepolitik wie auch im Bereich

des Wohnens einen Aufbruch: zu klären wäre auch, wie die Digitalisierung mit kooperativen Organisationsmodellen (z.B. Genossenschaften) zur Begrenzung der marktgetriebenen Wissenskonzerne zu verbinden ist. In internationalen Diskursen zur „Digital Sociology“ wird die Selbstverwaltung der riesigen Datenmengen explizit thematisiert; so wird etwa von „self-tracking citizenship“-Modellen gesprochen, um die Gestaltungsperspektive wieder in die soziologischen Debatten einzubringen (vgl. [10]; zu „personal data cooperatives“ vgl. auch [11] und [12]). Ziel ist dabei, dass die sich vermessenden Menschen nicht nur ihre eigenen Daten zur Selbstoptimierung sammeln, sondern aggregiert zu großen Datensammlungen beitragen können, von denen andere profitieren. So könnte ein das Recht auf informationelle Selbstbestimmung, die Schaffung von Sicherheitsstandards und ethische Anforderungen, die bislang weitgehend aus den Diskursen ausgeblendet sind, eingefordert werden.

Wenn diese potentiellen Risiken eingedämmt werden können, kann insbesondere die Verbindung zwischen technischer Assistenz und Versorgung ein attraktives Zukunftskonzept darstellen. Es bedeutet, neue strategische Wertschöpfungsallianzen zu schmieden, was allerdings Innovation und Kreativität bei den Akteuren erfordert. Für eine angemessene Bearbeitung des demografischen Wandels reichen technische Produkt- und Marktinnovationen (und sei es auch das „Internet der Dinge“) allein nicht aus. Soziale Innovationen sind abhängig vom sozialräumlichen Umfeld und kooperationsbereiten Akteuren. Die Innovationsoption, dass ein Land wie Deutschland mit einer der „ältesten“ Bevölkerungen der Welt zu einem „Leitmarkt“ für wirtschaftlich-soziale Innovationen im Alter werden könnte, wird derzeit jedoch noch nicht breit diskutiert. Die Verknüpfung von selbstständigem Leben im Alter mit Medizintechnik und Telemedizin könnte exemplarisch ein interessantes Handlungsfeld für soziale Innovationen und für neue Wertschöpfungsallianzen im Zuge des demografischen Wandels und der sich ausbreitenden Digitalisierung werden.

Trotz diverser Hemmnisse hinsichtlich der Regelumsetzung haben sich digitale Technologien in Gesundheitsfragen weit ausgebreitet – man denke nur an die schon geschilderten vielfältigen Angebote einer individualisierten Gesundheitsbeobachtung. Diese pragmatische Ebene innovativen individuellen Handelns sollte nicht unterschätzt werden, eine Wandlung der Praktiken (etwa in der Nutzung von Apps) kann Innovationspotentiale freisetzen. Dass sich digitale Lösungen für Ältere im Feld des Wohnens nur zögernd umsetzen, liegt auch an der mangelnden Nachfrage, was auf stärkere Vorbehalte hinweist. Der individualisierte, technologisch aufgerüstete Konsumstil ist bei Älteren (vor allem Hochaltrigen) kaum verbreitet, während er bspw. bei 16 bis 30-Jährigen zur Normalität gehört.

Ausgangspunkt für Interventionen etwa im Bereich Betreuung und Pflege müssen deshalb die Versorgungsdefizite der Betroffenen sein, die zunächst einmal soziale Betreuung benötigen und dann schrittweise in ein quartiersnahes Versorgungssystem mit technischen Assistenzsystemen integriert werden müssen.

5 Politisch-institutionelle Umsetzungsprobleme sozio-technischer Assistenzsysteme

Neben den Vorbehalten hinsichtlich des konkreten Nutzens ist die institutionelle Fragmentierung des deutschen Gesundheitswesens (man kann auch von „Silos“ sprechen, die kaum miteinander interagieren) eine weitere Hürde hinsichtlich der Umsetzung technischer Unterstützungssysteme. Vergleichbare Länderbeispiele zeigen die für die Umsetzung notwendige enge Verflechtung zwischen dem Gesundheits-, Pflege- und dem Wohnungssektor. Beispielsweise ließ im „schottischen Bezirk West Lothian die Bezirksverwaltung zwischen 2002 und 2006

über 2.000 Wohnungen mit Sensoren versehen – für gerade einmal 2,1 Millionen Pfund. Instaliert wurde ein einfaches Hausnotrufsystem, das die Daten von tragbaren Sturzsensoren, Bewegungs-, Rauch- und Gasmeldern im Notfall an ein Callcenter funk. Dort beantwortet geschultes Personal Fragen und kontaktiert bei Bedarf Pfleger, Ärzte oder Angehörige. Die Technik konnte die durchschnittliche Aufenthaltsdauer in Pflegeheimen des Bezirks von 38 auf unter 10 Monate senken. Heute ist sie in 4.000 Wohnungen installiert. Dabei kostet die technische Betreuung weniger als halb so viel wie die Unterbringung in einem Pflegeheim. Nach dem Projektende in West Lothian hat die schottische Regierung den Ausbau der Alterstechnik landesweit gefördert. Mittlerweile haben über 30.000 Schotten Zugriff auf telemedizinische Dienstleistungen. Laut einer Studie des New Haven Research Center ließen sich in den letzten fünf Jahren eine halbe Million Krankenhaustage einsparen“ ([13]; vgl. zur internationalen Ausbreitung telemedizinischer Verfahren u.a. [14]).

In verschiedenen Ländern werden die Potentiale neuer Haushaltstechnologien zur Bewältigung einer selbstständigen Lebensführung im Alter besser genutzt. In den Niederlanden oder skandinavischen Staaten sind bereits über 10 % der Senioren in solchen Unterstützungssystemen vernetzt. In die Diskussion um technologische Assistenzsysteme und eHealth ist aber auch in Deutschland in letzter Zeit Bewegung gekommen, der Markt für „Mobile Health“ gilt als der Wachstumsmarkt. Eine Fülle von Informationsangeboten zeigt, dass Patienten in den letzten Jahren wachsende Chancen bekommen haben, sich in Sachen Gesundheit und Medizin selbst besser zu informieren und zu orientieren. Insbesondere die Verbreitung des Internet bewirkt eine Stärkung der Eigenverantwortung im Gesundheitsbereich, zumal die Gesunderhaltung zu den zentralen Lebensinhalten gezählt wird. Sowohl auf Anbieter- als auch auf Nachfrageseite spielen Gesundheitsthemen im Internet eine wichtige Rolle. Über ein Drittel aller erwachsenen EU-Bürger sucht im Web nach Informationen zur Gesundheit (in Deutschland nutzen es über 20 Millionen Menschen). Unabhängige, qualifizierte Patientenbefragungsportale werden nach Ansicht aller Experten anwachsen. Schon heute wird die Zahl der Websites zum Thema Gesundheit und Medizin auf weit über 100.000 geschätzt, davon mehrere hundert deutschsprachige Medizin- bzw. Gesundheitsportale. Notwendig wird deshalb eine klare Bewertungssystematik der Portale, um die Orientierung zu verbessern.

Und auch die Krankenversicherungen engagieren sich im internationalen Vergleich im Feld der „Welfare Technologies“ stärker (bspw. führt die zweitgrößte Krankenversicherung in den Niederlanden (CZ) ein großes Projekt zum Thema Sicher und gesund zu Hause („Veilig und gezond thuis“/„Zorg op Aftsand“) durch. Anders als bei ähnlichen Projekten in Deutschland, die über Jahre vom Bund oder Ländern finanziert werden und dann zumeist „einschlafen“, handelt es sich hier nicht um ein öffentliches Leuchtturmprojekt, sondern um eine Standardfinanzierung. Um eine Breitenwirkung zu erzielen, müssen gerade auch die Kostenträger von den Vorteilen der neuen Optionen des ‚zu Hause Alterns‘ und der integrierten Versorgung überzeugt werden, was aber auch bedeutet, neue Leistungstatbestände in die jeweils berührten Gesetze und Verordnungen aufzunehmen. Dies ist allerdings in einer Versorgungslandschaft schwierig, die sich als „frozen landscape“ beschreiben lässt. Für Aufgabenfelder wie das vernetzte Wohnen, die quer zu den etablierten Strukturen liegen, ist es generell schwierig, adäquate Finanzierungsstrukturen aufzubauen. Schon im Feld der etablierten Aufgaben finden sich häufig geschlossene Märkte, da weiterhin bestehende sozialkorporatistische Routinen überwiegen und eine enge Verwobenheit zwischen Fachverwaltungen als Kostenträgern und etablierten Anbietern aus der Verbändelandschaft zu beobachten ist. Zudem bringen öffentliche Kostenträger

neuen Akteuren oft Misstrauen entgegen. Die ausgeprägte institutionelle Segmentierung der Politikfelder mit spezifischen Spielregeln prägt den deutschen Wohlfahrtsstaat seit seiner Entstehung und erschwert eine sektorenübergreifende Aufgabenbewältigung, wie sie bspw. für eine integrierte Gesundheitswirtschaftspolitik gefragt wäre.

Aus technik- und innovationssoziologischer Sicht demonstriert die mangelnde Umsetzung technischer Unterstützungssysteme aber auch, wie notwendig die Erweiterung des Innovationsbegriffs um die Neukonfiguration sozialer Arrangements ist. „Mit Blick auf die Unterscheidung ‚technisch‘ und ‚sozial‘ gilt es, die technischen Innovationen nicht nur auf die ‚Hardware‘ von Maschinen und Leistungen zu beschränken, sondern auch die ‚Software‘ von Kalkülen und Programmen und die ‚Orgware‘ von Koordination und Steuerungsmechanismen einzubeziehen. Da es keine technischen Neuerungen ohne veränderte Umgangsweisen und institutionelle Einbettungen gibt und da es kaum eine soziale Neuerung ohne technische Voraussetzungen gibt – man denke an die Internet-Basiertheit, die Nutzung und Veränderung technischer Infrastruktursysteme oder an dienst- und personenorientierte Assistenztechniken – gilt es zusätzlich, neben der Treiberfunktion der jeweiligen Elemente, auch ihre Anteile und ihre wechselseitigen Zusammenhänge genauer zu studieren“ [15, S. 28].

Trotz diverser Hemmnisse haben sich digitale Technologien in Gesundheitsfragen weit ausgebretet – man denke nur an die schon geschilderten vielfältigen Angebote einer individualisierten Gesundheitsbeobachtung. Diese pragmatische Ebene innovativen individuellen Handelns sollte nicht unterschätzt werden, eine Wandlung der Praktiken (etwa in der Nutzung von Apps) kann Innovationspotentiale freisetzen.

Allerdings dürfte die Akzeptanz mittelfristig durch den Wandel bei den Technologien und den individuellen Präferenzen steigen; die potentiellen Kunden sind die derzeit 50 - 60Jährigen, die über viele Erfahrungen mit Informations- und Kommunikationstechnologien verfügen. Da es einen „positiven Zusammenhang zwischen der Zahlungsbereitschaft und der Zahlungsfähigkeit“ gibt [16], müssen die technischen Assistenzsysteme jedoch bald eingeführt werden, denn das Haushaltseinkommen der Älteren wird sinken. Der Schub für integrierte Lösungen gelingt nur unter Einbeziehung aller betroffenen Akteure und der Schaffung von Ordnungsstrukturen. Gefordert ist ein effizientes Schnittstellenmanagement zwischen verschiedenen Sektoren: Kompetenzen und Verantwortlichkeiten müssen geregelt, ein Wille zur Kooperation muss vorhanden sein und Geschäftsmodelle müssen erarbeitet werden. Hier könnte eine partizipative Technikgestaltung helfen, denn viele ältere Menschen setzen sich durchaus mit den neuen Technologien auseinander und sind auch an einer besseren Nutzung interessiert.

Die zunehmende Digitalisierung sämtlicher Lebens- und Arbeitsbereiche wird sich nicht aufhalten, vielleicht aber gestalten lassen. Die Frage, ob die Risiken die Chancen übersteigen werden, ist daher letztlich auch eine Frage der Steuerung und Gestaltung dieser Entwicklungen. Die bisher praktizierten Digitalisierungsstrategien, vor allem im Feld des Wohnens und der Gesundheit, sind wenig integriert und es „stottert“ bei der Umsetzung von Innovationen. Kooperative Gestaltungsoffensiven sind gefordert und werden punktuell gestartet, die Beteiligung ist noch optimierbar und die Perspektiven sind noch offen.

Die angebotenen digitalen Optionen koppeln sich an die Individualisierung der Gesellschaft und entwickeln in der Querverbindung bereits heute äußerst neue Anreizstrukturen (prominent im Kommunikationssektor), die den Alltag längst prägen. Sie sind aber mehr als die kontinuierliche Weiterentwicklung technisch-sozialer Innovationen. Hier werden, bedingt durch die Ausbreitung des Internets und riesiger Speicherungssysteme, neue, bislang kaum kontrollierte

Datenmengen zusammengeführt, die ganz neue Gestaltungsspielräume, aber eben auch Kontrollmöglichkeiten eröffnen.

Manche soziologischen Zeitdiagnosen haben sich deshalb vor dem Hintergrund wachsender „Kontrollzirkel“ und machtvoller Stimmungen, die eher Warnungen vor selbstgeschaffenen „Käfigen“ formulieren, von einer Gestaltungsperspektive längst verabschiedet. Dies impliziert jedoch, dem Prozess der Digitalisierung als Getriebene ausgesetzt zu sein und die Konfusionen nur zu beobachten. Aus einer gestaltungsorientierten soziologischen Sicht kann dies nicht das letzte Wort sein, auch wenn die Strategiefähigkeit und das Lernvermögen sowohl der Politik als auch der im Feld der Digitalisierung agierenden Akteure nicht überschätzt werden dürfen. Da es sich bei der Digitalisierung um fundamentale und alle Bereiche umfassende Veränderungsprozesse handelt, besteht die Gefahr einer systemischen Überforderung der Politik. Da gerade die Gesundheitswirtschaft von Fragmentierungen und einem ausgeprägten Eigensinn der Akteure geprägt wird, die bislang einen grundlegenden Pfadwechsel verhinderte, kann nur über eine indirekte Kontextsteuerung der Übergang von den analogen in die digitale Welt bewältigt werden. Und dass die Digitalisierung auch zu einer Revitalisierung kooperativer Netzwerke führen kann, demonstrieren die Open-Source- oder die Sharing-Economy-Initiativen (etwa Tauschbörsen), die die digitalen Techniken nutzen und damit die gesellschaftliche Ordnung (manchmal unbewusst) in Richtung neuer, eher kooperativ organisierter Formen des Zusammenhandelns verändern. Gründergeist gekoppelt mit digitaler Technik wäre dann eine konstruktive Antwort auf die Umsetzung der vielen soziotechnologischen Innovationen, die in Deutschland vor sich her schlummern.

6 Literatur

- [1] GdW; InWIS; SIBIS: Technische Assistenzsysteme für ältere Menschen – eine Zukunftsstrategie für die Bau- und Wohnungswirtschaft. Wohnen für ein langes Leben/AAL; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2015.
- [2] M. Gersch, J. Liesenfeld (Hg): AAL- und E-Health-Geschäftsmodelle. Wiesbaden, 2012.
- [3] K. A. Shire, J. M. Leimeister (Hg.): Technologiegestützte Dienstleistungsinnovation in der Gesundheitswirtschaft. Wiesbaden, 2012.
- [4] Generali Zukunftsfonds (Hg.)/Institut für Demoskopie Allensbach: Generali Altersstudie 2013. Wie ältere Menschen leben, denken und sich engagieren, Frankfurt, 2013.
- [5] Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen: Bedarfsgerechte Versorgung – Perspektiven für ländliche Regionen und ausgewählte Leistungsbereiche, Berlin, 2014.
- [6] G. Gigerenzer, K. Schlegel-Matthies, G. G. Wagner: Digitale Welt und Gesundheit. eHealth und mHealth – Chancen und Risiken der Digitalisierung im Gesundheitsbereich; Sachverständigenrat für Verbraucherfragen beim Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2016.
- [7] H. Pelizäus-Hoffmeister: Zur Bedeutung von Technik im Alltag Älterer. Theorie und Empirie aus soziologischer Sicht; Springer Fachmedien, 2013.
- [8] F. Oswald, H.-W. Wahl: Alte und neue Umwelten des Alterns – Zur Bedeutung von Wohnen und Technologie für Teilhabe in der späten Lebensphase. Teilhabe im Alter gestalten, Hrsg.: G. Naegele, E. Olbermann, A. Kuhlmann; Springer Fachmedien, 2016.
- [9] L. Schelisch: Technisch unterstütztes Wohnen im Stadtquartier, Wiesbaden, 2016.

- [10] D. Lupton: The Quantified Self: A Sociology of Self-Tracking. Polity, 2016.
- [11] E. Hafen, M. Brauchbar: Befreiung aus der digitalen Leibeigenschaft. Neue Zürcher Zeitung v. 05.03.2014.
- [12] D. Helbing et al: IT-Revolution: Digitale Demokratie statt Datendiktatur. Spektrum der Wissenschaft v. 17.12.2015; Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, 2015.
- [13] R. Gast: Der unsichtbare Pfleger. Ingenieure und Informatiker haben einen Traum: Hightech soll im Alltag über die Gesundheit alter Menschen wachen. Es wird geforscht, getestet und nach Geldgebern gesucht. In: Die Zeit v. 11. Januar 2013, 2013.
- [14] N. van den Berg, S. Schmidt, U. Stentzel, H. Mühlan, W. Hoffmann: Telemedizinische Versorgungskonzepte in der regionalen Versorgung ländlicher Gebiete. Möglichkeiten, Einschränkungen, Perspektiven, in: Bundesgesundheitsblatt, Februar 2015 (Online), 2015.
- [15] W. Rammert: Die Innovationen der Gesellschaft. In: J. Howaldt, H. Jacobsen (Hg.), Soziale Innovation, Wiesbaden, S. 21ff (bzw. konkret: 28), 2010.
- [16] U. Fachinger: Zahlungsbereitschaft für assistierende Technologien: Eine Frage der Technikbereitschaft?, 6. Deutscher AAL-Kongress 2013, VDE Berlin, S. 239ff, 2013.

Smarte Quartiere 2050 – flexibel, resilient und intelligent

Forschungsagenda für umwelt- und sozialgerechtes technisch assistiertes Wohnen

J. Schubert¹, S. Leonhardt², M. Schneider¹, T. Neumann², B. Gill¹, T. Teich²

¹Ludwig Maximilians Universität München, Institut für Soziologie,
Konradstraße 6, 80801 München

johannes.schubert@lmu.de, schneider.michael@lmu.de, bernhard.gill@lmu.de

²Westsächsische Hochschule Zwickau, Professur für die Vernetzte Systeme in der
Betriebswirtschaft, Scheffelstraße 39, 08066 Zwickau

sven.leonhardt@fh-zwickau.de, tim.neumann@fh-zwickau.de, tobias.teich@fh-zwickau.de

Kurzzusammenfassung

Smarte Quartiere sind zukunftsorientierte Quartiere, die ihrem Anspruch nach umwelt- und sozialpolitische Ziele wie energieeffizientes, bezahlbares oder altengerechtes Wohnen verbinden. Im Beitrag wird argumentiert, dass ihre Realisierung eine vorausschauende, bedarfsorientierte und partizipative Technologieentwicklung erfordert. Am Beispiel Zwickaus wird eine entsprechende Forschungs- und Entwicklungsaufgabe für technisch assistiertes Wohnen mit ersten Ergebnissen ihrer Umsetzung vorgestellt.

Abstract

“Smart Residential Quarters 2050 – adjustable, resilient and intelligent”

In combining environmental and socio-political objectives such as energy-efficient, affordable and age-appropriate living, Smart Residential Quarters are described as future-oriented quarters. A proactive, demand-oriented, and participatory technology development are central requirements for their realization. By using the example of Zwickau, we present our research- and development agenda for technologically assisted forms of living as well as the current state of development.

Keywords: Smarte Quartiere, AAL, Smart Services, Reallabor, bedarfsorientierte Technikentwicklung

1 Einleitung

Smarte Quartiere sind zukunftsorientierte Quartiere [1]. Sie reagieren gleichermaßen auf Herausforderungen des demographischen wie des Klimawandels. Smarte Quartiere zeichnen sich dadurch aus, dass sie umwelt- und sozialpolitische Ziele wie energieeffizientes, bezahlbares oder altengerechtes Wohnen durch eine integrierte Betrachtung verbinden – und zwar im gesamten Quartier und mit langfristiger Perspektive.

Dieser Anspruch erfordert eine vorausschauende, bedarfsorientierte und partizipative Technologieentwicklung [2]. Dabei wird das Smarte Quartier als digitales Lebensumfeld konzipiert, in dem Bewohner sowie ehrenamtliche und kommerzielle Dienstleister und intelligente Geräte zu

einem Netzwerk zusammengeschlossen sind.¹ Als funktional und sozial durchmischte städtische Nahräume bieten Smarte Quartiere so in allen Lebensphasen und Lebensbereichen ein hohes Maß an Lebensqualität.

Im direkten Vergleich zu herkömmlichen Quartieren zeichnen sich Smarte Quartiere durch höhere Flexibilität, Resilienz und Intelligenz aus: Das Wohn- und Serviceumfeld kann auf die im Lebensverlauf veränderlichen Bedarfe der Mieter angepasst werden, die intelligente Vernetzung von technischer Gebäudeinfrastruktur und Bewohnern zur Vermittlung haushaltsspezifischer Dienste macht es robust gegenüber sozial-ökologischen Herausforderungen wie dem demographischen Wandel, steigenden Energiepreisen oder sommerliche Hitzeereignisse.

Technisch zeichnen sich Smarte Quartiere durch eine integrierende informationstechnische Infrastruktur aus, die ursprünglich ausschließlich zur Steigerung der Energieeffizienz innerhalb der Wohnräume eingesetzt wurde [1]. Aufgrund bisher ungenutzter Potenziale kann diese Technologie auch zur Vermittlung haushaltsspezifischer Dienste (bspw. aus den Bereichen Pflege und Gesundheit) genutzt werden [3]. Entsprechend wird zur Realisierung Smarter Quartiere insbesondere an den aktuellen Stand der Forschung aus den Bereichen Smart Home, Ambient Assisted Living (Altersgerechte Assistenzsysteme für ein selbstbestimmtes Leben, AAL) und Smart Services angeschlossen [4, 5, 6, 7, 8].

Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden die „Forschungs- und Entwicklungsagenda für technisch assistiertes Wohnen, das Menschen wirklich wollen“ skizziert. Dazu wird in Kapitel 2 die Akzeptanz und Verbreitung aktueller Systeme der automatisierten Wohnraumklimatisierung und altersgerechter Assistenzsysteme für ein selbstbestimmtes Leben diskutiert. Hier wird argumentiert, dass die mangelnde Verbreitung und Akzeptanz dieser Technologien auf ein unzureichendes Innovationsverständnis zurückzuführen ist – mit der Folge, dass die tatsächlichen Bedürfnisse der Nutzer sowie mögliche nichtgewollte Nebenfolgen im Forschungs- und Entwicklungsprozess nicht oder nur unzureichend berücksichtigt werden.

In Kapitel 3 wird die Notwendigkeit einer prospektiven Technikentwicklung und -bewertung abgleitet und – in Kapitel 4 – der Stand der Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Reallabor Zwickau präsentiert.

Diese Arbeit im Reallabor ist ein Novum; denn sie zeichnet sich durch ein transdisziplinäres und am Bedarf orientiertes Vorgehen bei der Entwicklung von Technologien (Co-Design) sowie durch deren Erprobung und Evaluierung – inkl. gesellschaftlicher und ökologischer Nebenfolgen – in Smarten Quartieren aus.

2 Akzeptanz und Verbreitung – Smart Home, AAL und Smart Services

Smart Home dient als Oberbegriff für technische Verfahren und Systeme in Wohnräumen, in deren Mittelpunkt eine Erhöhung der Lebensqualität und eine Steigerung der Energieeffizienz auf Basis intelligenter vernetzter Geräte und automatisierbarer Abläufe steht [1]. Hier kommunizieren Geräte und Sensoren untereinander, bspw. Fensterkontakte mit Heizungsventilen.

Konzepte aus den Bereichen AAL und Smart Services basieren ebenfalls auf vernetzten und intelligenten Gegenständen, Geräten und Maschinen. Im Gegensatz zum herkömmlichen Smart Home kommunizieren diese Gegenstände aber nicht nur untereinander, sondern auch mit den Bewohnern (bspw. über Druck- und Bewegungssensoren oder Fitnessarmbänder) und ihrem

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

sozialen Umfeld wie Nachbarn oder Pflegedienste. Diese Form der Mensch-Technik-Interaktion ist in der Lage, bestimmte Bedürfnisse automatisiert zu erfassen und – ebenfalls automatisch – einem passenden Dienst zur Befriedigung dieses Bedürfnisses zu vermitteln. Hier wäre das Telenursing als eine Form der netzbasierten Gesundheitsüberwachung und Konsultation zu verorten. Damit zielt AAL darauf ab, das alltägliche Leben von älteren oder benachteiligten Menschen (Multimorbidität) situationsabhängig und unaufdringlich zu unterstützen und so ein längeres eigenständiges Leben im häuslichen Umfeld zu ermöglichen [6, 7, 8].

Allerdings werden solche Trends bzw. Systeme nicht unbesehen übernommen, sondern auf ihre Zweckdienlichkeit hin überprüft und optimiert. Im Anschluss an aktuelle Untersuchungen [9, 10, 11, 12, 13] besteht v.a. bei den folgenden drei Punkten Handlungs- und Innovationsbedarf: Zunächst sind die bestehenden Systeme zumeist nicht untereinander kompatibel. Es sind Insellösungen, die einer integrativen – d.h. einer problemfeldübergreifenden (wie Gesundheit und Energetik) – Betrachtung entgegenstehen. Durch die Entwicklung einer integrierenden informationstechnischen Infrastruktur möchten wir es dem Endverbraucher – aber auch Planern – ermöglichen, unterschiedliche Systeme und Dienste zur Nutzung von Synergien und der Aggregation der so entstehenden einzelnen Mehrwerte bedarfsgerecht miteinander kombinieren zu können.

Darüber hinaus sind aktuelle Systeme und Produkte in aller Regel nur für sehr kurze Lebenszyklen konzipiert. Dies hat zur Folge, dass die Preispolitiken und Geschäftsmodelle der Anbieter nicht nachhaltig, sondern auf kurze Amortisationszeiten und schnelle Gewinne ausgelegt sind. Dies ist nicht nur unökologisch, sondern kann auch zu einer systematischen Exklusion einkommensschwacher Nutzergruppen (bspw. von Altersarmut betroffene Haushalte) und damit zu einer Reproduktion und Verstärkung bestehender sozialer Ungleichheiten führen. Zudem ist zu befürchten, dass sich die Kurzlebigkeit der aktuellen Systeme und Preispolitiken negativ auf die Akzeptanz technisch assistierter Wohnformen auswirken und einer nachhaltigen Markterschließung entgegenwirken.

Aus diesen Gründen wird eine Entwicklung von Technologien und Betreibermodellen angestrebt, die sich neben wirtschaftlichen auch an ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitskriterien orientiert und den tatsächlichen Bedarf der Nutzer berücksichtigt. So sollen die Akzeptanz technisch assistierter Wohnformen erhöht sowie Markteintrittsbarrieren abgebaut werden. Eine bedarfsgerechte Technik- und Serviceentwicklung betrifft insbesondere die Frage, wie Eigen- und Fremdleistungen in bestehende Alltagsroutinen und Abläufe, bspw. in bestimmte Pflegearrangements, sinnvoll miteinander verzahnt und integriert werden können. Gerade die oben zitierte Forschung aus den Bereichen Alter, Pflege und Gerotechnik zeigt, dass bestehende Technologien und Dienste häufig an den Alltagsroutinen und Nutzerkontexten der Zielgruppe vorbeigehen und entsprechend auf Irritation und Ablehnung stoßen.

Allerdings zeigt sich bei genauerer Betrachtung, dass sich die Bereiche Energetik und AAL/Smart Services hinsichtlich ihrer Verbreitung deutlich voneinander unterscheiden. Im Bereich der Energetik wird zunehmend der Schritt von der Nische in die Breite gegangen. Der Vorsprung von Smart Home-Technologien gegenüber AAL und Smart Services zeigt sich hier sehr deutlich. Durch die zunehmende Zahl robuster und preiswerter Angebote zur Steigerung der Energieeffizienz und des Komforts wird das Smart Home für unterschiedliche Akteure immer interessanter. Die Tatsache, dass diese Entwicklung auch von den großen Wohnungsbauunternehmen und deren Verbänden vorangetrieben wird, verdeutlicht, dass es sich bei den aktuellen Smart Home-Lösungen um weit mehr als nur Nischenprodukte handelt. Vor allem im

Geschosswohnungsbau haben Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz (aber auch zum Erhalt der Gebäudesubstanz) vielerorts den Sprung in die Wohnungs- und Immobilienbestände geschafft. Ausschlaggebend ist hier, dass aktuelle Systeme einen nachweislichen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz in Wohngebäuden leisten und damit die Refinanzierung der Investition ermöglichen [14].

Die Betrachtung der Verbreitung von AAL (in Verbindung mit Smart Services) zeigt hingegen ein anderes Bild. Hier existieren vorwiegend hochpreisige Nischenprodukte, die untereinander kaum kompatibel sind und vornehmlich von technikaffinen Lead Users genutzt werden [1]. Auf (gefördert) Projektebene entstehen aktuell zwar immer wieder einzelne erfolgversprechende Anwendungen, v.a. in den Bereichen E-Health und Gesundheitstelematik; allerdings ist ihre Verbreitung zumeist regional begrenzt und es gelingt überwiegend nicht, diese in eine Regelversorgung bzw. den Massenmarkt zu integrieren. Der Grund: Die aktuelle Forschung und Entwicklung verortet Smart Services in der Wertschöpfungskette „hinter“ den Technologien. Ihre Entwicklung findet deshalb – ebenso wie die Entwicklung nachhaltiger Geschäfts- und Finanzierungsmodelle – zu wenig Beachtung. M.a.W.: Das Pferd wird gegenwärtig gewissermaßen von hinten aufgezäumt – nicht der konkrete Bedarf der Nutzer ist beim Design von Smart Services entwicklungsleitend, sondern das technisch Mögliche. Daraus erklärt sich die gegenwärtig zu konstatierende geringe Verbreitung von AAL und Smart Services.

Mit dem Beitrag werden die Entwicklungsprozesse von Smart Services im Sinne eines Prospective Technology Assessments konsequent für potenzielle Nutzer und deren konkrete Bedarfe geöffnet. Mit dieser frühzeitigen Öffnung des Entwicklungsprozesses für potenzielle Nutzer wird eine in der Literatur (Kap. 3) zwar häufig genannte Forderung erfüllt, die bislang in der Praxis aber nur selten umgesetzt wurde.

3 Zur Notwendigkeit einer prospektiven Technikentwicklung und -bewertung

Bei der Analyse sozialer, gesundheitlicher oder ökonomischer Auswirkungen von neuen, sich im Frühstadium befindlichen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, scheint die Technikfolgenabschätzung regelmäßig mit dem „Collingridge-Dilemma“ [15] konfrontiert. Demnach lassen sich in der Frühphase neuer Technologien deren Implikationen und nicht-intendierten Nebenfolgen mangels valider Daten nur schwer abschätzen. Weder lässt sich davon ausgehen, dass die von den Promotoren in Aussicht gestellten Entwicklungen technisch oder finanziell überhaupt realisierbar sind, noch ist bekannt, ob potenzielle Nutzer die neue Technik tatsächlich benötigen oder wollen. Zudem ist meist unklar, ob zukünftig auch vorteilhaftere alternative technische Lösungen zur Verfügung stehen werden. Wartet die Technikfolgenabschätzung hingegen, bis es genügend Informationen gibt, dann sind möglicherweise bereits unerwünschte Folgen eingetreten, Probleme entstanden und die Gestaltungsmöglichkeiten nehmen mit der zunehmenden Integration der Technik in die Alltagswelt der Menschen mehr und mehr ab.

Um also den „richtigen Zeitpunkt“ für die Folgenabschätzung nicht zu verpassen und Innovationen möglichst bedarfsorientiert zu entwickeln, wurden seit den 1980er Jahren diverse, teils konkurrierende, teils sich ergänzende sozialwissenschaftliche Programme vorgestellt, wie „Social Construction of Technology“ [16], „Constructive Technology Assessment“ [2] oder „Prospective Technology Assessment“ [17]. Alle diese Programme betonen die enge Verzahnung von Wissenschaft, Technik und Gesellschaft – eine Verzahnung, die mit dem Aufkommen der „NBIC-Technologien“ (Nanotechnologie, Biotechnologie, Informationstechnologie und Kognitionswissenschaften) immer enger wird. Hier sind wissenschaftliche Fragestellungen,

Grundlagenforschung und Technikentwicklung also regelmäßig mit Anwendungszielen verkoppelt, so dass nicht erst die Anwendung neuen Wissens und neuer Technologien die Frage nach deren Implikationen und Folgen aufwirft, sondern bereits ihre Erforschung und Entwicklung.

Mit dieser zunehmend engeren Verbindung zwischen Wissenschaft und Technik bieten sich u.E. auch für die frühe Technikfolgenabschätzung vielfältige Möglichkeiten, mit denen sich neue Gestaltungsoptionen ausloten, am (gesellschaftlichen) Bedarf orientierte Lösungen vorantreiben und deren Entwicklungsperspektiven als mögliche „Technikzukünfte“ [18] vorstellen lassen.

Bei der Konstruktion solcher Zukünfte bietet sich auch die Chance, potenziellen Anwendern und Nutzern der neuen Smarten Quartiers-Technologien (seien dies Akteure aus dem Pflegebereich, der Wohnungswirtschaft, Mieter oder Energieberater) einen gestalterischen Einfluss auf die in der Entstehung befindlichen Technik- und Servicearchitekturen zu ermöglichen. D.h., Anwender sollten ihre Erwartungen und Bedürfnisse, aber auch ihre Intuitionen, Heuristiken und Entscheidungsroutinen aktiv einbringen und so auch die technischen und ökonomischen Realisierungschancen verbessern [19]. Denn ein tieferes Verständnis der Nutzungskontexte sowie der Alltagsroutinen und Heuristiken der Anwender ermöglichen ein benutzerfreundlicheres und robusteres Schnittstellendesign. Dies wiederum sollte zu geringeren Reibungsverlusten in der Mensch-Technik-Interaktion (bspw. aufgrund von Fehlnutzung) und zu einer höheren Akzeptanz seitens der Anwender führen.

Voraussetzung hierfür ist jedoch eine konsequente Öffnung des Innovationsnetzwerks für potenzielle Nutzer und für deren Interessen und Strategien – was u.E. schon deshalb notwendig ist, weil sich die Bedürfnisse im Verlauf von Innovationsvorhaben wandeln können und weil für viele technische Innovationen zum Zeitpunkt ihrer Markteinführung (noch) kein nennenswerter Bedarf besteht. Zudem ist eine neue Technologie oftmals erst im Labor oder als Prototyp erprobt, nicht aber unter Praxisbedingungen, so dass potenzielle Nutzer möglicherweise das „Risiko des Neuen“ scheuen. Schon allein aus diesen Gründen lässt sich der Erfolg einer neuen Technologie nicht allein aus Angebots- und Nachfragefaktoren erklären.

Für die Technologiebetreiber bietet eine solche Öffnung des Innovationsnetzwerks die Chance, ihre Entwicklungen nicht nur an die Erfordernisse der potenziellen Nutzer „anzupassen“, sondern auch deren Ideenpotenzial und den Nutzungskontext systematisch in den Innovationsprozess einzubeziehen.

4 Prospective Technology Assessment in Action – das Reallabor Zwickau

Die Öffnung des Innovationsprozesses für die Bedarfe potenzieller Nutzer sowie zur frühzeitigen Vermeidung nichtintendierter sozialer und ökologischer Nebenfolgen wird in Zwickau bereits seit dem Jahr 2009 konsequent verfolgt. Dabei eignet sich der Großraum Zwickau aufgrund seiner sozio-ökonomischen und demographischen Situation zur Erkundung energieeffizienter sowie sozial- und altersgerechter technisch assistierter Wohnkonzepte (und nachhaltiger Betreibermodelle) besonders gut.

Bis heute wurde dazu ein Bestand von mehr als 200 Wohnungen der Westsächsischen Wohn- und Baugenossenschaft Zwickau (WEWOBAU) nach und nach in ein Reallabor zur Entwicklung und Erprobung technisch assistierter Wohnformen im Sinne des Co-Design-Ansatzes verwandelt [20]. Durch die Verwendung standardisierter, modularer Hardware (Technische Ge-

bäudeausstattung, TGA) und deren informationstechnische Vernetzung wurden bereits die Voraussetzungen für eine flächendeckende Etablierung von Smart Home-Technologien – insbesondere im Bereich der Energieeffizienz – geschaffen. Diese Entwicklung ist maßgeblich auf das gemeinsame Engagement WEWOBAU und der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) zurückzuführen. Aber schon frühzeitig beteiligen sich auch namenhafte Partner aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft an dem transdisziplinären Konsortium, um gemeinsam die integrative Entwicklung voranzutreiben. Dazu gelten u.a. die Gesellschaft für intelligente Infrastrukturen Zwickau (GIZ), die Metrona-Brunata-Gruppe, die Zwickauer Energieversorgung, die Ludwig-Maximilians-Universität München, die TU Chemnitz und lokale Pflegedienste.

Die installierte TGA beinhaltet die Erfassung relevanter Daten in der Wohnung und im Wohnungsumfeld mittels Sensorik zur Optimierung der Heizungssteuerung, Einbindung regenerativer Energiequellen und Komfortsteigerung und wird in Kooperation mit der WEWOBAU seit 2011 standardmäßig bei der Wohnkomplexsanierung angewendet. In zunehmendem Maße kommen robuste Module der TGA zur Steigerung der Energieeffizienz in Wohngebäuden auch in anderen Großprojekten außerhalb Zwickaus mit insgesamt mehr als 1200 Wohneinheiten zum Einsatz.

Konkret übernimmt die TGA die gebäudeübergreifende Regelung der Heizungsanlagen. Dies umfasst u.a. auch die bedarfsgesteuerte Einbindung von Wärmepumpen und PV-Dachanlagen zur Einspeisung oder Eigenstromversorgung. Darüber hinaus existiert ein zentraler An-/Ausschalter für die Beleuchtung sowie einzeln definierte Steckdosen. So können die Beleuchtung sowie einzelne Stromverbraucher (teilweise auch E-Herde) beim Verlassen/Betreten der Wohnung gezielt (de-)aktiviert werden.

Die Zufriedenheit und Akzeptanz seitens der Mieter mit diesem System kann als überaus hoch bezeichnet werden. Während herkömmliche Wohnungen der WEWOBAU einen durchschnittlichen Leerstand von über 20% aufweisen, sind alle mit TGA ausgestatteten Wohnungen vermietet. Für die Neuvermietung existieren Wartelisten. Bei den Mietern sind interessanterweise v.a. jene TGA-Funktionen besonders beliebt, die auf die Vermeidung von Fehlverhalten im Bereich Heizen und Lüften abzielen, den Mieter also gewissermaßen bevormunden und in seinem Entscheidungsspielraum einschränken. So kann die voreingestellte Raumtemperatur vom Mieter nur um ± 3 Kelvin über- oder untersteuert werden. Beim Verlassen der Wohnung wird das Temperaturniveau der Wohnung automatisch abgesenkt, beim Betreten automatisch angehoben. Zudem verhindert die Kopplung von Fensterkontakte und Heizungsventilen, dass bei offenem Fenster geheizt wird. Die Heizung schaltet sich bei geöffnetem Fenster automatisch in den Frostschutzmodus. Weiterführende Dienste hingegen, z.B. über ein Tablet einsehbare Verbrauchsanalysen, wurden nur kurzfristig angenommen und nach einer gewissen Zeit als unnötige Spielerei abgetan. Anscheinend war der unmittelbare Nutzen dieser Dienste für die Anwender nicht gegeben.

Die hohe Zufriedenheit kann zudem auf die intensive kommunikative Begleitung der TGA-Implementierung zurückgeführt werden. Anfängliche Ängste, etwas aus Versehen kaputt zu machen oder zu verstören, konnten durch Informationsveranstaltungen und die Einrichtung einer zentralen Servicenummer zerstreut werden.

Durch die hier skizzierten Maßnahmen konnte der Primärenergiebedarf um 20 % gesenkt werden [14]. Damit leistet das System nicht nur einen wesentlichen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz, sondern auch zur Bereitstellung bezahlbaren Wohnraums sowie zur Vermeidung

von Alters- und Energiearmut [21]. Dies umso mehr, da sich die Installation der TGA im Rahmen eines Wärme-Contractings über die realisierte Energieeinsparung amortisiert, weshalb eine Umlage der Investitionskosten auf die Kaltmiete nicht notwendig ist.

Die TGA und die dazugehörigen Dienste aus dem Bereich Energetik werden im experimentellen Umfeld einer Musterwohnung sowie im Rahmen eines breit angelegten Energiemonitorings permanent evaluiert und weiterentwickelt. Dies umfasst auch die aktive Gestaltung und Erprobung durch potenzielle Nutzer, Dienstleister und Entwickler. Auf diese Weise können Nutzungskontexte gezielt variiert und an den alltäglichen Praktiken und Verhaltensweisen der Bewohner erprobt werden. Im Vergleich zur herkömmlichen Technik- bzw. Anwendungsentwicklung im Smart Home-Bereich werden durch den direkten Bezug zur realen Wohnumgebung (positive und negative) Wechselwirkungen in der Mensch-Technik-Interaktion unmittelbar sichtbar und thematisierbar. Denn im Gegensatz zu rein kommunikativen Formen der Nutzeinebindung (bspw. durch mehr oder minder abstrakte Erörterungen von Entwicklungsverläufen oder Produkteigenschaften) lassen sich durch die Beobachtung von konkreten Mensch-Technik-Interaktionen die Alltagsroutinen sowie unbewusste Glaubenssätze und implizite Wissensbestände der Nutzer erschließen und für ein verbessertes Schnittstellendesign nutzbar machen. Dabei geht es zunehmend auch um die modulare Erweiterung der TGA um Elemente aus den Bereichen AAL und Smart Services sowie deren Implementierung und Erprobung im vernetzten Quartier. Dazu werden auf Basis der entwickelten Softwareplattform und der TGA-Vernetzung insbesondere gesundheitstelematische und pflegerelevante AAL-Lösungen unter realen Bedingungen und mit Beteiligung entsprechender Probanden und Dienstleister im Quartier getestet. Dabei geht es insbesondere um aktive und passive Notfallerkennung und Auslösen der Notfallkette, Inaktivitätserkennung, Schlafmonitoring, Vitaldatenmessung oder Sturzprävention und -erkennung.

Hier liegt das Augenmerk auf der Realisierung der weiter oben konstatierten Verbesserungspotenziale in den Bereichen „Bedarfsgerechtigkeit“, „Nachhaltigkeit in puncto Lebensdauer und Betreibermodelle“ und „Kompatibilität“.² Beim Thema Bedarfsgerechtigkeit ist jedoch anzumerken, dass die hier geforderte konsequente Öffnung des Innovationsprozesses noch nicht komplett vollzogen werden konnte. Durch die Intensivierung der Zusammenarbeit mit Lebenshilfevereinen und Verbänden (wie dem Sehbehindertenverband oder Vereinen an der Schnittstelle zu Krankenkassen) werden aber im Rahmen der Gesellschaft für Intelligente Infrastruktur Zwickau (GIIZ) die konkreten Bedarfe zunehmend durch potenzielle Nutzer und Anwender artikuliert und halten in Form von visuellen und akustischen Orientierungshilfen, Drucksensoren, Bewegungsmeldern oder elektrisch absenkbaren Vorhangschienen Einzug in die Musterwohnung.

Im Gegensatz zur vornehmlich positiven Resonanz im Bereich Energetik finden diese Dienste allerdings ein geteiltes Echo. Es deutet sich an, dass zukünftig noch sehr viel stärker zwischen unterschiedlichen Nutzergruppen und ihren spezifischen Bedürfnissen unterschieden werden muss. Auch hier zeigt sich, dass das direkte Erleben bestimmter Leistungen in der Musterwohnung ein wesentliches Element zur Entschlüsselung spezifischer Bedarfe und zum Abbau von Berührungsängsten darstellt. Deshalb werden Feedbackschleifen – von der Problemformulierung, über die Ideengenerierung und die Meinungsbildung bis hin zur Implementierung – in

² Im Sinne einer integrativen Betrachtung müssen hier auch Fragen zum „Datenschutz“ sowie zur „Integration von Eigen- und Fremdleistungen“ im Smarten Quartier berücksichtigt werden. Diese sind Teil unserer Forschungsaagenda, sollen aber aus Platzgründen an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden.

Form von Usability-, Sicherheits- und Akzeptanzstudien in den Innovationsprozess integriert. Im Sinne des Prospective Technology Assessments stellt dieses rekursive Vorgehen sicher, dass sich die Technologie- und Serviceentwicklung an den tatsächlichen Bedarfen der Nutzer orientiert und unerwünschte sozial-ökologische Effekte frühzeitig identifiziert und vermieden werden [3].

5 Ausblick

Die oben skizzierte Entwicklung der Technikfolgenabschätzung zeigt (Kap. 3), dass sie sich – in Reaktion auf die zunehmend enger werdenden Verflechtungen von Forschung, Entwicklung und Anwendung – immer weiter ausdifferenziert und an Leistungsfähigkeit gewonnen hat. Dennoch sind überzogene sozio-technische Planungs- und Steuerungsphantasien unangebracht. Denn trotz aller gebotener Sorgfalt, mit der im Reallabor Zwickau neue Technologien entwickelt und bewertet werden, handelt es sich bei Mensch-Technik-Interaktionen unter realen Bedingungen um Prozesse, die in ihrer Komplexität und Dynamik nicht vollständig vorhersagbar sind. Mit Hilfe geeigneter Monitoringkonzepte und durch eine flexible Technik- und Servicearchitektur kann auf diese Dynamik jedoch frühzeitig reagiert werden.

Daher wird für die weitere Realisierung flexibler, intelligenter und resilienter Qurtiere in den nächsten Jahren untersucht, wie sich die oben skizzierte Einführung eines digitalisierten Wohn- und Serviceumfelds mittel- bis langfristig auf historisch gewachsene soziale Strukturen innerhalb eines Quartiers und auf das Verhalten einzelner Haushalte auswirkt. Wie agieren private Haushalte innerhalb des angedachten Dienstleistungsnetzwerks in ihrer Rolle als Anbieter und Nachfrager bestimmter Leistungen? Ist ihr Verhalten stabil oder veränderlich? Welchen Einfluss hat dies auf die Stabilität und Qualität des Dienstleistungsnetzwerkes? Wie kann die weitere Integration von Eigenarbeit, Ehrenamt und kostenpflichtigen Leistungen dauerhaft etabliert werden?

Die bisherigen Erkenntnisse aus dem Reallabor Zwickau zeigen sowohl eine hohe Zufriedenheit der Nutzer mit ihrer Wohnqualität als auch einen signifikanten Rückgang des Energieverbrauchs. Weitere Fortschritte in den Bereichen AAL und Smart Services sind nur durch die frühzeitige und konsequente Öffnung von Innovationsnetzwerken für den Nutzerkontext zu erwarten.

6 Literatur

- [1] T. Teich, W. Igel: Energieeffizienz in Wohngebäuden, GUC: Lößnitz, 2010.
- [2] A. Rip, T. Misa, J. Schot (Hrsg.): Managing Technology in Society. London, 1995.
- [3] D. Kretz, S. Leonhardt, T. Neumann, S. Wolf, T. Teich: E-health-Infrastrukturen in der Pflege - Erkennung von Activity of Daily Living durch technische Gebäudeausrüstung. E-Health-Rahmenbedingungen im europäischen Vergleich: Strategien, Gesetzgebung, Umsetzung, S. 153-162, 2016.
- [4] D. Szendrei, S. Franke: Smarthome im Geschosswohnungsbau. Scientific Reports - Energieeffizienz, 21st International Scientific Conference Mittweida, S. 34-37, 2011.
- [5] M. Bauer, D. Klaus: Automated Metering und Kommunikationstechnologie. Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Industrielle Informationstechnik, 2010.
- [6] A. Randon, W. Golubski, M. Heinze, S. Leonhardt, R. Hertting-Thomasius: Akzeptanzforschung zu ausgewählten Assistenzfunktionen im Kontext von Ambient Assisted Living. Ambient Assisted Living und neue Konzepte in der Pflege, S. 11-18, 2012.

- [7] S. Leonhardt, T. Teich, M. Lamprecht, A. Randow, A. Häber: Interdisziplinäre Zusammenarbeit im Forschungsgebiet Ambient Assisted Living zur Bewältigung demographischer Probleme im Gesundheitswesen - Szenarienkonzeption und Automatische Konfiguration von Gebäudesystemtechnik. *Ambient Assisted Living und neue Konzepte in der Pflege*, S. 3-10, 2012.
- [8] D. Plorin, S. Leonhardt, E. Müller, T. Teich: Altersgerechte Wohnsysteme im Fokus der Flexibilität, Energieeffizienz und Vernetzung. Trends und Strategien für die Produktion von morgen. *Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 19*, TU Chemnitz, Vol. 19, S. 99-108, 2013.
- [9] H. Remmers: Natürlichkeit und Künstlichkeit. Zur Analyse und Bewertung von Technik in der Pflege des Menschen. *Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis*. 24 – 2, S. 11-20, 2015.
- [10] A. Kruse, E. Schmitt: Technikentwicklung in der Pflege aus gerontologischer Perspektive." *Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis*. 24 – 2, S. 21-27, 2015.
- [11] H. Künemund: Chancen und Herausforderungen assistiver Technik. Nutzerbedarfe und Technikakzeptanz im Alter" *Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis*. 24 – 2, S. 28-35, 2015.
- [12] N. Weinberger, M. Decker: Technische Unterstützung für Menschen mit Demenz? Zur Notwendigkeit einer bedarfsorientierten Technikentwicklung" *Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis*. 24 – 2, S. 36-45, 2015.
- [13] M. Hülsken-Giesler, B. Wiemann: Die Zukunft der Pflege – 2053: Ergebnisse eines Szenarioworkshops *Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis*. 24 – 2, S. 46-57, 2015.
- [14] R. B. Gentemann, F. Schröder, T. Teich: Smart Metering belegt Energieeinsparung - Geniax System im Mietwohnungsbau. In: HLH Bd. 63 (2012), Nr. 8 August, Springer-VDI-Verlag GmbH & Co.KG, Düsseldorf, S. 83-87, 2012.
- [15] D. Collingridge: *The Social Control of Technology*. New York: St. Martin's Press; London: Pinter, 1980.
- [16] W. E. Bijker, T. P. Hughes, T. J. Pinch (Hrsg.): *The Social Construction of Technological Systems*. Cambridge. MA, 1987.
- [17] W. Liebert, J. Schmidt: Towards a prospective technology assessment: challenges and requirements for technology assessment in the age of technoscience. *Poiesis and Praxis* 7 (1-2), S. 99-116, 2010.
- [18] acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (edit.): *Technikzukünfte. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten*, Heidelberg u. a.: Springer, 2012.
- [19] G. Gigerenzer: *Risiko. Wie man die richtigen Entscheidungen trifft*. München: Bertelsmann, 2013.
- [20] U. Schneidewind: *Urbane Reallabore – ein Blick in die aktuelle Forschungswerkstatt*. Pnd | onlineIII, 2014.
- [21] A. Wolff, J. Schubert, B. Gill: Risiko energetische Sanierung?. In: K. Grossmann, A. Schaffrin, C. Smigiel (Hrsg.): *Energie und soziale Ungleichheit: Zur gesellschaftlichen Dimension der Energiewende in Deutschland und Europa*. Wiesbaden: Springer VS, S. 611-634, 2017.

IKT-unterstütztes Toilettensystem für ältere Menschen

Ein transdisziplinärer Ansatz verbunden mit partizipativem Design in einem Tabubereich des Alltagslebens

P. Panek, P. Mayer

Technische Universität Wien, Institut für Gestaltungs- und Wirkungsforschung,
Zentrum für Angewandte Assistierende Technologien
Favoritenstraße 11/187-2b, 1040 Wien
panek@fortec.tuwien.ac.at, mayer@fortec.tuwien.ac.at

Kurzzusammenfassung

Das Projekt iToilet hat die Entwicklung eines IKT unterstützten Toilettensystems zum Ziel, um das selbständige und sichere Verwenden der Toilette durch zu Hause lebende ältere Menschen besser zu ermöglichen. Ein transdisziplinärer Ansatz involviert verschiedene wissenschaftliche Disziplinen sowie Akteure aus dem nicht wissenschaftlichen Bereich, die als spätere Nutzer der Toilette relevantes Praxiswissen in das Projekt einbringen. Sogenannte User Research Bases bilden den Rahmen für die Erhebung der Anwenderbedürfnisse und für die laufende Partizipation. Die Tabubereiche Toilette und Intimhygiene stellen besondere Anforderungen, besonders auch im ethischen Bereich. Die bisherigen Ergebnisse lassen den für transdisziplinäre Methoden und Partizipative Design-Arbeit erhöhten Aufwand als gerechtfertigt erscheinen, zumal eine höhere Anwenderakzeptanz und letztlich auch eine bessere Marktdurchdringung zu erwarten sind.

Abstract

“ICT-assisted toilet system for older persons - A transdisciplinary approach combined with participatory design in a taboo area of everyday life”

The iToilet project aims at the development of an ICT supported toilet system to target the independent and safe use of the toilet by older persons living at home. A transdisciplinary approach involves various scientific disciplines and also actors from the non-academic field who bring in relevant practical knowledge in the project. So-called User Research Bases establish the framework for the collection of user needs and ongoing participation. The taboo areas toilets and personal hygiene have special requirements, also in terms of ethics. Results so far seem to justify the increased effort invested into the transdisciplinary methodology and into the participatory design work especially since to reckon with a higher user acceptance and eventually a better market penetration.

Keywords: ADL, Hygiene, Toilette, AAL, smart home

1 Einleitung und Ziel

Assistive Technologien (AT) und Ambient Assisted Living / Active Assisted Living (AAL) Technologien bieten vielen Menschen mit Behinderungen und älteren Personen eine Reihe von

Möglichkeiten, die eigene Lebensqualität und Autonomie trotz etwaiger (altersbedingter) Behinderungen zu bewahren und so auch das möglichst lange und sichere Leben zuhause zu fördern. Bei der Entwicklung und Anpassung von AT und AAL-Technologien sind jedoch meist komplexe Situationen und vielschichtige Anforderungen zu berücksichtigen, um wirklich nachhaltige Lösungen entwickeln zu können [1]. Das macht transdisziplinäre Herangehensweisen nötig und meist auch unabdingbar. Im vorliegenden Aufsatz wollen wir einige unserer Erfahrungen anhand des konkreten Forschungsprojektes „iT Toilet“, das aufgrund des Tabubereiches besondere Herausforderungen birgt, darstellen und diskutieren.

Die weitere Arbeit ist wie folgt gegliedert: Im Abschnitt 2 wird ein Überblick über das iT Toilet-Projekt mit seinen Rahmenbedingungen, Aufgabenstellung und Herausforderungen gegeben. Der darauffolgende Abschnitt 3 schildert einige der projektspezifischen transdisziplinären Perspektiven sowie Aspekte des Partizipatorischen Designs (PD). Erste Ergebnisse werden im Abschnitt 4 diskutiert. Der Aufsatz schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2 Projekt iT Toilet - IKT unterstütztes Toilettensystem

In diesem Abschnitt wird das Projekt „iT Toilet“ und die für diesen Aufsatz relevanten Aspekte kurz umrissen.

2.1 Problemstellung, Zielsetzung und Herausforderungen

Die in der westlichen Welt meistverwendete Standardform der Toilette in Gestalt eines „Sitzes“ [2] berücksichtigt die Unterschiedlichkeit der Menschen und deren individuelle Bedürfnisse und Vorlieben bei der persönlichen Hygiene zu wenig. Dadurch entstehen für bedeutende Gruppen alter Menschen und Personen mit eingeschränkter Mobilität schwerwiegende Hindernisse [3, 4].

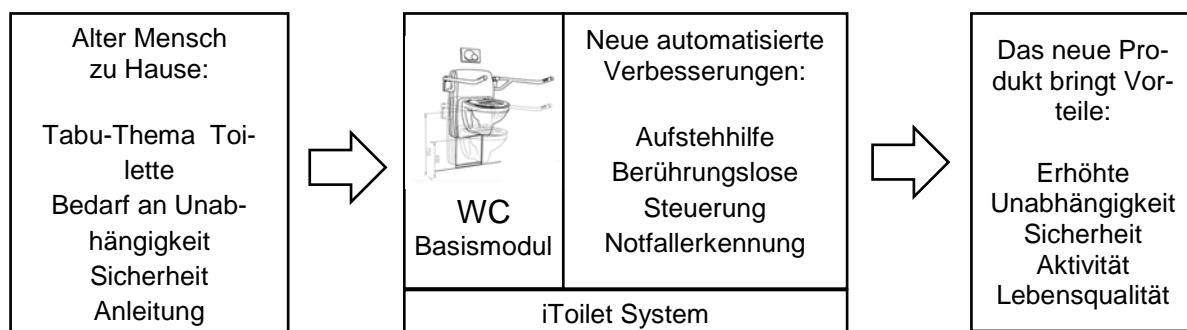


Abbildung 2.1: Mit Fokus auf den Nutzeranforderungen zielt das iT Toilet Projekt auf ein IKT-unterstütztes Toilettensystem für ältere Menschen, die zu Hause ein möglichst unabhängiges und aktives Leben führen wollen

Im internationalen AAL Forschungs- und Innovationsprojekt „iT Toilet“ [5] soll eine um IKT-basierte Komponenten erweiterte Toilette entwickelt werden, die ältere Menschen bei einem aktiven und sicheren Leben zu Hause, aber auch in Institutionen, individuell angepasst unterstützen kann (vgl. Abbildung 2.1). Ausgangsbasis sind die vorhandenen Sanitär-Produkte „Lift-WC“ und „mobiler Toilettenstuhl“ [6], die im Zuge des Projektes mit IKT-Komponenten ausgestattet und funktional erweitert werden sollen. Dabei geht es um Themen wie Einstellung der

optimalen Sitzhöhe, dynamische Unterstützung beim Aufstehen und Niedersetzen, automatische Erkennung der Anwenderpräferenzen, Sprachsteuerung, Sicherheit (Notfallerkennung, Sturzerkennung u.ä.).

Das Konsortium verfolgt einen partizipativen Ansatz in transdisziplinärer Zusammenarbeit mit Anwenderpartnern in Ungarn und Österreich (Rehabilitationsklinik in Budapest und Multiple Sklerose (MS) Tageszentrum in Wien) und den Firmenpartnern Santis Kft. (Sanitärtechnik), SmartCom d.o.o. (Sensorik und Vernetzung), Synthema srl (Sprachtechnologie) und CareCenter GmbH (Pflegedokumentation). Die Projektkoordination liegt bei der TU Wien.

Nach der derzeit (Sommer 2016) laufenden Erhebung der Anforderungen und der Erstellung einer Spezifikation werden zwei Prototypgenerationen entwickelt und erprobt, wobei über das Projekt hinweg laufend partizipative Designaktivitäten vorgesehen sind. Der Schwerpunkt liegt auf der Integration von neuen IKT basierten Teilmodulen, die je nach Bedarf zu einem der konkreten Situation und den individuellen Wünschen angepassten Toiletten-Unterstützungssystem kombiniert (bzw. auch weggelassen) werden können.

Besondere Herausforderungen liegen im Tabubereich Toilette und Intimhygiene, aber auch bei der nicht möglichen direkten Beobachtung bei der Nutzung der Toilette und bei daraus erwachsenden Anforderungen im Bereich der Ethik und des Partizipativen Designs.

2.2 Stand der Technik und Forschung

Produkte am Markt fokussieren in Nordamerika und Europa auf simple Toilettensitzerhöhungen, zusätzliche Griffe, sowie mechanische (und teils motorisierte) Aufstehhilfen (z.B. LiftWC) sowie Aufsätze zur Intimhygiene (DuschWC) und Sitzhygiene. In Japan gibt es des Weiteren auch eine bereits bemerkenswert starke Verbreitung von zusätzlichen Toilettenfunktionen wie Anal-Reinigung, Bidet, Sitzwärmer und Geruchsbeseitigung.

Eine überraschend geringe Anzahl von Forschungsprojekten beschäftigte sich bisher in Europa mit technischen Verbesserungsmöglichkeiten im Bereich der Toilette für alte bzw. behinderte Anwender und Anwenderinnen:

Das „Friendly Rest Room“-Projekt, koordiniert von der TU Delft (2002-2005), und teilfinanziert von der EU im 5. Rahmenprogramm war ein anwenderzentriertes Forschungsprojekt, das sich schwerpunktmäßig dem Design von adaptierbaren Toiletten und Toiletträumen widmete [3]. Ein daraus hervorgegangenes Basisprodukt einer höhenverstellbaren und neigbaren Toilette kam 2006 auf den Markt (LiftWC [6]).

Das Forschungsprojekt „The Future Bathroom“ (2008-2011) der Universität Sheffield führte Studien zum anwenderzentrierten Design im Bereich Badezimmer für Menschen, die mit altersbezogenen Behinderungen leben, durch. Das Projekt bemühte sich stark um die Einbindung von alten Menschen in den Designprozess [7]. Forscher und Forscherinnen besuchten alte Menschen zuhause und befragten sie über ihre Erfahrungen, Herausforderungen und Probleme im Bad. Einige der älteren Menschen wurden später auch trainiert um als Laien-Forscher/-innen andere alte Menschen als Peers zu besuchen und Informationen sehr erfolgreich zu sammeln.

Das Endergebnis des Projektes „iToilette“ der RWTH Aachen (2009-2011) dagegen war eine Toilette, die in der Lage war, Messungen von Vitalparametern der Anwender automatisiert durchzuführen [8, 9]. Das schafft Vorteile vor allem für Patienten mit dementiellen Erkrankungen, die oft auf die Messung ihrer Vitalparameter vergessen würden, aber doch mehrmals täglich die Toilette aufzusuchen.

Das 2015 begonnene EU Projekt I-Support entwickelt eine robotische Dusche, um unabhängiges Leben für eine längere Zeit zu ermöglichen und damit die Lebensqualität gebrechlicher Menschen zu verbessern [10]. Das System sieht einen motorisierten Duschsitz, einen robotischen Duschkopf sowie einen flexiblen und weichen Roboterarm zur Körperpflege vor [11, 12].

3 Methodologie und Herangehensweise

In diesem Abschnitt werden einige der transdisziplinären Aspekte sowie die mit dem partizipativen Design in Zusammenhang stehenden Aspekte dargestellt.

3.1 Transdisziplinäre Aspekte

Anstelle einer nur technisch-naturwissenschaftlichen Herangehensweise an das Thema Toilette werden bewusst verschiedene Disziplinen in einen Dialogprozess eingebunden und dieser Dialogprozess auch geöffnet für gesellschaftliche Akteure und Akteurinnen aus dem nicht wissenschaftlichen Bereich (vgl. Scherhauser et al. [13]) Diese Herangehensweise ermöglicht es, Praxiswissen mit wissenschaftlichem Wissen zu verbinden, der dafür notwendige Prozess ist jedoch mit erheblichem Ressourcenaufwand verbunden.

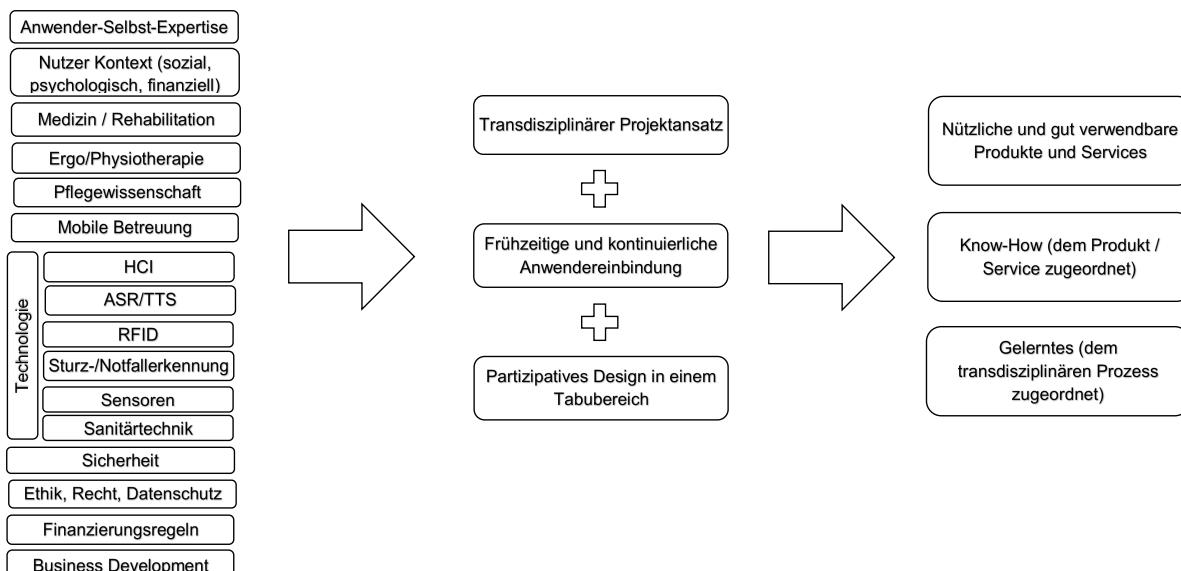


Abbildung 3.1: Transdisziplinarität verbunden mit frühzeitiger und kontinuierlicher Anwendereinbindung in einem mit Tabus behafteten Bereich im Projekt iToilet

Im Bereich von Assistiver Technologie (AT) und Ambient/Active Assisted Living (AAL) Technologien besteht aufgrund des Settings und der Zielsetzung ein erhöhter Bedarf nach transdisziplinären Ansätzen. Ein Grund dafür ist die Komplexität der Entwicklung, die sich innerhalb kultureller, sozialer und psychologischer Kontexte abspielen muss. Der Markt für die angestrebten innovativen Produkte und Dienste ist dagegen meist fragmentiert, wie auch die Versorgungsmodelle [1]. Es bestehen oft Herausforderungen in den Bereichen der Technologie, der Finanzierung, der Ethik, dem Sozialbereich etc. Daher ist es wichtig und unerlässlich, dass verschiedene Expertise, Erfahrung, wissenschaftliche Disziplinen eingebracht werden, um ein nützliches und verwendbares Produkt, System oder Service zu schaffen, das für die Anwender und Anwenderinnen von Nutzen ist.

Im iToilet Projekt wurde daher ein Konsortium zusammengestellt, dessen Partner unterschiedliche, einander ergänzende Disziplinen einbringen: Pflegeforschung, Rehabilitationsmedizin,

Rehabilitationstechnik, Ethik, Businessdevelopment, Sanitärtechnik, Sprachtechnologien, Sensor und Netzwerktechnologien, Pflegedokumentationstechnologien etc. (siehe Abbildung 3.1). Im Sinne der Transdisziplinarität geht es nicht nur darum, diese unterschiedlichen Fachwissensbereiche einzubringen und miteinander zu vernetzen, sondern auch darum, über die Disziplingrenzen hinaus an einem gemeinsamen Ganzen (konkrete Prototypen, Know-How) zu arbeiten, welches qualitativ mehr ist, als die Summe der Beiträge der Disziplinen.

3.2 Transdisziplinarität und Partizipatives Design

Im Sinne der transdisziplinären Herangehensweise werden die Anwender und Anwenderinnen, Betreuungspersonen (Angehörige und Professionalisten) sowie Vertreter von Organisationen und Einrichtungen (Mobile Pflege, Tageszentren, Rehakliniken) aktiv und kontinuierlich in das Projekt eingebunden.

Eine grundsätzliche methodische Erschwernis ist durch den tabubehafteten Einsatzkontext gegeben, was sich u.a. bei den partizipativen Design Aktivitäten auswirken kann. Hier verfügen die Autoren jedoch bereits über positive Vorerfahrungen aus einem Vorprojekt [14] in dem gezeigt werden konnte, dass bei intensiver Vorbereitung sehr wohl auch in diesem Tabubereich gut akzeptierte Möglichkeiten der Anwendereinbindung und Partizipation im Entwicklungs- und Designprozess geschaffen werden können. Als besonders hilfreich haben sich dabei eine gute, ausführliche und kontinuierliche Informationsstrategie, die Schaffung einer Vertrauensbasis sowie Toilettentests im Labor im bekleideten Zustand erwiesen.

Aufgrund des Tabubereiches und aufgrund des Zielpublikums von gebrechlichen bzw. erkrankten Menschen kommt dem Thema der Ethik besondere Bedeutung zu [15]. Der Sicherheitsaspekt ist ebenfalls von Bedeutung, (z.B. dynamische Unterstützung beim Niedersetzen und Aufstehen).

Als Setting für die Realisierung der transdisziplinären Herangehensweise wurde bei den beiden Testpartnern im iToilet Projekt je eine sogenannte „User Research Base“ (URB) etabliert. Eine URB dient den Akteuren aus dem nicht wissenschaftlichen Bereich, die als Experten und Expertinnen für ihre eigene Lebenswirklichkeiten eingebunden sind, als Basis um ihr Alltagswissen in die Wissensbasis des Projektes einzubringen. Weiters unterstützt die URB den aktiven Austausch zwischen den verschiedenen Disziplinen und das gemeinsame iterative Ringen um neue Einsichten, Ansätze und Ideen, die nicht durch bloßes Zusammensetzen verschiedener Expertise-Bruchstücke entstehen, sondern prozesshaft durch Schaffung von qualitativ Neuem basierend auf interaktiven, offenen, iterativen, bi- und multidirektionalen Austauschprozessen, vgl. [1, 13].

In den beiden URBs fanden bereits (Sommer 2016) die Erhebung der Anwenderanforderungen statt und im 2. Halbjahr 2016 wird die Einbindung von Anwendern und Anwenderinnen fortgesetzt mit Partizipativen Design (PD) Aktivitäten in folgenden Gebieten: Erprobung und Gestaltung früher Prototypen für die Sprachsteuerung der Toilette, Partizipatives Design der automatischen Erkennung von Anwenderpräferenzen hinsichtlich der individuellen Toilettenvoreinstellung, Bestimmung der individuell bevorzugten Sitzhöhe (anhand eines mobilen Stuhles, der über die Toilettenschüssel gestellt werden kann) und die dynamische Unterstützung beim Niedersetzen und Aufstehen.

4 Erste Ergebnisse und Diskussion

4.1 Erste Erfahrungen mit den User Research Bases

In den beiden User Research Bases (URBs) bei den zwei Testpartnern wurde den Nutzergruppen das iToilet Konzept vorgestellt, es wurde nach ihren individuellen Problemen auf der Toilette gefragt, nach ihren Ideen und Wünschen und nach ihrer Einschätzung der Relevanz der im iToilet Projekt vorgesehenen Entwicklungen und Lösungen. Es konnte gezeigt werden, dass sich die gesammelten Anwenderwünsche und die geschilderten konkreten Problemstellungen und Problemlagen im Umkreis der Toilette gut mit dem im Projektplan vorgesehenen Konzept decken.

Diese initiale Befragung mag trivial erscheinen, es sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese zusätzlich auch den initialen Auftakt für eine kontinuierliche Einbindung von Anwendern und Anwenderinnen in die Entwicklungstätigkeit darstellt. Die rasche und eindeutige Abklärung, dass das im Projektplan Vorgesehene weiterhin als praxisrelevant angesehen wird, ist auch eine wichtige Absicherung aus Sicht der Projektkoordination. Schließlich ist die intensive Anwendereinbindung auch mit entsprechendem Ressourceneinsatz verbunden. In manch anderen Projekten besteht die Tendenz, eher rasch mit der Entwicklung zu beginnen und erst (zu) spät zu untersuchen, ob die Probleme der Anwender mit dem Projektergebnis auch gelöst sind. Änderungen sind dann kaum mehr, oder nur mit hohem Aufwand, möglich.

Eine weitere Erfahrung betrifft den Erkenntnisfluss im Alltag der Forschungsaktivitäten. Dieser Erkenntnisfluss mag in der Theorie zwischen allen Beteiligten im Projektkonsortium stattfinden. In der Praxis kommt es unserer Beobachtung nach jedoch auch zu Subprozessen oder zu internen Prozessen, in denen nur ein Teil der Beteiligten eingebunden ist, und die dennoch von großer Bedeutung sein können. Ein Beispiel wäre, dass durch das Einbringen von Demonstratoren und Prototypen im Rahmen des Partizipativen Designs (PD) die primären Anwender und die sekundären Anwender bzw. die Pflegeexperten und medizinischen Experten gemeinsam neue Ideen und Erfahrungen machen, die nicht gleich zu anderen (z.B. den Technikern) vordringen. Oft finden auch mehrere solcher Subprozesse parallel statt. Hier ist es Aufgabe der Koordination zu moderieren und sicherzustellen, dass neue Erkenntnisse soweit relevant mit allen geteilt werden und außerdem auch der Gefahr, dass die Projektziele durch zu viel unterschiedlichen Anwenderinput verwischt werden, entgegengewirkt wird.

Wenngleich die PD Aktivitäten mit einem Mehraufwand verbunden sind, so macht sich dieser unserer Überzeugung nach letztlich sehr bezahlt. Mithilfe von PD werden parallel zur Entwicklung die Anwender und Anwenderinnen schon miteinbezogen und ihr Feedback kann bereits in den laufenden Entwicklungsprozess (nicht erst am Ende) einfließen. PD erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass letztlich etwas entwickelt und produziert wird, was die Menschen wirklich wollen, also nützlich ist und auch auf einfache Art im Alltag verwendet werden kann.

4.2 Exkurs - Ein Feldtest einer anpassbaren Toilette in einem Vorprojekt

Mit einer motorisch höhenverstellbaren und neigbaren Toilette wurde bereits in einem Vorprojekt [16] ein Feldtest in einem Multiple Sklerose (MS) Tageszentrum unternommen, um zu untersuchen, ob die technisch implementierten Funktionen (motorisierte Verstellbarkeit der Sitzhöhe und Neigung, Spülung, Schwesternruf, jeweils über Handsteuerung auslösbar) von den Anwendern wirklich gewollt und tatsächlich verwendet werden. An der Erprobung nahmen 29 MS Patienten und 12 Betreuungspersonen über einen Zeitraum von 2 Monaten teil. Es fanden 316 (reale) Toilettensitzungen statt und es konnte gezeigt werden, dass das Toilettensystem

die Sicherheit und die Autonomie aus der Perspektive der primären und sekundären Anwender verbesserte und dass die Toilette sehr gut in der Alltagspraxis akzeptiert wurde [16]. Das System befindet sich auch nach Ende des Forschungsprojektes immer noch im Einsatz. Die Ergebnisse des Feldtests flossen in ein finales Produkt ein, das erfolgreich auf den Markt gebracht wurde [6].

4.3 Verwertungsperspektiven

Das Positionspapier „AAL Vision Österreich“ nennt als einen der Hemmfaktoren für die noch mangelnde Verbreitung von AAL die Involvierung vieler unterschiedlicher Disziplinen in den Entwicklungsprozess und die noch geringe Vernetzung von Marktteilnehmern und Interessensvertretern und, damit verbunden, die noch kaum sichtbaren Wertschöpfungsketten in AAL [17, S. 31]. Durch die transdisziplinäre Zusammenarbeit in iToilet wird unserer Meinung nach ein guter Rahmen geboten, um, wie es AAL Austria vorschlägt, Akteurinnen und Akteure in neuen Kombinationen zusammenfinden zu lassen, gut zu vernetzen und gemeinsam neue Wertschöpfungsketten bilden zu lassen. Durch die Einbindung von tertiären Anwendern (Einrichtungen, Diensteanbieter und Kostenträger) können neuartige Service Angebote gemeinsam mit attraktiven Finanzierungsmodellen entwickelt werden. [17, S. 31].

5 Zusammenfassung

Das EU Projektkonsortium iToilet entwickelt IKT-basierte Zusatzmodule für vorhandene Toiletten, um das selbstständige und sichere Leben älterer Menschen zu Hause zu unterstützen.

Um die Relevanz der Lösung für die Anwender und Anwenderinnen sicherzustellen und um den transdisziplinären Herausforderungen zu entsprechen, wurden folgende Maßnahmen im Projektplan vorgesehen: a) Einbindung der späteren Anwender und Anwenderinnen in den User Research Bases (URBs), die eine praxisnahe Struktur für die zu Projektbeginn startende und dann laufende Einbindung der Anwender darstellen und eine wichtige Basis für transdisziplinäre Arbeit bilden, b) Partizipatives Design, also das aktive Mitgestalten des Designs und der Entwicklung durch die späteren Anwender und Anwenderinnen sowie das Ausprobieren von frühen Teilprototypen und Rückmelden von Feedback an die Technologiepartner noch während die Entwicklung im Laufen ist, und c) Labortests und längere Feldtests im Alltagsumfeld der beiden Testpartner in Budapest und Wien.

Vor allem die Mischung von transdisziplinärem Ansatz und partizipativen Design erscheint uns als methodisch optimale Herangehensweise. In einem Vorprojekt mit einer höhenverstellbaren Toilette in einem Tageszentrum konnte bereits gezeigt werden, dass die erfolgreiche Einbindung von Anwendern als im Projekt aktiv teilnehmende Partner trotz des bestehenden Tabubereiches beim Thema Toilette und Intimhygiene möglich ist und zu einem akzeptierten markttauglichen Produkt geführt hat.

6 Danksagung

Das Projekt iToilet wird durch das AAL Programm (AAL-2015-1-084) und durch nationale Forschungsförderungen in Österreich, Ungarn, Italien und Slowenien teilgefördert. Projektpartner: TU Wien (Koordinator), Santis Kft., Smart Com d.o.o., Carecenter Software GmbH, CS Caritas Socialis GmbH, Országos Orvosi Rehabilitációs Intézet, Synthema srl. Web: <http://itoilet-project.eu>

7 Literatur

- [1] J. Boger, P. Jackson, M. Mulvenna, J. Sixsmith, A. Sixsmith, A. Mihailidis, et al.: Principles for fostering the transdisciplinary development of assistive technologies. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, S. 1-11, ahead of print, 2016.
- [2] E. Tilley, L. Ulrich, C. Lüthi, Ph. Reymond, C. Zurbrügg: *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd Revised Edition, 2014.
- [3] J. F. M. Molenbroek, J. Mantas, R. de Bruin, R. (Eds.): *A Friendly Rest Room: Developing toilets of the future for disabled and elderly people*. IOS press, 2011.
- [4] C. Dayé: The FRR-questionnaire – Assessing who needs what where. In: Molenbroek, JFM et al. [3], S. 69-79, 2011.
- [5] P. Panek, P. Mayer: Applying ICT to ease the toilet usage, 10th World Conference of Gerontechnology, ISG2016, 28-30 Sept 2016, Nice, France, 2016.
- [6] Sanitärtechnik Firma Santis Kft, <http://www.santis.org/> [Zugriff: 19. Okt. 2016].
- [7] P. Chamberlain, H. Reed, M. Burton, G. Mountain: ‘Future Bathroom’, What to make? Or How to Make? Challenges in meeting sustainable needs. 2011.
- [8] W. Fichtner, T. Schlebusch, S. Leonhardt, M. Mertig: Photometrische Urinanalyse als Baustein für ein mobiles Patientenmonitoring mit der „Intelligenten Toilette“. 3. Dresden Medizintechnik-Symposium, Dresden, Dec. 6th - 9th, 2010.
- [9] T. Schlebusch, W. Fichtner, M. Mertig, S. Leonhardt: Unobtrusive and comprehensive health screening using an intelligent toilet system. *Biomed Tech (Berl)*. 2015 Feb 1;60(1):17-29, 2015.
- [10] B. R. Klein, H. Roßberg, S. Hollmann: Independently living, autonomy and dignity with an I-Support shower robot. 10th World Conference of Gerontechnology, ISG2016, 28-30 Sept 2016, Nice, France, 2016.
- [11] X. S. Papageorgiou et al: ICT-Supported Bath Robots: Design Concepts. Intern Conf on Social Robotics, Paris, France, 2015.
- [12] M. Manti, A. Pratesi, E. Falotico, M. Cianchetti, C. Laschi: Soft assistive robot for personal care of elderly people, 6th IEEE Conf on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), S. 833-838, DOI: 10.1109/BIOROB.2016.7523731, 2016.
- [13] P. Scherhaufer, H. Grüneis: Herausforderungen und Grenzen partizipativer Projektarbeit: zwei Beispiele aus der transdisziplinären Klimawandelanpassungsforschung und erste Lösungsansätze. Wien, 2015.
- [14] P. Panek, G. Edelmayer, C. Magnusson, P. Mayer, J. F. M. Molenbroek, H. Neveryd, R. Schlathau, W. L. Zagler: Investigations to Develop a Fully Adjustable Intelligent Toilet for Supporting Old People and Persons with Disabilities - The Friendly Rest Room (FRR) Project. Berlin: Springer; LNCS, S. 392-399, 2004.
- [15] M. Rauhala: When Ethical Guidance is Missing and Do-It-Yourself is Required: The Shaping of Ethical Peer Review and Guidance in the FRR Project. In: Molenbroek, J.F.M. et al. [3], S. 49-59, 2011.
- [16] N. Gentile, C. Dayé, G. Edelmayer, M. Egger de Campo, P. Mayer, P. Panek, R. Schlathau: Concept, Setting Up and First Results from a Real Life Installation of an Improved Toilet System at a Care Institution in Austria. In: J. F. M. Molenbroek et al. [3], S. 166-180, 2011.
- [17] AAL Austria Innovationsplattform für intelligente Assistenz im Alltag: AAL Vision Österreich, Positionsbericht, 2015.

Exoskeleton Portfolio Matrix

Organizing Demands, Needs and Solutions from an Industrial Perspective

R. A. Goehlich¹, I. Krohne², R. Weidner³, C. Gimenez⁴, S. Mehler⁵, R. Isenberg⁶

¹Airbus, Manufacturing Engineering
Kreetslag 10, 21129 Hamburg, Germany
Robert.Goehlich@airbus.com

²Airbus, Innovation & Development Manufacturing Technologies
Kreetslag 10, 21129 Hamburg, Germany
Ingo.Krohne@airbus.com

³Helmut-Schmidt-University/University of the Federal Armed Forces Hamburg, Laboratory
of Manufacturing Technologies
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg, Germany
Robert.Weidner@hsu-hh.de

⁴Airbus, Innovation & Development Manufacturing Technologies
316 Route de Bayonne, 31000 Toulouse Cedex 9, France
Claude.Gimenez@airbus.com

⁵Lufthansa Technik, Aircraft Engineering,
Rhein Main Airport, 60546 Frankfurt, Germany
Stefan.Mehler@lht.dlh.de

⁶University of Applied Sciences Hamburg, HAW-TI-MuP-PP
Berliner Tor 21, 20099 Hamburg, Germany
Randolf.Isenberg@haw-hamburg.de

Kurzzusammenfassung

„Portfoliomatrix für Exoskelette: Strukturierung von Nachfrage, Wünschen und Lösungsansätzen aus industrieller Sicht“

Seit der letzten Dekade werden unterschiedlichste Exoskelette auf dem Markt angeboten sowie entwickelt, die sich im Militärsektor, im Medizinsektor und kürzlich auch im industriellen Bereich anwenden lassen. Die Herausforderung für den potentiellen Benutzer ist dabei, aus diesem Angebot das passendste System auszuwählen. In diesem Beitrag wird eine Vorgehensweise zur systematischen Aufarbeitung mit Fokus auf die industrielle Produktion präsentiert. Die resultierende Matrix soll das Management bei der Vorauswahl von existierenden Systemen unterstützen. Da die Matrix je nach Industriesektor variieren kann, wird die Verwendung eines Fragebogens, der quantitative und qualitative Themen beinhaltet, zur Erstellung empfohlen.

Abstract

In the last decade, the market is overwhelmed with various exoskeletons for different applications in particular for the military and medicine sector, and recently also for the industry sector. The challenge is to select the most suitable exoskeleton from a large pool for performing dedicated tasks. In this paper, we present a procedure for a systematic decision process in context on industrial production. The resulting matrix should support the management to pre-selecting and/or narrow the pool of existing and/or needed exoskeletons. As the matrix characteristic may vary depending on the industry sector, we recommend conducting a generic survey that includes quantitative as well as qualitative items.

Keywords: Exoskeletons, aerospace industry, systematic approach, portfolio, wearable support systems, physical support

1 Introduction

Nowadays, the employee is supported in the industrial context by different technical systems. These include, for example, hand-held tools, automated solutions with industrial robots, systems based on the approach of human-machine cooperation, lifting aids, assistance systems and exoskeletal systems. The selection of exoskeletons (in this article the term *exoskeleton* is synonymously used with *wearable support system* or *wearable robotic*) for predetermined applications is done typically by intuition. Methodological approaches are currently unknown. Our focus is on supporting a decision-maker with an approach for selecting most suitable exoskeletons for considered tasks.

This paper presents a methodical approach for selection exoskeletal systems. The approach proposes several steps. Here, structured questionnaires have a central role, with the aim of deriving a matrix for the system selection. The matrix is based on real world scenarios from various maintenance and production use cases in the aerospace industry as an example for industrial production. The matrix also helps to standardize and classify the specific characteristics, benefits and weaknesses of each technology. Moreover, the validation of exoskeleton solutions will be systemized by this approach enabling potential end-users and developers to select the right technology. In case of technology gaps, these can be visualized in the matrix to initiate future developments.

The aeronautic industry needs are improving working conditions for repetitive activities, uncomfortable working conditions or heavy load lifted when operator cannot use standard assistances. Line and base maintenance as well as production of commercial aircraft create different requirements for exoskeletons. In the production and maintenance, recurring events are aimed to be processed as efficiently as possible. The main requirement for the maintenance is having the possibility for adaption to different tasks in a changing working environment.

2 Brief Review of Exoskeletons

Exoskeletons are developed in order to increase force and mobility of the user, especially for applications in agriculture, rehabilitation, and military [1, 2, 3], but increasingly also in other areas like industrial production with sometimes different targets. There are a number of different exoskeleton types with different targets. Such systems can support the whole body [4] or can be limited to individual body parts like the hand or upper extremity [1, 5]. However, all these systems have a similar structure. They consists of a mechanical structure with interfaces to the user, actuators (with power supply), and in cases of active systems additionally sensors

and a control unit. The user directly controls the motion of the exoskeleton. For intention/motion estimation, different sensors can be implemented into exoskeletons. Sensors can be used to measure joint movements (e.g. angle and inertial sensors), interaction force (e.g. force, torque, and pressure sensors) and muscle activity (e.g. EMG-sensors and muscle stiffness sensors) [6]. The support can be realized by different kind of actuators, which have also different performance, e.g. electric motors, pneumatic cylinders and shape memory materials [6]. Table 2.1 summarizes and classifies a selection of typical exoskeletons in respect to the area of support. Exemplarily, the classification shows the bandwidth of possible specific support and that there is no “all-in-one” solution existing.

Table 2.1: Classification of Selected Exoskeletons in Respect to Support Area

Exoskeleton	Food	Leg	Pelvis	Body	Arm	Hand
Bleex [7]						
Care-Jack [8]						
Ekso Bionic Exoskeleton [9]						
HAL [10]						
Power Assisted Suit [11]						
Support System Jonny [12]						
Support System Lucy [13]						
Sarcos [14]						
Supernumerary Robotic Limbs [15]						
Wyss Instituts Exo Suit [16]						
RML Glove [17]						

In the following, we are focusing on exoskeletons for support in industrial applications. Other technical systems like industrial robots, balancer or similar systems are not considered in this paper. Industrial environments relating to aeronautics plants are quite different from other industrial environments such as automotive or rail. Workstations of common aircraft production plant are complex, have their own specificities, unique ergonomic, variable volumes, different accesses and commensurate clutter surface with manufactured structure, all of those parameters generate individual and specific work conditions [18]. If multiplied by the aircraft programs range, we reach a significant amount of unique conditions. Moreover, aeronautics industry requires detailed and precise processes mandatory to be followed operationally in order to ensure and guarantee passengers security. In that state of mind, first studies and developments have been realized watching the daily routines of the operators. The set of those conditions, inherent to the field, explains the major issues met when willing to talk about exoskeleton: Towards which operations, in what specific application, for which category of operators, and how many are concerned? We are then confronted in the market at a huge volume of device specifications, which are rarely reproducible in other contexts without any modifications.

3 Methodical Approach

Today, the selection of exoskeleton for considered application are usually intuitive. In the following, a first approach for support the decision process regarding for example of the applicability and ergonomic benefit are described. This has to be considered for (on the market) existing systems and as well for future developments to support decisions. Principally, we split the procedure to generate a portfolio matrix in four main steps:

- (1) create a classification list containing the system features,
- (2) create a survey,
- (3) clustering characteristics, and
- (4) visualizing results in a portfolio matrix.

Within the **first step**, a set of characteristic have to be defined, which are describing the use-case (ergonomic issue to be resolved) and at the same time certain ergonomic conditions for validation. As a one basis can be taken the ergonomic features describing the different operations conditions as used by the industrial ergonomic screening processes. These controlling features, which have been taken into account, are described for example in [19, 20, 21, 22, 23]. Additionally, technical (quantitative) aspects and qualitative measurable features have to be taken into account, in order to consider the important question of acceptance by the potential end-user. This for example could be the appearance to the system, which beside the positive ergonomic aspect might create a kind of “like to wear” effect.

Within the **second step**, it is considered to ask the “right” questions in order to receive a value feedback providing the information regarding the expectations and requirements concerning the exoskeleton system.

In the **third step**, clusters are generated which represent features typically for technical support systems. For example, an exoskeleton can be actuated or only passively supporting. The defined characteristics from step one are linked to the different defined clusters.

In the final **step four**, the characteristics, the survey responses, and the clusters are merged into a portfolio matrix for visualizing the results. By doing so, it is expected that it can be validated if a certain technical solution can fulfill the application needs or the other way around, what the features of a design has to provide in order to solve a certain ergonomic issue. In the following, some examples within the different steps are given for the description of this exoskeleton validation approach.

3.1 Step 1: Create a Classification List

Table 3.1 summarizes central characteristics that we suggest are of importance to determine various types of exoskeletons. This recommendation is based on work experiences in the industry. Further, we include as first approach three levels for classifications for every criteria. However, the granularity must be adjusted according to the application.

Table 3.1: Classification List for Exoskeletons with Exemplary Scale

No.	Characteristic	Upper Level	Middle Level	Lower Level
		Items are a challenge to realize within time & cost		Items are easy to realize within time & cost
<i>10 Quantitative</i>				
11a	Tool Weight Support	> 10 kg (for arms)	5-10 kg (for arms)	< 5 kg (for arms)
12b	Wearing Time	> 8 h/day	4-8 h/day	< 4 h/day
13b	Response Time	< 0.1 s	0.1-1 s	> 1 s
14c	Spinal Flexion	> 45° and/or twisted	20°-45°	< 20°
Supported Weight				
15	Location (regarding body CoG)	> 35 cm	10-35 cm	< 10 cm
16c	Head Inclination	> 85°	25°-85°	< 25°
17	Execution Interval	> 60 cycles/min	15-60 cycles/min	15 < cycles/min
18	Steady Execution Time per Minute	31-60 s	16-30 s	1-15 s
19	Hand Grasping Exertion Force	51-70 N	26-50 N	5-25 N
<i>20 Qualitative</i>				
21b	Comfort	high	middle	low
22b	Appearance	cool/sportive	technical device	medicine device
23a	Safety	fall down without hurting	handle with care	sharp edges
24c	Wearable at Body Posture	lying on the back or belly	lying on the side	standing and walking
25	Torso Position Support while not Standing	squatting	kneeling/heel sitting	sitting/sitting cross-legged
26c	Arm Support Position	overhead	in front of face/chest	arms down
27	Work Room Clearance Hands	very confined space	restricted clearance	slightly restricted
28	Work Room Clearance Body	fully restricted	restricted clearance	full clearance
29	Execution Underground Condition	working in, e.g. aircraft fuselage	uneven floor	slightly uneven or flat floor
30	Gripping Condition	bad and constantly	challenging and receptive	normal
31b	Warming Effect	low in any environmental condition (summer, non-conditioned)	endurable in any environmental condition (summer, non-conditioned)	isolation (warming)
32	Psychological Acceptance Related to Body Control	low, e.g. fear for body injury or fixation	acceptable	challenging/motivating, e.g. open for new moves
33	Psychological Acceptance in Group	low, e.g. view towards low fitness or handicapped	acceptable	challenging/motivating, e.g. chance for higher group ranking

3.2 Step 2: Create a Survey

In Table 3.2 we build our survey by forming questions based on identified characteristics in the classification list. To do not “force” the interviewed to answer in a given pattern of possible replies, it is intended to receive open replies and a tendency for the importance as seen by the interviewed persons. While this procedure bears the risk of bias due to the subjective “translation” of an open reply in one of the levels; the procedure also opens the eyes to identify illogical levels or unnecessary characteristics and thus helps to improve the method in the long run.

Table 3.2: Survey for Exoskeletons (excerpt)

No.	Question	Reply	How important is this for me?
11	What is a typical weight you like to lift with the exoskeleton?		
12	How long do you wish to wear the exoskeleton?		
13	How fast must the exoskeleton react?		
14	Which spinal flexion has to be supported?		
15	Where is the location of the (to be) supported weight (regarding body CoG) during operation?		
16	Within which inclination/rotation the head needs to be supported (in degrees)?		
17	What is the amount of the operation execution cycles per minute?		
18	How many seconds per minutes during the operation cycle the supported weight is in a steady position?		
19	Which hand grasping force has to be supported?		
21	How comfortable should the exoskeleton be?		
22	How should the exoskeleton look?		
23	How safe need the exoskeleton to be?		
24	In which positions of the body the exoskeleton has to be wearable?		
25	Which torso positions of the exoskeleton has to be supported?		
26	Which is the supported arm position?		
27	In which hand space (clearance) the exoskeleton has to be operated?		
28	In which body space (clearance) the exoskeleton has to be operated?		
29	What is the condition on the operation underground?		
30	Can you describe the gripping condition during operation?		
31	Which level of acceptance related to warm/isolate the user?		
32	Which level of acceptance related to fear of loss of control over own body?		
33	Which level of acceptance related to fear of loss reputation in group?		

3.3 Step 3: Clustering Characteristics

In Table 3.3 we cluster our identified characteristics from step 1 to groups that fit together based on our experience in the industry. For example, an exoskeleton that needs to carry a high load (upper level for no. 11) but also allows falling down without hurting (upper level for no. 23) leads to a robust type.

Table 3.3: Clustering Characteristics for Exoskeletons (excerpt)

No.	Characteristic	Level (example for demand)	Cluster
11a	Tool Weight Support	> 10 kg (upper level)	Robustness
23a	Safety	Fall down without hurting (upper level)	
12b	Wearing Time	< 4 h/day (lower level)	
13b	Response Time	< 0.1 s (upper level)	
21b	Comfort	high (upper level)	Acceptance
22b	Appearance	cool/sportive (upper level)	
31b	Warming Effect	low in any environmental condition (upper level)	
14c	Spinal Flexion	20°-45° (middle level)	
16c	Head Inclination	25°-85° (middle level)	Agility
24c	Wearable at Body Posture	standing and walking (lower level)	
26c	Arm Support Position	overhead (upper level)	

Note. Clustering according to letter indices defined in the classification list.

3.4 Step 4: Visualizing Results in a Portfolio Matrix

There are two options for visualizations: In Figure 3.1 we embed our clusters from step 3 (shown as watermarks) and (possible, exemplary) replies from the interviewed persons from step 2 (shown as demand (D) with circles around) in a two-dimensional diagram; while in Figure 3.2 we illustrate results in a three-dimensional diagram “Cube” (D dot is the intersection of the three clusters acceptance, agility, and robustness. Figure 3.2 includes also the visualization of existing systems, e.g. type A, B, and C (shown as supply (S) with circles around). In this qualitative illustration, exoskeleton type B would fit best, alternatively type C as a secondary solution.

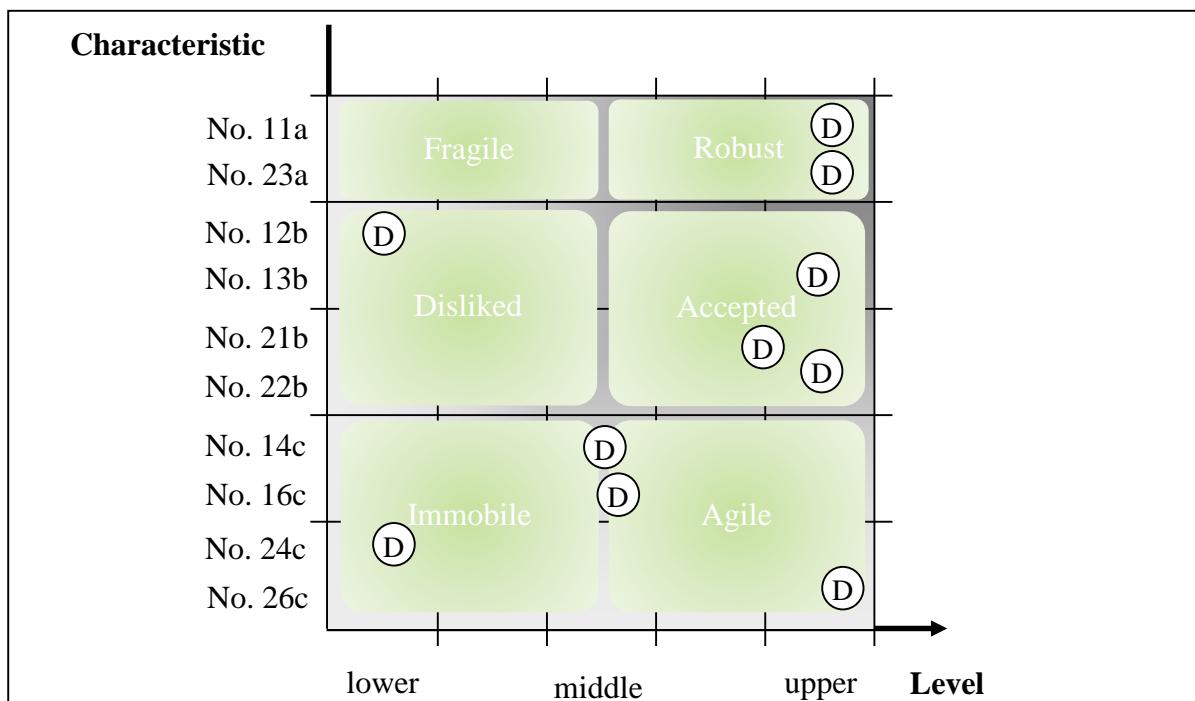


Figure 3.1: Example two-dimensional portfolio matrix for exoskeleton for a dedicated task

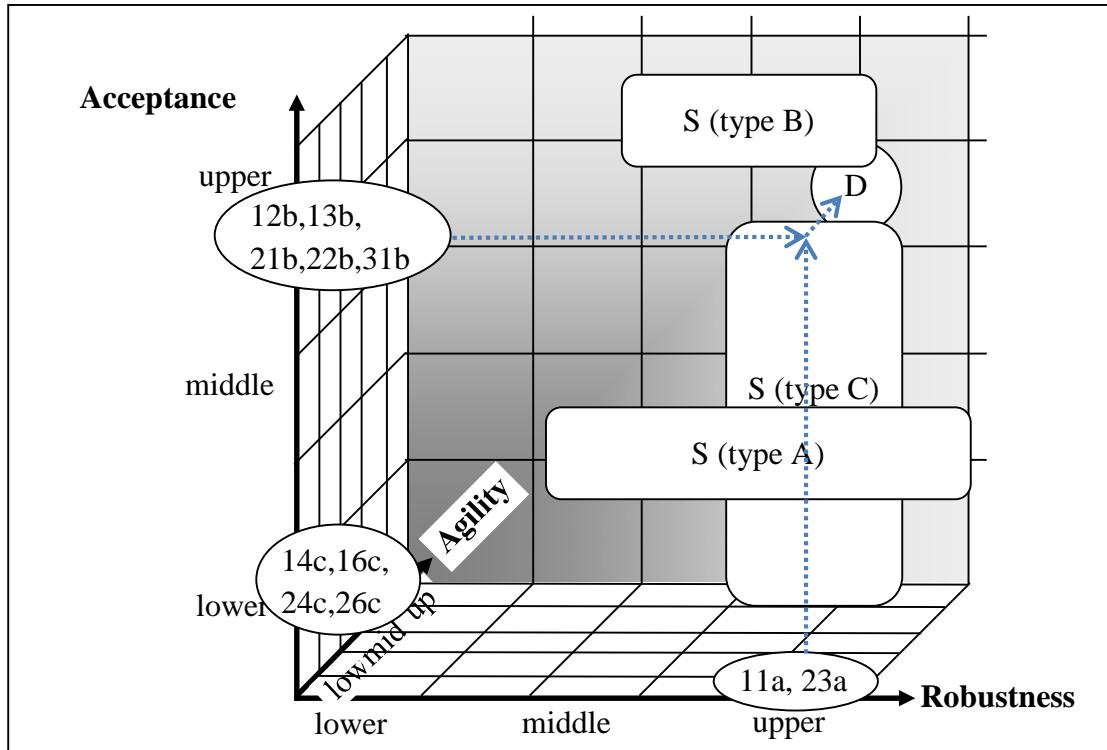


Figure 3.2: Example 3D portfolio matrix for exoskeleton for a dedicated task

4 Recommendations

The overall acceptance of support tools is not only based on technical, physical aspects but also on other aspects like design and psychological aspects. Even when all technical aspects including human body constraints are met, a human or a group can refrain from using the exoskeleton. The two main aspects to be considered are the fear of loss of control and the loss of reputation in a group. One approach here is conducting tests with augmented reality and virtual reality to allow for partial optimization without cost and time consuming test equipment. The readiness to use technical support systems presently and in the future is largely dependent on whether the support system simplifies the work for the employee. Especially when support system behaves hindrance, it can be assumed that these are not used or only in exceptional cases. Other than in the production of commercial aircraft, where reoccurring tasks at certain positions (e.g. in a manufacturing line) are executed, the employee in the aircraft maintenance must have the possibility to react variable and mobile to changing situations. The daily work in the aircraft production and maintenance requires space and flexibility. Other branches (e.g. automotive) have decided against the use of exoskeletons due to the loss of mobility [24].

5 Acknowledgments

Ongoing joint research of the authors between universities, aircraft maintenance, and aircraft production has its origin in the LuFo AutoPro project. A part of this research is funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) in the project smartASSIST (Smart, AdjuStable, Soft and Intelligent Support Technologies; conveying indications 16SV7114; supervision by VDI/VDE INNOVATION GmbH). The sole responsibility for the manuscript contents lies with the authors.

6 References

- [1] N. S. K. Ho, K. Y. Tong, X. L. Hu, K. L. Fung, X. J. Wei, W. Rong, E. A. Susanto: An EMG-driven exoskeleton hand robotic training device on chronic stroke subjects: task training system for stroke rehabilitation. In: 2011 IEEE international conference on rehabilitation robotics: IEEE, pp. 1-5, 2011.
- [2] K. Kiguchi, M. H. Rahman, M. Sasaki, K. Teramoto: Development of a 3DOF mobile exoskeleton robot for human upperlimb motion assist. Rob Auton Syst 56(8): pp. 678-691, 2008.
- [3] S. Marcheschi, F. Salsedo, M. Fontana, M. Bergamasco: Body extender: whole body exoskeleton for human power augmentation. In: 2011 IEEE international conference on robotics and automation: IEEE, pp. 611-616, 2011.
- [4] E. M. Sadler, R. B. Graham, J. M. Stevenson: The personal liftassist device and lifting technique: a principal component analysis. Ergonomics 54(4): pp. 392-402, 2011.
- [5] H. Lee, B. Lee, W. Kim, M. Gil, J. Han, C. Han: Human-robot cooperative control based on pHRI (Physical Human-Robot Interaction) of exoskeleton robot for a human upper extremity. Int J Precis Eng Manuf 13(6): pp. 985-992, 2012.
- [6] Z. Yao, W. Weidner, R. Weidner, J. Wulfsberg: Human Hybrid Robot, Next-generation Support Technology for Manual Tasks: Challenges, Perspectives and Economic Implications, SAE Technical Paper 2015-01-2601, doi: 10.4271/2015-01-2601, 2015.
- [7] H. Kazerooni, R. Steger: The Berkeley Lower Extremity Exoskeleton. In: Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 128(1), pp. 14-25, 2006.
- [8] Fraunhofer Gesellschaft: http://www.izm.fraunhofer.de/de/news_events/tech_news/carejack.html, last visit: 25.10.2015.
- [9] E. Strickland: Good-bye Wheelchair. IEEE Spectrum 49.1, pp. 30-32, 2012.
- [10] Y. Sankai: HAL: Hybrid Assistive Limb Based on Cybernics. In: M. Kaneko, Y. Nakamura (Editors): Robotics Research, Springer Berlin Heidelberg, pp. 25-34, 2011.
- [11] K. Yamamoto, K. Hyodo, M. Ishii T. Matsuo: Development of Power Assisting Suit for Assisting Nurse Labor. In: JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing, Vol. 45(3), pp. 703-711, 2002.
- [12] R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg: Passive und aktive Unterstützungssysteme für die Produktion - Konzept des Human Hybrid Robot (HHR). In: wt Werkstattstechnik online 104 (2014), no. 9, pp. 651 - 666, Düsseldorf, Springer-VDI-Verlag, 2014.
- [13] B. Otten, R. Weidner, C. Linnenberg: Leichtgewichtige und inhärent biomechanisch kompatible Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe. 2. Transdisziplinäre Konferenz “Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen”, 2016.
- [14] M. Cenciarini, A. M. Dollar: Biomechanical Considerations in the Design of Lower Limb Exoskeletons. In: IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICoRR), pp. 1-6, 2011.
- [15] F. Parietti, H. H. Asada: Supernumerary Robotic Limbs for Aircraft Fuselage Assembly: Body Stabilization and Guidance by Bracing. In: IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA), Hong Kong, 2014.
- [16] Harvard, Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering: <http://wyss.harvard.edu/viewpressrelease/165/>, last visit: 31.07.2015.

- [17] M. A. Zhou, B.-T. Pinhas: RML glove – An exoskeleton glove mechanism with haptics feedback. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 20.2, pp. 641-652, 2015.
- [18] R. Weidner, Z. Yao, J. P. Wulfsberg, R. A. Goehlich, S. Mehler: Modulare Unterstützungssysteme in der Luft- und Raumfahrtindustrie. In: Band zur ersten Transdisziplinären Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“, pp. 347-358, 2014.
- [19] U. Steinberg, F. Liebers, A. Klußmann, Hj. Gebhardt, M. A. Rieger, S. Behrendt, U. Latza: Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse 2011. Bericht über die Erprobung, Validierung und Revision 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2012. ISBN: 978-3-88261-722-1, p. 203, Projektnummer: F 2195, 2012.
- [20] baua: http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/KIM-manual-handling-2.pdf;jsessionid=80E091BDD7613F1B1C208C3CDC7BB9D8.1_cid343?__blob=publicationFile&v=4, last visit: 30.11.2016.
- [21] Herausgeber: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI): Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Heben und Tragen von Lasten; Vierte, überarbeitete Auflage; 26. April 2001; ISBN 3-9807775-0-2, 2001.
- [22] Herausgeber: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI): Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Ziehen und Schieben von Lasten; September 2002; ISBN: 3-936415-25-0, 2002.
- [23] Herausgeber: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI): Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen bei manuellen Arbeitsprozessen; Februar 2013; ISBN: 978-3-936415-74-2, 2013.
- [24] S. Nördinger: Exoskelette – Mechanische Muskeln stählen Werker-Rücken. <https://www.produktion.de/trends-innovationen/exoskelette-mechanische-muskeln-staelhenwerker-ruecken-106.html>, 05. August 2015, last visit: 28.09.2016.

Von der Natur inspiriert

Neue Impulse für die Fabrik- und Prozessautomation

R. Strommer

Festo AG & Co. KG, Business Opportunities
Ruiter Straße 82, 73734 Esslingen
robert.strommer@festo.com

Kurzzusammenfassung

Bionik liefert im Lernunternehmen Festo wichtige Impulse für innovative Automatisierungslösungen der Zukunft – inspiriert von der Natur. Unter dem Namen ‚Bionic Learning Network‘ organisiert Festo einen Forschungsverbund, um Bionik gezielt im Unternehmen als Impulsgeber für Innovationen zu etablieren. In einer interdisziplinären Teamarbeit entstehen und entstanden so immer wieder Produktideen, die in der Automatisierungstechnik von morgen zum Einsatz kommen.

Abstract

“Inspired by nature“

In the learning organisation of Festo Bionic provides important impulses for innovative automation solutions of the future – simply inspired by nature. Under the name ‘Bionic Learning Network’ Festo organises a research network to establish Bionic within a corporation systematically as a trigger for innovations. By interdisciplinary teamwork product ideas are generated and have been generated again and again. These ideas are applied to the automation sector of tomorrow.

Keywords: Effizienzstrategien aus der Natur, Naturphänomene, Bionik

1 Einleitung

Im Fabrikalltag übernimmt Automatisierungstechnik typische Aufgaben wie das Greifen, Bewegen und Positionieren von Gütern sowie das Steuern und Regeln von Prozessen. Schaut man in die Natur, stellt man sehr schnell fest, dass all diese Aufgaben von Lebewesen, egal ob Mensch, Tier oder Pflanze ganz selbstverständlich, einfach und letztendlich auch energieeffizient umgesetzt werden.

Es lohnt sich also natürliche Phänomene genauer anzuschauen und zu verstehen, welche Prinzipien sich dahinter verbergen, um diese idealerweise nachbilden zu können. Der Begriff Bionik muss als „Lernen von der Natur als Anregung für eigenständiges technisches Weiterarbeiten“ verstanden werden [1]. Ist das erst einmal geeglückt, steht einer technischen Implementierung oft nichts mehr im Weg (Abbildung 1.1). Damit dieser Prozess ‚genauer anschauen‘ systematisch angegangen wird und nicht nur Zufällen geschuldet ist, hat man sich bei Festo überlegt, wie man den Baukasten der Natur zielgerichtet einsetzen kann.



Abbildung 1.1: Bionische Prinzipien erkennen

Die Verantwortlichen bei Festo waren und sind von der Idee des ‚Lernen von der Natur‘ ebenfalls fasziniert und initiierten daher einen Forschungsverbund mit namhaften Hochschulen und Instituten, Entwicklungsfirmen und privaten Erfindern: Das Bionic Learning Network.

2 Bionik als Methodik

Zunächst ist Bionik mehr als ein zusammengesetztes Kunstwort aus Biologie und Technik. Es ist eine Methodik, die die Brücke zwischen Biologie und Technik baut. Bionik kann man z.B. gezielt in den Neuheiten-Entstehungsprozess eines Unternehmens integrieren. Dabei gibt es zwei verschiedene Herangehensweisen (Abbildung 2.1)

Der Top-Down Prozess:

Ein Ingenieur beschäftigt sich mit einem technischen Problem und sucht dafür gezielt nach Lösungen in der Natur. Beim NanoForceGripper von Festo war die Fragestellung, ein glattes Objekt wie ein SmartPhone ohne Vakuumtechnik energiearm zu greifen. Da kam das Vorbild des Geckos gerade recht, denn der kann mühelos an glatten Fensterscheiben hochklettern. Nach Analyse des Prinzips durch Biologen gelang es, das Prinzip der Adhäsion technisch zu übertragen. Die Firma Binder aus Holzgerlingen hat eine mikrostrukturierte Silikonfolie mit ca. 29.000 Haftelementen pro cm² entwickelt. Das im Wesentlichen auf den Van-der-Waals-Anziehungskräften basierende Gecko® Tape weist eine hohe Haftkraft auf, ohne Rückstände zu hinterlassen [2]. Basierend auf diesem Gecko® Tape hat Festo dann den NanoForceGripper entwickelt. Die besondere Herausforderung bestand in diesem Fall aber nicht darin eine genügend starke Haftwirkung zu erzielen – diese Eigenschaft des Gecko® Tapes haben die Entwickler von Binder souverän umgesetzt. Es musste vielmehr ein Mechanismus entwickelt werden, mit dem man ein aufgenommenes Bauteil auch wieder gezielt ‚loslassen‘ konnte. Die Ingenieure bei Festo haben dabei der Natur erneut genau auf die Finger geschaut – in diesem Fall dem Gecko auf die Füße. Eine Art Abrollbewegung der einzelnen Finger erlaubt es dem Gecko, sich wieder von einer bestimmten Stelle zu lösen und sich so weiter zu bewegen.

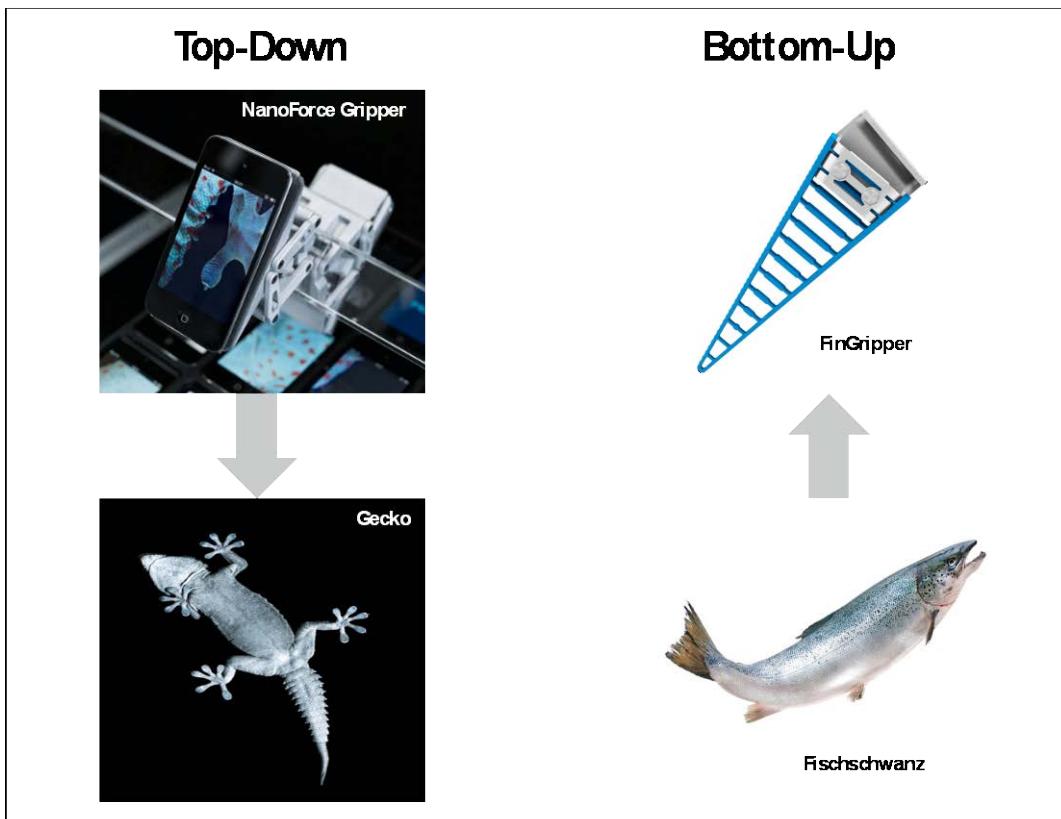


Abbildung 2.1: Bionik als Methodik

Der Bottom-Up Prozess:

Ein Biologe erkannte das interessante biologische Phänomen beim Berühren der Schwanzflossen von Fischen. Drückt man gegen die Flosse eines Fisches, so biegt sie sich nicht weg vom Druckpunkt, sondern schmiegt sich um den Druckpunkt herum. Dieses Prinzip wurde von der EvoLogics GmbH zusammen mit Ingenieuren von Festo in eine technische Applikation überführt [3].

Aber Bionik kann noch mehr. Sie kann auch als Inspirationsquelle dienen und die Kreativität der Ingenieure anregen. Mit Bionik als Methodik wird über technische Probleme und Lösungen nachgedacht, über die sonst nie nachgedacht wurde. Ganz nebenbei werden so auch Menschen zusammengeführt, die sich ohne eine bionische Fragestellung oft gar nicht zusammengefunden hätten.

3 Das Bionic Learning Network – eine interdisziplinäre Teamarbeit

Festo hat sich bereits in den 90er Jahren intensiv mit dem Thema Bionik befasst. Mit der Gründung des Bionic Learning Network im Jahr 2006 ist ein reger und offener Austausch im Verbund mit namhaften Hochschulen, Instituten und Entwicklungsfirmen entstanden.

Das Kernteam besteht aus Ingenieuren und Designern, Biologen und Studenten von Festo. Es arbeitet eng mit Spezialisten aus anderen Unternehmensbereichen sowie externen Partnern aus der ganzen Welt zusammen. Diese offene und interdisziplinäre Teamarbeit schafft neue Perspektiven und liefert neue Impulse für industrielle Applikationen und mögliche zukünftige Serienprodukte.

4 Die Ziele – mehr als nur die Entwicklung neuer Technologien

Impulse setzen und Innovationen anstoßen, inspirieren und begeistern – als Technologieführer und als Lernunternehmen verfolgt Festo mit dem Bionic Learning Network klare Ziele:

- Netzwerke knüpfen und Menschen aus unterschiedlichen Bereichen motivieren, ihre Ideen mit Festo zu entwickeln
- Aktuellste Trends in Forschung und Entwicklung wahrnehmen und dabei neue Technologien und Fertigungsverfahren erproben
- Die Kreativität in Lösungsfindungsprozessen steigern und durch Prototypbau die Produktvorentwicklung vorantreiben
- Über die gezeigten Lösungsansätze mit Kunden und Partnern in den Dialog treten und Kundenresonanz zu innovativen Themen abfragen
- Die Lösungskompetenz von Festo ansprechend visualisieren, um damit junge Menschen für Technik zu begeistern und neue Talente zu finden

Die Future Concepts des Bionic Learning Networks dienen als Entwicklungsplattformen, die unterschiedlichste Technologien und Komponenten kombinieren – von den Fertigungs-konzep-ten über die eingesetzten Serienprodukte hin zu Software sowie Steuer- und Regelungstechnik. Durch die kontinuierliche Optimierung der einzelnen Technologien erhält Festo vielschichtige Erkenntnisse und Ansätze, um gemeinsam mit Kunden und Partnern neue Produkte und Appli-kationen zu entwickeln und zu verbessern. Das hieraus gewonnene Know-how macht Festo zum Partner Nummer eins seiner OEM-Kunden unterschiedlichster Branchen und Ansprüche. Mit den passenden Komponenten und Lösungen, Services und Fachwissen unterstützt Festo die Produktentwicklung seiner Kunden von Anfang an und begleitet sie von der Marktanalyse zur Funktionssimulation über Prototypen bis hin zu einer effizienten und produktiven Serienferti-gung.

5 Vom menschlichen Muskel zum pneumatischen Antrieb

Im Rahmen seiner Bionik-Forschungen hat Festo einen pneumatischen Muskel entwickelt, der dem biologischen Muskel nachempfunden ist (Abbildung 5.1). Er macht Abläufe möglich, die den menschlichen Bewegungen sehr nahe kommen.

Das Grundprinzip dieses Antriebs wurde bereits im Jahr 1872 von Franz Reuleaux beschrieben. Ein entsprechend gestalteter, elastischer Hohlkörper wird mit einem Fluid gefüllt und vergrößert dadurch seinen Umfang. Im Gegenzug verkürzt sich seine Länge. Diesen Effekt kann man noch optimieren, indem man um den Hohlkörper eine Netzstruktur legt oder diese gleich in die Membran einarbeitet.

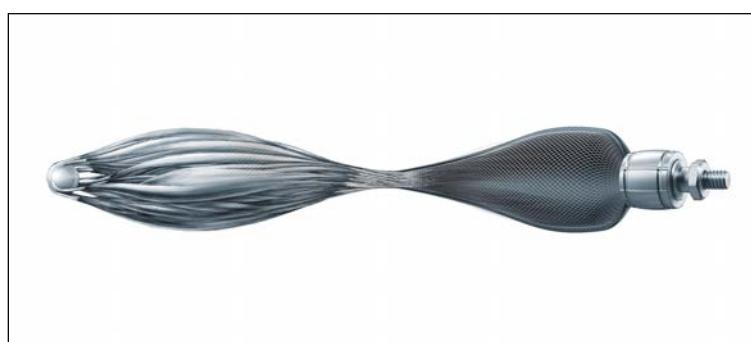


Abbildung 5.1: Der pneumatische Muskel erinnert an sein biologisches Vorbild

Die bionischen Muskeln bestehen im Wesentlichen aus einem hohlen Elastomerzylinder mit eingebetteten Aramidfasern. Wird der Fluidic Muscle mit Luft gefüllt, vergrößert sich dieser im Durchmesser und wird in der Länge kontrahiert. Dadurch wird eine fließend-elastische Bewegung ermöglicht.



Abbildung 5.2: Als Serienprodukt verfügbar – der pneumatische Muskel

Mit seinen einmaligen Eigenschaften hat es der Fluidic Muscle unter der Bezeichnung DMSP/MAS ins Produktpertoire von Festo geschafft (Abbildung 5.2). Bei vergleichbarer Größe erreicht der pneumatische Muskel das Sechsfache der Kraft eines herkömmlichen Zylinders. Er ist sehr robust und sogar unter extremen Bedingungen, wie in Sand oder Staub, einsetzbar. Bei einem Betriebsdruck von 6 bar vergrößert sich der Außendurchmesser eines pneumatischen Muskels vom Typ DSMP-40 auf 57mm. Die max. Spannkraft bei dieser Baugröße liegt bei 6000N (Abbildung 5.3). Im Vergleich dazu ist die max. Spannkraft bei einem Pneumatikzylinder vom Typ ESNU-50 (Außendurchmesser ebenfalls 57mm) ungefähr 1000N.

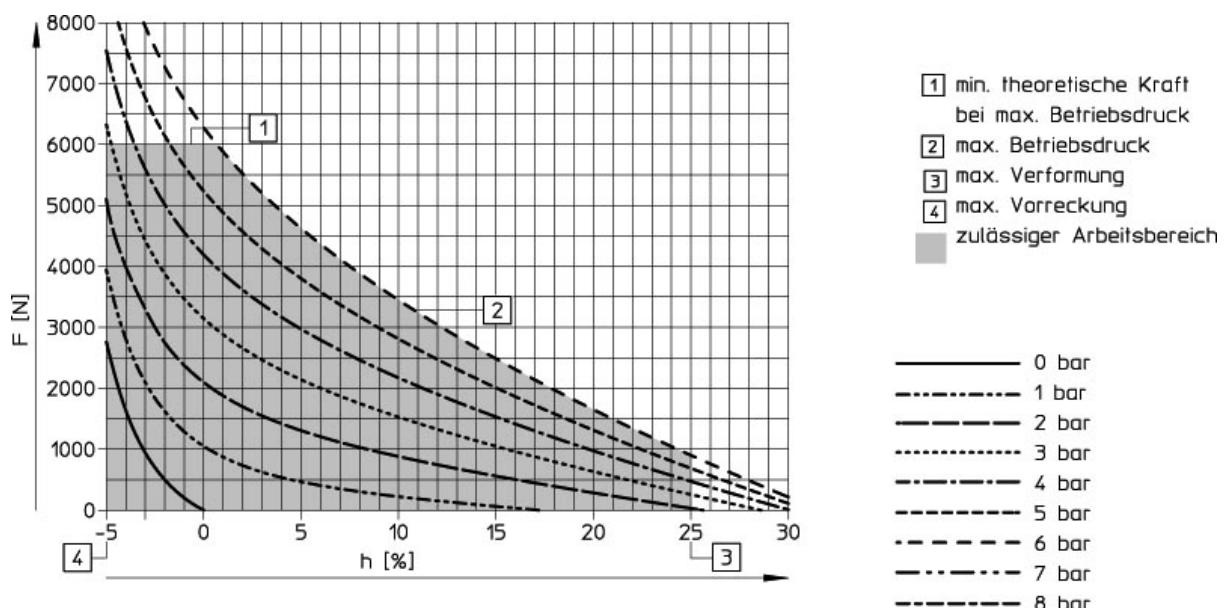


Abbildung 5.3: Kraftverlauf beim pneumatischen Muskel Typ DSMP-40

Bei engsten Platzverhältnissen spannt der Pneumatische Muskel mit deutlich höherer Kraft als ein konventioneller Pneumatik Zylinder. Und das ohne jegliche Leckage. Man kann ihn zum

Vibrieren und Rütteln mit niedrigen oder hohen Frequenzen einsetzen. Dabei lässt sich Amplitude und Frequenz unabhängig voneinander einstellen. Wird eine einstellbare Federkraft benötigt, kann diese sehr einfach über den angelegten Druck eingestellt werden. Der pneumatische Muskel bewegt sich dabei reibungsfrei, auch bei höchster dynamischer Belastung.

6 Diskussion

In verschiedenen Exponaten hat Festo den pneumatischen Muskel bereits als Substitut für sein natürliches Vorbild eingesetzt. Als Beispiel sei hier der ‚Airics Arm‘ genannt [4]. Was liegt also näher als diese Art von Antrieb auch in technischen Unterstützungssystemen, genauer in einfachen Exoskeletten, einzusetzen?

Ein einfaches Exoskelett könnte z. B. mit der Funktionalität einer Gewichtskompensation für die oberen Extremitäten ausgestattet sein. Als Anwendungsszenario sind Überkopfarbeiten bei Montagetätigkeiten denkbar. Die dafür benötigten mechanischen Stell- oder Antriebselemente sollten idealerweise sehr leicht sein, aber dennoch ein Gewicht von 5-8 kg kompensieren können. Genau diese Eigenschaften bietet der pneumatische Muskel. Die Energieversorgung mit Druckluft kann im stationären Einsatz mittels Schlauchleitung erfolgen, wird ein größerer Aktionsradius gewünscht, ist eine Zwischenspeicherung in einem kleinen Drucklufttank denkbar. Es ist auch eine mobile Drucklufterzeugung mittels eines miniaturisierten Kompressors technisch darstellbar. Bleibt nur noch den Vorzug der einfachen Kraftanpassung zu erwähnen. Stellkräfte von pneumatischen Antrieben lassen sich sehr einfach durch Anpassung des Versorgungsdrucks regeln. Bei einer stationären Druckluftversorgung kann die Druckanpassung durch geeignete Pneumatikventile realisiert werden. Dabei sind - je nach konstruktiver Umsetzung – manuelle oder auch elektrisch betriebene Ventile vorzusehen. Neben der technischen Machbarkeit sollte letztendlich aber immer die Akzeptanz für ein derartiges System im Vordergrund stehen. Vielleicht führt die relative Einfachheit eines pneumatischen Unterstützungssystems letztendlich dazu, dass es Arbeiter für ihre Montagetätigkeiten wirklich wollen?

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Hause Festo untersucht man schon seit über 20 Jahren bionische Prinzipien auf deren Eignung für Automatisierungslösungen. Das Bionic Learning Network von Festo versammelt dafür immer wieder kreative Köpfe aus Forschung und Entwicklung für seine innovativen Projekte an einem Tisch. Die dort entstandenen Forschungsergebnisse fließen kontinuierlich in die ‚normalen‘ Entwicklungsarbeiten ein. Das Lernen von der Natur wird im Hause Festo auch in Zukunft einen wichtigen Beitrag für weitere Innovationen liefern.

Mit dem pneumatischen Muskel steht ein Konstruktionselement zur Verfügung, welches für den Einsatz in technischen Unterstützungssystemen, wie z. B. einfache Exoskelette, bestens geeignet erscheint.

8 Literatur

- [1] W. Nachtigall: Bionik-Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler, S. 3, 2002.
- [2] Gottlieb Binder GmbH & Co KG, Bahnhofstr. 19, 71088 Holzgerlingen.
- [3] EvoLogics GmbH, Ackerstrasse 76, 13355 Berlin.
- [4] Festo https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/42058/Airics_arm_en.pdf:

Bedarfsgerechte Industrieanwendungen kollaborierender Mensch-Roboter-Systeme in Produktionsprozessen

Ein Ansatz zur Analyse konkreter Industriebedarfe

K. Delang, L. Winkler, M. Bdiwi, M. Breitfeld, M. Putz

Fraunhofer IWU, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik,
Abteilung Montagetechnik und Robotik
Reichenhainer Straße 88, 09126 Chemnitz
Kathleen.Delang@iwu.fraunhofer.de, Lena.Winkler@iwu.fraunhofer.de, Mohamad.Bdiwi@iwu.fraunhofer.de, Marco.Breitfeld@iwu.fraunhofer.de,
Matthias.Putz@iwu.fraunhofer.de

Kurzzusammenfassung

Die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) als neues Verfahren der Produktionstechnik bietet die Möglichkeit Vorteile des Menschen, wie situative Entscheidungen und Fingerspitzengefühl, mit den Vorzügen von Robotern, insbesondere Kraft, Präzision und Wiederholgenauigkeit, zu kombinieren. Daher herrscht bei den produzierenden Unternehmen eine starke Nachfrage zu dieser Thematik und Komponentenlieferanten entwickeln bestehende Systeme weiter. Um den gegenwärtig bestehenden Forschungsbedarf an dem konkreten Bedarf der Industrie auszurichten, bindet das Fraunhofer IWU produzierende Unternehmen als Endanwender frühzeitig in die Entwicklung ein. Durch einheitliche Prozessaufnahmen können objektive Ergebnisse in Bezug auf das wirtschaftliche Potential von Lösungen generiert werden. Mit Komponentenlieferanten werden mögliche Lösungen entwickelt. Innerhalb des ZIM Netzwerkes Collaborative Technology Cluster (CTC) werden interdisziplinäre Forschungsbedarfe identifiziert und technologische Roadmaps entwickelt.

Abstract

“Demand-related industrial applications of Human-Robot-Interaction (HRI) in production systems”

HRI can combine the benefits of human work such as intelligence and advances of robots as precision and power. Therefore the topic is highly relevant for research and development. To adapt the research activities in the field of HRI to the demands of the industry, Fraunhofer IWU includes end users of the technology in the development process by analysing existing processes with an objective methodology. Thereby the relevant industrial needs are identified and components of HRI systems are developed accordingly, especially by small and medium enterprises (SME) in cooperation with the research institute. Fraunhofer IWU is managing the network “Collaborative Technology Cluster” (CTC) to identify interdisciplinary research demands and to develop technological roadmaps for an industrial driven progression in HRI.

Keywords: Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK), Produktionstechnik, Robotik, Prozessanalyse

1 Einleitung

Das Spannungsfeld, in dem sich die Entwicklung von MRK-Systemen einordnet, besteht darin, dass die Bedarfe der Industrie den Wissenschaftlern nicht genau bekannt sind und folglich Systeme entwickelt werden, die nur bedingte Relevanz für die Praxis besitzen. Um dies zu umgehen, wurde das ZIM Netzwerk CTC am Fraunhofer IWU gegründet. Ziel ist es dabei, von Anfang an produzierende Unternehmen als potentielle Endanwender von MRK-Systemen zu involvieren. Darüber hinaus sollen die Lieferanten von Komponenten der MRK-Systeme als Ausrüster in die Entwicklung einbezogen werden.

Abhängig von den Bedarfen produzierender Unternehmen werden MRK-Systeme entwickelt, welche dem Werker z.B. ergonomisch ungünstige Arbeiten abnehmen, ihn körperlich entlasten oder nicht wertschöpfende Prozessschritte, etwa in der Logistik, übernehmen. Die Absicht ist dabei nicht, den Mensch durch Automatisierung zu ersetzen, sondern seine sensitiven Fähigkeiten für die Produktion zu nutzen und den Roboter mit einfachen oder kraftintensiven Aufgaben zu betrauen. Zusätzlich müssen interdisziplinäre Fragestellungen, etwa zur Akzeptanz oder Ethik, berücksichtigt werden, damit MRK-Systeme ihr enormes Potential zur Unterstützung des Menschen in der Produktion ausschöpfen können.

Der neuartige Forschungsansatz am Fraunhofer IWU ist es, MRK für Industrieroboter mit hohen Traglasten zur Anwendung zu bringen. Diese besitzen einerseits entsprechend größere Reichweiten und können andererseits für die Industrie relevante Bauteilgewichte bewegen. Für eine praxistaugliche Umsetzung sind daher neuartige Sicherheitskonzepte unter Berücksichtigung der Norm ISO/TS 15066 erforderlich, welche die sichere Personenerkennung voraussetzen um eine Zulassung der Systeme in den Betrieben gewährleisten zu können. Das Fraunhofer IWU arbeitet dafür mit einem dynamischen Zonenmodell. Neben technischen Gesichtspunkten müssen auch sicherheitstechnische und rechtliche Aspekte in die Entwicklungen einfließen. Dies wird im Netzwerk CTC durch die Einbindung von Partnern der Bereiche Sensorik, Simulation und Anlagensicherheit erreicht.

2 Stand der Technik

2.1 Produktionssysteme

Durch das Schlagwort „Industrie 4.0“ erhält die deutsche Produktionswirtschaft derzeit mediale Aufmerksamkeit wie selten zuvor. Bestimmende Trends sind dabei die zunehmende Vernetzung, Standardisierung und Automatisierung auf der einen Seite und die Nachfrage nach individualisierten Produkten auf der anderen Seite. [1] Um diesen Markttrends gerecht zu werden, müssen die produzierenden Unternehmen flexibel auf Marktänderungen reagieren können. Durch einfache Automatisierung, wie sie seit den 50er Jahren in Deutschland, auch unter Einsatz von flexiblen Montagesystemen, stattfindet, ist diesen Entwicklungen nicht mehr zu begegnen. [2] Aufgrund wechselnder Geometrien der Bauteile müssen Betriebsmittel, wie etwa Bauteilgreifer, häufig geändert werden, was einen hohen Aufwand für die Unternehmen nach sich zieht.

Hinzu kommt ein steigender Wettbewerbsdruck, da die Wertschöpfung stetig steigt und notwendige Kosten für Lager- und Produktionsfläche durch weitere Optimierung der Losgrößen und Flächenproduktivität besser genutzt werden müssen. Um im Markt internationaler Produktionsstandorte wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen Unternehmen aller Industrien längst Lean-Prinzipien umsetzen und im Wettbewerb um die entscheidenden KPI im Vergleich zu ihren

Konkurrenten einen Vorteil herausarbeiten. MRK-Systeme können dabei einen wichtigen Beitrag zur steigenden Flexibilisierung bei Entlastung der Mitarbeiter beitragen.

Bereits im Jahr 2005 begannen Daimler, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und KUKA ein Forschungsprojekt, das zum Ziel hatte, die Leistung von Industrierobotern mit dem Fingerspitzengefühl eines Menschen zu vereinbaren. Später entwickelte KUKA daraus den LBR iiwa, der als kollaborierender Roboter ohne Schutzaun betrieben werden kann. [3]

2.2 Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)

Die Motivation der Industrie zum Einsatz von Robotersystemen ist unter dem Ziel der Effizienz dreigeteilt – in Kosten, Qualität und Zeit. [5] Roboter werden demzufolge eingesetzt, wenn sie Kostensparnisse gegenüber manueller Tätigkeit erzielen, sowie weniger Ausschuss und Nacharbeit produzieren und dabei geringere Takt- und Umrüstzeiten durch eine flexible Produktion gewährleisten. Bei kollaborierenden Robotern kommen für die fünf identifizierten Aufgabenarten Informationsaustausch, Präzision, Entlastung, Transport und Manipulation [6] zusätzliche Vorteile einer direkten Interaktion von Bediener und Maschine hinzu. So kann etwa im Bereich `Entlastung` der Roboter schwere Bauteile auf ergonomisch günstiger Höhe halten, während der Werker Montageaufgaben übernimmt. Darüber hinaus kann durch die Anwendung von MRK im Gegensatz zur konventionellen Automatisierung ein hoher Flexibilisierungsgrad erreicht werden. [7] Vor dem Hintergrund steigender Individualisierung von Produkten ist dies ein weiterer Wettbewerbsvorteil.

Der Markt der kollaborierenden Roboter hat sich in den letzten Jahren stark vergrößert. Nahezu alle namhaften Roboterhersteller haben bereits kollaborierende Roboter auf den Markt gebracht. (siehe Übersicht Tabelle 2.1) Auffallend ist, dass die meisten dieser Systeme durch relativ kleine Traglasten und geringe Reichweiten gekennzeichnet sind.

Tabelle 2.1: Übersicht einer Auswahl der verfügbaren kollaborierenden Roboter

Firma	Roboterbezeichnung	Maximale Traglast
ABB	YuMi	500 g (je Arm)
ABB Gomtec	Roberta	12 kg
Bionic Robotics	BioRob	800 g
Fanuc	CR-35iA	35 kg
Kawasaki	Duaro	2 kg (je Arm)
Kuka	LBR iiwa 14	14 kg
Universal Robots	UR3, UR5, UR10	bis 10 kg
Stäubli	TX2-40	2 kg
Yaskawa	Motoman HC10	10 kg

Kollisionen zwischen Personen, wie z.B. dem bedienenden Werker, und dem Roboter, sind unter Einhaltung definierter maximaler Flächenpressungen bei den aufgeführten Modellen zulässig. Die Roboter haben aus diesem Grund abgerundete Ecken und häufig eine sensitive Hülle, die Berührungen frühzeitig erkennt und die Bewegung des Roboters daraufhin abbremst oder stoppt. Zudem sind die gehandhabten Bauteile in zugelassenen Systemen bisher absolut ungefährlich für den Menschen. Entsprechend sind diese weder schwer noch haben sie scharfe Kanten oder herausstehende Elemente.

Zu Grunde liegende Normen für den sicheren Einsatz von MRK-Systemen sind neben der Maschinenrichtlinie die Roboternorm ISO 10218 und die technische Spezifikation für MRK Anwendungen ISO/TS 15066. Letztere definiert Körperbereiche, in denen unterschiedliche Maximalwerte für zugelassene Stöße vorgeschrieben sind. [4]

Au den ausgeführten Gründen ist der bisherige Einsatz von MRK-Systemen häufig noch auf sogenannte Leuchtturmprojekte beschränkt. Die anwendenden Unternehmen sammeln damit in erster Linie Erfahrungen, entlasten die Werker und erhöhen die Akzeptanz von Robotersystemen. Einsparungen im Sinne einer schnellen Amortisation sind dabei meist nicht erkennbar. Insbesondere die Automobilindustrie hat bereits MRK-Systeme getestet und nimmt damit eine Vorreiterrolle in Deutschland ein. Im Audi-Werk Ingolstadt reicht ein Roboter dem Werker beispielsweise Kühlwasserbehälter in ergonomischer Höhe und verhindert damit das belastende Hereinbücken in einen tiefen Behälter. [8]

3 Bedarfsanalysen für MRK-Anwendungen

3.1 Chancen durch MRK für produzierende Betriebe

Im Zuge einer weiteren Automatisierung von Produktionsanlagen sind zurzeit sinkende Losgrößen und eine zunehmende Flexibilisierung bestimmende Trends. MRK ist dafür eine aussichtsreiche Möglichkeit die klassischen Stärken von Produktionsmitarbeitern, wie Fingerspitzengefühl und intuitives Verhalten, mit den Vorteilen eines Roboters, etwa Wiederholgenauigkeit, Kraft und Ausdauer zu kombinieren. Da die o.g. Anforderungen an heutige Produktionsysteme ständig steigen, entwickeln sich klassische Automatisierungslösungen zu immer komplexeren Systemen und sind daher nicht mehr wirtschaftlich zu betreiben. [9]

Durch den Einsatz von MRK-Lösungen kann die Anlagenverfügbarkeit hingegen im Vergleich zur Vollautomatisierung signifikant steigen. [10] Durch den Wegfall von Schutzzäunen werden etwa Instandhaltungsintervalle verkürzt und durch zusätzlich mögliche Notfallstrategien kann auch bei einem (Teil)-Ausfall des Systems weiter produziert werden. Hinzu kommt ein steigender Flächennutzungsgrad aufgrund der besseren Ausnutzung vorhandener Produktionsflächen. Durch die Entlastung von Mitarbeitern kann ein sinkender Krankenstand in der Belegschaft erreicht werden. Der Einsatz von MRK-Systemen bietet in Zeiten des Fachkräftemangels produzierenden Unternehmen die Möglichkeit, sich mit innovativen und arbeitnehmerfreundlichen Arbeitsbedingungen von der Konkurrenz abzuheben.

Aus diesem Systemansatz heraus, ist der Roboter für das Fraunhofer IWU eine von mehreren notwendigen Komponenten für eine gelungene MRK-Applikation. Neben der Sensorik für eine zuverlässige Personenerkennung, steht die Bewertung der Daten im Kontext der menschlichen Bewegung und der daraus abgeleiteten Roboterbewegung (Steuerungstechnik) im Vordergrund der Betrachtung. Die Kernfaktoren sind in Abbildung 3.1 zusammengefasst.

3.2 Aufbau CTC Netzwerk

Der Kern des ZIM Netzwerkes CTC sind die Anwender und Ausrüster von MRK-Systemen. Als Ausrüster werden Lieferanten verschiedener benötigter Komponenten. Es sind sowohl Hardware-Produzenten, wie etwa Sensorikhersteller, Anlagenbauer und Robotikfirmen, als auch Software-Lieferanten, die Steuerungstechnik und Simulationssoftware vertreiben, in die Netzwerkarbeit involviert. Ergänzt wird das Portfolio der Ausrüster durch einen Partner aus dem Bereich Sicherheitstechnik. Das gesamte Konsortium erhält Unterstützung durch einen Partner aus dem Bereich Consultant / Marketing. Das Fraunhofer IWU als Netzwerkmanager

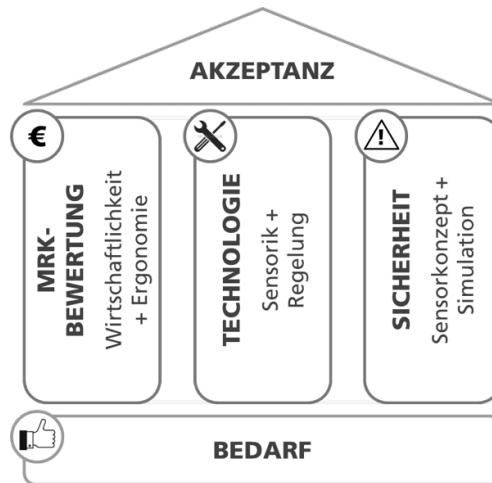


Abbildung 3.1: Kernfaktoren des MRK-Konzeptes vom Fraunhofer IWU

und beteiligtes Forschungsinstitut mit Kompetenz in der Durchführung von Forschungsprojekten ist für die Gesamtorganisation zuständig, koordiniert den Ablauf der Analysen und initiiert daraus folgende Projektideen.

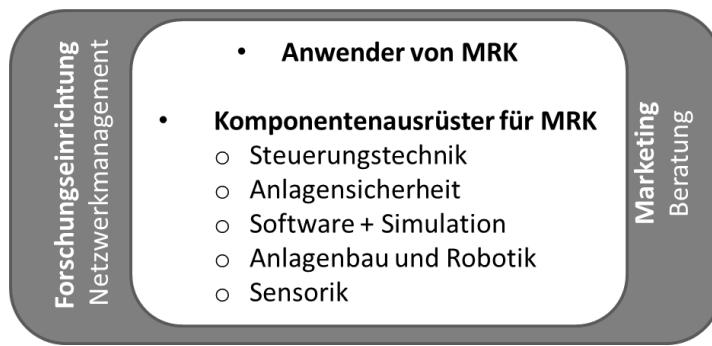


Abbildung 3.2: Kompetenzen der Partner innerhalb des CTC Netzwerkes

Einen besonderen Stellenwert in der Bildung des Konsortiums nimmt das Thema Sicherheit ein. Zur Zulassung von MRK Systemen ist nicht nur ein Sicherheitskonzept mit zuverlässigen Sensoren zur Personenerkennung in Zusammenhang mit einer situationsabhängigen Steuerung in Echtzeit notwendig, die Simulation der Bewegungsabläufe und unvorhergesehener Ereignisse ist ein weiterer Faktor zum sicheren Betrieb von MRK Systemen.

3.3 Vorgehen Prozessanalysen

In den Prozessanalysen werden bestehende Produktionsanlagen bei den Anwendern vor Ort untersucht. Dabei werden wirtschaftliche Verbesserungspotentiale und Ergonomie-verbesse rungen nach den Bedarfen der jeweiligen Unternehmen aufgedeckt und analysiert. In die Prozessanalysen fließt auch die strategische Ausrichtung für die kommenden Jahre mit ein, damit ein nachhaltiges Ergebnis erzielt wird. Auch kommende Veränderungen in Bezug auf Kapazitätserweiterungen, Fachkräftemangel oder bspw. steigende Krankenstände mit Bezug auf Muskelskeletterkrankungen werden berücksichtigt.

Die erste Aufnahme der Ist-Situation erfolgt im Rahmen der Grobanalyse. Daraufhin werden sowohl die vom Betrieb für MRK-Anwendungen vorgeschlagenen Arbeitsplätze als auch weitere Vorschläge durch das Fraunhofer IWU nach folgenden Kriterien ermittelt:

- Wirtschaftliche Einsparungen / Steigerung der Wertschöpfung
- Verbesserung der Arbeitssicherheit
- Entlastung der Mitarbeiter (physisch und psychisch)
- Steigerung der Akzeptanz von Robotereinsatz

In einem weiteren Schritt werden für die identifizierten Arbeitsplätze mögliche Szenarien, etwa ein schutzaunloser Betrieb oder eine Handführung des Roboters, erarbeitet. Die Ausarbeitungen umfassen in der Regel verschiedene Ausbaustufen in Bezug auf die erforderliche Forschungsleistung, aber auch den wirtschaftlichen Nutzen für die Produktion. In Absprache mit den Anwendungsfirmen erfolgt die Auswahl von ein oder zwei Szenarien. Anschließend wird in der Feinanalyse eine Machbarkeitsstudie und ein entsprechendes Sicherheitskonzepte erarbeitet. In einem gemeinsamen Workshop mit passenden Ausrüsterfirmen direkt bei den Anwendern wird das erarbeitete Konzept diskutiert, verbessert und erweitert. In der Diskussion über weitere Schritte wird entschieden, ob eine Direktbeauftragung der Ausrüsterfirmen durch den Anwender erfolgt oder die Entwicklung mit einem hohen technischen Risiko verbunden ist und daher ein Forschungsprojekt initiiert wird.

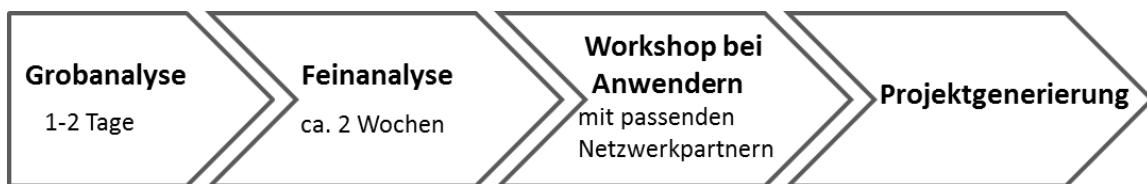


Abbildung 3.3: Ablauf der Netzwerkarbeit je Anwender

3.4 Herausforderungen bei der Einführung von MRK-Systemen

Die wichtigsten Punkte, die Unternehmen derzeit noch an der Einführung von MRK-Systemen hindert, sind neben der wirtschaftlichen Fertigung, die Datensicherheit in vernetzten Fabriken und die Rechtslage zur Sicherheit von Personen, die sich in unmittelbarer Nähe zum Roboter aufhalten. [5]

Das Thema Wirtschaftlichkeit korreliert mit der zugelassenen Bewegungsgeschwindigkeit des Roboters. Dazu hat das Fraunhofer IWU ein 4-Level-Modell entwickelt, welches die Robotergeschwindigkeit auf die Interaktionsart mit dem Menschen anpasst und zusätzlich dynamische Gefährdungszonen mit erlaubten Maximalgeschwindigkeiten und Trajektorien definiert.

Durch die Differenzierung nach Interaktionsarten verringert sich einerseits die Menge der in Echtzeit zu verarbeitenden Daten und auf der anderen Seite wird die Geschwindigkeit des Roboters der Art der Kooperation mit dem Menschen angepasst. Bei einer einfachen Objektübergabe ohne gemeinsame Tätigkeit von Mensch und Roboter wird lediglich der Aufenthaltsort von Personen bestimmt. Arbeitet der Werker jedoch direkt mit dem Roboter zusammen, bspw. bei Durchführung einer handgeführten Montage, müssen mehr Daten ausgewertet werden und die Roboterbewegung darf nur langsam erfolgen.

So wird die benötigte Sensortechnik nach dem Zonenmodell des Fraunhofer IWU auf ein notwendiges Maß beschränkt, die Bewegungen des Roboters sind in ungefährlichen Bereichen weiterhin wirtschaftlich und der Betreiber einer Anlage ist abgesichert, dass keine Personen zu Schaden kommen. Die Levels reichen vom einfachen schutzaunlosen Betrieb mit entsprechend großen Sicherheitsbereichen bis zur Handführung großer Industrieroboter mit notwendig-

ger Sensortechnik zur Gesichts-, Hand- und Objekterkennung. Die Funktionen der Objektübergabe oder Handverfolgung können zusätzlich zum Anlernen neuer Tätigkeiten in einer flexiblen Produktion genutzt werden, ohne dass Programmierkenntnisse erforderlich sind.

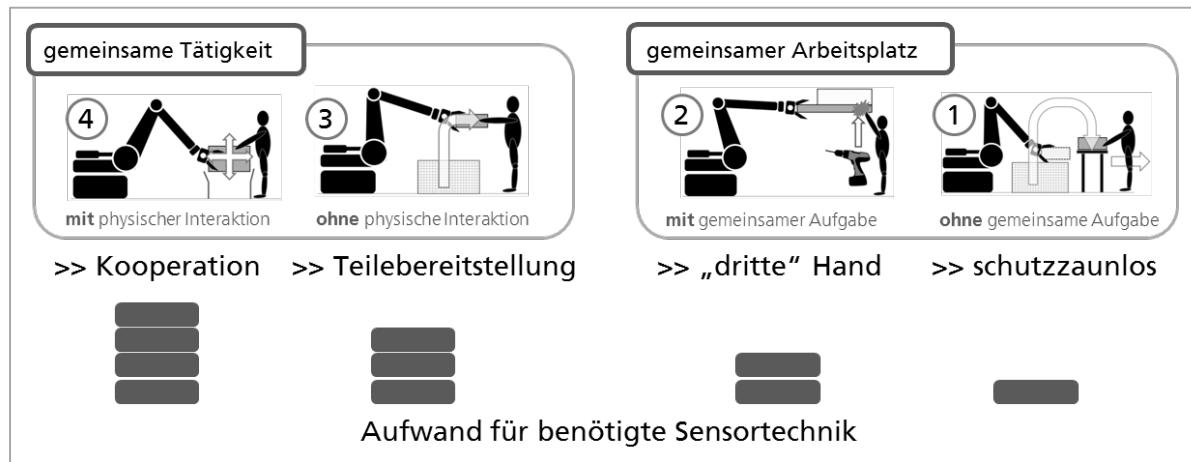


Abbildung 3.4: Identifizierte MRK Level des Fraunhofer IWU

In Hinblick auf die aktuelle Normung, die den Unternehmen Rechtssicherheit für die Anwendung von MRK-Systemen geben soll, besteht die Vorgehensweise des Fraunhofer IWU darin, Berührungen jeglicher Art zwischen Mensch und Roboter – im Gegensatz zu verfügbaren Systemen – gar nicht erst zuzulassen. Durch den Einsatz großer Industrieroboter und schwerer Bauteile kann jede Art von Kollision zu Verletzungen führen, die es auf jeden Fall zu verhindern gilt. Durch den redundanten Einsatz von Sicherheitstechnik werden Berührungen auch im direkten Kooperationsbereich vermieden und Gefahrenbereiche, in welchen sich der Roboter schnell bewegen kann, sind zusätzlich durch konventionelle Sicherheitstechnik abgesichert. Dadurch beschleunigt sich der Zulassungsprozess und neue Sensortechnik kann zusätzlich validiert werden, was einen späteren Einsatz beschleunigt.

Zusätzlich kommen Modelle zur situationsabhängigen Risikoabschätzung und der Simulation zum Einsatz, welche den Stand der Technik zum Thema „Sicherheit und Risikobeurteilung“ [11] mit eigenen Ansätzen kombinieren. Ziel ist es den Anlagenintegratoren und Anwendern einen verständlichen Ratgeber an die Hand zu geben, der eine Zulassung der entwickelten MRK-Systeme erleichtert.

3.5 Umsetzung von MRK-Arbeitsplätzen

Beispielhaft für eine Umsetzung soll an dieser Stelle das Vorgehen an einem Arbeitsplatz zur Bauteilentnahme von einer Power & Free Anlage, sowie der Montage und Verladung aufgezeigt werden. Der wirtschaftliche Nutzen ergibt sich, da die Station taktzeitbestimmend für die Gesamtanlage ist. Gleichzeitig kann die Ergonomie verbessert werden, da 11 kg schwere Bauteile auf Kopfhöhe in einen 1.600 mm langen Ladungsträger gestapelt werden müssen. In einer ersten MRK-Ausbauweise wird derzeit ein Konzept entwickelt, in welchem die Abnahme und Montage weiterhin von zwei Werkern übernommen wird, das Einstapeln in den Ladungsträger jedoch von einem schutzzaunlos arbeitenden Roboter übernommen wird. Die Taktzeit reduziert sich durch diese Arbeitsteilung voraussichtlich um 30%, wodurch der Gesamtanlagenoutput signifikant gesteigert werden kann.

Der Kooperationsbereich ist in dem genannten Beispiel sehr klein, da der Roboter lediglich von oben an den Montagetisch heranfährt und von dort das Bauteil in die Ladungsträger stapelt. Der

Betreiber der Anlage möchte mit dieser Umsetzung zusätzlich die Akzeptanz bei seinen Mitarbeitern für schutzaunlose Roboter erhöhen. Industrieanwendungen von MRK-Systemen, die über den schutzaunlosen Betrieb von Schwerlastrobotern hinausgehen, sind derzeit noch nicht in dem Status der Konzeptionierung und Umsetzung.

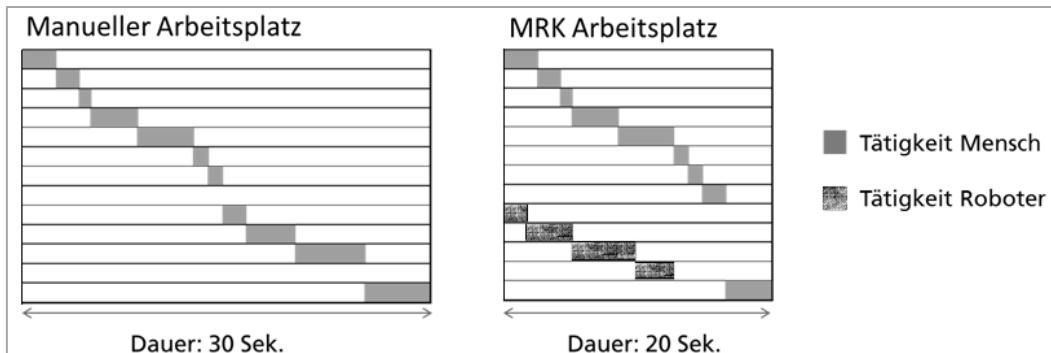


Abbildung 3.5: Taktzeitverkürzung durch Einsatz von MRK

3.6 Übertragbarkeit der Ergebnisse / Diskussion

Die einzelnen MRK-Arbeitsplätze, die identifiziert wurden und jetzt ausgeplant werden, sind lediglich eine Facette der Netzwerkarbeit. Darüber hinaus wurden Themen identifiziert, die bei verschiedenen Anwendern aufgetreten sind. Zu diesen zählen beispielsweise der Einsatz mobiler Roboter oder die notwendige Verkettung von Produktionsschritten. Für einige der übergeordneten Themen sind die Herausforderungen in Tabelle 3.1 dargestellt. Es handelt sich dabei um reale Problemstellungen der Industrie, für welche es teilweise bereits erforschte Lösungsansätze gibt. Im nächsten Schritt gilt es mögliche Lösungen zu identifizieren und zusammenzuführen oder entsprechend weiterzuentwickeln.

Tabelle 3.1: Auswahl identifizierter Problemschwerpunkte und deren Herausforderungen

Thema	Herausforderung
Situative Robotersteuerung	<ul style="list-style-type: none"> Flexible Reaktion des Roboters auf Verhalten des Menschen (Umschalten der MRK-Level, Geschwindigkeits- und/oder Bahn-anpassung)
Qualitätsverbesserung	<ul style="list-style-type: none"> Lageunabhängige Prüfung komplexer Geometrien, Montage- und Lackierfehler im Arbeitsbereich des Menschen Automatisiertes Entgraten unterschiedlicher Bauteile
Mobile Robotik	<ul style="list-style-type: none"> Autonome Bestückung von Sequenzbehältern Mitfahrende Werkerassistenz-Roboter
Objekterkennung	<ul style="list-style-type: none"> optimale Greifstrategien bei unbekannten Bauteilen wirtschaftliches Sortieren von Ausschuss für Recycling

Darüber hinaus gibt es Forschungsbedarfe unter anderem in den Bereichen Übertragungssicherheit und Sensorgenaugigkeit. Viele der zu erwartenden Ergebnisse können weitere Bereiche, etwa das autonome Fahren oder die Servicerobotik, beeinflussen. Gleichzeitig bringen Entwicklungen aus diesen Bereichen auch die MRK erheblich voran. Ein interdisziplinärer Ansatz ist daher anzustreben.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Bisher ist das ZIM Netzwerkprojekt Collaborative Technology Cluster (CTC) ein voller Erfolg für die beteiligten Firmen und Institutionen. Die potentiellen Anwender der neuen MRK-Technologie erhalten objektive Prozessanalysen ihrer Produktionsprozesse und daraus abgeleitet Empfehlungen zu Potentialen für den Einsatz von MRK-Systemen. Die Ausrüster bzw. Komponentenlieferanten eines MRK-Systems erhalten einerseits exklusive Analysen zum Marktbedarf in der Industrie ihrer Kunden und können sich darüber hinaus direkt an Projekten beteiligen, die bei den Anwendern initiiert werden. Zusätzlich ist der Aspekt des Netzwerkens selbst nicht zu vernachlässigen. Durch das CTC Projekt haben sich viele Firmen kennengelernt und können zukünftig in unmittelbarer geografischer Nähe miteinander arbeiten. Durch die Anwenderworkshops wurde den Ausrüstern eine Plattform gegeben sich in prägnanter Form vor potentiellen Kunden und Partnern zu präsentieren, was insbesondere für die beteiligten KMU einen signifikanten Wettbewerbsvorteil bedeutet.

Durch die vielen unbesetzten Forschungsfelder und die enormen Marktchancen, die sich im Bereich MRK ergeben, ist die Thematik hervorragend für ein Netzwerkprojekt geeignet. Gleichzeitig sichert die Vorgehensweise der Analyse bestehender Produktionsprozesse eine durchgehende Praxisnähe und spiegelt damit die genauen Kundenbedarfe der Industrie. Es kann somit verhindert werden, dass Forschungsinstitute und Ausrüster an dem Bedarf der Wirtschaft vorbei forschen.

Zukünftig wird der Zertifizierung von höheren MRK-Levels eine zentrale Bedeutung in Bezug auf die industrielle Anwendung zukommen. Nur so kann die wirtschaftliche Nutzung von MRK mit industriellen Robotern sichergestellt werden. Dafür spielen auch die Lieferanten einzelner Komponenten der Sicherheitstechnik eine zentrale Rolle, da sie den Nachweis für die Zuverlässigkeit ihrer Systeme erbringen müssen.

5 Literatur

- [1] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: Zukunftsbild „Industrie 4.0“. Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung, S. 14, 2014.
- [2] S. Hesse: Taschenbuch. Robotik • Montage • Handhabung. Hrsg.: V. Malisa, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, S. 141/142, 2016.
- [3] R. Kroh: Mit dem Leichtbauroboter in eine neue Ära der Automatisierung. Maschinen-Markt Ausgabe 18/2014, S. 16-21.
- [4] M. Glück, K. Zühlke: Sichere Mensch-Roboter-Kooperation. Markt & Technik Ausgabe 28/2015, S. 24-28.
- [5] B. Beckert, D. Buschak, B. Graf, M. Hägele, A. Jäger, C. Moll, U. Schmoch, S. Wyda: Automatisierung und Robotik-Systeme. Hrsg.: Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI), S. 40, 71, 2016.
- [6] L. Omnasch, X. Maier, T. Jürgensohn: Mensch-Roboter-Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. baua: Fokus, S. 7, 2016.
- [7] Fachforum Autonome Systeme/acatech: Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft. Hrsg. Das Fachforum Autonome Systeme im Hightech-Forum der Bundesregierung, S. 14, 2016.
- [8] <https://www.audi-mediacenter.com/de/pressemitteilungen/neue-mensch-roboter-kooperation-in-der-audi-produktion-1206>, Pressemitteilung Audi AG vom 12.02.2015, Abruf 10.08.16

- [9] Y. Shen, S. Zastrow, G. Reinhart: Mensch-Roboter-Kooperation in Montagelinien. Ein Bewertungsansatz unter Berücksichtigung von Unsicherheiten. Carl Hanser Verlag, S. 83-86, 2015.
- [10] T. Dietz, S. Oberer-Treitz: Mensch-Roboter-Kooperation wirtschaftlich einsetzen. MaschinenMarkt Ausgabe 30/2015, S. 50-55.
- [11] Puls, S.: Situationsverständen für die Risikobewertung bei der Mensch-Roboter-Kooperation. KIT Scientific Publishing, S. 10-16;114-116, 2014.

Gesellschaftliche Auswirkungen von Wearable-Technologie

Gewinn oder Verlust für die individuelle Autonomie?

N. Kleine

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Forschungscluster „Ethik, Technikfolgenforschung & Nachhaltige Unternehmensführung“
Galgenbergstraße 24, 93053 Regensburg
nadine.kleine@oth-regensburg

Kurzzusammenfassung

Wearables sind kleine, am Körper getragene Computer, die, verbaut in Kleidung oder Accessoires, mitlaufen, ohne aktiv bedient werden zu müssen. Mit diesem Paradigmenwechsel, der den Computer in den Hintergrund und den Nutzer in den Fokus rückt, stellt die Wearable-Technologie eine technische Innovation dar, deren gesellschaftliche Auswirkungen jedoch noch ungewiss sind. Mittels Szenariotechnik wurden zwei explorative Extremzonen gebildet, die polarisiert aufzeigen, durch welche Schlüsselfaktoren die Nutzung der Technologie dem Menschen mehr bzw. weniger Autonomie bringt. Es zeigt sich, dass die gesellschaftlichen Auswirkungen auf das Individuum davon abhängig sind, wer über die Nutzung, Gestaltung und Datenhoheit bestimmt.

Abstract

“The societal impact of wearable technology – gain or loss of individual autonomy?”

Wearables are small computer devices, built into items such as clothes and accessories. By operating without being used actively, wearables allow the focus to shift onto the user and away from the computer. This constitutes wearable technology as a technological innovation. The societal impact of this change of paradigm is still uncertain. Two extreme future scenarios have been created in order to present the key factors bringing more or less autonomy for the users. It becomes apparent, that the societal impact for the individual is dependent on who is controlling the use, design and data sovereignty of the technology.

Keywords: Wearable Technologie, Zukunftsszenario, Autonomie, Technikgestaltung

1 Einleitung

Betrachtet man technische Innovationen, die unseren Alltag in den letzten Jahrzehnten geprägt haben, zeigt sich: Die Technik rückt an den Menschen heran. Exemplarisch für die zunehmend intime Beziehung von Mensch und Technik steht die Wearable-Technologie. Es handelt sich um kleine Computer, die am Körper getragen und so potentiell zum Bestandteil unseres alltäglichen Lebens werden können: Als technische Helfer, die stets dabei und bereit sind, uns zu assistieren, unsere Blickwinkel zu erweitern und sich mit der uns umgebenden Welt zu vernetzen. Doch wie wird Wearable-Technologie darüber hinaus das alltägliche Leben des Einzelnen beeinflussen?

Um dieser Frage nachzugehen ist zu prüfen, welche Funktionen und Anwendungsgebiete sich für Wearable-Computer (i.F. auch: Wearables) entwickeln. Zudem ist es notwendig, die Rolle der dynamischen gesellschaftlichen Technikbewertung zu berücksichtigen, da diese mit der technischen Entwicklung in einem reziproken Verhältnis stehen.

Basierend auf einer Auseinandersetzung sowohl mit den technischen Potential als auch deren gesellschaftlichen Konsequenzen können mögliche Zukunftsszenarien hinsichtlich der möglichen Auswirkungen von Wearable-Technologie auf das individuelle Leben gebildet werden.

2 Wearable Technologie

2.1 Definition

Steve Mann, der seit den späten 1970er Jahren an Wearable-Computern forscht und als Wegbereiter der Technologie gilt, definiert sie allgemein als „a new form of human-computer interaction comprising a small body-worn computer system that is always on and always ready and accessible“ [1]. Für einen weiteren Pionier auf dem Gebiet, Thad Starner, ist ein Wearable-Computer „any body-worn computer that is designed to provide useful services while the user is performing other tasks“ [2].

Es gibt zahlreiche weitere Definitionen für Wearables, sodass prima facie eine allgemein gültige Begriffsbestimmung nicht ohne weiteres möglich ist. Allerdings lassen sich bei Durchsicht wissenschaftlicher Quellen einige wiederkehrende Kriterien ausmachen, die diese Technologie charakterisieren und an dieser Stelle als engere Definition dienen sollen. In Anlehnung an Mann und Niedzviecki [3] sowie Crabtree und Rhodes [4] haben Wearables folgende Eigenschaften:

- Immer einsatzbereit: Sie sind während des Tragens nutzbar und ständig betriebsbereit.
- Nicht im Fokus des Nutzers: Sie laufen im Hintergrund und müssen nicht im Mittelpunkt der Nutzeraufmerksamkeit stehen.
- Verbindung mit der Umgebung: Durch Sensoren können sie Informationen aus ihrer Umgebung proaktiv aufnehmen, verarbeiten und weiterkommunizieren.

Wearable-Technologie stehen in Beziehung zu zwei weiteren bedeutenden, soziotechnischen Entwicklungen. Zum einen trägt sie Elemente des *Ubiquitous Computing* (UC), die „Allgegenwärtigkeit von Informationstechnik und Computerleistung [...], die in prinzipiell alle Alltagsgegenstände eindringen“ [5]. Dieses Prinzip steht im Kontrast zum Paradigma des seit den 1980er Jahren massenhaft genutzten PC, bei dem die Technik nur verwendet werden kann, wenn sie im Zentrum der Aufmerksamkeit steht [4, 5]. Marc Weiser plädierte als Vorreiter dieser Idee für Informations- und Kommunikationstechnologien, die in die bestehende Umwelt des Menschen einfließen und somit in den Hintergrund treten: „The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.“ [6] Für Starner sind Wearables dafür die wohl unkomplizierteste Umsetzung, da hier keine immense Infrastruktur (wie z. B. beim *Smart Home*) aufgebaut werden muss, sondern einzelne Geräte quasi unsichtbar als Kleidungsstück mit getragen werden können [7]. Wearables sind zudem im Kontext der Verschmelzung von Mensch und Maschine zum *Cyborg* zu betrachten: Der Mensch soll nicht (nur) die Umgebung mithilfe von Technik seinen Ansprüchen anpassen, sondern Technik auch dazu nutzen, den eigenen Körper als **kybernetischen Organismus** [8] auf externe Einflüsse einzustellen. Sowohl die Zahl der technischen Umsetzungen [9] als auch der gesellschaftlichen Diskussionen um Mensch-Maschinen-Hybride wächst (z.B. ausgelöst durch den ersten offiziell anerkannten Cyborg und durch Orga-

nisationen, die für Cyborg-Rechte eintreten [10]). Die Cyborgisierung, also die technische Erweiterung des Körpers, kann jederzeit und intuitiv verwendet werden, um den Menschen zu unterstützen; somit sind Wearable-Computer als eine Art von Cyborg-Elemente zu verstehen.

2.2 Funktionen und Gestaltung

Wearables können viele verschiedene Funktionen haben. In Abbildung 2.1 sind die vier wichtigsten übergeordneten Funktionen festgehalten.

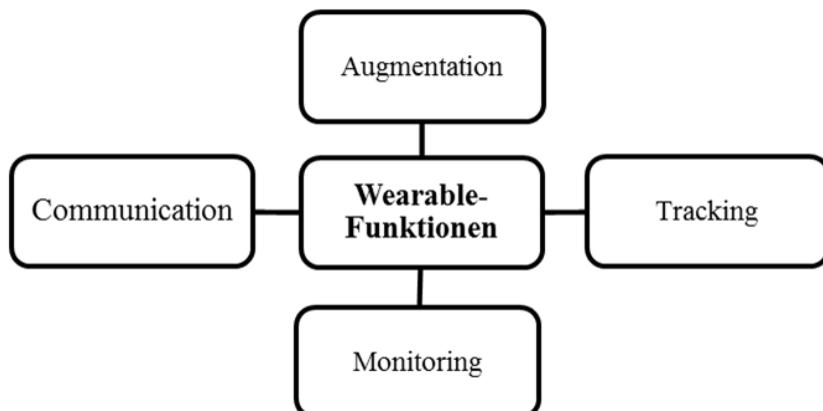


Abbildung 2.1: Übersicht wichtiger Wearable-Funktionen, eigene Darstellung

Tracking: Wearables können, u. a. mithilfe von GPS den Aufenthaltsort des Tragenden genau nachverfolgen. Darauf hinaus können Körperfunktionen, z. B. die Augenbewegung des Nutzers, von Tracking-Sensoren aufgefasst werden [11].

Monitoring: Einige Sensoren sind in der Lage, Daten des Nutzers, z. B. den Blutdruck oder das Schlafverhalten, systematisch aufzunehmen, sodass sich bei regelmäßiger Benutzung des Computers Verhaltensmuster erkennen lassen [4, 11].

Communication: Die Kommunikation zwischen Wearables und anderen Geräten und Programmen ist ein zentraler Punkt der Technologie. Des Weiteren können die Computer selbst klassische IKT-Elemente für eine Mensch-zu-Mensch-Kommunikation (z.B. Anrufe, E-Mails) enthalten [4, 11].

Augmentation: Unter *Augmented Intelligence* versteht man die Funktion von Wearable-Computer, Daten über die Umgebung aufzunehmen. Mithilfe dieser Informationen kann eine *Augmented Reality* (AR) geschaffen werden, d. h. es werden zur Umgebung passende Zusatzinformationen zur Verfügung gestellt [4].

Mit der Kombination dieser vier Funktionen entstehen zahlreiche Möglichkeiten, die in unterschiedlichsten Gebieten zur Anwendung kommen können.

Die Gestaltungsanforderungen an Wearable-Computer sind hoch: Tragekomfort, Funktionalität und Design müssen eine fortwährende und intuitive Nutzung in einer komplexen Umgebung ermöglichen. Aufgrund des schnell wachsenden und unübersichtlichen Angebots werden an dieser Stelle lediglich drei Wearable-Arten vorgestellt, die paradigmatisch für die relevantesten Benutzerschnittstellen stehen [2, 4, 11]:

- Head-Mounted Displays (HMD)/Datenbrillen,
- Armbänder/Smart Watches und
- Intelligente Kleidung/Smart Clothing.

Die Eingabemöglichkeiten sind vielfältig: Für die aktive Nutzereingabe sind Sprachbefehle per integriertem Mikrofon oder Eingabe per Touchscreen bzw. Tastatur denkbar. Proaktiv können Wearable-Computer durch Sensoren und Kameras Informationen über den Nutzer und seine Umwelt aufnehmen. Die Ausgabe von Information erfolgt visuell, auditiv und/oder haptisch. Es gibt Wearables, die als reine Eingabegeräte fungieren und für die Ausgabe von Informationen technische Hilfsmittel, z. B. Kopfhörer oder externe Displays, benötigen, die per Kabel bzw. per Funknetz, miteinander verbunden werden können [4, 11].

2.3 Wearable-Technologie als Innovation

Es scheint kaum einen gesellschaftlichen Bereich zu geben, in denen Entwicklungen nicht als Innovation angepriesen werden; Braun-Thürmann spricht gar von „Ubiquitous Innovating“ [13]. Eine allgemeingültige Definition gibt es auch bei diesem Begriff nicht. Nähert man sich dem Wesenskern der Innovation, so scheint das radikal Neuartige, das durch das Aufbrechen alter Strukturen entsteht, ein zentrales Merkmal zu sein [14]. Die Entwicklung, Markteinführung und Akzeptanz einer Innovation läuft meist evolutionär im Spannungsfeld zwischen Produktangebot und Konsumentennachfrage ab. Ist sie erst einmal gesellschaftlich implementiert, sind ihre Auswirkungen nicht mehr ohne Weiteres reversibel [13]. Es ist somit von verschiedenen, nicht zuletzt gesellschaftlichen Faktoren abhängig, ob sich eine technische Innovation durchsetzen und ob bzw. welche gesellschaftlichen Veränderungen sie mit sich bringen wird. Seit dem Aufkommen der Wearable-Technologie wird sie als nächste große Innovation gehandelt. Starner schrieb bereits 2002: „Market forecasters predict that some form of wearable computing will become pervasive in the next several years“ [7]. Ein Blick in aktuelle Technikentwicklungen, Markanalysen und Prognosen [15, 16] zeichnet ein ähnlich optimistisches Bild, dass sich die Technologie diesmal auch wirklich in den nächsten Jahren durchsetzt.

Die Abwendung vom vorherrschenden Paradigma, dass der Computer im Fokus des Nutzers steht, ist eine radikale, neuartige Entwicklung: Nun ist die Technologie dazu da, unauffällig zu assistieren. Auch die erweiterte Wahrnehmung durch Augmentation, eine wichtige Funktion der Wearable-Technologie, ist ein neuartiger Ansatz. Neben den disruptiven gibt es auch evolutionäre Aspekte: Seit den ersten Wearable-Entwürfen in den 1980er Jahren werden die Modelle prozesshaft an die Nutzer- und Umweltanforderungen angepasst [11]. Ob sich diese neue Technologie tatsächlich mit einer derartigen Stabilität verbreitet, dass man von irreversiblen Auswirkungen auf die Gesellschaft sprechen kann, lässt sich aktuell noch nicht überprüfen: „The desire for an innovation often comes much later than the first instantiation of the innovation.“ [2] Dass Wearable-Computer wachsende Nutzung erfahren, zeigt sich, neben den Verkaufszahlen, auch in der institutionellen Einbindung der Technologie: Versicherungen z. B. nutzen Wearables, um per Belohnungsprinzip ihre Kunden zu animieren, Daten zu teilen [17]. Gleichwohl eine technische Innovation nur ex post sicher als solche identifiziert werden kann, scheint es bei dieser Technologie genug Anhaltspunkte zu geben, um folgende These aufstellen zu können: Wearables haben das Potenzial, die Gesellschaft nachhaltig zu verändern.

3 Szenarienbildung

3.1 Zur Methode

Die Szenariotechnik, mittels der die gesellschaftlichen Auswirkungen von Wearable-Technologie beschrieben werden, ist eine Methode der prospektiven Technikbewertung. Deren wich-

tigstes Charakteristikum ist der Entwurf möglicher Zukünfte: Basierend auf der gleichen Ausgangssituation werden verschiedene (in vorliegendem Fall zwei sich gegenüberstehende) Szenarien in einem festgelegten Rahmen entworfen, die anhand ihrer zentralen Schlüsselfaktoren beschrieben werden und, abhängig von den Ausprägungen der Untersuchungsmerkmale, unterschiedlich ausfallen [18, 19]. Diese Szenarien sind jedoch nicht frei wählbar, sondern müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllen, um wissenschaftlich gültig zu sein, „[d]enn Szenarien in der Technikfolgenabschätzung müssen relevant (bedeutsam), kohärent, plausibel, anschlussfähig und transparent sein, um ihre Funktion zu erfüllen.“ [18]. Bei dieser Methode ist die noch herrschende Unsicherheit über die gesellschaftlichen Auswirkungen von Wearables kein Hindernis, sondern vielmehr das zugrundeliegende Potenzial für die Szenarienbildung: Durch die Offenlegung der Bedingungen für die Realisierung der jeweiligen Zukünfte treten die relevanten Einflussfaktoren zutage und es wird deutlich, welche Gestaltungs- und Handlungsoptionen existieren. Es muss jedoch bedacht werden, dass die prospektive Methode auf Grundlage des gegenwärtigen Wissensstands angewandt wird; nicht intendierte Folgen und sogenannte Wild Cards können daher keine Berücksichtigung finden. Die Zukunftsszenarien sind rein konditional und nicht generalisierbar [18, 19].

3.2 Aufbau der Szenarien

Zur Bildung der Szenarien wurden verschiedene Informationsquellen analysiert: Grundlagenliteratur zu soziotechnischen Entwicklungen, wissenschaftliche und marktorientierte Prognosen sowie konkrete Entwicklungsvorhaben für Wearables und Leitideen der relevanten Akteure. Darüber hinaus wurden exemplarisch Leitfadeninterviews zur Wahrnehmung von Technologieauswirkungen geführt, um verschiedene gesellschaftliche Perspektiven zu erhalten. Darauf aufbauend wird zuerst ein prospektives Business-as-usual-Szenario (das sogenannte Trendszenario) entwickelt, das als Ausgangssituation für die beiden explorativen Extremszenarien fungiert: Ein Best Case- und ein Worst Case-Szenario. (vgl. Abbildung 3.1).

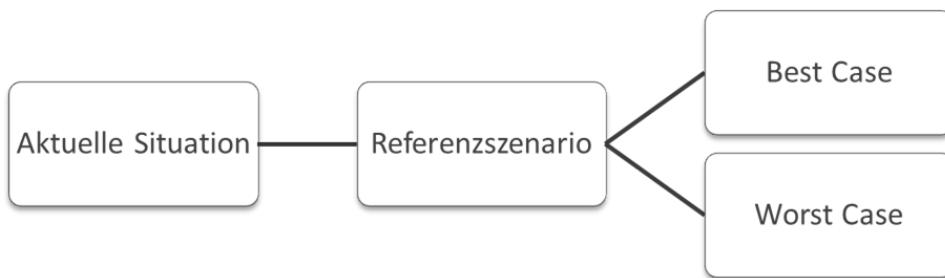


Abbildung 3.1: Ablauf der Szenarienbildung, eigene Darstellung

Die Unterscheidung der beiden Zukunftsszenarien erfolgt durch eine radikale Polarisierung der Merkmale, sodass die relevanten Schlüsselfaktoren zutage treten. Die Einteilung in eine positiv bzw. negativ konnotierte Zukunft erfolgt normativ entlang einer Freiheit-Zwang-Dichotomie: Ausgehend von den im Trendszenario beschriebenen Entwicklungen der Wearables wird das Freiheitsszenario als Best Case-Szenario gebildet, in dem der Mensch an Autonomie und Gestaltungsfreiheit gewinnt. Im Zwangsszenario als Worst Case-Szenario hingegen verliert er an Autonomie und muss sich erzwungenermaßen an die durch Wearables-Nutzung veränderte Situation anpassen.

3.3 Das Szenarienfeld

Die wissenschaftliche Anwendung der Szenariotechnik setzt voraus, dass der Kontext der Szenarien klar definiert ist. Daher wird zum einen die EU als lokaler Rahmen der Szenarien gesetzt: So ist gewährleistet, dass das Blickfeld nicht zu eng begrenzt ist (wie es z.B. bei nationalen Szenarien der Fall wäre). Auch wenn die EU-Staaten aus soziologischer wie normativer Sicht nicht homogen sind, so sind die Gemeinsamkeiten, gefördert durch den institutionellen Überbau, stabil genug, um auch den kulturellen Aspekten beim Umgang mit Technik gerecht zu werden [20]. Die europäische Perspektive ist als offene Begrenzung zu verstehen, die nationale bzw. globale Trends aufnehmen kann, sofern diese die Konsistenz der Szenarien nicht gefährden. Um die Szenarien nachvollziehbar gestalten zu können, ist es außerdem unabdingbar, sich in einem zeitlichen Rahmen zu bewegen, in dem die Entwicklung noch zu extrapoliieren ist. Die Szenarien werden daher in eine ca. fünf Jahre entfernte Zukunft angesetzt. Da gegenwärtiges Wissen über die Zukunft stets unsicher ist, sollte diese Zeitangabe als ungefährer Wert verstanden werden. Das gesellschaftliche System, auf das sich technologische Innovationen auswirken, wird in den Sozialwissenschaften traditionell in Systemebenen unterschieden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich soziotechnische Veränderungen auf allen gesellschaftlichen Ebenen bemerkbar machen. Um dieser Komplexität gerecht zu werden, wird daher, als weitere Einschränkung des Szenariofeldes, der Fokus insbesondere auf die gesellschaftlichen Veränderungen durch Wearables hinsichtlich ihrer Wirkung auf das individuelle Leben gelegt. Weitere Einschränkungen, wie z. B. die Berücksichtigung von Alter oder Geschlecht, werden nicht berücksichtigt, da sie angesichts der breiten gesellschaftlichen Implementierung von Wearables an dieser Stelle zu vernachlässigen sind.

Auch wenn Wearable-Computer als Querschnittstechnologie in den unterschiedlichsten Lebensbereichen Eingang finden, so sollte berücksichtigt werden, dass neue Technik sich womöglich sektorabhängig verschieden bemerkbar machen kann. Um die Auswirkungen von Wearables auf den Menschen sorgfältig untersuchen zu können, werden daher zwei konkrete Sektoren betrachtet: Die Arbeitswelt und das Gesundheitswesen. Diese Bereiche wurden ausgewählt, da sie die Lebenswelt des Menschen wesentlich prägen und dortige Veränderungen das Potenzial haben, gesamtgesellschaftlichen Einfluss zu nehmen. Innovative Technologien halten häufig in frühen Phasen ihrer Entwicklung Einzug in die Arbeitswelt, da dort die Anforderungen, effizient zu handeln, besonders hoch sind. Wearable-Computer passen gut in das Bild der effiziente Arbeitsprozesse unterstützenden Technik, da sie sowohl bei Prozessorganisation und -ablauf als auch beim Arbeitsschutz eingesetzt werden können. Das Gesundheitswesen ist ebenfalls von Technik durchzogen: Vom Zeitpunkt der Geburt über den Umgang mit Gesundheitsrisiken und Krankheiten bis hin zum Tod werden Technologien verwendet, die aus dem medizinischen Alltag nicht mehr wegzudenken sind. Wearables fügen sich in das Feld der Gesundheitstechnologien ein und werden zunehmend in den Bereichen Vorsorge, Barrierefreiheit und Pflege verwendet.

4 Die Ergebnisse der Szenarien

Mithilfe der gebildeten Extremszenarien lassen sich mögliche gesellschaftliche Auswirkungen von Wearable-Technologie ausmachen, die im Folgenden entlang verschiedener Schlüsselfaktoren der Freiheit-Zwang-Dichotomie ausgewertet werden (vgl. Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Überblick über Schlüsselfaktoren der Szenarien, eigene Darstellung

Schlüsselfaktoren	Ausprägungen	
	Best Case-Szenario	Worst Case-Szenario
Techniknutzung	Freiwillige Nutzung	Vorgeschriebene Nutzung
Technikgestaltung	Gestaltungsmöglichkeiten durch Nutzer	Festgelegte Gestaltung
Datenhoheit	Bestimmungshoheit über eigene Daten	Kontrollverlust über eigene Daten
Lebensgestaltung	Selbstbestimmt	Fremdbestimmt

Die Szenarien unterscheiden sich hinsichtlich der Art der **Techniknutzung**. Im Freiheitszenario kann der Mensch selbst entscheiden, ob er Wearable-Computer nutzen will. Es ist zwar denkbar, dass Anreize geschaffen werden; sie müssen jedoch nicht angenommen werden. Werden sie getragen, so bestimmt der Nutzer, wann und unter welchen Umständen sie genutzt werden. Es existieren alternative Handlungsoptionen, die in ihrer Nutzung mit den Wearables gleichgestellt sind. Im Zwangsszenario hingegen ist die Verwendung dieser Technologie obligatorisch. Eine Verweigerung führt dazu, dass bestimmte Möglichkeiten, die an die Nutzung dieser Computer gekoppelt sind, wegfallen. Es wird erwartet, dass das Individuum die Geräte jederzeit nutzt. Ist dies nicht der Fall, so wird dies mindestens durch Ausgrenzung sanktioniert. Bei diesem Zukunftsbild ist die Nutzung von Wearables sozial erzwungen.

Die **Technikgestaltung** geschieht im bestmöglichen Fall durch den Nutzer. Es liegt in seinem Ermessen, über welche Benutzerschnittstelle Daten ein- und ausgegeben werden. Zudem entscheidet er, welche Informationen in welchem Umfang und zu welchem Zeitpunkt erhalten und abgegeben werden. Die Wahl der Wearable-Programme ist ebenfalls frei (z. B. Nutzung von Open Source-Programmen). Die Gestaltung ist in diesem Szenario in Gänze auf die Bedürfnisse des Nutzers ausgelegt. Anders verhält es sich im Negativszenario: Hier sind die Details der Wearable-Funktionen festgelegt. So werden Informationen über voreingestellte Benutzerschnittstellen automatisch empfangen oder ausgegeben, ohne dass dies manuell vom Nutzer eingestellt werden kann. Wearable-Computer unterstützen zudem nur vorgegebene Programme, wodurch alternative Informationen nicht berücksichtigt werden. Der individuelle Nutzer hat in diesem Zukunftsbild kaum Gestaltungsmöglichkeiten.

Im Freiheitszenario hat der Mensch die **Datenhoheit**. Er weiß, was von ihm aufgezeichnet wird und hat Zugriff auf sämtliche Daten. Es steht ihm frei, zu welchen Zwecken er diese Informationen nutzen möchte. Die Entscheidung, mit wem Daten geteilt werden, obliegt ihm ebenfalls. Die Datenhoheit kann dem Individuum jedoch auch entzogen werden: In diesem pessimistischen Szenario hat der Nutzer keine Übersicht darüber, welche Informationen von bzw. über ihn aufgezeichnet werden. Diese werden nicht (nur) für seine persönlichen Zwecke genutzt, sondern auch von Dritten dazu verwendet, Aktivitäten nachzuvollziehen und Nutzerprofil zu erstellen. Das Individuum hat keine Kontrolle über seine Daten.

Zusammengenommen kann die **Lebensgestaltung** des Individuums durch Wearables einerseits sehr frei ausfallen. So ist es im optimistischen Szenario nicht von Bedeutung, wann und wo sich der Mensch aufhält: da Daten von überall aufgenommen, verarbeitet und genutzt werden können, ist die Gestaltung des Alltags flexibel. Die Möglichkeit, jederzeit auf Informationen zuzugreifen und sich mit Dritten auszutauschen, bringt einen enormen Wissenszuwachs mit sich. Andererseits können Wearables die Gestaltung des Alltags auch einschränken. Im Neg-

tivszenario wird der Mensch auf die auslesbaren Daten reduziert, nicht quantifizierbare Informationen finden keine Beachtung. Da bestehende Informationen immer abrufbar sind, müssen diese auch genutzt werden, sodass kein Raum mehr für neue Ideen bleibt. Das erzwungene Teilen von Informationen führt dazu, dass Dritte jeden Schritt des Individuums kontrollieren oder gar vorgeben können.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchung der gegenwärtig abschätzbaren Entwicklung der Wearable-Technologie zeigt, dass ihre Auswirkungen auf den Menschen sehr unterschiedlich ausfallen können. Entscheidend dafür sind die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen: Ist der Mensch autonom in seiner Entscheidung, ob und wie er Wearables verwendet, so kann diese Technologie viele Möglichkeiten bieten, sein Leben frei zu gestalten. Bestimmen jedoch andere Akteure über die Nutzung durch sozialen Druck, institutionelle Vorgaben und staatliche Regulierungen, so kann es dazu führen, dass der Mensch in seinen Möglichkeiten eingeschränkt wird. Die gesellschaftlichen Auswirkungen von Wearables sind letztendlich davon abhängig, wer in welchem Maße über die Schlüsselfaktoren und über die weitere Gestaltung dieser technischen Innovation entscheidet.

Aus heutiger Sicht birgt Wearable-Technologie viele Möglichkeiten, sowohl mehr Freiheit als auch mehr Zwang für den Alltag des Individuums mit sich zu bringen. Derzeit sind teilweise sich widersprechende Entwicklungen zu beobachten, die als Schritte hin zur Realisierung des Worst Case- wie des Best Case-Szenarios interpretiert werden können: Große Technologieunternehmen tendieren scheinbar dazu, geschlossene technische Ökosysteme zu schaffen, die den Nutzern nur wenige Handlungsoptionen eröffnen. Auf Start Up-Ebene wiederum finden sich kleine Unternehmen wie Angel Sensor [21], die eine Situation anstreben, die dem Best Case-Szenario entspricht. Daran wird ersichtlich, dass die Entscheidung, welche Szenarien verwirklicht werden könnten, durch verschiedene Akteure beeinflusst wird, wobei die Machtverhältnisse eher unklar sind: Unternehmen und Konsumenten wurden bereits angesprochen - der Gesetzgeber jedoch hat die regulatorische Kompetenz, entsprechende Vorgaben zu machen.

In welcher Weise Wearable-Technologie unser alltägliches Leben in Zukunft beeinflussen wird, ist, auch wenn sich bereits konkrete Trends abzeichnen, noch nicht in Gänze abzusehen. Jedoch lässt sich angesichts der bisherigen Entwicklung der Technologie die Aussage treffen, dass deren faktischen Auswirkungen wohl weder dem Best Case- noch dem Worst-Case-Szenario vollends entsprechen werden. Vielmehr kann man davon ausgehen, dass sie auf dem breiten Kontinuum zwischen Autonomiegewinn und -verlust verstreut sein werden – und die Tendenzen abhängig von den nächsten Gestaltungsschritten sind.

6 Literatur

- [1] St. Mann: Wearable Computing as means for personal empowerment. Online verfügbar unter: <http://wearcam.org/icwckeynote.html>. Zuletzt aufgerufen am 22.08.2016, 1998.
- [2] Th. E. Starner: How Wearables Worked their Way into the Mainstream. In: IEEE Pervasive Computing, 13(4), S. 10-15, 2014.
- [3] B. Crabtree, Br. J. Rhodes: Wearable computing and the remembrance agent. In: BT Technology Journal, 16 (3), S. 118-124, 1998.
- [4] St. Mann, H. Niedzviecki: Cyborg. Digital Destiny and Human Possibility in the Age of the Wearable Computer. Toronto: Doubleday, 2001.

- [5] M. Friedewald, O. Raabe, P. Georgieff, D. J. Koch, P. Neuhäusler: *Ubiquitäres Computing. Das „Internet der Dinge“ – Grundlagen, Anwendungen, Folgen.* Berlin: Edition Sigma, 2010.
- [6] M. Weiser: The Computer for the Twenty-First Century. In: *Scientific American*, 265 (3), S. 94-104, 1991.
- [7] Th. E. Starner: Wearable Computers: No Longer Science Fiction. In: *IEEE Pervasive Computing*, 1 (1), S. 86-88, 2002.
- [8] M. E. Clynes, N. S. Kline: Cyborgs and space. In: *Astronautics*, 5 (9), S. 26-74, 1960.
- [9] K. Warwick: Cyborg morals, cyborg values, cyborg ethics. In: *Ethics and Information Technology*, 5, S. 131-137, 2003.
- [10] N. Harbisson: A cyborg artist. Online verfügbar unter: <http://i-docs.org/wp-content/uploads/2014/01/Neil-Harbisson-A-cyborg-artist.pdf>. Zuletzt aufgerufen am 22.08.2016, 2013.
- [11] J. L. Dvorak: Moving Wearables into the Mainstream. *Taming the Borg.* New York: Springer, 2008.
- [12] St. Mann: Wearable Computing: A First Step Toward Personal Imaging. In: *Cyber-square Computer*, 30 (2), S. 25-32, 1997.
- [13] H. Braun-Thürmann: Innovation. Bielefeld: Transcript, 2005.
- [14] J. A. Schumpeter: Capitalism, Socialism and Democracy. New York: Harper Perennial, 2008 [1943].
- [15] CCS Insight: Wearables Momentum Continues. Online verfügbar unter: <http://www.ccsinsight.com/press/company-news/2516-wearables-momentum-continues?format=pdf>. Zuletzt aufgerufen am 23.08.2016, 2016.
- [16] Gartner: Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies the Computing Innovations That Organizations Should Monitor. Online verfügbar unter: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>. Zuletzt aufgerufen am 23.08.2016, 2015.
- [17] I. Beres: Fitnessarmbänder: TK erwägt Belohnung von Bewegungsmessung. In: *Spiegel Online* (23.08.2016). Online verfügbar unter: <http://www.spiegel.de/gesundheit/diagnose/tk-erwaegt-nutzung-von-fitnessarmbaendern-zu-belohnen-a-1108870.html>. Zuletzt aufgerufen am 31.08.2016.
- [18] A. Grunwald: Technikfolgenabschätzung: Eine Einführung. Berlin: Edition Sigma, 2010.
- [19] H. Kosow, R. Gaßner: Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse. Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien. Berlin: IZT. Online verfügbar unter: https://www.izt.de/fileadmin/publikationen/IZT_WB103.pdf. Zuletzt aufgerufen am 31.08.2016, 2008.
- [20] Eurostat: Information society. In: Eurostat (ed.): *Eurostat regional yearbook 2014.* Publications Office of the European Union, S. 172-186, 2014.
- [21] <http://www.angelsensor.com/>. Zuletzt aufgerufen am 31.08.2016.

Mobile Interaction Concepts for the Future Technician

J. N. Czerniak, T. Hellig, C. Brandl, A. Mertens, C. M. Schlick

Institute of Industrial Engineering and Ergonomics of RWTH Aachen University
Ergonomics and Human-Machine Systems
Bergdriesch 27, 52062 Aachen
{j.czerniak, t.hellig, c.brandl, a.mertens, c.schlick}@iaw.rwth-aachen.de

Kurzzusammenfassung

„Mobile Interaktionskonzepte für den Facharbeiter der Zukunft“

Moderne Werkzeugmaschinen müssen sich den Herausforderungen der vierten industriellen Revolution stellen. Die Konsequenz daraus ist die hochkomplexe Funktionalität der Maschinen. Entsprechende Steuerungskonzepte wurden jedoch bisher nicht an diese Anforderungen angepasst. Durch mobile Interaktionskonzepte, kann der Facharbeiter zukünftig bei seiner Arbeit besser unterstützt werden, wodurch die mentale Beanspruchung reduziert werden kann. Mit einem Blick auf den Konsumentenmarkt lassen sich intuitive Technologien finden und auf Werkzeugmaschinen anwenden. In jedem Fall muss vor dem Hintergrund einer ergonomischen Auslegung der Mensch-Maschine-Interaktion, sichergestellt werden, dass der Facharbeiter nicht mit Informationen überladen wird. Gegenstand dieses Beitrags ist die Konzeption der Mensch-Maschine-Interaktion durch die aufgabenspezifische Auswahl sich ergänzender Technologien mit Hilfe eines morphologischen Kastens.

Abstract

Modern machine tools are subject to the challenge of the fourth industrial revolution which results in a highly complex machine functionality whilst controlling concepts have not been adapted proportionally yet. By using mobile interaction concepts, technicians can gain enhanced support in information transfer in the future, and thus cognitive load can be reduced. Regarding the consumer market, plenty of intuitive technologies, can be identified and adapted to machine tools. Considering an ergonomic human-machine interaction design, it is necessary to ensure that the technician will not be overloaded with information. This article is about corresponding concepts by task specific selection of supplementary technologies, using a morphological box.

Keywords: Cyber physical production systems, human-machine interaction, fourth industrial revolution, machine tool control, mobile interaction concepts

1 Introduction

Caused by the technical change in the production industry, modern machine tools were developed into highly technologically advanced systems. These are still controlled by a stationary control unit on the machine today, which no longer withstands the demands of current developments resulting in an unproductive production process. Numerous ancillary tasks exist, requiring spatial flexibility of the technician. As a consequence, a high cognitive load emerges from insufficient technical support systems [1]. Thus, the technician could be better supported

by implementing innovative interaction concepts for information transfer in future human-machine systems. This article therefore introduces a mobile interaction concept, which is based on a future vision of a multiple machine tool control with remote monitoring. The basic requirement for designing the human-machine interaction is to consider abilities and skills of the operating human in the context of use and to specify usage requirements [2]. Design dimensions are thereby based on human information processing [3]. Furthermore information displayed on the interface should consider usability aspects of the Standard DIN EN ISO 9241-12 [4] resulting in a quick and easy information perception, a rapid extraction of essential elements, as well as a facilitated cognitive information processing. In addition, it is essential to design the implementation of decision-making processes in the system of human-machine interaction intuitively by adapting to human behavior [3].

1.1 Theoretical background

Dimensions for user centered design are subject to the limitations of human information processing. Thus, the ergonomic design of human-machine interfaces requires deeper knowledge of each of the following processes [3, 5]:

- (1) Information input (early processes),
- (2) Information processing (central processes) and
- (3) Information output (late processes).

In the first step a given stimulus is perceived by the human sense organs (1). Afterwards this stimulus is processed and finally transformed into the preparation and regulation of a movement. To simplify information processing and to support the machine operator, information has to be displayed, so that perception speed and easiness is optimized. This guarantees that all the essential information is recognized by the operator. The information is transferred from human to machine by means of input devices, and in the opposite direction by means of output devices. These components influence the operator in all stages of information processing. Hence, the interaction design with respect to all system devices is decisive to gain optimized mental load while working in technical systems [3]. Strain is therefore defined as the intensity of cognitive processes at all stages of human information processing. The stress-strain-concept defines strain regarding a working person as a subjective physical or mental reaction to a certain amount of stress, whereas stress is the result of certain objective factors, such as work and environment conditions. The height of the reaction's extend is dependent on several internal and external factors, e.g. capabilities or environment requirements, and is consequently an individual characteristics [6]. In this context overstrain is equivalent to subchallenge regarding working performance. Both lead to a decrease in performance [7].

A theoretical approach for the information flow in human-machine systems and quantify stress parameters is Marienfelds model of the user as controller and the machine as controlled system [8][9]. The machine's information output is being processed in the human central nervous system and transformed to an action in the musculoskeletal system by means of control elements to adjust control variables to reference variables.

The author of this article extended the described approach for modelling information processing in human-machine systems and adapted it to the stress-strain concept (see figure 1.1).

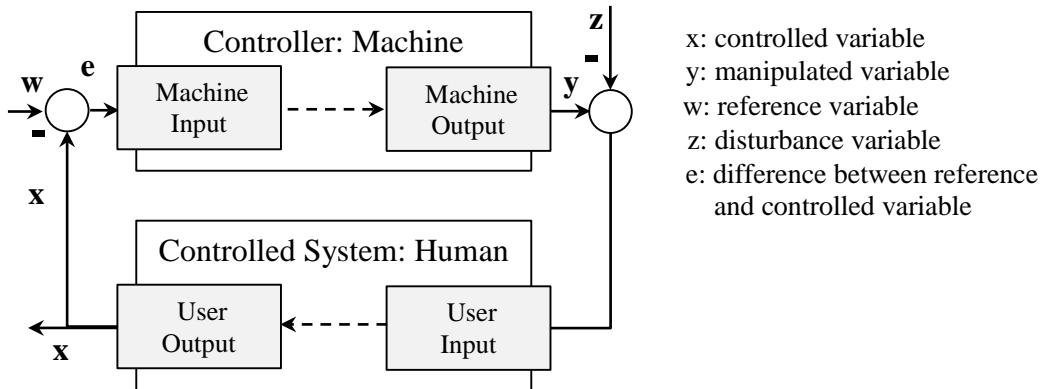


Figure 1.1: Extended model of information processing in human-machine systems concerning the stress-strain concept (According to [3, 6, 8])

Therefore the reference variable is modeled by the optimal strain level. The controlled variable strain, is to be adapted to this value. The manipulated variable in this case is stress, which influences the controlled variable within the controlled system. Furthermore, the system underlies internal and external disturbance variables, which lead to an unpredictable system behavior, such as individual capabilities or workflow. A significant difference according to Marienfeld's model is to model the machine as controller and human as controlled system. In this approach the Machine is able to adapt to individual capabilities, form of the day, or environment influences. The actual strain can be evaluated by measurement technologies and regulated by means of the interaction concept.

1.2 State of the art

In the actual situation in production systems, machine tool controlling does not ensure efficient and effective human-machine interaction for the operator. Due to constantly rising complexity of machine functionality, as well as still missing adaption of the human-machine interface, the present technician faces a lack of intuitive possibilities for controlling modern machine tools [10]. However, former research has shown that usercenterd interaction design has the potential to reduce errors and to increase effectiveness and efficiency [11]. Moreover, the state of the art is a stationary interface located near the machine, although numerous secondary tasks exist, which require information delivery independent from the operator's location according to the machine [12]. An Interview with employees of five different machine tool companies demonstrates actual deficits in machine tool controls, due to stationary interfaces, high complexity of functionality and menu structure and incomprehensible error messages [13]. Furthermore, empirical results, by the example of a common machine set-up task show that only 20% of the subtasks take place at the stationary HMI and that they are distributed over the whole time, which leads to interruptions of the task and continuous changes of location [12].

1.3 Innovative interaction technologies

Prior research demonstrates that HMI design has the potential to improve the strain level of the operator. On the one hand, the interaction concept can be determined according to the use case, for instance by using mobile technologies that allow spatial mobility. On the other hand the mental strain can be reduced by optimizing the information processing itself. The future technician therefore will be supported by a suitable interaction concept as well as innovative technologies. In the present approach this will be realized by a selection of technologies that cover

all possible feasible technologies for a future vision of a user-oriented interaction concept for the context of use of multiple machine tool controls (see figure 1.2).

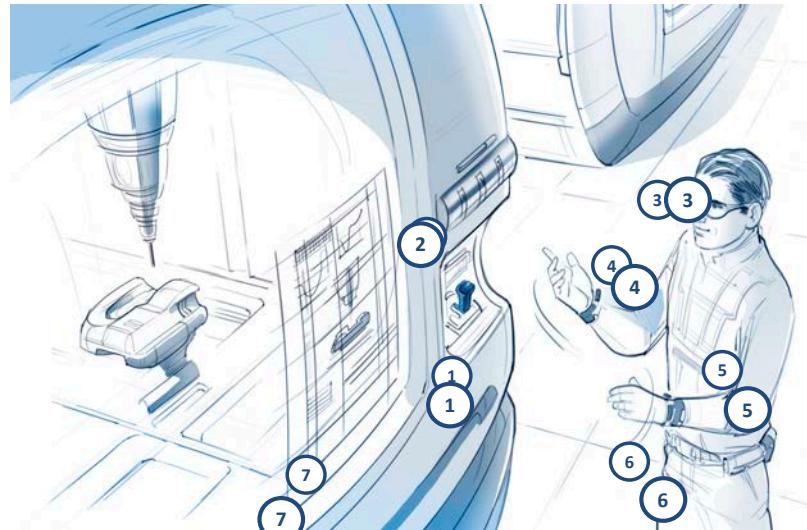


Figure 1.2: Selection of technologies for multiple machine tool controls to support future technicians (1) stationary control unit, (2) camera sensor, (3) data glasses, (4) projection wristband, (5) smart textiles, (6) gesture control wristband and smartwatch and (7) display foil

This technology selection shows numerous devices that are designed to support the technician in the given future scenario of handling a machine tool on which the interaction directly takes place and, moreover, controlling additional remote machines. However, some of the selected devices offer similar functions, such as the location-independent information output of the smartwatch, data glasses or projection wristband. In this approach the input can also be executed redundantly, for instance via gestures and camera sensor system. Following usability requirements the ergonomic design of the human-machine interface should be focused. To avoid an overload of the future technician with technologies, an adaption of the technologies to the context of use is required. Furthermore, it is also possible to ergonomically assist the future technician beyond information transfer, for instance by supporting his awareness of important information. To state assumptions about the quality of the developed interaction process, the actual strain must be measured by means of the used respective devices. Subsequently, appropriate measures can be initiated. In summary, the resulting requirements for designing an appropriate interaction concept for multiple machine tools controls are:

- to avoid information overload,
- to make an appropriate selection of support possibilities,
- a modular, context specific coordination of interaction concepts,
- an error-tolerant design of human-machine interaction for difficult environment factors (noise, dust, heat etc.) and
- a stressed optimized support (no under- or overload).

In order to develop an interaction concept that fulfills these requirements, the author of this article developed a comprehensive technology catalogue according to technology functions (Figure 1.3). Besides information input and output the figure shows the possible application of the devices for strain measurement and support functions concerning human information transfer processes. On this basis, suitable technologies can be selected methodically in the next step.

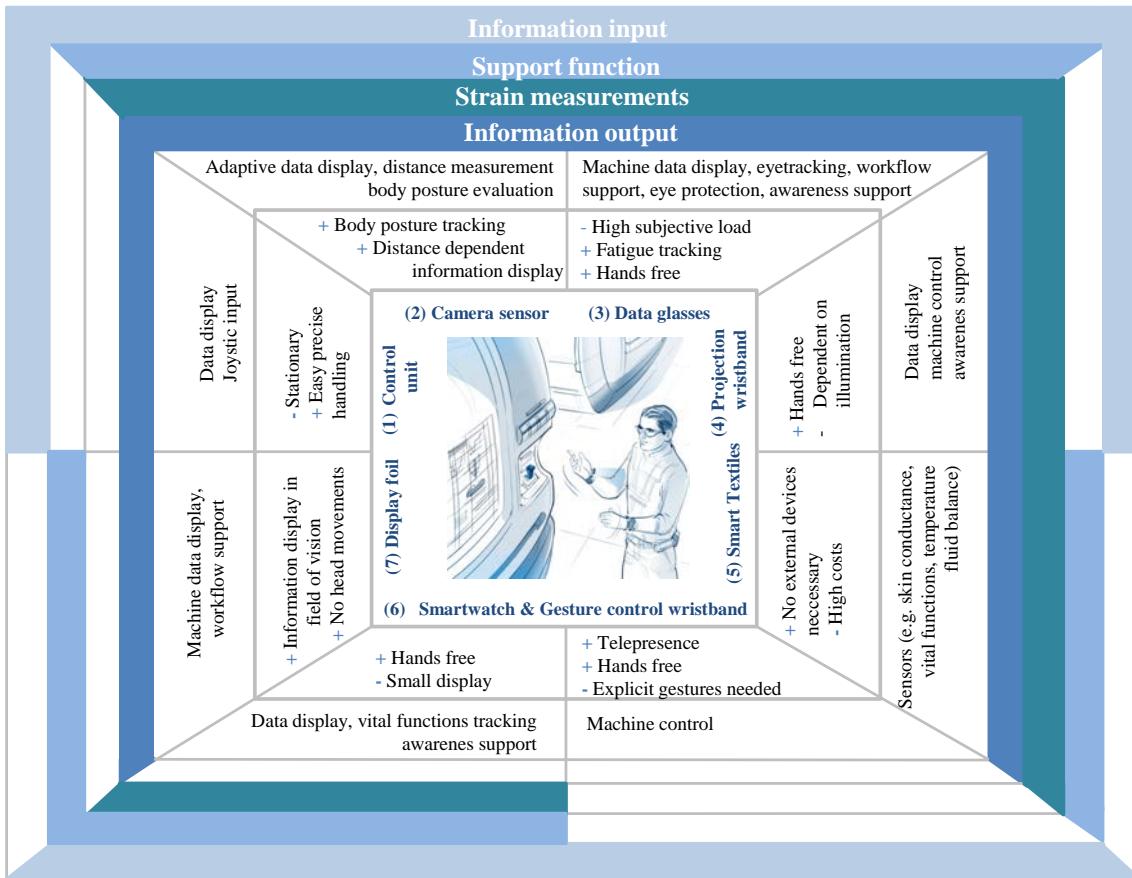


Figure 1.3: Technology catalogue for multiple machine tool controls to support future technicians

2 Method

To translate the determined requirements (see chapter 1.3) into a task suitable interaction concept by selecting an appropriate number of technologies with optimal interaction support from the technology catalogue (figure 1.3) a systematic approach is essential. A possible procedure to develop an interaction concept considering the given requirements is to systematically combine single solutions out of a variety of the given solutions. The VDI Guideline 2222 Page 1 [14] provides a constructional approach to select a single solution by combining various partial solutions by means of a morphological box, which was applied to the information transfer in human-machine systems [3]. For this purpose the overall function needs to be divided in its elemental functions initially. In a subsequent step single interaction solutions can be identified for each subfunction and recombined to an overall interaction concept by means of a morphological box. Figure 2.1 visualizes the function structure of the subfunctions for the overall function “Human-machine interaction”.

Basically the function structure contains two main parts, machine functions (interaction directly takes place on the machine interface) and human functions (remote interaction via mobile devices). The machine functions on the one hand can be divided into their elemental subfunctions “Machine Output” and “Machine Input”, the human functions on the other hand consist of the elemental functions “User Input” and “User Output”. According to that, the human material flows through subfunctions of both parts, as the machine control as well as the remote control has to be operated by the human, whereas the machine material only flows through machine

subfunctions, as remote control is not location-dependent. The information flow on the other hand does not underlie this limitation, therefore it goes through both functions.

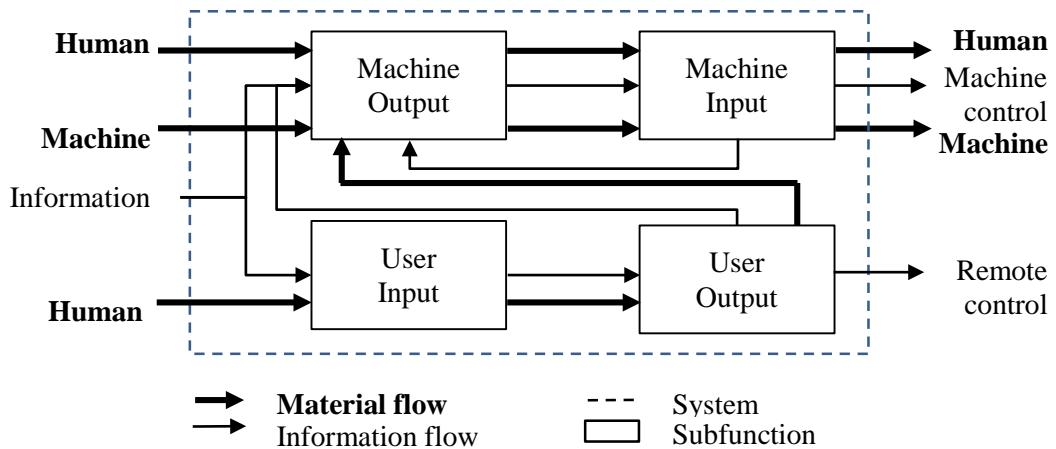


Figure 2.1: Function structure of subfunctions of the information transfer in human-machine systems for multiple machine tool controls

In a morphological box these subfunctions can now be assigned to individual solutions of the information transfer model in human-machine systems. By combining these individual solutions several solution variations can be developed, and can finally be evaluated [14].

Table 2.1 shows solution variations for the information transfer in human-machine systems per subfunction [3].

Table 2.1: Morphological box for the information transfer in human-machine systems for multiple machine tool controls per subfunction; (*combined with visual stimuli only)

#	Subfunction	Information transfer solution				
		A	B	C	D	E
1	Machine Output	optical	acoustic	*haptic		
2	Machine Input	control element	speech input	gesture control	tracking system	
3	User Input	visual	auditive	*kinesthetic	*tactile	olfactory
4	User Output	manual	verbal	gesture	movement	

Certain individual solutions that could already be eliminated regarding the context of use are marked in grey. A mandatory requirement for successful acoustic stimuli for instance is a low background noise, which is not guaranteed in machine halls, hence column B can be eliminated in this approach. Furthermore, exclusively haptic stimuli can be excluded for the subfunctions “Machine Output” as well as “User Input” beforehand, due to its limited information content

[15]. However, in addition to visual stimuli the received redundancy can support information perception. Haptic stimuli in subfunctions “Machine Output” and “User Input” can therefore be combined with visual stimuli [15]. Furthermore, manual user output is not appropriate for remote control and can be excluded. Moreover olfactory information input is limited to scenting the smell of oil or coolant, etc. [3]. According to this approach, possible solutions stem from variations of the following subfunction combinations: 1A-2A/2C/2D-3A-4C/4D.

3 Results

These subfunction combinations can be matched with technologies from the comprehensive technology catalogue (see figure 1.3) according to their function.

Table 3.1 shows suitable technologies for the single solution alternatives per subfunction. These can now be evaluated considering the defined requirements for designing an appropriate interaction concept for multiple machine tools controls (see chapter 1). To gain an optimal technology selection, it has to be assured, that a context specific number of technologies cover all necessary supporting functions for the context of use. In this case the technician has to be able to interact with different remote machines, and needs continuous information about their current status. Hence, the risk exists that a multitude of machines will cause an information overload, therefore information output as well as the variety of technologies needs to be matched carefully.

Table 3.1: Suitable technologies for the information transfer of human-machine systems per subfunction; (*combined with visual stimuli only)

#	Subfunction	Solution	Information transfer	Suitable technologies
1	Machine Output	A	optical (*haptic)	Data glasses, projection wristband, Display foil (*smartwatch)
		A	control element	Control unit, projection wristband, smartwatch
2	Machine Input	C	gesture control	Gesture control wristband
		D	tracking system	Camera sensor
3	User Input	A	visual (*kinesthetic/tactile)	projection wristband, data glasses, (*smartwatch)
4	User Output	C	gestural	Gesture control wristband
		D	movement	Camera sensor

Furthermore the given scenario implies several limitations. Taking into account that the technician has a relatively high need for information during direct interaction with the machine, the display foil is suitable, for it is placed at the machine housing and offers a large sized display. Whereas small sized mobile technologies as machine output and input devices can be eliminated, because of the simultaneous need of information provision about all relevant process, machine status data and the demand of executing commands. The interaction per wristband or camera sensor system is therefore more suitable for controlling operations. However, mobile devices, in this regard are more appropriate for remote monitoring, because only information

about the machine status or alarms are required here. The smartwatch gives optimal perception support because it disposes of vibration in addition to visual information to support information perception. Furthermore vital functions can be recorded and gestures can be used for information output. The camera sensor, in contrast to the gesture wristband, provides an additional support function and therefore is preferred for the information input as well as output.

4 Discussion

The introduced method of a morphological box is suitable for the selection of appropriate technologies from a range of possible technologies that have the ability to offer a relevant support for the technician according to the given context of use. Moreover, in a different context it is conceivable to replace the technology catalogue by suitable technologies for the specific task with respect to corresponding requirements. In the elaborated interaction concept the future technician disposes of a display foil, a camera sensor, and a smartwatch as an extension of the stationary control unit. This interaction concept fulfills the formulated requirements by ensuring that the selected technologies are complementary within the framework of the context of use. All machine data is displayed on the foil for direct machine interaction as usual, but can be extended e.g. by workflow support. As an additional feature, important information such as alarm messages or process states can be send from stationary interface to the operator's mobile devices, e.g. via Bluetooth, to ensure located independent information delivery. Thus the technician only receives relevant information for the specific work task. In addition, the interaction concept ensures that the technician is supported in perception, which reduces his mental strain. Yet it must also be taken into account that the concept is based on an arbitrary composed technology catalogue, which does not include all possible technologies and moreover is limited by the introduced model of information transfer in human-machine systems.

5 Conclusion and implications

Technicians are currently supported insufficient by actual human-machine interaction concepts in controlling machine tools, whilst often errors and delays in the production process occur. Intuitive interaction concepts, which extend the stationary control unit by mobile input and output devices, have the potential to significantly support technicians of the future in their decision-making. Therefore, it must be ensured that a coherent concept fulfills the demands of ergonomics. In the present paper a methodical approach for a support system, based on a technology catalogue, was introduced. For this purpose, a qualitative evaluation was made based on a morphological box. Future research will focus on the elaboration of further interaction concepts in specific use cases.

6 Acknowledgements.

The Research is funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), Project: MaxiMMI, according to Grant No. 16SV6237, supervised by the VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. The authors would like to express their gratitude for the support given.

7 Literature

- [1] W. Herfs, D. Kolster, W. Lohse: Handlungsorientiertes Werkzeugmaschinen-HMI. In: atp edition 55 (11), S. 32-41, 2013.
- [2] DIN EN ISO 9241-210: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Beuth, Berlin, 2010.

- [3] C. M. Schlick, R. Bruder, H. Luczak: Arbeitswissenschaft. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 969-971, 2010.
- [4] DIN EN ISO 9241-12: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 12: Informationsdarstellung. Beuth, Berlin, 2000.
- [5] H. Luczak: Untersuchungen informatorischer Belastung und Beanspruchung des Menschen. In: VDI-Zeitschrift 10 (2), 1975.
- [6] W. Rohmert: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 38 (4), S. 193-200, 1984.
- [7] B. H. Kantowitz, J. L. Campbell: Pilot workload and flightdeck automation. In: R. Parasuraman, M. Mouloua (Publisher): Automation and Human Performance. Theory and Applications. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, S. 135-136, 1996.
- [8] H. Marienfeld: Modelle für den Regler „Mensch“. In: Der Mensch als Regler. VEB Verlag Technik, Berlin, 1970.
- [9] H. Luczak: Arbeitswissenschaftliche Untersuchungen von maximaler Arbeitsdauer und Erholungszeiten bei informatorisch mentaler Arbeit nach dem Kanal-und Regler-Mensch-Modell sowie superponierten Belastungen am Beispiel Hitzearbeit: VDI-Verlag, 1979.
- [10] E. Abele, G. Reinhart: Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Hanser, 2011.
- [11] L. O. Bligård, A. L. Osvalder: CCPE: Methodology for a Combined Evaluation of Cognitive and Physical Ergonomics in the Interaction between Human and Machine. In: Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries edition 24 (6), S. 685-711, 2014.
- [12] T. Hellig, J. N. Czerniak, S. Sittig, C. Brandl, A. Mertens, C. Brecher, C. M. Schlick: Potenziale für die Arbeit an Werkzeugmaschinen durch Erweiterungen von Mensch-Maschine-Schnittstellen um mobile Geräte zur Steuerung und Überwachung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Publisher): Arbeit in komplexen Systemen - digital, vernetzt, human?! 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University, Institut für Arbeitswissenschaft (IAW), 2.-4. März 2016. Dortmund: GfA-Press, S. 1-6, 2016.
- [13] T. Hellig, S. Kuz, C. M. Schlick: Requirement analysis of multimodal human-machine interfaces for machine tools. In: G. Lindgaard, D. Moore (Publisher): The Proceedings of the 19th Triennial Congress of the IEA, S. 1-8, 2015.
- [14] VDI 2222 Blatt 1: Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1997.
- [15] D. Zühlke: Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen – Useware-Engineering für technische Systeme. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 8-21, 2010.

Wissen die Menschen, was sie wirklich wollen?

Widersprüche in der Anforderungsanalyse und methodische Vorgehensweise am Beispiel von Gesundheitsmonitoring für ältere Menschen

K. Herrmann, A. Dogangün

Universität Duisburg-Essen, Personal Analytics

Forsthausweg 2, 47057 Duisburg

katja.herrmann@uni-due.de, ayseguel.doganguen@uni-due.de

Kurzzusammenfassung

Der Markt gesundheitsbezogener Selbstmonitoringanwendungen boomt. Diesbezüglich wurde bisher geringer Forschungsaufwand zu spezifischen Anforderungen von Nutzern 50+ betrieben. Auch stellt sich die Frage, ob die Mehrheit der breiten Nutzergruppe über das notwendige Wissen und Technikverständnis verfügt, ihre Anforderungen an ein solches System klar zu definieren. Am Beispiel von durchgeführten Interviews zeigt dieser Beitrag konkrete Schwierigkeiten der Befragten auf, ihre Anforderungen an ein persuasives Gesundheitsmonitoringsystem zu definieren, und diskutiert die Ursachen hierfür. Der Beitrag schließt mit einer Diskussion darüber, wie der Problematik widersprüchlicher Antworten in Anforderungserhebungen begegnet und Unterstützung der Befragten bei der Identifikation ihrer Wünsche an ein Gesundheitsmonitoringsystem realisiert werden kann.

Abstract

“Do people know what they want? Inconsistencies within requirements analysis and derived methodological approach by the example of Health Monitoring for elderly people”
There is a booming market of health-related self-monitoring applications. However, until now there is little research to identify specific demands of users 50+. Moreover the question is, if the majority of this broad user group has sufficient (technological) knowledge to define their demands. By the example of interviews we conducted, this article shows concrete difficulties of the interviewees to define their requirements concerning persuasive health-monitoring systems and discusses the reasons. The article concludes with a discussion about the problem of inconsistent answers in requirements analysis and how to support interviewees in identifying their demands.

Keywords: Health Monitoring, Persuasive Technology, Requirements Analysis, Best Ager

1 Forschungsstand

Der Markt an gesundheitsbezogenen Selbstmonitoringangeboten boomt. Die Mehrzahl fokussiert die Zielgruppen der Fitnessbegeisterten und der Personen mit dem Wunsch, Gewicht zu verlieren. Anwendungen, die sich spezifisch an ältere Menschen richten, sind die Ausnahme. So finden sich beispielsweise unter den ersten 100 Ergebnissen der Suchanfrage „Senioren Fitness“ im Bereich Apps des Google-play-Store lediglich sechs Activity-Tracking-Anwendungen, die sich spezifisch an ältere Menschen richten (Stand: 14.10.2016). Für die Suchanfrage

„Senioren Gesundheit Tracking“ werden insgesamt nur 23 Treffer gelistet, von denen vier Gesundheitsmonitoring-Apps sind, die sich spezifisch an ältere Nutzer richten oder zumindest ein separates Modul für diese Nutzergruppe bereitstellen (Stand: 14.10.2016). Wird lediglich nach „Fitness“ oder „Gesundheit Tracking“ gesucht, enthält die Trefferliste keine einzige solcher Anwendungen spezifisch für die Zielgruppe der älteren Menschen (Stand: 14.10.2016).

Die Bandbreite der in solchen Apps betrachteten Bereiche reicht von körperlicher Aktivität über Blutzuckermessung bis hin zum Mediennutzungsverhalten. Viele Systeme kombinieren mehrere dieser Bereiche. Bei den Zielgruppen der Fitnessbegeisterten und der Personen mit dem Wunsch Gewicht zu verlieren liegt die (vielfach gewählte) Kombination aus Bewegung und Ernährung auf der Hand. Dies ist in anderen Fällen weniger offensichtlich. So ist für Gesundheitsmonitoringsysteme, die sich an eine ältere Zielgruppe richten und ein gesundes Altern fördern sollen, aufgrund von Multimorbidität eine Vielfalt von Gesundheitsbereichen und Parametern aus gesundheitswissenschaftlicher Sicht relevant. Welche jedoch von den Nutzern priorisiert werden, ist kaum erforscht.

Auch hinsichtlich der Gestaltung von Gesundheitsmonitoringsystemen ist bisher wenig über deren Eignung für eine ältere Nutzergruppe bekannt. Während die mit neuer Technologie vertraute Generation, insbesondere die der *Digital Natives*, ihre Anforderungen hinsichtlich solcher Systeme, wie beispielsweise erweiterte und genauere Messungen, relativ klar vor Augen zu haben scheint, sind die spezifischen Anforderungen von Nutzern ab 50 Jahren bisher relativ unerforscht.

In einem ersten Schritt in diese Richtung untersuchte eine Studie der AARP (American Association of Retired Persons) in Kooperation mit mehreren Wirtschaftsunternehmen die Eignung von marktüblichen Fitness Trackern für Personen über 50 Jahre im Hinblick auf Funktionsumfang, Darstellung und Handhabung [1]. Insgesamt 92 Teilnehmende der genannten Altersgruppe wurden mit Fitness Trackern (Fitbit, Jawbone, Misfit, Withings und weiteren) ausgestattet und zur Nutzung befragt. Die Ergebnisse zeigen Schwierigkeiten bei der Kalibrierung der Geräte, Datenverlust und den Eindruck der Probanden, dass die Tracker nicht für Senioren entworfen seien. Ihre Wünsche beinhalteten eine einfache Messung biometrischer Daten (Blutzucker, Herzrate) und komfortablere Sport-Armbänder. Aufgrund alternder Haut waren viele Tracker nicht gut zu tragen. Dennoch gaben 67% der Teilnehmer an, dass Activity Tracker für sie nützlich seien.

Ein ähnliches Ergebnis zeigt eine Arbeit von Preusse et al. [2], die sich am Beispiel von Fitbit One und myfitnesspal mit der Absicht älterer Menschen beschäftigte, Wellness-Management-Technologien zu nutzen. Die Forscher führten eine Studie mit 16 Teilnehmenden im Alter von 65 bis 75 Jahren durch, in der die Nutzenden eine der oben genannten Technologien 18 Tage lang testeten und anschließend angaben, ob sie das System weiter nutzen würden oder nicht. Dreiviertel der Teilnehmer entschieden sich für eine Weiternutzung, ein Viertel dagegen. Interessant ist, dass beide Gruppen sowohl positive als auch negative Aspekte hinsichtlich der Handhabbarkeit nannten. Die Nützlichkeit des Systems wurde hingegen nur von denjenigen positiv beurteilt, die sich auch für die Nutzung aussprachen, sodass anzunehmen ist, dass dieser Aspekt die Nutzungsentscheidung maßgeblich beeinflusst hat. Daher empfehlen die Autoren sowohl die Handhabbarkeit als auch die wahrgenommene Nützlichkeit im Designprozess verstärkt zu berücksichtigen.

Das Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen erforschte ebenfalls die Nutzung von Fitnessarmbändern bei älteren Personen [3]. Dabei untersuchten die Forscher, ob Fitnessarmbänder auch von älteren Personen barrierefrei genutzt werden können. Außerdem untersuchten sie die Gebrauchstauglichkeit der Armbänder und der dazugehörigen Apps. Die Ergebnisse zeigen eine schnelle Erlernbarkeit des Umgangs mit der Technik. Als Anforderungen an derartige Technologien wurden eine hohe Datengenauigkeit sowie originalgetreue Abbildungen in den Handbüchern genannt. Die Untersuchung konnte außerdem einen motivierenden Effekt der Fitnessarmbänder für die ältere Zielgruppe zeigen, der gemäß den Angaben der Teilnehmenden auf die Visualisierung der eigenen Leistung sowie auf das Vorhandensein eines objektiven Maßstabs zurückzuführen ist. Abbildung 1.1 zeigt die Relevanzbewertung verschiedener Funktionen und Tragepositionen durch die Nutzer.

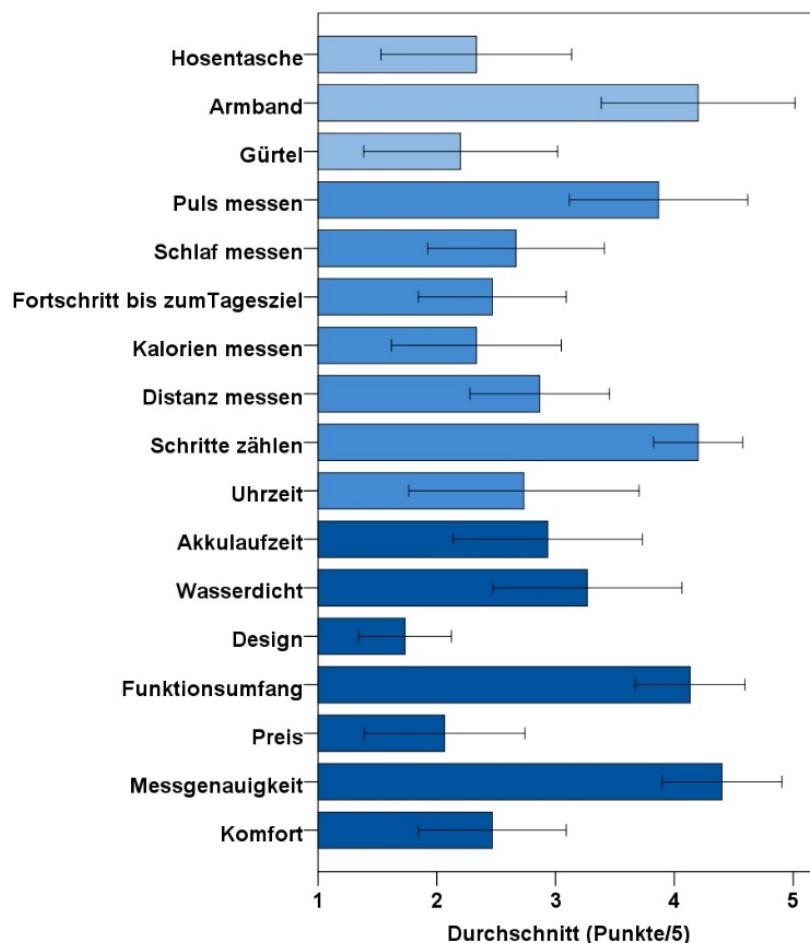


Abbildung 1.1: Bevorzugte Trageposition, Funktionen und allgemeine Anforderungen älterer Nutzerinnen und Nutzer an ein Fitnessarmband; Konfidenzintervall: 95%. Quelle: Schlick (2015)

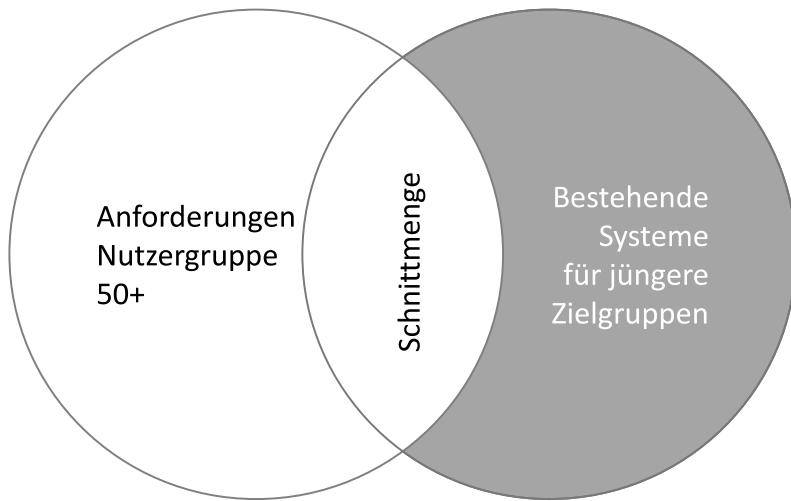


Abbildung 1.2: Darstellung der Problematik der Nutzung bestehender Systeme für andere Zielgruppen in Anforderungsanalysen mit der Nutzergruppe 50+

Wenngleich die genannten Studien erste gute Ansätze darstellen, um Anforderungen älterer Nutzer an persuasive, also überzeugende und motivierende Gesundheitsmonitoringsysteme zu erforschen, konzentrieren sich die untersuchten Aspekte auf gängige Features. Das Vorgehen ist funktionsbasiert und es werden keine spezifischen ethischen oder gesundheitswissenschaftlichen Betrachtungen eingebracht. Auch findet keine tiefgehende Erfassung der Eignung zugrundeliegender persuasiver Strategien statt. Insbesondere orientieren sich bisherige Studien an bereits vorhandenen Systemen, die für jüngere Zielgruppen entwickelt wurden. Abbildung 1.2 veranschaulicht die daraus resultierende Problematik: Der linke Kreis symbolisiert die Anforderungen älterer Nutzer an persuasive Gesundheitsmonitoringsysteme, der rechte bestehende, für jüngere Nutzer konzipierte Anwendungen. Herkömmliche Studien, die existierende Anwendungen für die Anforderungsanalyse heranziehen, können lediglich die Schnittmenge zwischen beidem ermitteln, nicht die darüber hinausgehenden Anforderungen hinsichtlich altersspezifisch relevanter Aspekte, Inhalte und Funktionen.

2 Schwierigkeiten der Anforderungsdefinition

So notwendig eine umfassendere Erhebung ist, die auch mögliche, noch nicht existierende Funktionen und Aspekte thematisiert, stellt sich jedoch die Frage, ob die Mehrheit der sehr breiten Nutzergruppe 50+ überhaupt über das notwendige Wissen und Technikverständnis verfügt, ihre Anforderungen an ein solches System klar zu definieren. In einer Interviewstudie zur Erhebung der Anforderungen, die ältere Personen an ein persuasives Gesundheitsmonitoring- system stellen, zeigte sich deutlich, dass die Befragten Schwierigkeiten dabei haben, zu definieren oder sich zu entscheiden, was sie wollen. Die Erhebung wurde in Form von etwa einstündigen Einzelinterviews mit acht Personen im Alter von 51 bis 69 Jahren durchgeführt. Sie gliederte sich in drei Teile. Im ersten Teil wurden allgemeine Einstellungen, Erfahrungen und Bedürfnisse hinsichtlich der Gesundheit und dem Gesundheitsmonitoring erhoben. Anschließend wurde die Grundidee eines geplanten Gesundheitsmonitoringsystems vorgestellt und die Meinungen der Teilnehmenden hierzu erfragt, wobei unter anderem sinnvolle Funktionen, Autonomieaspekte sowie Datensicherheit und -preisgabe thematisiert wurden. Das System ist in Form einer Smartphone-App geplant, die das Monitoring unterschiedlicher (zum Zeitpunkt der

Erhebung noch auszuwählender) gesundheitlich relevanter Lebensbereiche umfassen und bei einer Verhaltensänderung unterstützen soll. Der dritte Teil der Interviews befasste sich mit der Eignung und Akzeptanz verschiedener Persuasionsstrategien in Bezug auf die Nutzergruppe 50+. Die verschiedenen Strategien wurden den Teilnehmenden anhand von Comics erläutert, die beispielhafte Umsetzungen dieser Strategien zeigten. Eine konkrete Gestaltung der Anwendung wurde nicht vorgestellt, um hierdurch keine Verzerrungen hervorzurufen.

Im Verlauf unserer Interviews zeigten sich immer wieder Widersprüche, die im Folgenden dargestellt und deren Ursachen diskutiert werden.

2.1 Akzeptanz und Nutzungsintention

In mehreren Fällen war die erste Reaktion bezüglich eines solchen Systems negativ. Mehrere Teilnehmende gaben an, dies nicht zu brauchen. Neben Bedenken hinsichtlich der Datenpreisgabe (s. 2.5) schien ihnen der Gedanke, dass ein System dabei unterstützen kann, sich zu motivieren, absurd. Das diesbezügliche Bild wandelte sich jedoch im Verlauf des Interviews. Auch wenn die ursprüngliche negative Haltung und Bekundung, das System nicht nutzen zu wollen, nicht explizit revidiert wurde, zeigte sich steigendes Interesse bei der Darstellung möglicher – auf die ältere Nutzergruppe zugeschnittener – Anwendungsfälle des Systems im Alltag. So bewertete ein Teilnehmer (m, 69), der sich anfangs besonders vehement gegen derartige Systeme ausgesprochen hatte, fast alle der vorgestellten Anwendungsfälle positiv, indem er mit Aussagen wie „das würde mir sehr helfen“ oder „das ist sinnvoll“ reagierte.

Der Grund für den Meinungswechsel wird bei näherer Betrachtung offensichtlich. Die betreffenden Teilnehmenden kannten zwar Gesundheitsmonitoringsysteme, jedoch nur aus dem (jüngeren) Familienkreis und insbesondere aus der Werbung. Ihr Bild beschränkte sich auf Smartwatches und Activity Tracker, die für eine junge Zielgruppe gestaltet sind, einen Sportfokus haben und zur Motivation Gamification-Elemente einsetzen. Stießen diese Aspekte bei den Befragten nicht auf Interesse, lehnten sie persuasive Gesundheitsmonitoringsysteme insgesamt ab. Erst die auf eine ältere Nutzergruppe zugeschnittenen Anwendungsfälle eröffneten den Blick dafür, was ein solches System noch leisten kann. Auch wenn die Ablehnung gegenüber Fitnessarmbändern/Smartwatches ernst zu nehmen ist, zeigen die Antworten aus den anderen Teilen des Interviews, dass es durchaus auch für die Befragten sinnvolle Anwendungsfälle eines Fitnessarmbandes oder einer Smartwatch gibt. Bei der Erforschung der Anforderungen an Gesundheitsmonitoringsysteme ist es daher fatal, ausschließlich von vorhandenen Systemen, Funktionalitäten und Ausgestaltungen auszugehen.

2.2 Abstraktionsvermögen

Während die oben beschriebenen Ergebnisse zeigen, dass konkrete, auf die Nutzergruppe zugeschnittene Anwendungsszenarien hilfreich sein können, um ein nicht zielgruppengerechtes Bild der Technologie aufzubrechen, haben konkrete Beispiele auch eine Kehrseite. So fiel es den Teilnehmenden schwer, eigene Anwendungsszenarien zu entwickeln, die stark von den vorgeschlagenen abwichen. Ganz besonders bei einer Frage zeigte sich bei vielen Teilnehmenden eine starke Fokussierung auf die präsentierten Beispiele: Ihnen wurde eine persuasive Strategie anhand eines Beispiels präsentiert, bei dem die positiven Effekte des Spazierengehens auf Kreislauf, Verdauung und Vitamin-D-Produktion in Form einer Simulation dargestellt wurden. Simulation als Motivationsstrategie wurde von mehreren Teilnehmenden abgelehnt mit der Begründung, dass die im Beispiel transportierten Informationen ohnehin bekannt seien.

Auch mehrmalige Hinweise darauf, dass nicht der konkrete Inhalt, sondern das allgemeine Motivationspotenzial von Simulationen beurteilt werden solle, konnten dieses Missverständnis nicht auflösen. Hier scheint mangelndes Abstraktionsvermögen von konkreten Beispielen auf abstrakte Konzepte zu bestehen – eine Problematik, die Hawthorne [4] auch bei dem Einsatz von Low-Fidelity-Prototypen in Evaluierungen mit älteren Menschen beobachtete. Diese gilt es bei der Konzeption und Interpretation von Befragungen zu berücksichtigen.

2.3 Vorerfahrung

In einem anderen Kontext wurden die Antworten einer Nutzerin (w, 56) durch ihre Vorerfahrung verzerrt. Erfragt wurde, ob sie das Setzen von Zielen als geeignetes Instrument zur Steigerung der Motivation einschätzt. Die Antwort fiel negativ aus. Nach weiteren Nachfragen stellte sich jedoch heraus, dass dies sogar eine von ihr bevorzugte Motivationsstrategie darstellt, sie in der Vergangenheit jedoch schlechte Erfahrungen mit zu hoch gesetzten bzw. vom System vorgegebenen Zielen gemacht hatte. Diese zusätzliche Information beschreibt einen komplett anderen Bedarf als die ursprüngliche ablehnende Antwort. Statt auf Zielsetzung zu verzichten, sollten Gesundheitsmonitoringsysteme bei der Auswahl eines individuell angemessen hohen Ziels unterstützen.

2.4 Realisierbarkeit

In mehreren Fällen kam es auch zur Ablehnung des im Anschluss an die allgemeine, offene Befragung vorgestellten Systemansatzes und möglichen Funktionen, da diese für technisch nicht realisierbar gehalten wurden. So scheinen Machbarkeitsbedenken die Angabe eigener Anforderungen (selbst wenn die Interviewerin sie vorschlug) beeinflusst zu haben. Diese Machbarkeitsbedenken deckten sich jedoch nicht mit dem tatsächlichen Stand der Technik und Forschung. Gerade wenn die Anforderungserhebung zu Innovationen führen soll, ist eine solche gedankliche Beschränkung nicht wünschenswert. Sie ist jedoch verstärkt bei älteren Personen zu erwarten, denn im Gegensatz zu den sogenannten *Digital Natives* hat die Generation 50+ mindestens die Hälfte ihres Lebens oder erheblich länger ohne die neuen Medien gelebt. Hinzu kommt, dass mit zunehmendem Alter tendenziell Träger auf neue technologische Entwicklungen reagiert wird als in jungen Jahren [5]. Die Gründe hierfür liegen gemäß Lamsfuß [5] zum einen darin, dass ältere Menschen durchschnittlich länger benötigen, um Neues zu erlernen und sie zum anderen aufgrund ihrer Lebenserfahrung die Vorteile neuer Technologien differenzierter überdenken.

2.5 Datenschutz und Datenpreisgabe

Nicht zuletzt scheint die Abwägung zwischen Datenschutz und gewünschten Systemkomponenten schwer zu fallen. Dies manifestiert sich durch eine starke Ablehnung gegen die Datenerfassung und -preisgabe und gleichzeitig ebenso hoher Gewichtung personalisierter Funktionen (die nur mit bestimmten Daten über den Nutzer möglich sind). Dies kann möglicherweise auf mangelndes Verständnis technischer Funktionsweisen bzw. mangelndes Wissen über benötigte Daten für spezifische Funktionen zurückgeführt werden. Hierfür sprechen auch Forschungsergebnisse von [6], die den Umgang von Personen im Alter von 59 bis 80 Jahren mit Smartphones untersuchten. Sie stellten fest, dass den Teilnehmenden die Bedeutung vieler geforderter Eingaben völlig unklar war, sodass für sie unter anderem Konsequenzen hinsichtlich des Datenschutzes nicht einschätzbar waren.

Auch Schwierigkeiten in der Kosten-Nutzen-Abwägung zwischen Datenpreisgabe und dem gegenüberstehenden Nutzen können für diese widersprüchlichen Ergebnisse verantwortlich sein. Auf der anderen Seite kann aber auch die Erfassung beider Themen innerhalb von getrennten Fragen dazu geführt haben, dass die Teilnehmenden ihre Wünsche an Funktionalitäten und an Datenschutz ohne die Berücksichtigung des jeweils anderen Aspekts geäußert haben.

3 Diskussion und Lösungsansätze

Als Gründe für die dargestellten Widersprüche in den Interviews wurden unter anderem mangelndes Verständnis technischer Konzepte und Funktionsweisen, mangelndes Wissen bzw. Vorstellungskraft hinsichtlich technischer Möglichkeiten und mangelndes Abstraktionsvermögen von konkreten Beispielen auf abstrakte Konzepte identifiziert. Ein methodisches Dilemma besteht folglich darin, dass einerseits – wie in Kapitel 1 argumentiert – die Orientierung an existierenden Systemen unzureichend ist, um Anforderungen zu erforschen. Auf der anderen Seite gestaltet sich die nötige Vorstellungskraft für noch nicht Vorhandenes schwierig. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, schlagen wir ein mehrstufiges Vorgehen bei der Erfassung der Anforderungen der Nutzergruppe 50+ an persuasive Gesundheitsmonitoringsysteme in Speziellen und technische Systeme im Allgemeinen vor.

Stufe 1: Der empirischen Erhebung sollte eine gesundheitswissenschaftliche und/oder soziologische Meta-Analyse vorausgehen, die spezifisch altersbedingte Problembereiche, relevante Messparameter und Interventionsmöglichkeiten identifiziert. Diese dienen als Grundlage für die Erarbeitung von potenziell für die Nutzergruppe relevanten Anwendungsszenarien, welche erstmals vor der empirischen Untersuchung erarbeitet werden sollten.

Stufe 2: Bei der empirischen Untersuchung hat es sich bewährt, mit der Erfassung sehr allgemeiner Aspekte ohne Systembezug zu beginnen. So kann beispielsweise über Fragen nach den Assoziationen mit dem Begriff „Gesundheit“ und den individuell wichtigsten gesundheitlichen Bereichen, in denen die meiste Unterstützung gewünscht ist, die allgemeine Einstellung der Zielgruppe erfasst werden. Hieraus lässt sich ableiten, welche relevanten Themen eine persuasive Gesundheitsmonitoring-Anwendung abdecken könnte bzw. sollte. Auch kann durch Tagebuchmethoden wie Cultural Probes [7] der Alltag der Personen erfasst werden, um so Rückschlüsse auf relevante gesundheitliche Bereiche und Routinen zu ziehen, die bei der Konzeption eines persuasiven Gesundheitsmonitoringsystems zu berücksichtigen sind.

Stufe 3: Bei der anschließenden Erhebung konkreter systembezogener Anforderungen sollte nicht funktionszentriert sondern nutzenzentriert vorgegangen werden. So sollten Anwendungsfälle, nicht die Anwendung selbst, vorgestellt werden. Um die Anwendungsfälle plastisch zu machen, können beispielsweise kleine Geschichten oder – zur Erinnerungsstützung – Darstellungen von Nutzungsszenarien in Form von Comics (s. Abbildung 3.1) eingesetzt werden. Hier sollten entweder probandenindividuelle Inhalte oder mehrere Anwendungssituationen dargestellt werden, die das gleiche abstrakte Konzept in unterschiedlichen Inhalten zeigen, um zu vermeiden, dass Antworten durch den Inhalt verzerrt werden. Soll beispielsweise erfasst werden, ob die Befragten die Funktion von erkrankungsspezifischen Ernährungsvorschlägen wünschen, sollte dies beispielhaft anhand verschiedener Erkrankungen oder eben einer Erkrankung, die den jeweiligen Probanden betrifft, dargestellt werden. Um darüber hinaus zu umgehen, dass die Meinung der Teilnehmenden durch deren Einschätzung über die technische Umsetzbarkeit beeinflusst wird, kann beispielsweise nach Zukunftsszenarien („Was sollte ein solches System

in 10 Jahren können?“) gefragt oder bereits bei der Fragestellung anderweitig klar auf die Lösung von technischen Restriktionen hingewiesen werden.

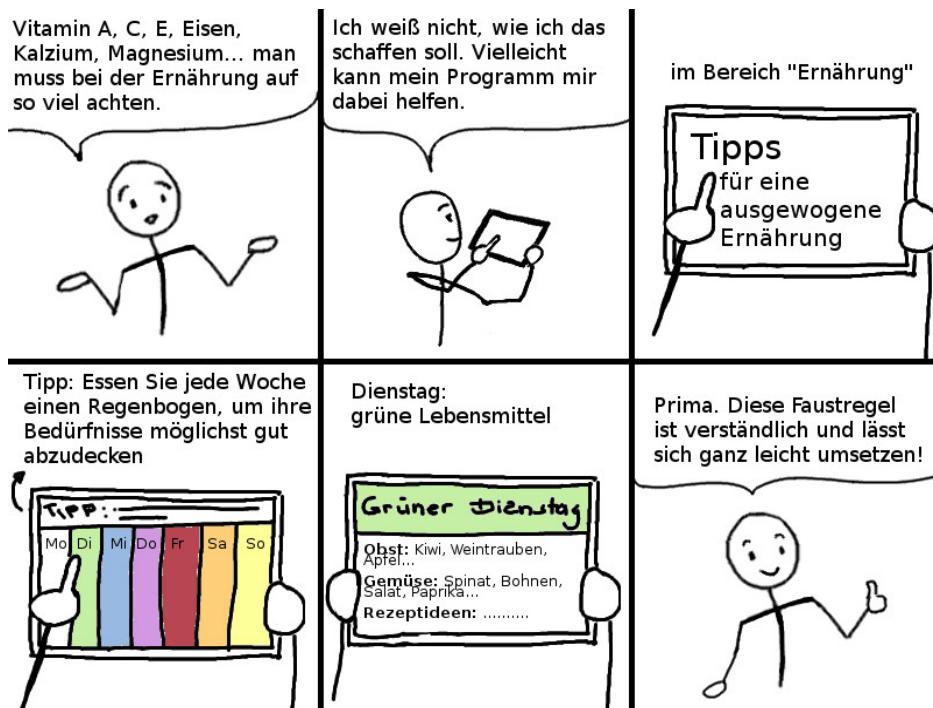


Abbildung 3.1: Beispielhafte Darstellung eines Comics zur Verdeutlichung eines Anwendungsfalls, bei dem das System durch Informationsreduktion in Form von Faustregeln unterstützt; Illustration: Svenja Heinze

Stufe 4: Vor einer konkreten Befragung zur Systemakzeptanz sollte in jedem Fall die Systemvorstellung der Teilnehmenden zum Zeitpunkt der Fragestellung erfasst werden, um die Antworten vor diesem Hintergrund interpretieren zu können. Bei Ablehnung oder negativen Reaktionen ist eine gezielte und tiefgehende Erfassung der Gründe notwendig. Diese kann mitunter sogar aussagekräftiger im Hinblick auf die Anforderungen sein, als zustimmende Antworten. Um eine solche tiefgehende Erfassung der Gründe zu erreichen sind qualitative Methoden, die von erfahrenen Studienleitenden durchgeführt werden, dringend zu empfehlen.

Stufe 5: Im Hinblick auf Aspekte der Datenpreisgabe schlagen wir vor, neben der isolierten Erfragung der diesbezüglichen Einstellung auch eine klare Kosten-Nutzen-Gegenüberstellung zu thematisieren. Es sollte also klar dargestellt werden, welche der von den Teilnehmenden als gut bewerteten Anwendungsszenarien welche Daten erfordern, sodass eine direkte Abwägung erfolgen kann.

4 Fazit

Wir haben anhand von durchgeführten Interviews zu den Wünschen der Nutzergruppe 50+ an ein persuasives Gesundheitsmonitoringsystem verschiedene Schwierigkeiten bei der Erfassung der Anforderungen dieser Nutzergruppe an technische Systeme aufgezeigt. Insbesondere bei einem Teil dieser Altersgruppe auftretendes mangelndes Verständnis technischer Konzepte und Funktionsweisen, mangelnde Vorstellungskraft für das Umsetzbare, mangelndes Abstraktionsvermögen von konkreten Beispielen auf abstrakte Konzepte und Schwierigkeiten im Abwägen zwischen Datenpreisgabe und dem gegenüberstehenden Nutzen scheinen für widersprüchliche Antworten verantwortlich zu sein. Um der Problematik der widersprüchlichen Antworten in

Anforderungserhebungen zu begegnen und eine Unterstützung der Befragten bei der Identifikation ihrer Wünsche an das betreffende System zu realisieren, wurde ein mehrstufiges Vorgehen vorgeschlagen, das insbesondere einen nutzenbezogenen anstelle eines funktionsbezogenen Ansatzes verfolgt. Dieses Vorgehen ermöglicht trotz des beschriebenen methodischen Dilemmas eine Erfassung der Anforderungen, die über die Bewertung der Funktionen bestehender, für eine andere Zielgruppe konzipierter Anwendungen hinausgeht.

5 Literatur

- [1] N. Ungerleider: The AARP Wants Better Fitness Trackers For Seniors. Hg. v. FastCompany.com. (2015) Online verfügbar unter <http://www.fastcompany.com/3048566/fast-feed/the-aarp-wants-better-fitness-trackers-for-seniors>, zuletzt aktualisiert am 13.07.2015, zuletzt geprüft am 15.12.2015.
- [2] K. C. Preusse, T. L. Mitzner, C. B. Fausset, W. A. Rogers: Older Adults' Changes in Intent to Adopt Wellness Management Technologies. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 58 (1), S. 200-204. DOI: 10.1177/1541931214581042, 2014.
- [3] C. M. Schlick (Hrsg.): Selbstmonitoring - ein altersbezogener Vergleich. Der Einfluss von Fitnessarmbändern auf die tägliche Aktivität älterer Menschen. In: IAW Spectrum 2015 (7), S. 4-5, 2015.
- [4] D. Hawthorn: Designing Effective Interfaces for older users (Doctoral dissertation, The University of Waikato), 2016.
- [5] R. Lamsfuß: „Nur kein Schnickschnack“ - Eine soziologische Betrachtung der Internetnutzung in der Generation 50plus. In: Die Alten und das Netz: Angebote und Nutzung jenseits des Jugendkults, S. 12-26; Gabler Verlag, Wiesbaden, 2012.
- [6] D. Erharder, B. Jungwirth, B. Knoll, S. Schwarz, P. Posch, E. Xharo: Smartphones, Tablets, App für Seniorinnen und Senioren. Assistenztechnik für betreutes Wohnen: Beiträge zum Usability Day XII, Hrsg. Kemper, G.; Pabst Science Publishers, 2014.
- [7] B. Gaver, T. Dunne, E. Pacenti: Design: Cultural probes. Interactions 6, 1, S. 21-29, 1999.

Anforderungsermittlung auf Basis einer kontextintegrierenden, praxiszentrierten Bedarfsanalyse – die KPB-Methodik

K. Paetzold¹, H. Pelizäus-Hoffmeister²

¹Universität der Bundeswehr München, Institut für Technische Produktentwicklung
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg
Kristin.paetzold@unibw.de

²Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Sozialwissenschaften
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg
Helga.pelizaeus-hoffmeister@unibw.de

Kurzzusammenfassung

Die Entwicklung technischer Unterstützungssysteme vernachlässigt häufig die realen Herausforderungen einer selbstbestimmten Lebensführung im hohen Alter. Ziel dieses Beitrags ist es, die im Rahmen eines BMBF-geförderten Projektes entwickelte KPB-Methodik zur Erfassung von Bedarfen Älterer sowie die daraus resultierenden Implikationen für die Produktentwicklung vorzustellen. Im Rahmen des Projektes wurde den Fragen nachgegangen, mit welchen konkreten Problemen sich Ältere in ihrer Alltagspraxis konfrontiert sehen und wie diese mit Hilfe eines sozialwissenschaftlichen Methoden-Instrumentariums systematisch erhoben und schließlich in technische Anforderungen übersetzt werden können.

Abstract

“Identification of Requirements based on a context-integrating, practice-centered analysis of needs”

The development of technical support systems often neglects the real challenges of a self-determined way of life at an advanced age. The aim of this paper is to present the KPB methodology, developed for a BMBF-funded project to assess the needs of older people, and its implications for product development. Within the framework of the project the questions were examined, which concrete problems older people have to face within their everyday practice and how these can be systematically collected by using social science methods instruments and finally translated into technical requirements.

Keywords: product development, the elderly, user participation, user experience research

1 Einleitung

Die Produktentwicklung kann eine selbstbestimmte, selbstständige Lebensweise sinnvoll unterstützen. Entwicklungsleitend sollte dabei der Mensch sein, was ein ganzheitliches Verständnis von ihm als Nutzer erfordert. In der Entwicklung selbst übernimmt der Mensch dabei zwei Rollen: Als Entwickler generiert er Produktideen, beschreibt den Systemzweck und definiert hierauf aufbauend Funktionen, die durch technische Lösungen umgesetzt und zu einem Gesamtsystem integriert werden. Als Nutzer hingegen sieht der Mensch das Produkt zunächst als

isolierten Gegenstand, den er auf Basis seiner Erfahrungen, Kenntnisse und Erwartungen interpretiert [1]. Das Produkt wird nur akzeptiert und genutzt, wenn der Systemzweck mit dem vom Nutzer erwarteten Gebrauchswert übereinstimmt. Diese sehr unterschiedlichen Sichtweisen machen deutlich, dass sowohl der Nutzer als auch der Entwickler eine Transferleistung im Umgang mit dem Produkt erbringen müssen.

Zwar bedarf es durchaus der Kreativität der Entwickler, um Potentiale von Technologien erkennen und sie zur Unterstützung Älterer nutzen zu können. Dabei ist es aber unabdingbar, auch den Nutzer zu verstehen. Existierende Menschmodelle erweisen sich als zu einseitig, da sie meist nur sensorische, motorische und kognitive Defizite in den Blick nehmen. Diese defizitorientierte Denkweise manifestiert sich in Entwicklungsstrategien, verlorene Fähigkeiten durch technische Funktionen zu ersetzen. Die Kompetenzen der Nutzer werden dabei ignoriert, was zugleich stigmatisierend wirkt.

Der Nutzer interpretiert das Produkt etwa aufgrund seiner Form und Farbe, der Anordnung von Bedienelementen und interpretiert seine Funktionalität auf Basis eigener Erfahrungen und Erwartungen. Dabei sind seine eigenen Defizite für ihn nur ein Aspekt unter vielen. Dementsprechend bedarf es vielmehr eines ganzheitlichen Menschmodells, welches zusätzliche Aspekte – wie affektive, kulturelle und soziale Dimensionen – berücksichtigt.

Im Beitrag soll daher eine auf Basis soziologischer Konzepte entwickelte Methodik vorgestellt werden, die die konkrete Alltagspraxis Älterer in ihrer Vielschichtigkeit erfasst, um darauf aufbauend technische Anforderungsprofile zu entwickeln. Die Erkenntnisse wurden in einem vom BMBF geförderten interdisziplinären Forschungsprojekt von Produktentwicklern und Soziologen gemeinsam erarbeitet.

2 Stand der Technik

2.1 Methoden zur Erfassung von Bedürfnissen und Wünschen von Nutzern

In der Produktentwicklung werden im Wesentlichen drei Ansätze der Nutzerbeschreibung verwendet: Die Methoden der Nutzerpartizipation, der User Experience Research und der Akzeptanzforschung.

Das interdisziplinäre Konzept der Nutzerpartizipation umfasst eine Reihe von Methoden und Ansätzen [2]. Basierend auf der Definition der Entwicklungsziele und der Klärung, warum potentielle Nutzer in die Entwicklung integriert werden sollen, wird die Form der Integration des Nutzers vom passiven Beobachtungsobjekt bis hin zum selbstständigen Innovator konkretisiert. Dabei gilt es, die Zielgruppe zu definieren. Aus den Entscheidungen über die Art der Nutzerintegration unter Berücksichtigung der Zielstellung lässt sich ableiten in welcher Phase der Entwicklung (Ideenfindung, Produktbewertung, Validierung) die Expertise des Nutzers notwendig ist. Zusammenfassende Darstellungen finden sich beispielsweise in [3, 4]. Mit der Nutzerpartizipation wird also der Rahmen vorgegeben, wie Kenntnisse und Erwartungen der Nutzer in die Entwicklung integriert und damit der Transformationsprozess unterstützt wird. Allerdings können Schwierigkeiten mit den verwendeten Produktmodellen auftreten, weil der Nutzer sich ihre Funktionen nur bedingt selbst erschließt, sondern zu den nicht intuitiv interpretierbaren Modellen oder Prototypen meist Erklärungen vom Entwickler erhält. Hinzu kommt, dass die Testsituation nicht dem realen Einsatz im Alltag entspricht. Insgesamt kann dies zu Ergebnisverfälschungen führen.

Vor allem in den Arbeitswissenschaften, speziell dem Forschungsgebiet der Mensch-Maschine-Interaktion, sind die Methoden der User Experience (UX) Forschung verortet. Das Ziel ist hier

nicht allein die Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit eines Produktes [5], sondern es geht insbesondere um die Erfassung der affektiven, emotionalen und psychologischen Wirkungen bei dessen Gebrauch. Hassenzahl (2015) bezeichnet diese als „Anwendungserlebnis“ [6]. Die UX-Forschung ist nicht klar abgegrenzt. Das Konzept der UX beinhaltet ähnlich wie der Ansatz der Nutzerpartizipation ein Set von Methoden, mit denen subjektive Aspekte der Produktnutzung erfasst werden. Schwierigkeiten resultieren daraus, dass kein Mensch-Modell hinterlegt ist, anhand dessen die Ergebnisse bewertet werden können. Es ist letztlich nicht geklärt, welche Aspekte bzw. Funktionen zu einer positiven Wahrnehmung des Produktes beitragen.

Auch in der Akzeptanzforschung gibt es zahlreiche Modelle, mit deren Hilfe sich die Akzeptanz von Produkten erklären bzw. vorhersagen lässt. Eine Zusammenfassung findet sich z.B. bei Birken (2014) [7]. Aufbauend auf der Theory of Planned Behavior nach Fishbein/Ajzen (1975) [8] wurden viele Akzeptanzmodelle entwickelt, von denen nach Venkatesh (2000) [9] die wichtigsten in der Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) integriert wurden. Die Akzeptanz wird als dasjenige Verhalten definiert, das Produkt auch tatsächlich zu nutzen. Den Akzeptanzmodellen ist gemein, dass mit den direkten und indirekten Einflussfaktoren auf die Akzeptanz zwar durchaus die relevanten Einflüsse bekannt sind, Rückschlüsse auf das Produkt als solches lassen sich dadurch aber nicht ziehen. So können zwar für ein Produkt Voraussagen und Bewertungen bezüglich der Akzeptanz getroffen werden, wie das Produkt verändert werden muss, um die Akzeptanz zu erhöhen, ist jedoch nicht ableitbar.

Mit den beschriebenen Methoden kann der Nutzer eines Produktes zwar beschrieben werden, seine ganzheitliche Beschreibung inklusive der kognitiven, affektiven und sozialen Dimensionen ist allerdings nicht möglich.

2.2 Hierarchisch aufgebaute Unterstützung der Leistungsfähigkeit

Gerade hinsichtlich der Unterstützung Älterer im Sinne der Erhaltung ihrer Leistungsfähigkeit trägt der Ingenieur eine große Verantwortung. Bereits in früheren Arbeiten haben die Autoren auf Basis von Literaturrecherchen und gestützt auf Erkenntnisse aus Medizin und Gerontologie eine Unterstützungshierarchie für technische Systeme entwickelt. Danach ist es wesentlich, die Produktentwicklung an den (Rest-)Fähigkeiten der Älteren zu orientieren [10]. Dementsprechend wird hier eine stufenweise Unterstützung vorgeschlagen:

- *Motivation* (Animation und Training): Die Fähigkeiten des Nutzers sollen erhalten und trainiert werden indem ein technisches System zur Nutzung dieser Fähigkeiten anregt und diese vor der eigentlichen Alltagshandlung stärkt.
- *Unterstützung*: In schwierigen Situationen soll das technische System den Nutzer direkt bei der Bewältigung seiner Aufgabe unterstützen. So können noch vorhandene Fähigkeiten bestmöglich genutzt und erhalten werden.
- *Kompensation*: Erst wenn die Fähigkeiten des Nutzers nicht mehr ausreichen, werden technische Systeme zur Kompensation eingesetzt um die selbstständige Lebensführung weiterhin zu ermöglichen.

Um diese Hierarchie bei der Entwicklung technischer Systeme zu berücksichtigen, ist es nicht ausreichend allein auf sensorische, motorische und kognitive Defizite des Nutzers zu fokussieren. Es bedarf stattdessen eines ganzheitlichen Ansatzes der Nutzerbeschreibung, der auch seine konkrete Alltagspraxis berücksichtigt [11].

3 Methodologie zur Beschreibung der Alltagspraxis Älterer im häuslichen Umfeld

Im Rahmen des genannten Projektes sollte eine konzeptuell fundierte Forschungsstrategie entwickelt werden. Entstanden ist die kontextintegrierende, praxiszentrierte Bedarfsanalyse (KPB-Methodik), die aus einem Instrumentarium qualitativer Erhebungsmethoden besteht und auf soziologischen Ansätzen zur Lebensführung und Praxistheorie aufbaut.

Die alltägliche Lebensführung wird dabei als aktive Leistung einer Person begriffen, die durch einen hohen Grad an Gewohnheiten und den räumlich-materialen Kontext geprägt ist. Der Alltag vollzieht sich nicht quasi „automatisch“, sondern wird aktiv gestaltet, wobei der Prozess meist nicht hoch reflexiv und strategisch, sondern eher routiniert abläuft und sich in der Regel dem Bewusstsein entzieht.

Ein weiteres Fundament bildet die Praxistheorie. Aus dieser Perspektive ist die praktische Lebensführung zentraler Dreh- und Angelpunkt für die Technikentwicklung, da sie der konkrete „Ort“ ist, an dem sich der Unterstützungsbedarf manifestiert. Es wird davon ausgegangen, dass der Einsatz von Technik die gewohnten Routinen des Alltags nicht „stören“ sollte. Denn Neuem wird häufig deshalb mit Abwehr begegnet, weil dadurch lang eingetüpfelte Alltagsroutinen unterbrochen werden. Diese Abwehr sollte daher aus unserer Sicht als quasi „natürliche“ Reaktion begriffen werden und nicht als mangelnde Innovationsbereitschaft Älterer. Nimmt man das praxistheoretische Argument ernst, ist damit die Richtung der Produktentwicklung bereits vorgegeben: Es sollten Systeme entwickelt werden, die sich möglichst problemlos in die existierende Lebensführung integrieren lassen, die also, anders ausgedrückt, ein hohes Maß an Praktikanz (vgl. Pongratz/Birken (2016) [12]) besitzen. Denn dann ist die Chance groß, dass sie akzeptiert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen Alltagspraktiken zunächst identifiziert und beschrieben werden.

Zur Datenerhebung wurde ein Instrumentarium qualitativer Erhebungsmethoden zusammengestellt. Es wurden 23 ältere, körperlich eingeschränkte Personen, die wir im Sinne eines partizipativen Forschungsansatzes als Forschungspartner bezeichnen zweimal befragt.. Die Grundidee war dabei ein Dreiecksverhältnis zwischen Forschenden, Forschungspartnern und dem Forschungsgegenstand „Lebensführung“ zu etablieren, um Letztere im gemeinsamen Dialog reflexiv zu erschließen und zu analysieren.

Die Datenerhebung erfolgte in der eigenen Häuslichkeit der Forschungspartner, was das systematische Einbeziehen des materiellen Kontextes erlaubte. Verbale Erhebungsmethoden wie Interview, Think-Aloud-Methode und reflexive Dialogverfahren wurden durch Elemente der Feldforschung in Form von Praxisdemonstrationen erweitert. Der Erstbesuch diente dazu, ein umfassendes Gesamtbild der jeweiligen Lebenssituation zu erhalten. Wesentliche Lebenslageparameter wie materielle Ausstattung, Wohnumfeld, gesundheitliche Situation, soziale Einbindung und Bildung wurden durch ein leitfadengestütztes Interview erfragt. Gleichzeitig dienten die Erstinterviews dazu, ein tragfähiges Vertrauensverhältnis zu schaffen.

Nach dem Einstieg standen die Praktiken zur Bewältigung des Alltags im Mittelpunkt. Da Lebensführung größtenteils aus Routinen besteht, bestand die Aufgabe vor allem darin, diese zum Gegenstand bewusster Reflexion zu machen. Diese sollten von den Forschungspartnern hinsichtlich ihrer Beschwerlichkeit bewertet werden. Entgegen der Erwartungen war es nicht einfach, Bereiche zu identifizieren, die aus der subjektiven Sicht der Älteren problematisch waren. Denn diese hatten in der Regel individuelle, teils höchst kreative Bewältigungsstrategien entwickelt, um trotz ihrer Einschränkungen zurecht zu kommen. Ihre kompetenten „Antworten“

verdeckten mitunter die dahinter liegenden Probleme, was uns veranlasste, auch die Bewältigungsstrategien systematisch mit zu erheben. Im Rahmen des zweiten Besuchs standen die Bewältigungsstrategien im Mittelpunkt. Basierend auf dem vertrauensvollen, gleichberechtigten Arbeitsbündnis zeigten die Älteren große Bereitschaft, praktisch zu demonstrieren, wie sie ihre Alltagsprobleme bewältigten. Dies erlaubte es uns, problematische Details genauer nachzuvollziehen, was die Basis für die Ideenfindung zu technischen Lösungen bildete. Auch aus Sicht der Forschungspartner waren die Praktiken nicht zwingend gute Lösungen, da der Vollzug häufig mit Anstrengungen und teils mit erheblichen Risiken verbunden war. Insofern kann erwartet werden, dass technische Unterstützung, die an diesen Praktiken ansetzt, große Chancen hat, akzeptiert zu werden. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik findet sich in Birken/Pelizäus-Hoffmeister/Schweiger (2016) [11].

4 Ergebnisse und Implikationen für die Produktentwicklung

4.1 Sozialwissenschaftliches Ergebnis

Eine zentrale Erkenntnis war, dass wir keine Probleme, sondern immer schon „bearbeitete“ Problemlagen identifizierten. Denn die Älteren hatten geschickt und einfallsreich Strategien bzw. Praktiken entwickelt, um trotz altersbedingter Einschränkungen im Alltag zurecht zu kommen. Diese Praktiken waren teils sehr einfach und auf den ersten Blick oft gar nicht sichtbar. Dennoch bildeten sie geeignete „Antworten“ auf individuelle Einschränkungen und wurden oft unter Einsatz einfachsten häuslichen Inventars realisiert. Analytisch kann zwischen fünf verschiedenen Praktiken differenziert werden.

Häufig finden so genannte *Körpertechniken* Anwendung. Ältere entwickeln und etablieren, teils absichtsvoll teils unbewusst, körperliche Bewältigungsritualen im Umgang mit ihren Herausforderungen. So hatte sich eine Befragte eine spezielle Körpertechnik zum Treppensteigen bewusst erarbeitet. Sie betrat die Stufen jeweils schräg und mit Nachstellschritt, mit beiden Händen am Geländer, um sich so langsam die Treppe hinunter- und wieder hinaufzuschieben. Wenn das Potenzial des eigenen Körpers für den Vollzug der Alltagshandlung nicht ausreichte, erfolgte teils seine „technische Aufrüstung“ (*Enhancement*). Das konnte die Gehhilfe sein, die es einer mobilitätseingeschränkten Person ermöglichte, Distanzen zu überwinden, oder aber der Rollator, der als Transportmittel benutzt wurde. Eine andere, häufig vorgefundene Technik war das *Empowerment*. Viele Ältere trainierten ihre vorhandenen Fähigkeiten bewusst, um sie stabil zu halten. Das konnte die Gymnastik vor dem Fernseher, aber auch das Treppensteigen oder ein Gedächtnistraining am Computer sein.

Wenn die Probleme allein nicht mehr bewältigt werden konnten, wurde aktiv *soziale Unterstützung* organisiert, teils durch die eigenen Kinder, aber auch durch formelle Dienstleister, die das eigene soziale Umfeld unberührt ließen. Besonders bedeutsam fanden wir *Veränderungen der materialen Welt*, insbesondere weil sie uns auf den ersten Blick oft gar nicht auffielen. Erst nach und nach wurden viele kleine, räumliche Anpassungen erkennbar, die den Älteren bei der Bewältigung ihres Alltags entgegenkamen. Ein Beispiel: Eine Ältere hatte sich ihren Flur mit Möbeln „vollgestellt“, um sich beim Gehen an ihnen festzuhalten. Dieses „Furniture walking“ entspricht nicht gängigen Überlegungen zur Barrierefreiheit, kann aber durchaus eine effektive Strategie sein, um sich fortzubewegen.

4.2 Schlussforderungen für die ingenieurwissenschaftliche Perspektive

Unsere Quintessenz aus der qualitativen Erhebung lautet: Nicht Probleme, sondern die Umgangsweisen mit ihnen sollten die Basis für technische Entwicklungen bilden. Was das konkret bedeutet, soll im Folgenden anhand der Diskussionen zu Handlungsroutinen, zur Unterstützungshierarchie und zu Dienstleistungen gezeigt werden.

4.2.1 Bedeutung von Handlungsroutinen

Im Fokus der Untersuchung standen ältere Menschen, die (noch) in ihrem häuslichen Umfeld leben und ihren Alltag weitgehend selbstständig meistern. Eine der wesentlichen Erkenntnisse ist, dass ihr Alltag weitgehend von Handlungsroutinen bestimmt ist. Als Handlungsroutinen werden Aktivitäten des Alltagshandelns bezeichnet, die für eine bestimmte Zeit stabil bleiben und den Menschen einen Handlungsrahmen vorgeben (nach Hassenzahl 2015 [6]). Sie sind in der Regel über einen langen Zeitraum gewachsen. Dass sie bei den Älteren (wie auch bei allen anderen Menschen) einen hohen Stellenwert besitzen, lässt sich darauf zurückführen, dass sie dem Leben Struktur geben und damit handlungsentlastend sind.

Als Formen von Handlungsroutinen haben sich auch die Strategien erwiesen, mit denen Ältere ihren alltäglichen Herausforderungen bzw. Problemen begegnen. Diese Bewältigungsstrategien können durchaus mühsam und mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden sein. Dennoch sind sie geeignet, die jeweiligen Problemlagen aufzulösen, was dazu führt, dass sie von den Älteren selbst nicht mehr als Problem interpretiert werden. Die Entwicklung der Routinen erfolgt meist schleichend in Anpassung an mit der Zeit zunehmende Einschränkungen. So grenzt eine Ältere angesichts steigender Mobilitätseinschränkungen ihren genutzten Wohnraum zunehmend ein, indem sie sich nur noch an bestimmten Stellen – sogenannten „Wohninseln“ – aufhält, die für sie gut erreichbar sind und die sie an ihre Bedürfnisse angepasst hat.

Um unterstützende Techniksysteme erfolgreich in den Alltag der Älteren zu implementieren, bedarf es einer Anpassung an vorherrschende Routinen. Deren Ignoranz stellt einerseits die noch vorhandenen Kompetenzen der Älteren in Frage, was in der Regel als stigmatisierend erlebt wird. Andererseits entspricht es nicht der subjektiven Problemdefinition der Älteren: Wenn diese ein Problem als bewältigt wahrnehmen, wird ihre Bereitschaft gering sein, Technik zur Lösung dieses Problems einzusetzen.

Eine Ausnahme gibt es allerdings: Krisen bzw. einschneidende Ereignisse wie beispielsweise ein Aufenthalt im Krankenhaus, ein Umzug etc. führen zu einem Bruch mit bisher eingeübten Routinen und der Konsequenz, dass in diesen Situationen auch Neues – wie etwa ein Technikeinsatz – leichter akzeptiert wird.

4.2.2 Konkretisierung der Unterstützungshierarchie

Bereits in früheren Arbeiten haben die Autoren eine Unterstützungshierarchie für technische Systeme vorgeschlagen (siehe Kap. 2.2.). Dementsprechend sollten Produkte gerade für ältere Menschen an deren noch vorhandenen Fähigkeiten bzw. Restfähigkeiten orientiert sein [10]. Die Erhebung zeigt, dass sich diese Hierarchie mit den Wünschen der Forschungspartner deckt. Für sie kommt technische Unterstützung erst dann in Frage, wenn sie es nicht mehr schaffen, die Aktivität selbstständig auszuführen. Es zeigt sich darüber hinaus, dass für Trainingszwecke häufig keine technischen Hilfsmittel genutzt werden, sondern die oft mühevolle Durchführung einer Alltagsaktivität bereits als Training angesehen wird. So nutzen einige Forschungspartner regelmäßig die Treppe, obwohl ein Aufzug zur Verfügung steht, weil sie ihre Kompetenzen zum Treppensteigen nicht verlieren wollen. Kompensatorische Technik kommt für sie – als

hypothetische Lösung – dann in Frage, wenn sie eine Tätigkeit nicht mehr ausführen können. Im Sinne der Unterstützungshierarchie entsprechen einfache Unterstützungssysteme wie Handgriffe, Geländer etc. daher häufig eher den Bedürfnissen der Älteren als komplexe technische Systeme.

4.2.3 Dienstleistungen zur Unterstützung

Als eine der Strategien im Umgang mit Problemen wurde die Organisation sozialer Unterstützung identifiziert. Dabei wird zwischen informellen und formellen Dienstleistungen unterschieden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass beide Formen von Unterstützung zugleich mit dem „Zusatznutzen“ der sozialen Integration verbunden werden. Soziale Unterstützung kann in diesem Sinne zugleich mehreren Bedürfnissen entsprechen, was die Älteren teils auch bewusst so formulieren. Da aber insbesondere praktische Unterstützungsleistungen durch das private Umfeld wie Familie, Freunde, Nachbarschaft etc. als Anlässe zum sozialen Austausch „inszeniert“ werden, erscheint es nicht zielführend, hier Serviceleistungen als eigenständige Produkte anzubieten. Serviceleistungen wie Produkt-Service-Systeme müssen das soziale Umfeld berücksichtigen, in das sie implementiert werden sollen, wenn sie Chance auf Akzeptanz haben sollen. Eine Quintessenz könnte sein, technische Unterstützung bzw. Dienstleistungen nicht direkt für Ältere anzubieten, sondern für diejenigen Personen, die diese in ihrer selbstständigen Lebensführung unterstützen.

4.3 Überlegungen zur Gestaltung von technischen Unterstützungssystemen

Die eingangs erläuterte dreistufige Unterstützungshierarchie konnte bestätigt werden und impliziert folgende Schlussfolgerungen für technische Systeme:

Technische Systeme zum Training

Auf der ersten Stufe können technische Systeme zur Selbstständigkeit Älterer beitragen, indem sie zum Trainieren noch vorhandener körperlicher und kognitiver Fähigkeiten motivieren bzw. Ältere beim Üben unterstützen. Diese Stufe ist den praktischen Alltagshandlungen vorgelagert. Diese Form des Technikeinsatzes entspricht dem *Empowerment* (Kap. 4.1), das Ältere häufig als bewusste Strategie wählen, um ihren Alltag auch zukünftig managen zu können. Sie wollen die für ihre Handlungsroutinen erforderlichen Kräfte und Fähigkeiten erhalten bzw. stärken. An dieser Stelle ist für den Ingenieur die Kenntnis der Alltagsroutinen von eher untergeordneter Bedeutung. Die Gestaltung der technischen Systeme hinsichtlich der Funktionalität kann relativ frei erfolgen, allerdings setzt die Entwicklung von Systemen die Kenntnis von Kompetenzen und Fähigkeiten, deren Grenzwerte sowie die Kenntnis zu Mechanismen, wie diese Kompetenzen gebildet werden, voraus. Dies erscheint nur in enger Kooperation mit körperzentrierten Fachbereichen wie Medizin, Gerontologie oder Sportmethodik möglich. Trainingsunterstützende Geräte sollten zudem Aspekte des "Joy of Use" aufgreifen, um positive Erfolgserlebnisse zu generieren.

Technische Systeme zum Unterstützen der Alltagshandlungen

Unterstützend können technische Systeme auf der zweiten Stufe eingesetzt werden, indem sie bei der Durchführung problematischer Alltagspraktiken bzw. den Bewältigungsstrategien behilflich sind. Sie können Teile von Alltagsroutinen übernehmen, erleichtern oder die Herausforderungen des materialen Kontextes verringern. Wesentlich ist es hier, sich streng an den Alltagsroutinen zu orientieren, damit das technische System ohne nennenswerten Aufwand und ohne Störung der Routinen integriert werden kann. Nur dann ist eine Akzeptanz von Seiten des

Nutzers zu erwarten. Über die Funktionalität des technischen Systems müssen in jedem Falle die Handlungs routinen, zumindest in Teilen, abgebildet werden. Es kann zwischen drei Formen unterstützender Technik differenziert werden:

- *Enhancement* beschreibt Unterstützungssysteme, die direkt am Körper getragen werden, wie etwa Hörgeräte. Diese werden vor Durchführung der Handlung mit dem Körper verbunden. Während der Handlung wird der Nutzer unterstützt, muss sich aber nicht weiter um das System kümmern. Erst nach dem Ende der Handlung wird das Produkt wieder entfernt. Entsprechend der intensiven Wechselbeziehung zwischen Technik und Mensch muss das Produkt in der Lage sein, auf Variationen in der Handlungsroutine, die sich aus den Einsatzrandbedingungen ergeben, zu reagieren – lll im Idealfall ohne dass der Nutzer dies bemerkt.
- *Mobile Hilfsmittel* beschreiben Systeme, die weder mit dem Nutzer noch mit der Umgebung fest verbunden sind. Ein Beispiel ist der Rollator. Mobile Unterstützungs-systeme lassen dem Nutzer mehr Freiraum, da sie nur bei Bedarf aktiviert werden. Damit hat der Nutzer einen größeren Freiraum, seine eigenen Kompetenzen zu nutzen. Nur bei besonders anstrengend empfundenen Handlungen wird das Gerät genutzt. Dies kann mit einer eingeschränkten räumlichen oder zeitlichen Verfügbarkeit verbunden sein.
- *Veränderungen des Kontextes* beschreiben Unterstützungssysteme, die fest mit der Umgebung verbunden sind wie zum Beispiel Haltegriffe im Bad. Dadurch stehen die Systeme auch für andere Nutzer zur Verfügung, sind allerdings weniger flexibel und können nur an der spezifischen Einbaustelle verwendet werden. Im häuslichen Umfeld erscheinen solche Ansätze wirkungsvoll, allerdings setzen auch sie eine Analyse der Handlungsrou tinen voraus.

Technische Systeme zum Kompensieren

Der Einsatz kompensatorischer Technik auf der dritten Stufe wird erst dann nötig, wenn eine Anforderung des Alltags auch mit Unterstützung nicht mehr bewältigt werden kann. Aber auch hier kann der Technikeinsatz dazu beitragen, ein selbstständiges Leben in den eigenen vier

TRAINING		UNTERSTÜTZUNG			KOMPENSATION
		enhancement	mobile Hilfsmittel	Kontext-unterstützung	kompensieren
Empowerment		Produkte, die Teile der Handlungs-routinen übernehmen	Produkte, die im Bedarfsfall zur Unterstützung der Aktivitäten dienen	Gestaltung der Umgebung, so dass Handlungs routinen unterstützt werden	Produkte übernehmen Handlungs routinen bzw. Teile dieser
Produkte zur Erhaltung der Kompetenzen und Fähigkeiten				Wissen über Handlungs routinen, Funktionen der Handlungs routinen bzw. Teilen dieser; Rahmenbedingungen und Varianzen von Handlungs routinen	Wissen über Leistungsfähigkeit und Funktionen
Wissen über sensorische, motorische und kognitive Fähigkeiten					Funktionalität basiert auf Hand-lungs routinen die nicht mehr ausführbar sind
Funktionalität basierend auf Kompetenzen, die es zu trainieren gilt				Funktionalität basierend auf Notwendigkeiten aus Handlungs routinen und Wertebereiche zum Unterstützungsbedarf; Kenntnis über Haupt- und Nebenfunktionen	

Abbildung 4.1: Konkretisierung der Unterstützungshierarchie

Wänden weiterhin zu ermöglichen. In dieser Situation muss die Lebensweise entsprechend angepasst werden, was einen tiefen Einschnitt in die Lebensführung des Nutzers bedeutet. Die Entscheidung für kompensatorische Technik wird meist durch eine Krisensituation wie einen Krankenhausaufenthalt oder eine (weitere) Erkrankung ausgelöst. Es ist zu erwarten, dass technische Systeme, die in solchen Situationen in Erwägung gezogen werden, umso besser akzeptiert werden je besser sie sich in verbleibende Handlungsroutinen integrieren lassen. Zwar können Lösungsansätze frei von freien von den Handlungsroutinen konzipiert werden, es ist dann aber große Sorgfalt auf die Anpassung an Nutzerbedarfe bzw. die Überprüfung der Akzeptanz zu legen. Entscheidend ist die zu erfüllende Funktion, die der Nutzer nicht mehr eigenständig ausführen kann. Eine Veranschaulichung dieser Erkenntnisse erfolgt in Abbildung 4.1.

5 Literatur

- [1] K. Paetzold, H. Pelizäus-Hoffmeister: Structuring of Application Fields for Technology for Elderly People from the User Perspective. In: International Conference on Human Behavior in Design, 14.-17.10.2014, Ascona, 2014.
- [2] F. Sarodnick, H. Brau: Methoden der Usability Evaluation – Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung, Bern: Huber, 2006.
- [3] T. Reinicke: Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung. Technische Universität Berlin, Dissertation Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme, Berlin, 2004.
- [4] K. Fichter: Modelle der Nutzerintegration in den Innovationsprozess. Werkstattbericht Nr. 75, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Berlin, 2005.
- [5] DIN EN ISO 9241-210:2011-01 Ergonomie der Mensch-System Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Beuth Verlag, Berlin, 2011.
- [6] M. Hassenzahl: Experience Design. Technology for All the Right Reasons. Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics, 2015.
- [7] T. Birken: IT-basierte Innovation als Implementationsproblem. Evolution und Grenzen des Technikakzeptanzmodell-Paradigmas, alternative Forschungsansätze und Anknüpfungspunkte für eine praxistheoretische Perspektive auf Innovationsprozesse. ISF, München, 2014.
- [8] M. Fishbein, I. Ajzen: Belief, Attitude, Intention and Behavior. Addison-Wesley, London, 1975.
- [9] V. Venkatesh: Determinants of Perceived Ease of Use: Integrating Control, Intrinsic Motivation, and Emotion into the Technology Acceptance Model. In: Information Systems Research 11, S. 342-365, 2000.
- [10] K. Paetzold, S. Wartzack: Challenges in the Design of Products for Elderly People. 9th International Workshop on Integrated Product Development, IPD Workshop, Magdeburg, 2012.
- [11] T. Birken, H. Pelizäus-Hoffmeister, P. Schweiger: Technische Assistenzsysteme und ihre Konkurrenten: zur Bedeutung von Praktiken der Alltagsbewältigung für die Technikentwicklung. In: VDE, Zukunft Lebensräume-Kongress, Berlin: VDE-Verlag, S. 84-89, ISBN: 978-3-8007-4212-7, 2016.
- [12] H. Pongratz, T. Birken: Praktikanz als Zieldimension anwendungsorientierter Forschung. In: Forum qualitativer Sozialforschung. Vol. 16, Nr. 3, Art. 9, 2016.

Der interdisziplinäre Entwicklungsprozess von aktiv angetriebenen, Körpergetragenen Exoskeletten für die oberen Extremitäten am Beispiel des „Stuttgart Exo-Jacket“

T. Rogge, U. Daub, A. Ebrahimi, U. Schneider

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Biomechatronische Systeme
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
tobias.rogge@ipa.fraunhofer.de

Kurzzusammenfassung

Am Beispiel der Stuttgart Exo-Jacket wird gezeigt, wie im Entwicklungsprozess dieses Exoskeletts für die oberen Extremitäten unterschiedliche Disziplinen zusammenwirken, um möglichst umfassende Anforderungen von Mensch und Umwelt berücksichtigen zu können. Dies ist die Grundvoraussetzung für eine hohe Akzeptanz in der späteren Anwendung.

Zunächst wird das grundlegende Vorgehen dieses Entwicklungsprozesses skizziert. Der Fokus liegt hier auf der Anforderungsanalyse und den Prüfmethoden. Konkrete Anwendungsfälle in biomechanischen Messungen werden analysiert, um quantitative Anforderungen an das Exoskelett zu definieren. Schließlich wird das System im betrachteten Einsatz validiert und optimiert.

Abstract

“The interdisciplinary development process of actively driven, body worn, exoskeletons for the upper extremities based on the “Stuttgart Exo-Jacket””

To take into account the maximum possible requirements of humans and environment, in the development process of exoskeletons, many different disciplines are necessary. How these disciplines are working together is shown, using the example of the Stuttgart Exo-Jacket. The integrated requirements review is the basic assumption in the development process for a high level of acceptance in the subsequent application.

The basic approach of this development process is outlined focused on the analysis of requirements and test methods. Specific applications in biomechanical measurements are analyzed to define quantitative requirements. Finally the system is optimized and validated in the considered scenario.

Keywords: Stuttgart Exo-Jacket, exoskeleton, testing, evaluation, Hebehilfe

1 Einleitung

Die Prävention von arbeitsbedingten Erkrankungen gewinnt in der industriellen Montage und Logistik zunehmend an Bedeutung. Muskulo-Skelettale Erkrankungen sind die häufigste Krankheitsart für Arbeitsunfähigkeitstage in Deutschland [1] und stehen insbesondere im Zusammenhang mit dem Demografischen Wandel im Fokus funktionaler Ergonomiekonzepte. Er-

krankungen der Schulter bedingen lange Ausfallzeiten des Workers [2] und werden durch Überkopf-Tätigkeiten, schweren Hebetätigkeiten und Arbeiten in ungünstigen Haltungen begünstigt [3].

In erster Instanz sollten ergonomische Grundlagen bereits zu Beginn der Wertstromkette in der Entwicklung und Fabrikplanung berücksichtigt werden, sodass erst gar keine Hilfsmittel zur Entlastung benötigt werden. Bestehende unergonomische Arbeitsplätze mit hoher Belastung auf den Worker können von diesem Ansatz jedoch nicht mehr profitieren und benötigen funktionale Alternativen. Körpergetragene Exoskelette, wie die Stuttgart Exo-Jacket haben das Ziel Lastspitzen bei kritischen Arbeitsabläufen zu reduzieren und somit Erkrankungen des Muskulo-Skelettalen Systems zu vermeiden ohne dabei die Arbeitsabläufe zu behindern. Um den Worker bei seiner Tätigkeit optimal und entlastend unterstützen zu können, müssen Aspekte aus unterschiedlichen Disziplinen berücksichtigt werden. Der interdisziplinäre Entwicklungsprozess der Stuttgart Exo-Jacket wird in diesem Beitrag beschrieben, mit dem Fokus auf Anforderungsanalyse und Prüfmethodik.

2 Stand der Technik

Exoskelette können unterschiedlich kategorisiert werden. Prinzipiell kann zwischen passiven und aktiven Exoskeletten unterschieden werden. Federgelagerte Exoskelette wie StrongArm, Robo-Mate [4] oder das FORTIST™ Exoskelett von Lockheed-Martin. Gesteuerte hydraulische oder pneumatische Exoskelette wie Innophys oder Kobalab, die für die Gewichtskompensation oder die gebremste Lastabnahme eingesetzt werden, sind Beispiele für passive Exoskelette. Aktive Exoskelette erzeugen zusätzliche Unterstützungskraft und sind besonders für Hebe-Tätigkeiten geeignet. Auch aus Sicht des Steuerungsprinzips und der Sensorik können Exoskelette kategorisiert werden [6, 7]. Auf EMG basierenden Exoskelette wie HAL 5 [8] nutzen die elektrische Aktivität der Muskeln für die Intensionerkennung und Drehmomentenregelung. Andere Regelungskonzepte basieren auf Kinematik und Kinetik. Beispielsweise das Ekso erfasst kinematische Gelenkinformationen und Interaktionskräfte zwischen Exoskelett und Mensch und regeln somit das Drehmoment und die Geschwindigkeit.

Exoskelette können auch hinsichtlich der Antriebsmodule in pneumatisch, hydraulisch, elektromechanisch oder mit künstlichen Muskeln eingeteilt werden. Die meisten vorhandenen elektromechanischen Exoskelette sind Tragesysteme, welche über große Leistungen in Kombination mit niedrigen Drehzahlen verfügen und dadurch nur begrenzt mobil sind.

Die Stuttgart Exo-Jacket ist ein Körpergetragenes, elektromechanisches Exoskelett für die oberen Extremitäten, die mit optimierten Aktoren für Hebe- und Überkopftätigkeiten und einem schlanken Design ausgestattet ist.

3 Methodisches Vorgehen

Hilfsmittel, die neu in der Montage eingesetzt werden sollen benötigen von allen Beteiligten grundsätzliche Zustimmung und Akzeptanz um erfolgreich integriert werden zu können. Dies muss insbesondere bei der Entwicklung von neuartigen Systemen wie einem Körpergetragenen Exoskelett berücksichtigt werden. Sowohl Worker, die das System später einsetzen sollen, deren Vorgesetzte bis auf finanzieller Entscheidungsebene, wie auch Betriebsrat und Betriebsarzt müssen daher schon von Beginn an in den Entwicklungsprozess einbezogen werden.

Aus diesem Grund ist der erste Schritt in der Entwicklung von aktiven Exoskeletten die Statuserhebung mit möglichst allen Beteiligten, um arbeits- und firmenspezifische Anforderungen

zu erfassen. Der iterative Entwicklungsprozess ist in Abbildung 3.1 grafisch dargestellt und verdeutlicht die zu durchlaufenden Schleifen. Rahmenbedingungen wie beispielweise die räumliche Umgebung des Einsatzgebietes und die zu unterstützenden Tätigkeitsprofile müssen erfasst und dadurch ein erstes Verständnis kritischer Belastungspunkte für den Werker bei seiner Arbeit erreicht werden. Umgebungsbedingungen und ergonomische Ziele definieren die ergonomische Herausforderung.

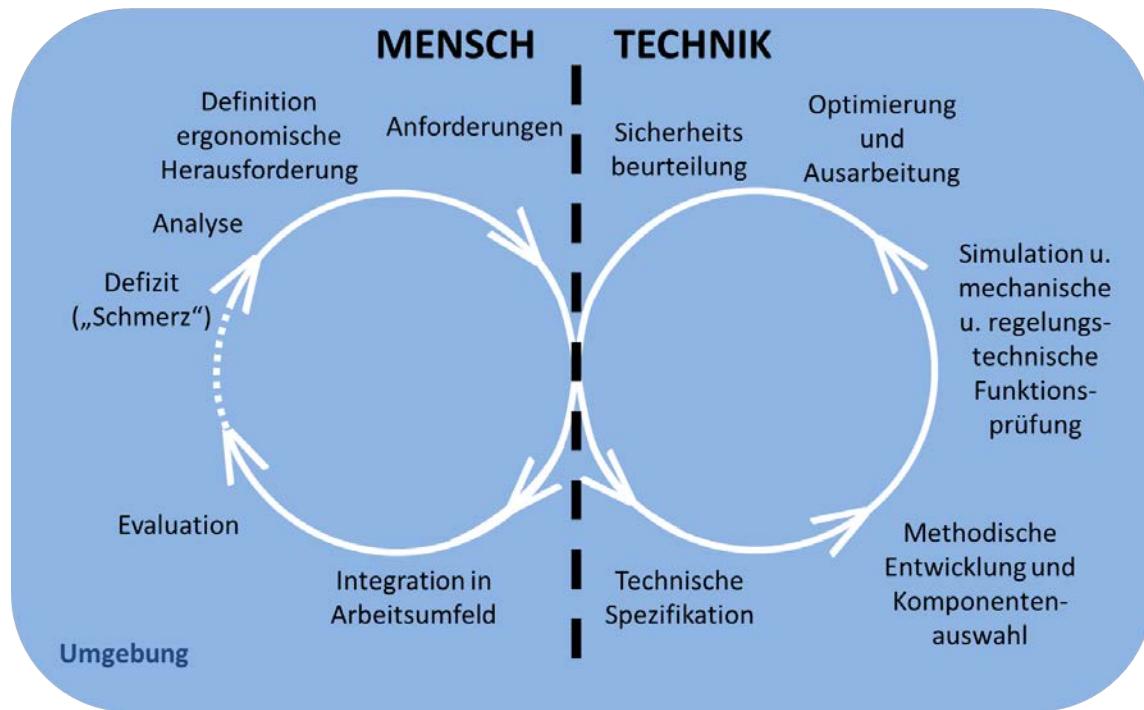


Abbildung 3.1: „Mensch-Maschine-Loop“: Schleifen in der Exoskelett-Entwicklung

Ein biomechanisches Mess-Setup unterstützt bei der Analyse und ermöglicht eine fundierte Definition der ergonomischen Herausforderung. Hochsensible Systeme zur Erfassung der Kinetik (z.B. Motion Capture) werden mit Kraftsensoren gekoppelt, um Gelenkmomente und -kräfte zu evaluieren. Die Anforderungen an die technische Umsetzung werden somit auf biomechanische Daten gestützt. In einer späteren Evaluation des technischen Hilfsmittels können die Werte der initialen Messung erneut herangezogen werden, um die Intervention zu validieren. Neben der objektiven Messung erfolgt eine weitere Evaluation zu Komfort, freier Beweglichkeit und Zufriedenheit durch eine Befragung der Anwender (vgl. Kapitel 3.4).

Die Anforderungen an das technische System resultieren aus der vorangegangenen Analyse. Die biomechanischen und ergonomischen Merkmale werden in eine technische Spezifikationsliste transformiert. Hierbei bleibt das Abstraktionslevel für das Exoskelett maximal, um keine technische Lösung im Vorhinein auszuschließen. Bewegungsradien und Drehmomente bilden die Grundlage. Davon ausgehend wird der Prototyp geplant. In parallel laufenden methodischen Entwicklungsiterationen werden die Baugruppen und Komponenten konzipiert und ausgewählt. Durch Simulationen, Berechnungen und Funktionsprüfungen werden ausgearbeitete Teile des Exoskeletts analysiert und optimiert. Nachdem der Prototyp fertiggestellt ist, muss die CE-Kennzeichnung nach Maschinenrichtlinie erfolgen. Jetzt kann das technische System zur Evaluierung am Menschen freigegeben werden.

3.1 Aufnehmen konkreter Anwendungsfälle

Bei jedem Anwendungsfall wird zunächst das genaue Ziel der Untersuchung definiert, um abzuleiten, welche mensch- und arbeitsbezogenen Daten untersucht werden müssen. Im nächsten Schritt wird das hierfür passende Mess-Setup aus Equipment und Location ausgewählt. Abhängig von Anforderungen an Präzision, Umgebungsbedingungen und Langzeitstabilität (Drift) kann für die Kinetik beispielsweise zwischen Motion Capture oder einem Inertialsensor-basierten System gewählt werden.

Für eine inversdynamische Berechnung von Gelenkmomenten und –kräften werden präzise Bewegungsdaten (z.B. durch Motion Capture) mit extern gemessenen Kräften (Kraftmessdose, Kraftmessplatte) synchronisiert. Dies ermöglicht eine quantitative und objektive Bewertung der Belastung. Als Herausforderung gilt die inversdynamische Berechnung bei der Interaktion zwischen Werker und externen Geräten, wie beispielsweise Exoskeletten, da die Kontaktkräfte zwischen Mensch und System in der Berechnung berücksichtigt werden müssen. [9]

3.2 Ableitung von Anforderungen anhand bekannter Genese arbeitsbedingter Erkrankungen

Es sind viele Korrelationen zu der Art der körperlichen Belastung und der Häufigkeit verschiedener arbeitsbezogenen Muskulo-Skelettalen Erkrankungen bekannt. So stehen beispielsweise stark repetitive Tätigkeiten in Verdacht ein Faktor bei der Entstehung orthopädischer Beschwerden, wie dem Tennisellenbogen oder Sehnenscheidenentzündungen, zu sein. [10, 11]

Ungünstige und/ oder lang gleichbleibende Haltungspositionen haben ungünstige Effekte auf Muskulatur und Gelenke. Sowohl Muskeln wie auch gelenkige Strukturen wie Knochen, Knorpel, Kapsel und Bänder sind auf einen Wechsel von Belastungen angewiesen, um mit ausreichend Nährstoffen versorgt zu werden und Stoffwechselendprodukte abbauen zu können [12, 13]. Ist dieser Austausch durch statisch anhaltende Belastung, insbesondere in ungünstigen Haltungen wie Über-Kopftätigkeiten gestört, werden Muskel- und Gelenkbeschwerden begünstigt [11, 14, 15, 16]. Ist der Werker über längere Zeit gezwungen seine Arme anzuheben erhöht sich nicht nur die Belastung auf das Gelenk, sondern es entstehen auch ungünstige Scherkräfte, welche durch ein gestörtes Wechselspiel der stabilisierenden Schultergelenksmuskulatur entsteht. Scherkräfte, verminderter Stoffwechsel und erhöhte Belastung auf das Gelenk sind Risikofaktoren, die Krankheitsbilder wie Arthrose, Impingement-Syndrome oder Muskelverspannungen im Schulter-Nackenbereich begünstigen.

Ein Ziel der Stuttgart Exo-Jacket ist daher diesen Belastungsformen bei Über-Kopf-Tätigkeiten durch einen funktionellen Aufbau und möglichst intuitive Steuerung entgegenzuwirken. Ein weiteres Einsatzgebiet dieses Exoskeletts sind Hebe-Tätigkeiten, um das Muskulo-Skelettale System bei der Lastenhandhabung zu entlasten. Wenn hohe Lasten sich aus produktionstechnischen Gründen nicht reduzieren lassen, empfehlen sich technische Unterstützungssysteme als Präventionsmaßnahme für orthopädische, arbeitsbezogene Erkrankungen.

Ein Exoskelett kann gemäß den mensch- und umweltbezogenen Anforderungen des Einsatzgebietes funktional abgestimmt werden. Neben der Auswahl geeigneter Antriebe und Übersetzung, sowie der Entwicklung einer intuitiven Steuerung, spielt der Aufbau einer funktionellen Kinematik für den gesamten Schultergürtelkomplex eine zentrale Rolle, um ungewollte Scherkräfte zu vermeiden. Vorteile von Exoskeletten gegenüber starren oder fest verankerten Systemen wie Manipulatoren oder Automatisierungssystemen zeigen sich insbesondere dann, wenn

die Lastenhandhabung in ihrer Form oder Lokalität differenziert und die Flexibilität, Vielseitigkeit oder Autonomie des Menschen gefordert ist.

3.3 Ableitung der technischen Spezifikationen und methodische Entwicklung

Die Bewegungsausmaße des Workers in seiner Arbeitssituation werden aus den anfänglichen Messungen analysiert. Die als kritisch identifizierten Bewegungen oder Haltungen müssen vom Exoskelett unterstützt werden. Die passiven Freiheitsgrade müssen passend zu den aktiv angetriebenen Freiheitsgraden so angeordnet werden, dass die Bewegungsfreiheit nicht zu sehr eingeschränkt wird. Über eine sinnvoll gestaltete Gelenkkinematik können aktive Antriebe eingespart werden. Hier ist abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall zu detektieren, an welchen Gelenken aktive Komponenten notwendig sind.

Die methodische Entwicklung und Komponentenauswahl erfolgt in iterativen Schleifen. Nachdem die Spezifikationen der Module in der Planung des Gesamtsystems definiert sind, werden durch die Ingenieure der unterschiedlichen Disziplinen Entwürfe und Konzepte erarbeitet. Im Team werden die Kombinationen auf Plausibilität geprüft und gegebenenfalls angepasst und optimiert. Um die Flexibilität während der Entwicklung stets hochzuhalten, werden die Antriebe, Elektronikinfrastruktur, Regelung, Sensorik und Kinematik modular erarbeitet. Dadurch können nachträgliche Änderungen problemlos durchgeführt werden.

Die biomechanischen Eigenschaften der aktiv zu unterstützenden Gelenke sollen letztendlich auch auf die Antriebsparameter heruntergebrochen werden. Im Weiteren wird die technische Spezifikation des elektromechanischen Antriebssystems am Beispiel der Stuttgart Exo-Jacket beschrieben.

Eine große Anzahl der industriellen Hebetätigkeiten und Überkopfarbeiten können unter dem Einsatz von konzentrischen Antrieben am Ellenbogen und an der Schulter erleichtert bzw. ergonomisch unterstützt durchgeführt werden. Prinzipiell werden die lokomotorischen Bewegungen in der Sagittalebene gegen die Gravitation assistiert. Dies betrifft primär die Flexion des Ellenbogengelenks und Anteversion des Schultergelenks. Nun müssen die kinetischen und kinematischen Eigenschaften der bereits benannten Bewegungen auf die Antriebsprache übersetzt werden. Die relevantesten Parameter sind unter anderem das Drehmoment und die Drehzahl der Motor-Getriebekombination. Die Antriebseinheit muss ebenfalls hinsichtlich Gewicht, Volumen, Energieverbrauch, Vibrationen und Dynamik ausgelegt werden. Da die elektrischen Maschinen nicht mit der Drehmomentdichte des menschlichen Gelenks konkurrieren können, muss für die spezifische Handhabungsaufgabe ein begrenzter Drehmoment-Drehzahl Bereich gewählt werden. Dadurch ist der Arbeitspunkt der Aktuatoren optimal abgestimmt. [17]

Die interdisziplinäre Konstellation diverser technischer Gebiete wie z.B. Energieversorgung, Elektronik, Kommunikation und Regelung lassen sich nicht isoliert bewerten. Die Auswahl des Aktors ist nicht nur abhängig von den elektromechanischen Parametern, sondern auch von der Gesamtbetrachtung anderer Komponenten. Die Sensorpositionen, Akkugröße und Topographie der peripheren Elektronik-Infrastruktur sind nur ein paar Beispiele von zusätzlichen zusammenhängender Eigenschaften.

3.4 Technische Funktionsprüfung und Evaluation am Menschen

Um die Körpergetragenen Systeme oder einzelne Elemente daraus zu testen und zu evaluieren, stehen viele Möglichkeiten zur Verfügung. Analog zu Prüfmethoden für Schuhe kann hier die

Unterteilung zwischen subjektiven, biomechanischen und mechanischen Tests gemacht werden. Nur die Kombination aus allen Testweisen bietet eine ganzheitliche Bewertungsmöglichkeit eines zu untersuchenden Systems. [18]

Bei subjektiven und biomechanischen Methoden steht der Mensch im Mittelpunkt. Deshalb können sie einfach kombiniert werden. Jedoch ist zu beachten, dass individuelle Eigenschaften und Tagesform abhängige Faktoren hier eine große Rolle spielen. Bei neuen Technologien, wie Exoskeletten, könnten Unsicherheiten der Probanden zu einer Verfälschung der natürlichen Bewegung führen. Falls Probanden sich aus Vorsicht langsamer oder eingeschränkter bewegen, ist die Aussagekraft der Tests reduziert.

Bei rein mechanischen Prüfverfahren, also ohne einen Menschen als Proband, haben diese Unsicherheitsfaktoren keinen Einfluss auf das Testergebnis. Deshalb lassen sich Unterstützungs systeme damit sehr objektiv testen, bewerten und weiterentwickeln.

Mechanische Tests ohne Probanden müssen die Grundlage des Prüfungs- und Optimierungs prozesses sein, bevor am Menschen erprobt wird. Diese Tests werden in den iterativen Schleifen des Entwicklungsprozesses immer wieder herangezogen, um Baugruppen oder Komponenten zu analysieren und weiterzuentwickeln.

Im Fall vom Antriebssystem, wird das Verhalten der Motor-Getriebekombination auf dafür gezielt konzipierte Prüfstände vermessen. Die Dynamikeigenschaften des Aktors, der Drehmomentaufbau am Ausgang des Getriebes, der dynamische Wirkungsgrad der Motor-Getriebe Kombination sind Beispiele der zu evaluierenden Parameter. Im Vergleich mit dem Prototyp werden die Prüfstände in der Regel mit komplexerer Sensorik und Hilfsequipment ausgestattet. Damit wird unter anderem das Federverhalten des Getriebes, die Hysterese und die Reibung ermittelt. Außerdem lässt sich das modellbasierte Drehmoment verifizieren. Der Prüfstand bildet reversibel kontrollierte Arbeitszustände nach. Damit wird beispielsweise das Temperaturverhalten des Antriebs evaluiert. Da das Ausgangsdrehmoment temperaturabhängig ist, werden die Abweichungen durch die Regelung kompensiert.

Für die mechanischen Strukturteile werden statische und dynamische Überlast- und Dauerver suchen mit einzelnen Bauteilen oder kompletten Modulen des Exoskeletts durchgeführt. Hierbei werden sicherheitsrelevante Merkmale des Gesamtsystems untersucht und danach beurteilt. Für einzelne passive Strukturteile, Schalen, Gelenkketten und mechanische Anschlüsse können herkömmliche Prüfmaschinen durch Zug, Druck, Biegung und Torsion beansprucht werden. Bei kombinierten Bauteilen mit mehreren aktiven oder passiven Freiheitsgraden werden hier vielseitigere Prüfeinrichtungen benötigt.

Ein neuartiger Ansatz ist, einen 6-achsigen Industrieroboter einzusetzen, welcher positions und/oder kraftgesteuert komplexe Belastungen und Bewegungsabläufe simuliert und analysiert. Das vielversprechende Vorgehen und die Möglichkeiten einer derartigen Prüfmethode werden im Folgenden erläutert.

Die natürlichen Bewegungen von Probanden und bewegten Objekten werden mit Bewegungserfassungssystemen analysiert. In einer Nachbearbeitung der generierten Daten werden einzelne Bewegungssequenzen oder kombinierte Bewegungen so transformiert, dass sie vom Roboter nachgeahmt werden können. Das Unterstützungssystem wird an definierter Position mit dem Roboterhandgelenk verbunden. Eine Kraftmessdose und eine in der Robotersteuerung integrierte Kraftsteuerung ermöglichen sowohl die kinetische Analyse der Bewegung, als auch eine Regelung der Bewegung.

Die Möglichkeiten mit dem Prüfsystem sind vielfältig. Es lassen sich einzelne und kombinierte Lasten abprüfen. Beispielsweise lassen sich mechanische Anschläge in den aktiv angetriebenen Gelenken über realitätsgerechte, dynamische Tests analysieren. Mit Hilfe eines künstlichen Armes können zusätzlich die Trägheits- und Kontaktkräfte simuliert werden. Im Dauerversuch lassen sich Aussagen hinsichtlich der Lebensdauer einzelner Komponenten oder des Gesamtsystems treffen, was elementarer Bestandteil einer Sicherheitsbewertung ist. Kinematisch kritische Bewegungssequenzen können mit Hilfe des universalen Prüfsystems examiniert werden. Hier besteht die Möglichkeit, passive Bewegungen mit dem Exoskelett durchzuführen. Darüber hinaus können aktiv angetriebene Untersysteme bezüglich ihrer Regelung und Steuerung analysiert werden. Unterschiedliche Regelungskonzepte oder -parameter können optimiert und evaluiert werden.

Auch die menschbezogene Evaluation fußt auf verschiedenen Teilbereichen. Gemäß den Erkenntnissen aus der initialen biomechanischen Messung, die zur Bestimmung der technischen Anforderungen erhoben wurde, kann für die Evaluierung am Menschen das Mess-Setup identisch oder angepasst wiederholt werden. In einem erneuten Versuchsaufbau an der definierten Arbeitsstation werden relevante biomechanische Daten des Workers zunächst ohne und anschließend mit dem Exoskelett erfasst. In diesem Direktvergleich dieser Messdaten lassen sich Divergenzen des dreidimensionalen Bewegungsablaufs, Beschleunigungsverhalten, Bewegungsausmaße, Muskelaktivitäten oder Vitalparameter zwischen den verschiedenen Durchläufen analysieren und klinisch interpretieren. Auch Modelle zur inversdynamischen Rückrechnung auf die Gelenkmomente sind theoretisch möglich. Unabhängig dieser objektiven Messungen ist die Befragung des subjektiven Empfindens des Exoskelett-Anwenders unabdingbar. Fragestellungen zu Komfort, Beweglichkeit und Unterstützung sollten sich an den vieljährigen Erfahrungen von teilweise gut evaluierten Scores aus der Prothetik und Orthetik orientieren. Es ist davon auszugehen, dass weitere Assessments für die funktionelle Evaluation benötigt werden, um beispielsweise die Entlastung auch ohne hochspezifisches Equipment beurteilen zu können.

Nicht zuletzt spielt auch die Inspektion der Haut eine Rolle, weil Fixations- und Kraftleitungspunkte des Exoskeletts am Körper zu Druckstellen tendieren. Auch hier können Assessments aus dem Erfahrungsschatz von orthopädietechnischen Untersuchungsmethoden profitieren.

4 Technische Umsetzung am Beispiel der Stuttgart Exo-Jacket

Nach den ersten iterativen Entwicklungsschleifen wird durch geschultes, technisches Personal ein erster Prototyp aufgebaut. In Abbildung 4.1 ist die Stuttgart Exo-Jacket dargestellt.

Dieser Prototyp besteht aus den Ellenbogen- und Schulterantriebsmodulen, einer kraftleitenden Struktur, einer Schulterkinematik, dem Rückenmodul, dem Beckenmodul, dem Akku und Batteriemanagementsystem, der Elektronikinfrastruktur, integrierten Sensorik und einer Evaluationsbox. Die Evaluationsbox ermöglicht eine Funktionsuntersuchung in Echtzeit, um beispielsweise die Sensorwerte- und Aktorzustände bei bestimmten Bewegungen zu untersuchen. Das Sensorikkonzept besteht aus der Positions- und Geschwindigkeitserfassung jedes aktuierten Gelenks und Kraftsensoren zwischen Mensch und Exoskelett. Die zu tragende Last wird über die Kinematik von den Armen über eine Rückenplatte in das Becken eingeleitet. Über eine



Abbildung 4.1: Beispiel für Exoskelett-Prototyp: Die „Stuttgart Exo-Jacket“

Kommunikationsschnittstelle werden alle Antriebe, Sensoren und der Regler miteinander verbunden. Mit dem Prototyp können unterschiedliche Tests für die Hebetätigkeiten und Überkopfarbeiten aufgeführt werden. Für eine detaillierte Evaluation des Gesamtsystems sind jedoch weitere Prüfungen notwendig.

5 Diskussion

Die Entwicklung komplexer Unterstützungssysteme mit elektromechanischen Antrieben benötigt eine hohe Interdisziplinarität, um stets den Fokus auf den Menschen bei allen technischen Herausforderungen zu wahren. Im Entwicklungsprozess wurden keine standardisierten Methoden und allgemeingültige Prozesse definiert. Das hier vorgeschlagene und beschriebene Vorgehen muss in der Zukunft noch validiert werden. Um die Sicherheit, aber auch den Komfort des Menschen zu gewährleisten sollten die vorgestellten Evaluierungsmethoden weiter erforscht und entwickelt werden. Es konnten keine Studien gefunden werden, die den Einfluss auf den Anwender des Exoskeletts umfassend und kritisch untersuchen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde der interdisziplinäre Entwicklungsprozess von körpergetragenen Produkten am Beispiel der Stuttgart Exo-Jacket beschrieben. Der Fokus lag dabei auf der mehrdimensionalen Analyse von spezifischen Arbeitsabläufen, der darauffolgenden Anforderungsableitung für das körpergetragene Unterstützungssystem und den mechanischen Prüfverfahren. Der interdisziplinäre Ansatz und das Einbeziehen potenzieller Anwender im frühen Entwicklungsstadium von aktiv angetriebenen Exoskeletten, wird als elementarer Bestandteil einer zielorientierten Auslegung des Systems für eine möglichst hohe und nachhaltige Nutzerakzeptanz verstanden. Eine große Herausforderung besteht darin, die Sprachen und Denkweisen der unterschiedlichen Disziplinen zu übersetzen und sich gegenseitig näherzubringen. Es sind aktuell keine standardisierten Prüfmethoden für aktiv angetriebene, körpergetragene Unterstützungssysteme vorhanden.

den. Mit komplexen Prüfsystemen, wie z.B. einem 6-achsigen Industrieroboter können verschiedene Aspekte der Produkte analysiert werden. Probandentests können im Anschluss sicherer und zuverlässiger durchgeführt werden.

Auch für den Menschen bestehen derzeit keine standardisierten Prüfmethoden. Es gilt zu erarbeiten, welche physiologischen Parameter durch das Tragen eines Exoskeletts beeinflusst werden können. Zur Detektion dieser Parameter müssen valide, reliable und objektive Mess-Setups entwickelt werden, um Vorteile und Schwächen körpergetragener Assistenzsysteme wissenschaftlich fundiert beurteilen zu können.

So wie die Entwicklungen verschiedener Exoskelette derzeit vorangetrieben werden, müssen für einen erfolgreichen Einsatz in der Produktion auch gleichermaßen die Evaluationsmethoden auf technischer und menschbezogener Ebene berücksichtigt werden.

7 Literatur

- [1] H. Rebscher, J. Marschall, S. Hildebrandt, et al.: Gesundheitsreport 2016. Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. Schwerpunkt: Gender und Gesundheit. medhochzwei Verlag GmbH, 2016.
- [2] Bureau of Labor Statistics: Case and demographic characteristics for work-related injuries and illnesses involving days away from work, 2006.
- [3] C. H. Linaker, K. Walker-Bone: Shoulder disorders and occupation. Best Practice & Research Clinical Rheumatology, 29(3), S. 405-423, 2015.
- [4] R. Altenburger, D. Scherly, K. S. Stadler: Design of a passive, iso-elastic upper limb exoskeleton for gravity compensation. Robomech Journal, 2016.
- [5] S. Karlin: Riding Iron Man's closet. IEEE Spectrum, Volume 48, 2011.
- [6] E. Guizzo, H. Goldstein: The rise of the body bots (robotic exoskeletons). IEEE Spectrum, Volume 48, 2005.
- [7] R. A. R. C. Gopura, D. S. V. Bandara, K. Kiguchi et al.: Developments in hardware systems of active upper-limb exoskeleton robots: A review. Elsevier, Robotics and Autonomous Systems, 2016.
- [8] Z. Huang, J. Liu, Z. Li, et al.: Adaptive impedance control of robotic exoskeletons using reinforcement learning. IEE International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics, 2016.
- [9] F. Blab, O. Avci, U. Daub, U. Schneider: New approaches for analysis in ergonomics: From paper and pencil methods to biomechanical simulation: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [10] K. Walker-Bone, K. T. Palmer, I. Reading, et al.: Occupation and epicondylitis: a population-based study. Rheumatology 51(2), S. 305-310, 2012.
- [11] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV): DGUV Information 208-033 "Belastungen für Rücken und Gelenke - was geht mich das an?" (BGI/GUV-I 7011) Ausgabe September 2013, aktualisierte Fassung Februar 2016, S. 1-44.
- [12] M. Dölken: Physiotherapie in der Orthopädie: 2. Auflage. Thieme, S. 421, 2009.
- [13] A. Hüter-Becker, U. Betz: Das neue Denkmodell in der Physiotherapie: Thieme, S. 59, 2006.
- [14] J. L. Allen, C. James, S. J. Snodgrass: The effect of load on biomechanics during an overhead lift in the WorkHab Functional Capacity Evaluation. Work, 43(4), 2012.

- [15] H. Sakakibara, M. Miyao, T. A. Kondo et al.: Overhead work and shoulder-neck pain in orchard farmers harvesting pears and apples. *Ergonomics*, 38(4), S. 700-706, 1995.
- [16] D. Sood, M. Nussbaum, K. Hager: Fatigue during prolonged intermittent overhead work: reliability of measures and effects of working height. *Ergonomics*, 50 (4), 2007.
- [17] D. Ebrahimi, B. Minzenmay, U. Budaker, U. Schneider: Bionic Upper Orthotics with Integrated EMG Sensory. The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, IEEE RO-MAN. Edinburgh, 2014.
- [18] S. Odenwald: Test methods in development of sport equipment. The engineering of sport 6, Hrsg.: E. F. Moritz, S. Haake; Springer-Verlag. New York, 2006.

Prozessmodell zur anwendungsorientierten Entwicklung von Power-Tools

Messtechnisch gestützt vom realen Nutzungsverhalten zu fundierten Entwicklungszielgrößen

S. Matthiesen, R. Germann, S. Schmidt, K. Hölz, M. Uhl

IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie,
Kaiserstr. 10, 76131 Karlsruhe
sven.matthiesen@kit.edu

Kurzzusammenfassung

In diesem Beitrag wird ein vierstufiges Prozessmodell vorgestellt, welches Produktentwickler bei der anwendungsorientierten Entwicklung von Power-Tools unterstützt. Innerhalb einer Vorstudie erfolgt die an das Untersuchungsziel angepasste Probanden- und Messtechnikauswahl. Mit der Anwendungsfallmodellierung wird das reale Nutzungsverhalten erfasst und durch Anwendungsfälle beschrieben. Innerhalb der Testfallgenerierung werden relevante Anwendungsfälle in Testfälle überführt und durch das Testen in geeigneten Testumgebungen fundierte Entwicklungszielgrößen abgeleitet. Zur Verdeutlichung wird das Prozessmodell am Beispiel einer Stichsägenentwicklung, innerhalb des IPEK Power-Tool-Testcenters, vorgestellt.

Abstract

“Process modell for application-oriented development of power tools”

This contribution presents a four-stage process model supporting the user orientated development of power tools. Based on the investigation goal the selection of users and measurements conducts within a pre-study. With the use case modeling step the real user behavior gets captured and can be described by use cases. During the test-case creation step relevant use-cases are transferred into test-cases, which can be tested within suitable test environments to conduct valid development aims. For better clarification the process model is presented on the example of a jigsaw development inside the IPEK-Application-Center for power tools.

Keywords: Power-Tools, Anwendungsfall, Testfall, Entwicklungszielgrößen, User-Centered Design

1 Einleitung

In vielen Anwendungen stehen technische Systeme in direkter Beziehung mit dem Menschen oder wechselwirken mit diesem. Besonders stark ist diese Wechselwirkung bei Power-Tools – wie beispielsweise Bohrhämmern, Schlagschraubern, Kettensägen oder Trennschleifern – da hier der Mensch im Leistungsfluss des technischen Systems steht und einen erheblichen Einfluss auf die Funktionserfüllung ausübt [1]. Die Anwendungsqualität eines Power-Tools hängt daher stark davon ab, von welchem Anwender und unter welchen Umgebungsrandbedingungen das Produkt eingesetzt wird [2]. Weiterhin werden Power-Tools auch von Profis sehr unterschiedlich und teilweise ‚kreativ‘ eingesetzt. Für eine kunden- oder anwendungsorientierte Pro-

duktentwicklung (im Folgenden zusammengefasst zu anwendungsorientiert) neuer Produktgenerationen muss daher die reale Verwendung des Power-Tools möglichst umfänglich erfasst, oder vorausgedacht sowie die gesamtsystemischen Wechselwirkungen zwischen Bediener, technischem System und Umgebung ermittelt und berücksichtigt werden [2]. Die Erforschung von durchgängigen Methoden zur Ermittlung von fundierten Entwicklungszielgrößen und der Validierung von Power-Tools stellt enormes Potential für die Produktentwicklung dar. In diesem Beitrag wird ein Prozessmodell (siehe Abbildung 1.1) vorgestellt, welches bestehende Modelle aus dem Stand der Forschung kombiniert und durch neue Beschreibungsformen, welche mit geeigneter Messtechnik verknüpft werden, erweitert. Durch diesen Prozess soll der Entwickler bei der anwendungsorientierten Entwicklung von Systemen unterstützt werden.

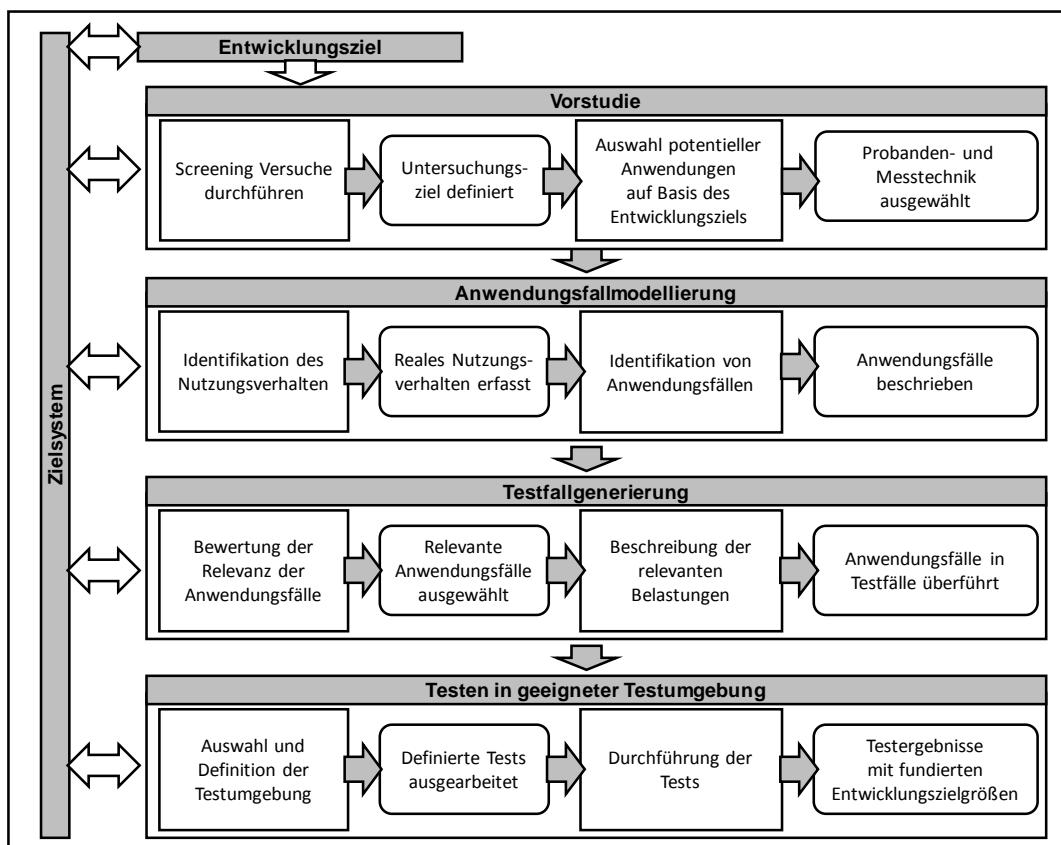


Abbildung 1.1: Prozessmodell zur anwendungsorientierten Entwicklung von Power-Tools

Das Prozessmodell besteht aus vier Prozessschritten, welche in Kapitel 6 am Beispiel einer Problemstellung zur Neuentwicklung einer Stichsäge verdeutlicht werden. Ausgehend von einem **Entwicklungsziel** (z.B. Nachfolgegeneration einer Stichsäge oder Verbesserung des Führungsverhaltens) wird empfohlen eine **(1.) Vorstudie** durchzuführen, um Systemverständnis auf- und auszubauen sowie geeignete Messtechnik und Probanden für das Entwicklungsziel auszuwählen. Im Rahmen einer **(2.) Anwendungsfallmodellierung** wird das Nutzungsverhalten von Anwendern erfasst und spezifische Anwendungsfälle abgeleitet. Mit Fokus auf dem Entwicklungsziel werden aus den Anwendungsfällen repräsentative **(3.) Testfälle generiert**. Diese Testfälle sind abstrakt definiert und können daher in unterschiedlichen Testumgebungen (Power-Tool-Testcenter, Teil-Komponenten-Prüfstand, ...) durchgeführt werden. Zur Durchführung der **(4.) Tests in geeigneter Testumgebung** muss der Testfall konkretisiert werden.

Die Erkenntnisse aus den einzelnen Prozessschritten erweitern jeweils das Zielsystem, welches alle relevanten Ziele, Wechselwirkungen und Randbedingungen beinhaltet [3]. Weiterhin erfolgt ein kontinuierlicher Abgleich zwischen dem Zielsystem und dem Entwicklungsziel.

2 Entwicklungsziel und Vorstudie

Das hier vorgestellte Prozessmodell kann situationsangepasst für unterschiedliche Fragestellungen und Auftraggeber (bspw. Gerätehersteller, -zulieferer oder Werkzeugentwickler) angewendet werden. Die Klärung der Entwicklungsziele inklusive einer Situationsanalyse und Problemeingrenzung [4] sollte in engem Kontakt mit dem Auftraggeber durchgeführt werden. Bei Fragestellungen mit zu Projektbeginn geringem Systemverständnis ist eine Vorstudie – innerhalb welcher Screening Versuche durchgeführt werden – wichtig, um das Untersuchungsziel definieren zu können. Dabei werden potentielle Anwendungen identifiziert und eine Auswahl an geeigneter Messtechnik und Probanden getroffen. Falls Entwicklungsziele aus der Systembenutzung kommen, (z.B. rechtwinkliger Sägeschnitt) sollte sich zwingend mit den gesamtsystemischen Wechselwirkungen auseinandergesetzt werden.

3 Anwendungsfallmodellierung

Im Folgenden werden die Schritte des Prozessmodells basierend auf dem Stand der Forschung vorgestellt und durch neue Beschreibungsformen sowie mit der Verknüpfung geeigneter Messtechnik erweitert.

3.1 Nutzungsverhalten identifizieren und erfassen

Das reale Nutzungsverhalten und die Kundenanforderungen bilden die Grundlage für eine anwendungsorientierte Entwicklung. Unter realem Nutzungsverhalten werden dabei Attribute wie Arbeitsablauf, Einsatzort, Randbedingungen, das Anwendungsziel sowie ggf. auftretende Fehlbedienungen, verstanden. Zur Identifikation des Nutzungsverhaltens bieten sich die in Abbildung 3.1 dargestellten Methoden an (angelehnt an Zehnter [5]), welche mit und ohne realen Anwender durchgeführt werden können.

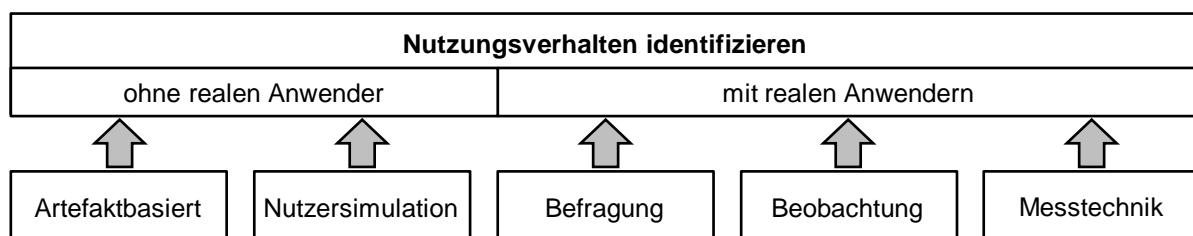


Abbildung 3.1: Methoden zur Identifikation des Nutzungsverhaltens (angelehnt an [5])

(1) Artefaktbasierte Methoden: Durch die Analyse von Artefakten - Lastenheften, Benutzerhandbüchern, technischen Dokumentationen (ReUse) und von Altgeräten und Servicerückläufern (Systemarchäologie), werden Informationen über das Nutzungsverhalten rekonstruiert.

(2) Nutzersimulation: Indem Arbeitsabläufe nachvollzogen, Szenarien vorausgedacht oder das Power-Tool von den Entwicklern erprobt wird, können Nutzungsszenarien simuliert und Anforderungen identifiziert werden. Hilfsmittel für das Vorausdenken können Checklisten, Klassifikationen, Leitlinien oder die Hauptmerkmalsliste nach Feldhusen [6] sein.

Eine **(3) Befragung** der Anwender kann durch verschiedene Methoden erfolgen. Hierzu zählen Interview, Expertenrunde, Fragebogen, Tagebuchmethode oder beispielsweise die On-Site-Customer Technik. On-Site-Customer bedeutet hierbei, dass der direkte Austausch zwischen

Entwickler und Anwender am Anwendungsort stattfindet. Dies hat den Vorteil, dass Frage- und Problemstellungen an der realen Anwendungssituation (Arbeitsutensilien und -umfeld) diskutiert werden können. Die fehlende Distanz hilft damit Missverständnisse vorzubeugen. [5]

(4) **Beobachtungen** können durch Feldstudien, Perspektivenwechsel (internal/external view, Egoperspektive, 3rdperson view) oder Apprenticing erfolgen. Dabei bezeichnet Apprenticing das Anlernen oder *in die Lehre gehen* bei einem erfahrenen Anwender. Dem Entwickler kann somit die Bedienung des Power-Tools und implizit getätigte Arbeits- und Bewegungsabläufe vermittelt werden. [7] Die Auswahl der (5) **Messtechnik** hängt stark von der Fragestellung und den zu erfassenden System-Parametern ab [6].

3.2 Identifikation von Anwendungsfällen

Das reale Nutzungsverhalten wird zur Identifikation der Anwendungsfälle analysiert, indem es phasenweise aufgeteilt und hinsichtlich der Bedeutung und Häufigkeit bewertet wird. Durch vorliegende Messwerte des Nutzungsverhaltens kann die Identifikation durch eine Mustererkennung unterstützt werden. Die Identifikation und spätere Beschreibung der Anwendungsfälle erfolgt dabei zunächst unabhängig vom Untersuchungsziel.

3.3 Beschreibung von Anwendungsfällen

Ein Anwendungsfall (engl. use case) beinhaltet alle Aktionen die ein Anwender mithilfe eines Systems in einer bestimmten Umgebung – unter gewissen Randbedingungen – durchführt, um ein konkretes Ziel zu erreichen. Dabei werden durch Anwendungsfälle nicht nur die zur Benutzung des Power-Tools notwendigen Handlungen beschrieben, sondern auch Fehlanwendungen (engl. misuse case) und mutwillige Missbrauchsanwendungen berücksichtigt. Da sowohl der Untergrund, als auch der Anwender selbst großen Einfluss auf das Arbeitsergebnis haben, sollten die relevanten Größen der gesamten Wirkungskette im beschriebenen Anwendungsfall Beachtung finden. Zur methodischen Unterstützung bei der Beschreibung eines Anwendungsfalls wird im Folgenden eine Auswahl verschiedener Beschreibungsformen zur Verfügung gestellt. Diese ist auf Basis der natürlichen Sprache (User Story, Text), der formalen Sprache (Zustands- und Aktivitätsdiagramme) und in prozessualer Sprache (C&C²-Modell, MTM, REFA, etc.) möglich. Die Beschreibung eines Anwendungsfalls sollte mit Hilfe des Modellierungselements „Use Case“ stattfinden. Zusätzlich kann dieser durch eine User Story, beschreibender Text, oder mithilfe von Bild-, Ton- oder Videoaufnahmen detailliert werden. Für komplizierte Anwendungsfälle ist eine wie im Folgenden aufgezeigte, tiefergehende Beschreibung sinnvoll. Sich zeitliche verändernde Abläufe einer Tätigkeit lassen sich mithilfe von REFA oder einer Multimoment-Studie (MTM) beschreiben [8]. Mit REFA können die Arbeitsabläufe und ermittelten Zeiten in Ablaufarten gegliedert werden, wodurch die benötigten Arbeitszeiten für Haupt- und Nebentätigkeiten der Nutzung deutlich werden. Bei der Multimoment-Studie lässt sich beispielsweise die Hand-Arm Bewegung in Grundbewegungen aufteilen. Eine weitere Beschreibungsmöglichkeit sind prozessuale Darstellungen wie Aktivitäts-, Zustand- oder Sequenzdiagramme. Damit lassen sich zeitliche Abläufe oder Abhängigkeiten methodisch beschreiben. Die Beschreibung der Anwendungsfälle sollte, begleitend zur Wahl der Beschreibungsformen, durch geeignete Messwerte ergänzt werden.

4 Testfallgenerierung

Ausgehend vom Untersuchungsziel werden die in der Anwendungsfallmodellierung beschriebenen Anwendungsfälle nach Relevanz bewertet und ausgewählt. Zur Generierung eines auf

das Untersuchungsziel angepassten Testfalls werden diese abstrakt durch die relevanten Belastungen aus den Anwendungsfällen beschrieben. Der Testfall enthält somit alle definierten Eingangsgrößen (Nutzercharakteristiken), Randbedingungen (System- und Untergrundbedingungen) und das erwartete Systemverhalten [3]. Ein Testfall kann entweder Aspekte verschiedener Anwendungsfälle beinhalten oder ein Anwendungsfall durch unterschiedliche Testfälle abgebildet werden. Durch die abstrakte Definition ist es möglich den späteren Test in unterschiedlichen Testumgebungen rein virtuell, physisch oder in gemischter Form entsprechend dem IPEK-XiL-Framework durchzuführen [9].

5 Testen in geeigneter Testumgebung

Ein Test liefert Erkenntnisse, ob ein System zuvor definierten Anforderungen entspricht [3]. Dieser beinhaltet den eigentlichen Testfall, eine Testumgebung und eine Testinterpretation. Erst nach Wahl der Testumgebung kann der abstrakte Testfall in einen konkreten Test überführt werden, welcher genaue Arbeitsabläufe, Testbedingungen, -zeiten, verwendete Modelle etc. enthält [9]. Das IPEK – Institut für Produktentwicklung stellt unterschiedliche Testumgebungen zur gesamtsystemischen Validierung zur Verfügung. Die Validierungsaktivitäten erfolgen dabei nach dem IPEK-XiL-Framework [9], wonach die reale Benutzung eines Produkts (Anwendungsfälle) stets die Grundlage für eine anwendungsnahe Validierung darstellen muss [2]. Bestandteile sind unter anderem: ein Power-Tool-Testcenter [10] zur Validierung von Power-Tools, inklusive der messtechnischen Erfassung der Anwendungseignung unter realitätsnahen Testbedingungen sowie Geräte-Komponenten-Prüfstände zur Validierung von Teilkomponenten, unter Berücksichtigung des Restsystems [11]. Die Wahl der Testumgebung muss vom Untersuchungsziel abhängen, wodurch der eigentliche Test in unterschiedlichen Abstraktionsgraden durchgeführt werden kann. Durch die strukturierte Vorgehensweise gemäß des Prozessmodells, ist die Ableitung der fundierten Entwicklungszielgrößen, aus den Testergebnissen möglich.

6 Anwendung des Prozessmodells am Beispiel einer Stichsäge

6.1 Entwicklungsziel und Vorstudie

Im folgenden Kapitel wird das Prozessmodell anhand eines Beispiels aufgezeigt. Inhalt des Beispiels soll die Entwicklung der nächsten Generation einer Stichsäge sein, welche im gewerblichen Umfeld eingesetzt wird. Der Gerätehersteller verzeichnet hohe Rücklaufquoten im Markt auf Grund von Kundenunzufriedenheit. Kundenrezessionen lassen auf Anwendungsprobleme schließen, die genauen Gründe sind jedoch unbekannt.

Zur Definition des Entwicklungsziel muss daher eine Befragung und umfangreiche Nutzungsanalyse von professionellen Stichsägenanwendern erfolgen. Zur Reduzierung der hohen finanziellen und zeitlichen Aufwände der Nutzungsanalyse und zur Definition des weiteren Untersuchungsziels werden entsprechend Kapitel 2 Vorstudien durchgeführt. Innerhalb von kurzen Screening Versuchen im Labor, mit geschultem Personal, werden dabei zunächst potentielle Anwendungen identifiziert. Hierbei werden die Anwendungen nach unterschiedlichen Untergründen als auch nach unterschiedlichen Anforderungen aufgeteilt.

So variieren beispielsweise die Anforderungen, die an Stichsägen im täglichen Einsatz gestellt werden, stark abhängig von der Branche. Wohingegen beispielsweise bei Tischlern die Präzisionsanforderung im Vordergrund steht, ist bei Maurern besonders die Robustheit des Power-

Tools wichtig. In dem hier vorgestellten Beispiel werden daher Versuche im Labor mit folgenden Anwendungen durchgeführt: (I) Sägen von wechselseitigen Radien und parallelen Schnitten entlang vorgegebener Schnittmuster und (II) Sägen mit möglichst hoher Vorschubgeschwindigkeit mit und ohne Pendelhubfunktion. Um ein möglichst breites Anwendungsspektrum abzubilden, werden alle Versuche auf unterschiedlichen Materialien (Alu, Fichte Spanplatte) durchgeführt. Da innerhalb der Vorstudie noch nicht bekannt ist, welches Teilsystem oder welche Effekte innerhalb der Stichsäge für die Anwendungsprobleme verantwortlich sind, erfolgt eine Analyse und Auswertung der Vorstudie durch den Einsatz von beobachtenden Methoden und diverser Messtechnik. Im vorliegenden Fall bietet sich hierzu die Erfassung der Anwendungsversuche durch den Einsatz von Kameras an, welche die Arbeit der Probanden aus unterschiedlichen Perspektiven protokollieren. Zusätzlich empfiehlt sich die Methode des lauten Denkens [12], durch welche die Probanden dazu angehalten werden, alle Gedanken während der Benutzung laut auszusprechen. In Kombination mit der Videoaufzeichnung kann so ein gutes Anwenderverständnis entwickelt werden. Als dritte Untersuchungsmethode werden den Probanden Fragebögen vorgelegt, welche explizit für die Benutzung von Power-Tools entwickelt wurden und die Beurteilung der User-Experience erlauben. Um eine Quantifizierung der subjektiven Anwendungseignung zu ermöglichen erfolgt die Bewertung der Power-Tools gegen Referenzgeräte, welche über eine hohe Kundenakzeptanz verfügen. Die Auswertung der Ergebnisse ist in Abbildung 6.1 dargestellt.

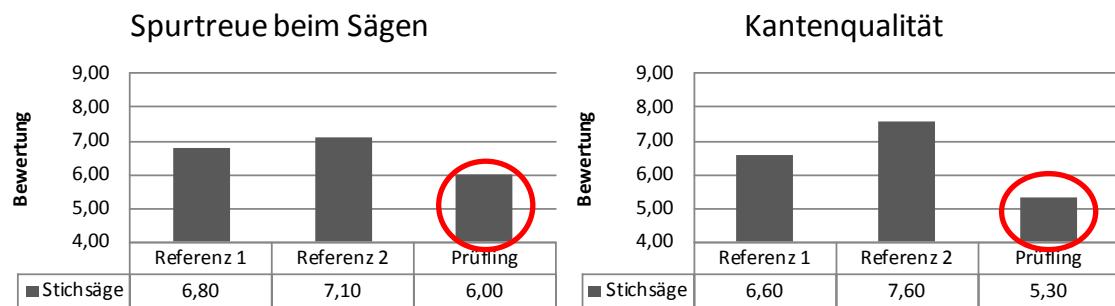


Abbildung 6.1: Auswertung subjektiver Bewertungsfragebogen: Stichsägen Untersuchung

Es zeigt sich, dass innerhalb der Bewertungskategorien *Kantenqualität*, *Verhalten beim Sägen von Radien*, *Spurtreue beim Sägen* in der Hauptkategorie Arbeitsergebnis (Holz) Defizite auftreten, welche auf besondere Ansprüche bezüglich des Sägeschnitts und der Präzision während der Holzbearbeitung hinweisen.

Zur genaueren Beschreibung dieser Effekte müssen für die Anwendungsfallmodellierung Probanden untersucht werden, welche besonders hohe Ansprüche an den Sägeschnitt und die Präzision bei der Bearbeitung von Holz haben. Die Auswahl sollte, zusätzlich zu den ausschlaggebenden Kriterien der Anwendungsanforderungen, mit der Hilfe des Herstellers erfolgen. Kriterien, wie beispielsweise die angestrebte Firmenstrategie, sollten unbedingt beachtet werden. Entsprechend der Probandenauswahl erfolgt die Messtechnikauswahl so, dass vor allem der Fokus darauf liegt Effekte im Zusammenhang mit dem Untersuchungsziel abbilden zu können. Zur umfassenden Beschreibung der Tätigkeit Sägen, wird daher folgende Messtechnik eingesetzt:

- **Motion Capturing:** Erfassung der Körperhaltung und der Position des Power-Tools
- **Kamera Analyse:** Visuelle Erfassung der vollständigen Systemumgebung
- **6-Achs Kraftmessplatte:** Erfassung der Bedienkräfte während der Anwendung

- **Kapazitive Kraftmessfolien:** Erfassung der Greifkräfte während der Anwendung
- **Befragung durch Interviews, Bewertungsbögen:** Erfassung von subjektiven, anwenderspezifischen Einflussfaktoren und Erfahrungswissen

6.2 Anwendungsfallmodellierung

Nach dem Abschluss der Vorstudie, sind die Voraussetzungen zur Durchführung einer effizienten Anwendungsfallmodellierung in der realen Anwendung gegeben, innerhalb welcher geeignete Probanden durch ausgewählte Messtechnik analysiert werden können. Im vorliegenden Beispiel bietet es sich an, unterschiedliche Tischlerbetriebe aufzusuchen, deren Mitarbeiter über umfangreiche Erfahrung im Umgang mit Stichsägen verfügen. Zusätzlich kann eine Unterscheidung zwischen der Ausprägung der Betriebe erfolgen, so ist es von Vorteil zwischen rein spezialisierten Betrieben und beispielsweise kunsthandwerklichen Betrieben zu unterscheiden. Zur Identifikation des Nutzungsverhaltens sollten die ausgewählten Probanden während typischer Anwendungen untersucht werden. Hierbei ist es wichtig, dass der Proband so normal wie möglich arbeitet und durch die eingesetzte Messtechnik möglichst wenig beeinflusst und beeinträchtigt wird. Wird die Beeinflussung eines Anwenders durch die Messtechnik innerhalb einer Anwendung als kritisch betrachtet, muss entschieden werden, ob Teile der Messtechnik weggelassen werden können oder ob Referenzmessungen ohne Messtechnik stattfinden müssen. Nachdem die Versuche durchgeführt wurden findet eine Analyse der Daten zur Identifikation der Anwendungsfälle statt. Dabei wird durch eine erste Analyse der Befragungsergebnisse und des Videomaterials eine Sortierung vorgenommen, welche das vollständige Nutzungsverhalten in Phasen aufgliedert. Die definierten Phasen können wiederum hinsichtlich des Untersuchungsziels, also beispielweise der Präzision beim Sägen bewertet werden. Die als relevant eingestuften Phasen können als Anwendungsfall modelliert werden. Dabei wird der Anwendungsfall zunächst beschrieben und zusätzlich alle erfassten Daten, die während des jeweiligen Anwendungsfalls erhoben wurden, verknüpft.

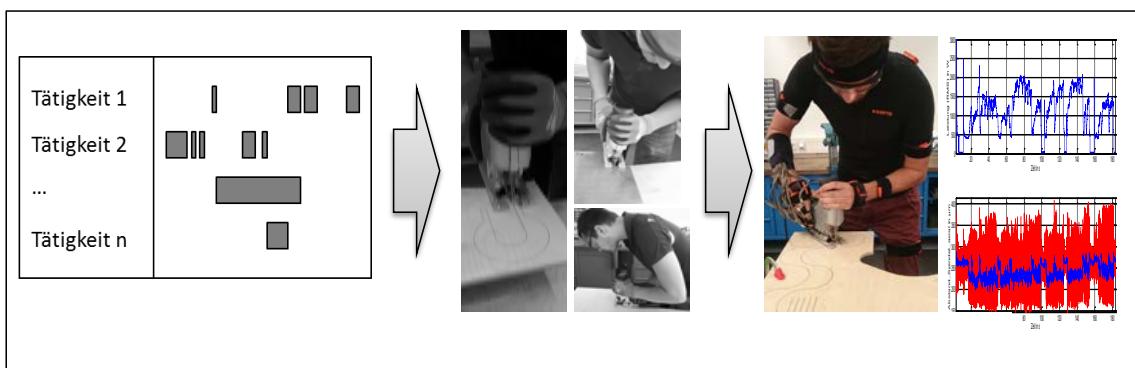


Abbildung 6.2: vom identifizierten Nutzungsverhalten zu Anwendungs- und Testfällen

Im linken Abschnitt von Abbildung 6.2 wird die Überführung des realen Nutzungsverhaltens in Anwendungsfälle abgebildet. Aus diesem können neben der eigentlichen Tätigkeit, Greif- und Bedienkräfte, Gelenkwinkel und die Motorleistung entnommen und so eindeutig zugeordnet werden. Nachdem eine vollständige Erfassung der Anwendungsfälle stattgefunden hat, erfolgt eine Priorisierung der Anwendungsfälle, indem Zusammenhänge zwischen den Anwendungsfällen und dem Untersuchungsziel gesucht werden. Zur Optimierung der Stichsäge müs-

sen besonders die Anwendungsfälle genau analysiert werden, innerhalb welcher es zur Verschlechterung der Präzision beim Arbeiten kommt. Werden Anwendungsfälle die dem Suchkriterium entsprechen gefunden, müssen sie hinsichtlich der Körperhaltung, den wirkenden Kräften, aber auch hinsichtlich dem Verhalten des Anwenders (agierend/reagierend) untersucht werden, um den auftretenden Effekt möglichst genau beschreiben zu können. Dies kann wie in Abbildung 6.3 dargestellt mit Kraftmessfolien erfolgen. Eine weiterführende Bewertung der Gelenkwinkel, welche durch Motion Capturing gemessen wird, kann durch die in (c) dargestellte Abbildung (angelehnt an die Gelenk-Komfort-Bereiche von NIOSH [13]) stattfinden.

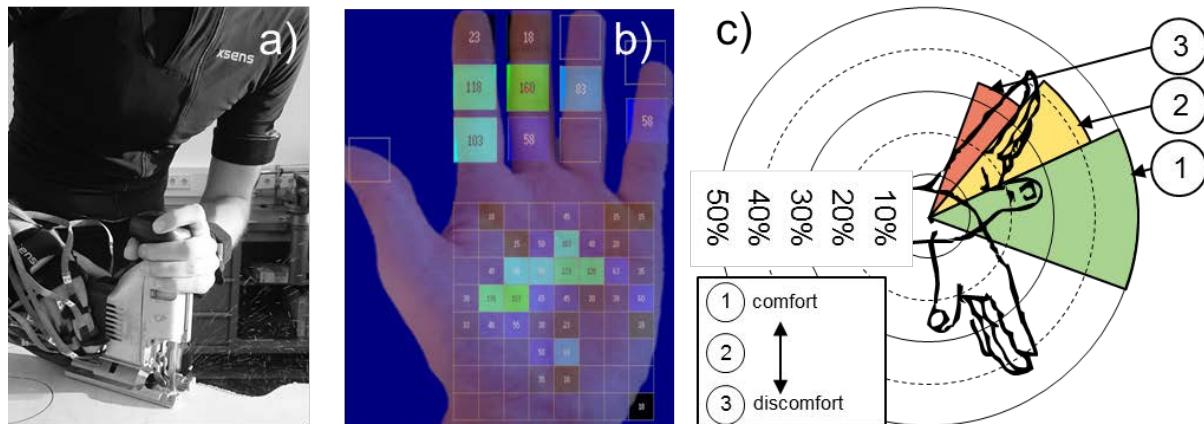


Abbildung 6.3: Messtechnik in der Anwendung mit (a) Motion Capturing und (b) Kraftmesshandschuh sowie (c) Gelenk-Komfortbereiche angelehnt an NIOSH

6.3 Testfallgenerierung

Mit der zuvor durchgeführten Priorisierung, sollen die relevanten Anwendungsfälle entsprechend Kapitel 5 in abstrakt definierte Testfälle überführt werden. Zum besseren Verständnis dieses Aufbaus wird in Abbildung 6.2 der Testfall *Radien in Hartholz (Buche) sägen* abgebildet, welcher den aus dem Anwendungsfall erkannten Effekt einer starken Erhitzung des Sägeblatts und einer korrelierenden Verschlechterung der Präzision, darstellt. Der Testfall beinhaltet daher die im Anwendungsfall definierte Vorgabe eines Motor-Lastkollektivs, nach welchem die Stichsäge im Test betrieben werden soll sowie durchschnittliche Greif- und Bedienkräfte, welche während der Testdurchführung auf das Gehäuse einwirken sollen.

6.4 Durchführung der Tests

Ausgehend vom Testfall, kann eine Auswahl der Testumgebung stattfinden, in der das System untersucht werden soll. Je nach Untersuchungsziel muss daher ein Abstraktionsgrad ausgewählt werden, innerhalb welchem alle relevanten Einflussfaktoren berücksichtigt werden können. Wird im Falle der Stichsägenentwicklung beispielweise davon ausgegangen, dass vor allem die unterbewussten, reagierenden Kräfte des Anwenders für eine Präzisionsminderung im Betrieb verantwortlich sind, sollte als Testumgebung ein Labor gewählt werden in welchem gehaltene Versuche durchgeführt werden können. Innerhalb des Labors wird der Anwender mit abgebildet und es können so die agierenden und reagierenden Kräfte während der Tests aufgenommen werden. Wird stattdessen davon ausgegangen, dass die Minderung der Präzision hauptsächlich aus der Sägeblattführung kommt, bietet es sich an, das Teilsystem Sägeblattführung im Teilkomponentenprüfstand unter Berücksichtigung des Restsystems zu testen. Die Auswahl der Testumgebung ist also ausschlaggebend für den eigentlichen Test, welcher den

genauen Ablauf sowie die einzusetzende Messtechnik definiert und in welchem das System untersucht wird. Durch den auf das Untersuchungsziel optimierten Aufbau der Tests, kann aus den Testergebnissen ein maximaler Erkenntnisgewinn generiert werden. Die Ableitung fundierter Entwicklungszielgrößen ist dadurch naheliegend, wodurch eine effiziente, anwendungsorientierte Produktentwicklung stattfinden kann.

7 Diskussion

Das vorgestellte Prozessmodell soll den Entwickler dabei unterstützen strukturiert Entwicklungszielgrößen abzuleiten. Die nach dem Stand der Forschung bestehenden Modelle werden gezielt kombiniert und erweitert. Dadurch wird der Prozess der Zielgrößengenerierung, unter Berücksichtigung der Wahl der Probanden, der Anwendung, der Umgebungs- und Randbedingungen, durchgängig unterstützt. Bei der messtechnischen Erfassung des Nutzungsverhalten müssen diverse Einflussgrößen, wie beispielsweise Sprachbarrieren, unterschiedlichen Bildungsniveaus oder eine ungewohnte Stresssituation (Befragung, Beobachtung, Messtechnik), beachtet werden. Zusätzlich ist der Einsatz von Messtechnik stets mit einem hohen Aufwand verbunden. Durch die vorgestellte Vorgehensweise kann dieser zwar nicht eliminiert, jedoch auf das zwingend notwendige Maß reduziert werden. Bei der weiteren Durchführung des Prozessmodells liegt eine große Herausforderung darin die Bedeutung der wirkenden Einflussgrößen im Vorfeld zu erkennen und dementsprechend die Vor- und Hauptstudie zu definieren. Die Auswahl der Einflussgrößen sollte basierend auf dem Untersuchungsziel, dem relevanten Anwendersegment und den entsprechenden repräsentativen Anwendern erfolgen, was zu Beginn einer Produktentwicklung oft nicht ausreichend genau bekannt ist. Auch bei der Überführung der Anwendungsfälle in Testfälle müssen relevante Einflussgrößen berücksichtigt werden, dies erfolgt aktuell hauptsächlich auf Basis von Erfahrungswissen und ist bisher nicht ausreichend erforscht. Eine tiefergehende methodische Unterstützung, welche sicherstellt, dass Testfälle reproduzierbar durchgeführt und die Anwendungsfälle ausreichend genau abgebildet werden können, wird daher benötigt.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag stellt ein Prozessmodell für die Entwicklung von Power-Tools vor. Das dargestellte Prozessmodell unterstützt durchgängig den Entwicklungsprozess ausgehend von der Kundennutzung bis zur Validierung der Testfälle in geeigneten Testumgebungen. Aufbauend aus unterschiedlichen, aus dem Stand der Forschung bekannten, Methoden wird ein kontinuierlicher Prozess definiert, welcher durch neue Beschreibungsformen, welche mit geeigneter Messtechnik verknüpft werden, erweitert. Um die Entwickler im Prozess ausreichend zu unterstützen werden aktuell für jede Phase diverse Methoden (beispielsweise Probanden- und Messtechnikauswahl) sowie explizite Handlungsanweisungen, Vorlagen und Best-Practices-Beispiele empfohlen. Die Anwendung des Prozessmodells im Entwicklungsprozess wurde, anhand eines Beispiels zur Stichsägenentwicklung im IPEK Power-Tool-Testcenter, gezeigt.

9 Literaturverzeichnis

- [1] S. Schmidt, K. Hölz, S. Matthiesen: Use case detailing levels - Anwendungsfallmodellierung zur Unterstützung der Entwicklung handgehaltener Geräte. In: 26. DfX-Symposium, Herrsching, München, 2015.

- [2] S. Matthiesen, T. Schaefer, S. Mangold W. Durow (Eds.); X-in-the-Loop in der Gerätebranche -Ein ganzheitliches Validierungsframework unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Anwender, Gerät und Anwendung. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2013.
- [3] B. Ebel: Modellierung von Zielsystemen in der interdisziplinären Produktentstehung: Dissertation, 2015.
- [4] A. Albers, N. Burkhardt, M. Meboldt, M. Saak: SPALTEN problem solving methodology in the product development. In: ICED 05: 15th International Conference on Engineering Design: Engineering Design and the Global Economy, S. 3513, 2005.
- [5] C. Zehnter, A. Burger, J. Ovtcharova: Key-Performance-Analyse von Methoden des Anforderungsmanagements. (KIT Scientific Reports; 7620). Karlsruhe, Baden: Universität Karlsruhe Universitätsbibliothek, 2012.
- [6] J. Feldhusen K.-H. Grote: Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung, 8th ed. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Vieweg, 2013.
- [7] M. Grande: 100 Minuten für Anforderungs - management: Kompaktes Wissen nicht nur für Projektleiter und Entwickler. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2011.
- [8] A. Böge: Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 22nd ed. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.
- [9] A. Albers, M. Behrendt, S. Klingler, K. Matros: Verifikation und Validierung im Produktentstehungsprozess. In: Handbuch Produktentwicklung, Udo Lindemann, Ed., München: Carl Hanser Verlag, S. 541-569, 2016.
- [10] S. Matthiesen, R. Germann, S. Schmidt: Geräteoptimierung durch Untersuchung von Funktionsqualität und Anwenderempfinden. WiGeP News, No. 1, S. 3-4, 2016.
- [11] S. Matthiesen, T. Gwosch, S. Mangold: Eine Methode für eine Prüf- und Validierungs-umgebung zur Komponentenuntersuchung handgehaltener Geräte in der Produktentwicklung. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, No. 12, S. 51-61, 2014.
- [12] J. B. Watson: Is thinking merely the action of language mechanisms? (eng), British journal of psychology (London, England: 1953), Vol. 100, No. Pt 1A, S. 169-180, 2009.
- [13] B. D. Lowe, P. L. Weir, D. M. Andrews, O. H. Cincinnati: Observation-Based Posture Assessment: Review of Current Practice and Recommendations for Improvement. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Atlanta, USA 2014–131, Jul. 2014.

Taxonomische Kriterien technischer Unterstützung

Auf dem Weg zu einem Periodensystem

A. Karafillidis, R. Weidner

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg
karafillidis@hsu-hh.de, Robert.Weidner@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Der Forschung zu technischen Systemen der Unterstützung fehlt die Möglichkeit, den Zusammenhang und die Differenz der zahlreichen heterogenen Probleme, Ansätze und technischen Lösungen erkennen und bewerten zu können. Eine Klassifikation kann Abhilfe schaffen, sofern sie nicht intuitiv und ad-hoc, sondern theoretisch hergeleitet wird. Auf Grundlage von zuvor entwickelten Ansätzen zu einer Theorie der Unterstützung werden taxonomische Kriterien abgeleitet und die Entscheidungen methodisch begründet. Diese Kriterien werden genutzt, um eine Matrix analog zu einem Periodensystem zu konstruieren, so dass Zusammenhänge und Differenzen unterschiedlicher technischer Artefakte in diesem Bereich visuell dargestellt werden. Vor allem jedoch entstehen auf diese Weise Leerstellen, die als Bedarfe betrachtet werden können, um weitere Entwicklungs- bzw. Forschungsaktivitäten anzustoßen. Abschließend wird dieser Ansatz diskutiert und mögliche weitere Entwicklungen angedeutet.

Abstract

“Taxonomic criteria of technical support. Toward a periodic table“

Research on technical support systems is lacking a common structure. Such a structure would allow for a better recognition and evaluation of the coherence and difference between heterogeneous problems, approaches, and technological solutions already existing in the field. A classification could provide requisite help, but it has to be theoretically guided instead of ad-hoc and intuitive. Based on previous work on a theory of support we derive taxonomic criteria and substantiate them methodologically. These criteria are then used to construct a matrix in analogy to the periodic table in order to make visible the coherence as well as the differences of different technical support artifacts. Additionally we thus get blank spaces in the matrix which can be conceived as demands to fuel further research or development. We conclude with a discussion of this approach and possible further developments.

Keywords: Klassifikation von Unterstützung, Taxonomie, Periodensystem, Relationsmuster der Unterstützung, Körper-Artefakt-Verhältnis

1 Einleitung

Seit einigen Jahren wird Technik ausdrücklich mit der Absicht entwickelt, Menschen in verschiedenen Anwendungskontexten zu unterstützen, z.B. im industriellen Umfeld, in der Altenpflege oder auch im Alltag. Damit sind vielerlei Hoffnungen verknüpft. Entsprechende technische Lösungen zielen bspw. darauf ab, die Produktivität zu steigern, die körperliche/geistige Belastung zu verringern oder die Lebensqualität zu erhöhen. Augenfällige Beispiele für konkrete Artefakte sind Industrie- und Service-Roboter, Hebehilfen, Werkzeuge, Assistenzsysteme

in Flug- und Fahrzeugen, Exoskelette, aber auch Sehhilfen, Implantate, Elektroräder oder Apps für Mobiltelefone. Sie alle zeichnen sich wiederum durch zahlreiche unterschiedliche Anwendungskontexte aus. Die Vielfalt ist kaum zu überblicken. Das wird in Zukunft nicht einfacher werden – auch deshalb, weil die Verwendung des Labels „Assistenzsystem“ aus Marketinggründen attraktiv ist.

Technikentwicklung ist kein geradliniger Prozess. Sie kann im Sinne des Erprobens technischer Möglichkeiten durchaus wissenschaftlich motiviert sein, ist aber entscheidend mitbestimmt durch strategische Interessen, die zumeist ökonomischen, politischen oder kulturellen Logiken folgen [1]. Die Absicht Menschen technisch zu unterstützen, ist bislang eher eine Form der gesellschaftlichen Legitimation für den Einsatz neuer technischer Entwicklungen gewesen. Das Unterstützungs motiv war eine Art Beruhigungsformel, denn technische Erfindungen, so die weit verbreitete Meinung, sollen das Leben leichter machen. Mittlerweile wird diese Ausrichtung auf die Unterstützung von Menschen allerdings zum Entwicklungsmotiv gemacht. Durch diese Fokussierung auf die Assistenz- und Unterstützungsfunktionen technischer Systeme seit den 1970er Jahren (und verstärkt in den vergangenen 15 Jahren) ist nun ein darauf spezialisiertes Wissen entstanden. Hinzu kommen konkrete Erfahrungswerte in Bezug auf Spezifika und Probleme sowie eine Einsicht in die Notwendigkeit eines interdisziplinären Vorgehens, das zudem häufig durch Einbindung potentieller Nutzer ergänzt wird, so dass partizipativ bzw. transdisziplinär entwickelt wird. Diese Vermehrung spezialisierten Wissens, die Verschiebung der Problemstellungen, die projektförmige Kooperation verschiedener Disziplinen und die Einbindung neuer Akteure in Gestaltungsprozesse technischer Systeme rechtfertigt es daher, von technischer Unterstützung als einem neuen Feld der Technikwissenschaften zu sprechen.

Die sehr dynamische und rasante Entwicklung dieses Feldes hat allerdings eine Kehrseite. So ist bspw. eine große Anzahl von Lösungen, Ansatzpunkten und technischen Artefakten zu finden, ohne dass genau erkennbar ist, worin ihr Zusammenhang besteht und ob es überhaupt jenseits des bloßen Augenscheins oder ähnlicher Namensgebungen einen Zusammenhang gibt. Die Vielfalt der Ansatzpunkte für mögliche Unterstützung, der Umsetzungen und der beteiligten Disziplinen macht die Lage in Forschung und Anwendung unübersichtlich. Dem Feld fehlt bislang eine Struktur. Augenblicklich ist es noch zu stark projektabhängig.

Das muss nicht automatisch zu Problemen führen. Um jedoch zum einen Forschungslücken identifizieren und Anwendungsdefizite konkret benennen zu können und zum anderen zukünftige unterstützende Systeme zielgerichteter zu entwickeln, reicht es nicht aus, die Lösungen immerzu ad-hoc in Bezug auf einen jeweils stark eingeschränkten, aktuellen Anwendungsbereich zu sortieren. Dazu müssen die strukturell und materiell so unterschiedlichen technischen Systeme, mit denen jeweils auch unterschiedliche Formen der Ko-Operation von Mensch und Technik verknüpft sind, *vergleichbar* werden. Das kann unter anderem Einsichten in die Austausch- bzw. Übertragbarkeit technischer Komponenten (bspw. von Sensoren, Aktuatoren, Interfaces) über bestimmte Plattformen und spezialisierte Bereiche hinweg ermöglichen.

Die Ansprüche an eine angemessene Taxonomie sind hoch und ihre Entwicklung ist ein laufender Prozess, der in einem derart dynamischen Forschungsfeld nicht vollends abgeschlossen werden kann. Aufbauend auf ersten Versuchen der Bestimmung von zentralen Determinanten und grundlegenden Aspekten technischer Unterstützung [2, 3, 4, 5] versucht dieser Beitrag erste Kriterien für eine Taxonomie existierender und in der Entwicklung befindlicher technischer Systeme zu liefern. Auf dieser Grundlage werden, in Anlehnung an den strukturellen Aufbau

des Periodensystems der Elemente, Ansatzpunkte für eine Klassifikation technischer Unterstützung/Assistenz vorgestellt und entsprechend visualisiert. Zu diesem Zweck werden exemplarische Technologien herangezogen und eingeordnet. Dabei sind, so die These, die entstehenden Lücken wichtiger als die generierte Ordnung selbst. Abschließend werden künftig mögliche Entwicklungsschritte und gegenwärtige Grenzen dieses Ansatzes diskutiert.

2 Klassifikation

Ein wirkungsvoller Schritt zur Strukturierung eines Feldes sind Klassifikationen [6, 7]. Die Nutzung von Unterscheidungen zur Einteilung und Ordnung der Erfahrungswelt ist jedoch kein typisch wissenschaftliches Vorgehen [8]. Klassifizieren ist vielmehr eine grundlegende Operationsform kognitiver Prozesse. „To classify is human“ [9, S. 1]. Vermutlich ist diese Nähe zwischen wissenschaftlicher und alltäglicher Methode ein zentraler Grund für die besondere Attraktivität von Klassifikationen und für ihre Wichtigkeit im Zuge der Programmierung von Sprach- und Bilderkennung im Bereich der Künstlichen Intelligenz.

Eine wissenschaftlich brauchbare, plausible und robuste Klassifikation muss im Gegensatz zu den Heuristiken des Alltags ihre Prämissen offenlegen und begründen können. Im Rahmen einer Bestimmung und Nutzung taxonomischer Kriterien für eine Klassifikation technischer Unterstützung sind vor Aufnahme der kleinteiligen Arbeit grundlegende Entscheidungen notwendig. Sie betreffen hier vor allem die Eingrenzung der zu klassifizierenden Population und die Granularität der Elemente.

2.1 Population: Technische Artefakte der Unterstützung

Das Phänomen der Unterstützung geht weit über technische Unterstützung hinaus. Es schließt z.B. finanzielle oder moralische Unterstützung mit ein [10] oder auch die Unterstützung von Menschen durch Tiere. Deshalb ist bereits eine Vorentscheidung getroffen, wenn konkrete technische Artefakte klassifiziert werden sollen, die menschliche Aktivitäten unterstützen. Doch trotz dieser Einschränkung auf technische Artefakte bleibt die Varietät hoch. Ist es angesichts dessen nicht sinnvoll, sich zunächst nur auf einen bestimmten Bereich zu konzentrieren, also zum Beispiel nur Unterstützung durch Exoskelette oder Implantate zu klassifizieren?

Es ist unser Ziel, vollkommen heterogene technische Lösungen vergleichbar zu machen, so dass spezifische Probleme als Spezialfall eines allgemeinen Problems erkennbar werden [11]. Deshalb erfolgt direkt der Versuch, alle empirisch von Beobachtern als Unterstützungs- und Assistenzsysteme markierte Artefakte in die Klassifikation mit einzubeziehen. Das erfordert einen gewissen Grad an Abstraktion – was wiederum auch technische Systeme als Unterstützung sichtbar macht, die in der Literatur bislang nicht unter dieser Bezeichnung aufgefallen sind und somit die Population erweitern. Anschließend ist eine Erhöhung der Auflösung noch immer möglich, wohingegen umgekehrt die Konzentration auf allzu bereichsspezifische Unterscheidungen und Details eine Zusammenführung erschwert. Deshalb verzichten wir in diesem Beitrag darauf, vorhandene Klassifikationen von Assistenz als Stand der Forschung zu referieren. Sie sind allesamt beschränkt auch bestimmte Domänen wie z.B. Software [12] oder Workerinformationssysteme [13] oder Exoskelette [14]. Es gibt noch keine Klassifikation in der Abstraktionslage, die hier im Fokus steht.

Angestrebt ist eine *empirische* Klassifikation, denn es geht darum, eine Menge empirischer Objekte entsprechend taxonomisch zu erfassen [15]. Es ist zugleich aber auch eine konzeptuelle Klassifikation, weil Typen theoretisch hergeleitet werden, deren empirische Fälle technisch

noch entwickelt werden können. Insofern ist das Resultat eine Mischform, eine Art „Taxologie“. Die Menge der zu klassifizierenden, bereits existierenden Population bleibt jedoch nicht wegen dieser Mischform unscharf, sondern ausschließlich aus empirischen Gründen. Da jedes technische Artefakt als potentiell unterstützend begriffen werden kann, wird auf empirische Plausibilität gesetzt und nicht auf eine Definition, mit der sich technische Artefakte eindeutig in unterstützende und nicht-unterstützende aufteilen lassen. Jeder Versuch einer scheinbar eindeutigen Definition wird scheitern oder wird so breit angelegt sein müssen, dass er unbrauchbar wird.

2.2 Taxa als empirische Elemente

Die zu klassifizierenden Elemente sind keine konkreten, einzelnen technischen Lösungen bestimmter Hersteller oder Forschungsinstitute. Die Population empirischer Objekte wird also mit einer minimalen Struktur übernommen. In diesem hochdynamischen Feld wäre ein auf Ebene einzelner Objekte ansetzender Klassifikationsversuch problematisch. Extrapoliert man die Frequenz mit der entsprechende Lösungen oder gar Produkte auftauchen und verschwinden, werden eine Vielzahl der augenblicklich vorhandenen Systeme in einigen Jahren vermutlich nicht mehr in der jetzigen Form existieren. Zudem gibt es allein im Bereich Service-Robotik weltweit aktuell mehr als 600 Hersteller [16], was dieses Unterfangen nicht unbedingt erleichtert.

Im Gegensatz zu biologischen Taxonomien gibt es bei technischen Artefakten keine „natürlichen Arten“ (so umstritten sie in der Biologie selbst sind) in dem Sinne, dass bestimmte Objekte relativ zeitstabil vorausgesetzt werden können [17]. Die Elemente einer ersten Klassifikation sind daher selbst bereits *Taxa* von Unterstützungssystemen. Wir beginnen nicht mit einer Schaffung von Taxa und einer Identifikation von zugehörigen Objekten, sondern klassifizieren forschungspraktisch verwendete Taxa, um ihre Beziehungen sichtbar zu machen. Es werden folglich „Exoskelette“ und „Industrieroboter“ als empirische Objekte klassifiziert, nicht das Beinexoskelett X der Universität Y oder der Industrieroboter A des Herstellers B.

Die temporale Dynamik des Felds ist ein wichtiger, aber nicht der einzige Grund dafür, weshalb diese Entscheidung für empirische Typen – also Taxa – als Elemente ein legitimer Weg ist. Ein weiterer Grund ist ihre soziale und sachliche Konstruktion, also die einfache Tatsache, dass es sich um *Arte-Fakte* handelt. Das gilt interessanterweise auch für die Elemente des Periodensystems, denn auch die chemischen Elemente bedürfen der Herstellung. Die meisten von ihnen sind nicht natürlich aufzufinden, sondern werden technisch produziert, um als Element in Erscheinung treten zu können [18, 19]. Eisen ist bspw. nur als Erz zu haben und es braucht technische Verfahren, die das Eisen vom Sauerstoff trennen, um reines Eisen zu bekommen. Es gibt ferner Elemente, die im Labor synthetisiert werden müssen. Sie sind im Prinzip „künstliche Natur“, also Produkte technischer Verfahren, aber dennoch elementar. Deshalb ist das Periodensystem ein Klassifikationsschema, das für unser Vorhaben von besonderem Interesse ist und auf sein Potential hin erprobt werden sollte.

Technische Unterstützungssysteme sind ebenfalls synthetisierte Objekte. Die Taxa beziehen also Formen der Synthesierung bestimmter Artefakte mit ein und richten sich nach empirisch beobachtbaren und deutlich erkennbaren Konstruktionsprinzipien: z.B. Exoskelette, Health-Apps oder humanoide Service-Roboter. Jedes einzelne Exoskelett oder jede existierende Health-App als Element aufzunehmen würde keinen Erkenntnisgewinn erzielen. Schließlich finden sich auch nicht alle möglichen Isotope der stofflichen Elemente im Periodensystem. Das Element ist eine Abstraktion. „(...) any contemporary chemist has to concede that when he or

she points to the sixth place in the periodic system they are not pointing to any physically existing isotope but to an abstract entity which somehow embodies all the isotopes of carbon.“ [20, S. 71]

Genauso wie die Population technischer Unterstützungssysteme bleiben auch die Elemente aus empirischen Gründen unscharf. Es sind *polyhetische Klassen*, die als Elemente klassifiziert werden [15], das heißt unsere Taxa sind nicht notwendig homogen und exklusiv. Es gibt immer eine beobachterabhängige Ungewissheit und Grenzfälle, so dass Überlappungen nicht ausgeschlossen werden können. Doch es ist nur scheinbar die Aufgabe von Klassifikationen Eindeutigkeit zu schaffen wo zuvor Chaos herrschte. Vielmehr haben sie die Funktion, Probleme und Differenzen genau adressieren zu können und ihnen eine Form zu geben, um weitere Fragen anzuschließen. Sie schaffen mit anderen Worten keine Objektivität, sondern sie disziplinieren Subjektivität und übersetzen sie in Forschungsfragen.

3 Taxonomische Dimensionen

In den vorangehenden Abschnitten haben wir den Bereich eingegrenzt, der klassifiziert werden soll. Nun müssen die Kriterien der Klassifikation bestimmt werden. Dazu bauen wir auf vorangehende Überlegungen auf, in denen wir drei Determinanten beobachtet haben, die jede Situation der Unterstützung bestimmen. Entscheidend ist der Fokus auf *Situationen*, also die soziologische Betrachtung von Unterstützung. Als Grundlage einer Klassifikation dienen deshalb weder objekttypische Eigenschaften, die sich auf die stoffliche und strukturelle Beschaffenheit des Artefakts beziehen (z.B. auf Aktuatoren, Sensorik, Kinematik, Material, Aufbau), noch subjekttypische Faktoren, die üblicherweise kognitive und physische Funktionen als Ansatzpunkte für Unterstützung unterscheiden, sondern *situierter Relativen* zwischen Artefakten und Menschen. Das bedeutet davon ausgehen zu müssen, dass Unterstützung nicht selbstverständlich durch die technische Vorrichtung geleistet wird. Es gibt eine empirische Differenz zwischen den Intentionen der Entwickler_innen von Technik und ihrem praktischen Einsatz, die klassifikatorisch berücksichtigt werden muss, unter anderem auch deshalb, weil sie im Hinblick auf Akzeptanz von Technologie eine wichtige Rolle spielt. Unterstützung ist ein Resultat der Situation, in der sich das technische System als unterstützend inszenieren und bewähren muss. Dadurch wird die Beobachtung des Problems anders formatiert, ohne die vorhandenen Versuche einer Klassifikation auszublenden. Gerade die intuitiv zunächst plausible und deshalb für Entwickler_innen wichtige Unterscheidung von entweder kognitiver oder physischer Unterstützung von Menschen lässt sich nicht einfach ignorieren. Aber sie bekommt einen anderen Stellenwert und dient nicht als Ausgangsdifferenzierung für eine Klassifikation. Ihre zentrale Stellung wird ferner durch aktuelle Entwicklungen in der Kognitionsforschung in Frage gestellt. Im Gegensatz zum klassischen (und noch immer einflussreichen) Modell der sequentiellen Informationsverarbeitung, das körperliche und geistige Funktionen trennt, wird Kognition mittlerweile als verkörperter und verteilter Prozess verstanden: sie betrifft die sensomotorische Kopplung [21, 22] und ist darüber hinaus neurophysiologisch zwar in individuellen Körpern/Gehirnen verankert, aber dort nicht konzentriert, sondern vollzieht sich situativ verteilt, das heißt sie ist verteilt auf die neurophysiologische Vorgänge, körperextern verfügbare Symbole, Artefakte und Interaktionsprozesse, die gemeinsam eine aktuell für den Organismus verfügbare Realität errechnen [23]. Wir verlieren diese Unterscheidung zwischen kognitiver und physischer Unterstützung aus empirischen Gründen trotz allem nicht aus den Augen, weil sie bei der Suche nach ingenieurswissenschaftlichen Ansatzpunkten für Unterstützung faktisch

noch immer im Fokus steht und deshalb auch mit dem Eindruck der Nutzer und der Art ihres Gebrauchs der Unterstützung korrespondieren kann.

3.1 Kommunikative Muster von Unterstützungssituationen (Ordinate)

Unterstützungssituationen sind dadurch gekennzeichnet, dass zwischen einer Aktivität und einer auf sie bezogenen Unterstützung unterschieden wird. Sofern ein als Unterstützungssystem bezeichnetes Artefakt in eine Situation eingeführt ist, wird diese Unterscheidung konkretisiert, und zwar als Unterscheidung zwischen einer zu unterstützenden menschlichen Aktivität (die kann eine „interne“ Aktivität, z.B. eine körperliche Funktion, sein oder eine „extern“ auszuführende Aufgabe) und dem technischen Artefakt, das diese Aktivität unterstützt. In solchen Situationen der Unterstützung ist das kommunikative Verhältnis von Mensch und Technik dreifach bestimmt: durch die zeitliche Beziehung, durch die Art ihrer Kopplung und durch die Attributierung von Kontrolle [4].

Zeitliche Relation (zwischen menschlicher Aktivität und technischer Unterstützung)

Mensch und Technik können *synchronisiert* oder *desynchronisiert* operieren. Synchronisierung ist möglich und beobachtbar, wenn die Möglichkeit einer wechselseitigen Wahrnehmung zwischen Mensch und Technik Bedingung der Unterstützung ist. Das impliziert meistens, dass die technische Unterstützung der Aktivität für beteiligte Menschen erkennbar innerhalb der Grenzen der Situation stattfindet. Wenn das der Fall ist, lässt sich von einer Kopräsenz von Mensch und Technik sprechen. Sofern keine sensorische Information von der Aktivität des jeweils anderen errechnet wird (z.B. eine Software läuft im Hintergrund, so dass der Mensch das nicht wahrnehmen kann) und damit das Kriterium der Wechselseitigkeit nicht gegeben ist, kann streng genommen keine Synchronisation stattfinden – auch wenn ein situationsexterner Beobachter die Relation womöglich als in irgendeiner Form synchronisiert beschreiben kann (und auch wenn die Strenge dieses Kriteriums in weiteren Studien differenziert werden kann). Man beachte, dass wechselseitige Wahrnehmung sich nicht nur auf den Sehsinn beschränkt. Wenn keine Synchronisierung stattfindet, ist die Relation nicht kopräsent, sondern verstreut. Eine intermittierende Synchronisation ist möglich und vermutlich unvermeidlich, wird in dieser ersten Klassifikation im Periodensystem jedoch noch nicht berücksichtigt.

Kopplungsrelation (zwischen menschlicher Aktivität und technischer Unterstützung)

Mensch und Technik können *integriert* oder *komplementär* gekoppelt sein. Integration ist der Fall, wenn die technische Unterstützung die Ausführung der Aktivität operativ und materiell mitvollzieht – wenn also die Freiheitsgrade der Technik in Bezug auf die Aktivität durch die menschlichen Freiheitsgrade bestimmt bzw. abgestimmt sind. (Oder allgemein und im äußersten Fall: wenn die jeweiligen Freiheitsgrade bezüglich der Aktivität formal und funktional identisch sind). Bei Integration bezieht sich die Unterstützung im Prinzip immer auf menschliche Funktionen und ihre Kompensation, ihre Wiederherstellung, ihren Ersatz oder ihre Verstärkung. Eine komplementäre Kopplung liegt dagegen vor, wenn es sich um eine arbeitsteilige Relation von Mensch und Technik handelt. Arbeitsteilung ist nur dann möglich, wenn es eine Konzentration auf die Aufgabe gibt, die in verschiedene Schritte oder Komponenten aufgeteilt wird. Das schließt die Veränderung von Kontextbedingungen der Aktivität ein (z.B. im Sinne von „den Rücken freihalten“, Vorbereiten). Mit technischer Assistenz im genauen Sinn kann

immer nur diese komplementäre Form der Kopplung gemeint sein. Assistenz bezeichnet folglich eine spezielle Form von Unterstützung. Mit einer höher auflösenden Differenzierung können darüber hinaus auch Wahrnehmungsmedien der Kopplung (z.B. haptisch, optisch, sprachlich) unterschieden werden.

Kontrollrelation (zwischen menschlicher Aktivität und technischer Unterstützung)

Die Unterstützungsbeziehung kann entweder *menschlich kontrolliert* oder *technisch kontrolliert* sein. Kontrolle bezeichnet einen zirkulären, kommunikativen Prozess: man muss sich von dem kontrollieren lassen, was man kontrollieren will. Der Mensch kontrolliert die Technik und lässt durch sie bspw. seine Bewegungen kontrollieren, weil sonst das Interface nicht funktioniert. Kontrolle ist nie einseitig [24, 25, 26]. Jedoch wird diese Zirkularität, wie in allen Kommunikationsprozessen, interpunktiert [27], das heißt es wird in diesem Prozess ein Ausgangspunkt oder Ursprung der Kontrolle bestimmt. Kontrolle wird dadurch einer der beteiligten Entitäten zugeschrieben. Kontrollrelationen können in der Unterstützungssituation auch wechseln oder oszillieren. Außerdem wäre es möglich, dauerhafte von vorübergehender Kontrolle zu unterscheiden und diese Determinante dadurch weiter zu differenzieren.

Die Determinanten werden hier vereinfacht dichotom betrachtet und als Grundlage einer Klassifikation von technischen Systemen verwendet, die in solchen Situationen unterstützend eingesetzt werden. Keine von ihnen ist in irgendeiner Form oder Kombination technisch oder moralisch wünschenswerter oder effektiver oder aus anderen Gründen zu bevorzugen. Die gerade angedeuteten Variations- und Differenzierungsmöglichkeiten werden noch nicht erprobt. Da diese drei Determinanten Unterstützungssituationen immer gemeinsam strukturieren, ergeben sich bei drei dichotomen Determinanten 2^3 grundlegende Formen. Tabelle 3.1 zeigt ihre Herleitung.

Tabelle 3.1: Grundlegende Muster von Unterstützungssituationen

	Zeitverhältnis		Kopplungsform		Kontrollzuschreibung	
	<i>Desynchron</i>	<i>Synchron</i>	<i>Komplementär</i>	<i>Integriert</i>	<i>Artefakt-Kontrolle</i>	<i>Menschliche Kontrolle</i>
Polare Relationen	<i>DKA</i>	1	0	1	0	1
	<i>DKM</i>	1	0	1	0	1
	<i>DIM</i>	1	0	0	1	1
	<i>DIA</i>	1	0	0	1	0
	<i>SKM</i>	0	1	1	0	1
	<i>SKA</i>	0	1	1	1	0
	<i>SIA</i>	0	1	0	1	0
	<i>SIM</i>	0	1	0	1	1

Eine „1“ markiert, dass die jeweilige strukturelle Ausprägung vorhanden ist, eine „0“ markiert, dass sie nicht vorhanden ist. Es ist nicht ausgeschlossen, dass es Situationen/Artefakte geben kann, die beide Seiten einer Determinante gleichzeitig realisieren können oder zwischen den beiden oszillieren. Wir halten bei diesem Versuch einer Klassifikation jedoch an einer dichotomen Lesart fest, um eine erste Grundstruktur zu gewinnen. Die Drei-Letter-Codes in der linken

Spalte dienen als Kürzel für die acht verschiedenen Relationsmuster in Unterstützungssituatien. Sie sind hier zum einen in zwei Gruppen zusammengefasst, und zwar die desynchrone Gruppe (D-Gruppe, die oberen vier Zeilen) und die synchrone Gruppe (S-Gruppe, die unteren vier Zeilen), und zum anderen sind sie nach polaren Relationen sortiert, das heißt die Pfeile auf der linken Seite verweisen jeweils auf Relationsmuster mit spiegelbildlichem {0,1}-Muster.

3.2 Wahrnehmung der Artefakte in Relation zum menschlichen Körper (Abszisse)

Diese acht Muster kommunikativer Relationen (mit anderen Worten: von Situationen) dienen als Ordinate einer zweidimensionalen Matrix, die analog zu einem Periodensystem konstruiert werden soll. Es sind die immerzu wiederkehrenden Muster solcher Situationen. Die andere Dimension der Matrix ist eine Gruppierung nach *Ähnlichkeit der technischen Systeme, und zwar in Bezug auf ihr Größen- und Distanz-Verhältnis zum menschlichen Körper*. Auch das ist bereits eine implizite Klassifikation, die das intuitive Verständnis von verschieden ansetzenden Unterstützungssystemen übernimmt, das von der Wahrnehmung des Artefakts in Differenz und dementsprechend im Verhältnis zum eigenen Körper abhängt.

Es sind zunächst fünf zum Teil fließend ineinander übergehende Körperrelationen nach Ähnlichkeit unterscheidbar.

Getrennt: Artefakte, die einen eigenen Körper haben (nicht einfach nur: Gerätegehäuse) und prinzipiell auch unabhängig von der räumlichen Nähe zum menschlichen Körper autonom oder (fernsteuert) bedienbar operieren können. Sie können dementsprechend in Bezug auf Nähe und Ferne zum menschlichen Körper variieren. Beispiele sind Roboter aller Art und Drohnen oder generell Telemanipulationsobjekte.

Umgebend (ambient): Artefakte deren Verkörperung verteilt und deren Einheit deshalb nicht direkt wahrnehmbar ist. Ihre Identität verdichtet sich bisweilen in (oftmals mobilen) Interface-Geräten, was ihren technologischen Zusammenhang in Ansätzen sichtbar und verstehbar macht. Beispiele sind Ambient Assisted Living oder Smart Homes. Autonome Fahrzeuge sind ein Grenzfall zwischen getrennter und umgebender Unterstützungstechnologie.

Körpernah: Kleine bis körperfroße Geräte/Objekte, mit denen entweder rudimentäre Interaktion möglich ist oder ein Verhältnis der Bedienung besteht. Dazu gehören Mobiltelefone, aber auch klassische Werkzeuge oder Hebehilfen. Körpernah bezieht sich auf den Greifradius bzw. auf das in gewissem Maße variable Territorium des Selbst (Erving Goffman). Die Kombination „umgebend und körpernah“ findet sich bei vielen Technologien, z.B. Fahrerassistenzsystemen, die normalerweise nicht wahrnehmbar mitfahren.

Tragbar: Artefakte, die direkt am Körper getragen bzw. befestigt werden (es sind nicht Objekte gemeint, die in Taschen oder in der Hand mittransportiert oder herumgetragen werden können). Ihre maximale Größe kann diejenige eines menschlichen Körpers allenfalls minimal überschreiten. Der minimalen Größe sind im Prinzip keine Grenzen gesetzt. Beispiele sind Fitnessarmbänder, Hörgeräte, Brillen oder Exoskelette.

Implantiert: Artefakte, die über verschiedene Wege (meist operativ, aber auch durch Schluiken) in den Körper implantiert bzw. gebracht werden. Sie werden dort entsprechend mit körperiernalen organischen Strukturen verbunden (oftmals Nerven) oder können vorübergehend körperliche Vorgänge/Parameter beobachten, wie z.B. Schrittmacher, Elektroden zur Neurostimulation oder Datenpillen. Ein Grenzfall von tragbar und implantiert sind, z.B. neuromuskulär steuerbare Armprothesen.

Es ist nicht überraschend, wenn sich Fälle finden, die zu mehreren dieser Körper-Raum-Verhältnisse passen oder womöglich auch Fälle, die nirgends richtig zu passen scheinen. Schließlich ist das keine Kategorisierung mit exklusiven Klassen, sondern eine am Erleben und Handeln mit solchen Artefakten orientierte Unterscheidung. Ferner sollte im Blick bleiben, dass diese Relationen für technische Systeme beschrieben sind, die zur Unterstützung menschlicher Aktivitäten gedacht sind. Sie gelten nicht für alle mögliche Technik (auch wenn behauptet werden kann, dass jede Technik Menschen direkt oder indirekt unterstützt).

Jedes unterstützende Artefakt kann mit oder ohne Prozessoren und Software operieren. Sie können ferner vernetzungsfähig sein – müssen es aber nicht. Die Versuchung ist insofern groß, zunächst grundlegend zwischen „intelligenter“ und klassischer, ohne Intelligenz ausgestatteter Technik zu unterscheiden. Warum taucht diese offensichtliche und in der Technikentwicklung relevante Differenz hier nirgends explizit auf? Rein technisch gesehen kann eine solche Unterscheidung durchaus sinnvoll sein. Unterstützung ist hingegen weder aus rein technischer Sicht („technische Möglichkeiten“) noch aus rein menschlicher Sicht („menschlicher Bedarf“) angemessen zu begreifen. Es ist ihr Zusammenspiel, auf das es ankommt. Deshalb liegt der Fokus auf Situationen, damit „Intelligenz“ nicht flugs einem Gerät zugeschrieben wird, sondern damit es möglich wird, die Bedingungen zu ermitteln, durch die Artefakte in kommunikativen Verhältnissen intelligent bzw. smart werden. Smartness hängt nicht nur von Prozessoren und Software ab.

Ein solcher Ansatz vermeidet eine essentialistische Betrachtung von Artefakten, die unabhängig von ihrem praktischen Einsatz bestimmte Eigenschaften (z.B. Intelligenz) haben. Diese Betrachtung ist unbrauchbar und in Bezug auf Akzeptanz von Technik irreführend. Sie führt genau die Probleme weiter, vor die uns eine gesellschaftlich entkoppelte Technikentwicklung gestellt hat. Technische Artefakte haben allenfalls das Potential intelligentes Verhalten zu zeigen, aber das gilt auch für alle Menschen und trotzdem werden ihnen – nicht nur in entsprechenden Tests, sondern auch im Alltag – unterschiedliche Formen und Grade an Intelligenz zugerechnet oder gar ihr Fehlen attestiert.

4 Ein Periodensystem

Wir haben nun die erforderlichen taxonomischen Voraussetzungen, um nach dem Vorbild des chemischen Periodensystems der Elemente eine qualitative, empirische Klassifikation von technischen Unterstützungssystemen vorzunehmen. Genau genommen handelt es sich selbstverständlich nicht um ein „Periodensystem“, weil hier kein periodisches Gesetz zu Grunde liegt, sondern elementare und wiederkehrende Relationsmuster in Unterstützungssituationen. Diese Muster werden in der Tabelle vertikal aufgeführt (ein Muster pro Zeile) und mit der Wahrnehmung der Körper-Artefakt-Relationen gekreuzt, die in die horizontale Dimension eingetragen werden. Allerdings war auch beim ersten chemischen Periodensystem nicht das periodische Gesetz maßgebend für die Anordnung, sondern zunächst rein qualitative Kriterien, nämlich die qualitativ wahrgenommene Ähnlichkeit der chemischen Eigenschaften einzelner Stoffe [28]. Wie im Grunde jede Klassifikation hat das ursprüngliche Periodensystem von Mendeleev die Elemente also in erster Linie nach Ähnlichkeiten gruppiert.

Wir wählen nun diese zweidimensionale Darstellung des Periodensystems, weil sie eine besondere Form der Visualisierung elementarer Relationen ermöglicht und darüber hinaus auf potentielle Zusammenhänge und Technologien verweist.

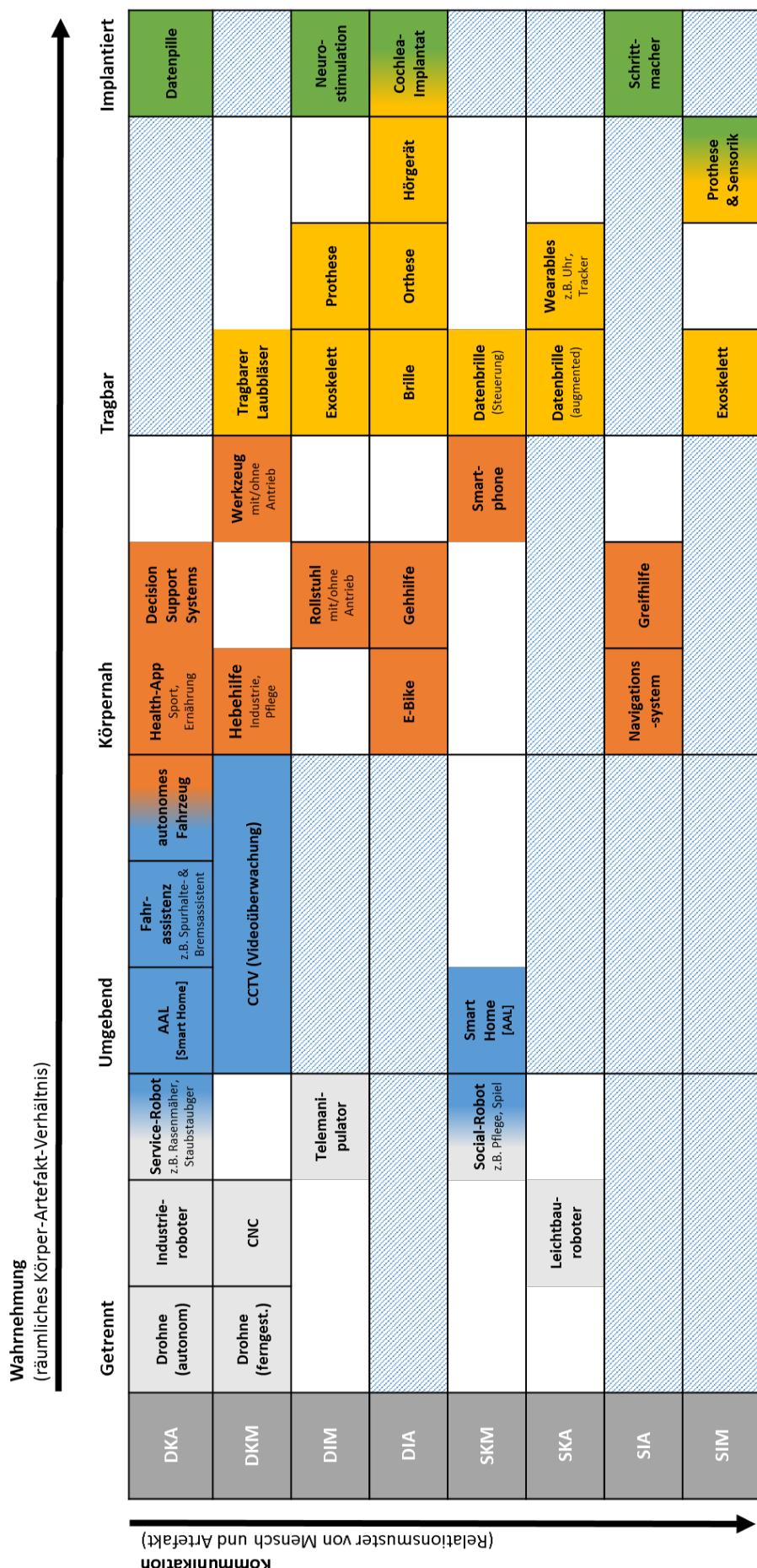


Abbildung 4.1: „Periodensystem“ zur Klassifikation technischer Unterstützungssysteme

Analog zur ersten Version Mendeleevs – eine 12x8-Tabelle [29] – erhalten wir eine 8x5-Tabelle, in der bestimmte technische Lösungen gruppiert werden. Es sind effektiv nur fünf Spalten, weil die jeweilige Unterteilung der Spalten in drei Unterspalten nur der Anzahl der hier in einer Reihe zu notierenden Lösungen geschuldet ist. Die „Breite“ der einzelnen Spalten kann also abhängig von der Anzahl der identifizierten Fälle, die in eine Klasse fallen, reduziert oder erweitert werden. Die gewählte Abfolge innerhalb der Spalten richtet sich nach der Nähe zu den Nachbarklassen bzw. einfach nach der Größe des Artefakts im Verhältnis zum Körper. Die Spalten sind intern also grob nach Artefaktgröße/-nähe von links nach rechts sortiert. Diese Spaltendifferenzierung kann in Zukunft dazu dienen, technische Systeme genauer voneinander zu unterscheiden.

Der Prozess der Identifikation von Elementen für bestimmte Klassen wird hier nicht im Einzelnen dargestellt, obwohl genau das vermutlich an bestimmten Stellen für die größte Irritation sorgt (Wieso findet sich die Technik X an dieser Stelle?). Es genügt vorerst die hier anhand der zuvor zu Grunde gelegten Kriterien ermittelte Identifikation zu akzeptieren, um nicht in Zuordnungsstreitigkeiten zu verfallen, sondern um drei Auffälligkeiten des ersten Resultats zeigen zu können. Die Beobachterabhängigkeit einer Klassifikation lässt sich ohnehin nicht vollends tilgen.

- (1) Einige Ähnlichkeiten waren zu erwarten, andere sind überraschend. Dass ein Industrie- und ein Service-Roboter sich in Bezug auf die kommunikative Form der Unterstützung näher sind als Smart Home und Hörgerät überrascht nicht. Dass Herzschrittmacher und Navigationssysteme oder E-Bikes und Hörgeräte sich vom Relationsmuster her ähneln (sie finden sich in einer Zeile, nämlich SIA bzw. DIA) verwundert hingegen erst einmal. Interessant ist ferner die Einsicht, dass eine Technik durch Weiterentwicklungen – bspw. den Einbau von Sensorik – oder verschiedene Nutzungsarten – bspw. einer Nutzung von Datenbrillen nur zum Fotografieren – in andere Relationsmuster springen kann. Das ist in der Matrix illustriert an Drohne, Datenbrille und Exoskelett. Wie sich diese Punkte interpretieren lassen und welche Schlüsse daraus oder aus anderen Vergleichen jeweils gezogen werden können, variiert abhängig von Interesse und Forschungsfrage.
- (2) Die körpernahen und die körpergetragenen Artefakte weisen die größte Varianz in Bezug auf Relationsmuster der Unterstützung auf – die meisten Zellen dieser beiden Spalten, sechs von acht, sind besetzt. Die geringste Varianz in dieser Hinsicht findet sich aktuell bei den ambienten Technologien. Im Relationsmuster DKA (Desynchron, Komplementär, Artefaktkontrolliert) zeigt sich darüber hinaus die größte Variation an technischen Unterstützungsformen, was mithin historisch bedingt ist. Es ist eine Verschiebung zu sehen von der D-Gruppe (die ersten vier Zeilen), zur S-Gruppe (die unteren vier Zeilen), wenn man sich in der Tabelle nach rechts, also hin zu kleineren Artefakten und zum Körper bewegt.
- (3) Die gesamte Matrix ist etwas mehr als die Hälfte gefüllt (24 Zellen von 40). Fast die Hälfte sind Leerstellen. Sie sind in der Matrix schraffiert hervorgehoben. Das ist kein Problem der Klassifikation, sondern eine der aus unserer Sicht wichtigsten Funktionen für eine Orientierung am Periodensystem. Das Feld der Forschung bzw. der Entwicklung von und mit technischer Unterstützung ist noch vergleichsweise jung und diese Leerstellen deuten darauf hin, dass und vermutlich wo noch Potentiale zu finden sind.

Die erkennbaren Lücken im Periodensystem sind nicht absolut, das heißt, es gibt womöglich aktuell bereits Technologien, die dort ihren Platz finden könnten. Wir beanspruchen keine Vollständigkeit, gehen jedoch davon aus, dass ein Großteil der existierenden technischen Unterstützungssysteme als Spielart irgendeines dieser klassifizierten abstrakten Elemente gelten kann. Es ist umgekehrt keineswegs zu erwarten (und es ist auch nicht notwendig), dass irgendwann alle Zellen gefüllt sein werden. Aber das ist auch nicht der Sinn dieses Ansatzes einer Klassifikation. Die verblüffendste Einsicht von Mendeleev war die Voraussage der Eigenschaften noch unbekannter Elemente [19]. Das Periodensystem hatte also eine Voraussagefähigkeit, die man sonst nur Theorien zugetraut hatte [28]. Es war damit möglich, das Unbekannte zu formulieren, wie es Gaston Bachelard ausgedrückt hat. Deshalb sind die vakanten Stellen in dieser Art des Klassifizierens genauso wichtig wie die besetzten Stellen (oder gar: wichtiger). Aber das heißt im Umkehrschluss gerade nicht, dass die Möglichkeiten in den besetzten Zellen bereits ausgeschöpft sind oder eine einmalige Zuordnung unveränderlich ist. Eine höhere Auflösung der Klassifikation und anderen Möglichkeiten der Sortierung können auch bei den besetzten Zellen noch weitere Potentiale offenbaren.

5 Diskussion und Ausblick

Mit dem vorgestellten Periodensystem als Klassifikation des heterogenen Felds technischer Unterstützungssysteme wird eine Systematisierung präsentiert, die es ermöglicht, erwartbare, aber auch zum Teil überraschenden Zusammenhänge und Unterschiede verschiedener technischer Objekte in dieser Domäne zu erkennen. Verschiedene Interpretationen der dadurch ermöglichten Beobachtungen sind in dieser Darstellung nicht zu finden. Sie sind Gegenstand weiterer Forschung und Entwicklung.

Das Klassifikationsverfahren gründet sich auf eine Theorie der Unterstützung, die vor allem soziologische und kognitionswissenschaftliche Ressourcen nutzt [3, 4]. Die beiden taxonomischen Dimensionen des Periodensystems (kommunikative Relationen und körperliche Wahrnehmungsverhältnisse) und ihre Differenzierung sind daraus abgeleitet worden. Ohne eine solche Theoriegrundlage wäre man auf Übernahme eingebürgerter Kategorien und Definitionen angewiesen, ohne die Chance zu haben, die Relationen zu erkunden, die das Feld ausmachen. Die Übernahme von Unterscheidungen wie zwischen kognitiver und physischer Unterstützung oder zwischen Software und Hardware impliziert schon zu viele Vorentscheidungen über Grenzen von Artefakten und Aktivitäten, die dann als unhinterfragte Prämissen mitlaufen. Wenn man nur noch mit Hilfe der bereits etablierten Kategorien sieht, wird alles unsichtbar, was nicht dort hineinpasst [9].

Trotz allem fällt der Verzicht auf übliche Klassifikationskriterien nicht leicht, vor allem weil sie sehr gebräuchlich sind und deshalb intuitiv plausibel erscheinen. Dennoch wollen wir diese unsystematisch übernommenen und wissenschaftlich längst fragwürdig gewordenen Unterscheidungen fallen lassen. Nur dann wird es möglich, eine Klassifikation zu formulieren, die in Zeiten von „embedded systems“ [30] jenseits der Trennung von Soft- und Hardware argumentiert und auf die cartesische Trennung von Körper (Physis) und Geist (Kognition) verzichtet. Sie ist kognitionswissenschaftlich nicht mehr entscheidend, seitdem zahlreiche Untersuchungen gezeigt haben, dass Kognition *enacted*, verkörpert, situiert und sozial verteilt operiert [31, 32, 33, 23, 34].

Die resultierende Klassifikation ist eine Mischung aus empirischem und konzeptuellem Vorgehen. Es ist also weder eine (empirische) Taxonomie noch eine (konzeptuelle) Typologie, sondern eine Art „Taxologie“ oder eben: ein *Periodensystem*. Diese Ikone der Wissenschaft als Analogie zu wählen hat etwas mit dieser Vermischung von Typologie und Taxonomie und der attraktiven Visualisierung zu tun. Ein Periodensystem erlaubt es durch seine Struktur Forschungs- und Entwicklungslücken zu identifizieren, Probleme genauer zu benennen, alternative Anwendungsfelder zu erkennen oder Innovationsmöglichkeiten zu entdecken.

Das Resultat ist trotz allem noch nicht diskriminierungsfähig genug. Ferner ist die Identifikation der Elemente nicht eindeutig, was aber mitunter daran liegt, dass die Perspektiven involvierter Beobachter stets variieren, und damit die Einschätzung der Situation insbesondere in Bezug auf die Kontrollhoheit und die Synchronisation unterschiedlich ausfallen kann. Unterscheidungen oszillieren und es müssen Wege gefunden werden, diese empirische Unbestimmtheit von Situationen anzuerkennen und damit umzugehen.

Diese Schwierigkeiten bestimmen auch die weiteren Schritte, von denen einige bereits ange deutet worden sind. Es werden unter anderem alternative Möglichkeiten der Sortierung und Gruppierung der Zeilen untersucht und die Kriterien werden weiter aufgeschlüsselt und verfeinert. Die Anwendung numerischer Verfahren der Clusteranalyse, um die vorhandenen Artefakte empirisch zu bündeln [35, 36] wird ebenfalls in Betracht gezogen. Doch das sollte nicht in Substitution des Periodensystems erfolgen. Eine numerische Taxonomie kennt nur Cluster und keine Lücken, die in dieser Hinsicht gerade interessant sind. Systematisierung bedeutet, das Unbekannte zu formulieren, weil ein Objekt eben nicht natürlich der Erkenntnis vorausgeht [19]. Numerische Verfahren können das nur unzureichend darstellen.

Eine Systematisierung kann die Theoriebildung über Disziplingrenzen hinweg erleichtern. Sie kann außerdem technische Entwicklungsentscheidungen orientieren, bis hin zur Auswahl oder funktional äquivalenten Substitution von Systemkomponenten und verschiedener Kombinationen von Sensoren, Aktuatoren und Kinematiken. Die Erstellung und der Vergleich verschiedener Periodensysteme für verschiedene Beobachter (z.B. Nutzer und Entwickler) sind auch als Methode im Rahmen partizipativer Technikentwicklung denkbar. Nicht zuletzt könnte diese Klassifikation in Verbindung mit Bewertungspraktiken auch wichtige Ansatzpunkte zur Beantwortung der Frage liefern, welche Form von technischer Unterstützung wir politisch und ethisch verantworten wollen.

6 Danksagung

Diese Forschung (Projekt „smart ASSIST – Smart, Adjustable, Soft and Intelligent Support Technologies“, Förderkennzeichen 16SV7114) wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau im Schwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion vor dem Hintergrund des demographischen Wandels“ gefördert und durch die VDI/VDE INNOVATION GmbH betreut. Die alleinige Verantwortung für den Inhalt des Beitrags liegt bei den Autoren.

7 Literatur

- [1] W. Rammert: Technik – Handeln – Wissen. Zu einer pragmatistischen Technik- und Sozialtheorie. Wiesbaden: VS Verlag, 2007.
- [2] R. Weidner, A. Karafillidis: Three General Determinants of Support-Systems. In: Applied Mechanics and Materials Vol. 794 (2015), S. 555-562, Trans Tech Publications, Schweiz, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.794.555, 2015.

- [3] A. Karafillidis, R. Weidner: Grundlagen einer Theorie und Klassifikation technischer Unterstützung. In: R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme, Springer-Verlag, Berlin, S. 66-89, 2015.
- [4] A. Karafillidis: Synchronisierung, Kopplung und Kontrolle in Netzwerken. Zur sozialen Form von (technischer) Unterstützung und Assistenz. In: P. Biniok, E. Lettkemann (Hrsg.): Assistive Gesellschaft, Springer VS, Wiesbaden, 2017 (im Erscheinen).
- [5] R. Weidner, A. Karafillidis, J. P. Wulfsberg: Individual Support in Industrial Production – Outline of a Theory of Support-Systems. In: 49th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, S. 569-579, DOI 10.1109/HICSS.2016.77, 2016.
- [6] P. F. Lazarsfeld: Some Remarks on the Typological Procedures in Social Research. Zeitschrift für Sozialforschung VI, S. 119-139, 1937.
- [7] C. G. Hempel: Grundzüge der Begriffsbildung in der empirischen Wissenschaft. Düsseldorf: Bertelsmann Universitätsverlag, 1974.
- [8] C. Lévi-Strauss: Das wilde Denken. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1973.
- [9] G. C. Bowker, S. L. Star: Sorting Things Out. Cambridge: MIT Press, 2000.
- [10] A. Herz: Strukturen transnationaler sozialer Unterstützung. Eine Netzwerkanalyse von personal communities im Kontext von Migration. Wiesbaden: Springer VS, 2012.
- [11] K. Henning, S. Kutscha: Informatik im Maschinenbau. 4., neubearbeitete Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer, 1994.
- [12] A. Dogangün: Adaptive Awareness-Assistenten: Entwicklung und empirische Untersuchung der Wirksamkeit. Lohmar/Köln: Eul Verlag, 2012.
- [13] S. Teubner, G. Reinhart, R. Haymerle, U. Merschbecker: Individuelle und dynamische Workerinformationssysteme. In: R. Weidner (Hrsg.): Band zur zweiten transdisziplinären Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“, Hamburg, 2016.
- [14] C. Hochberg, O. Schwarz, U. Schneider: Aspects of Human Engineering – Bio-optimized Design of Wearable Machines. In: A. Verl, A. Albu-Schäffer, O. Brock, A. Raatz (Hrsg.): Soft Robotics. Transferring Theory to Application, Springer, Berlin, S. 184-197, 2015.
- [15] K. D. Bailey: Typologies and Taxonomies. T. Oaks et al.: Sage. 1994.
- [16] International Federation of Robotics, Press Conference, Presentation 12. Oktober 2016, Seoul. Download der Präsentation unter: http://www.ifr.org/index.php?id=59&df=Presentation_12_Oct_2016_WR_Service_Robots.pdf, 2016.
- [17] M.. Mahner: Biologische Klassifikation und Artbegriff. In: Philosophie der Biologie, Hrsg.: U. Krohs, G. Toepfer, Frankfurt am Main, S. 231-248, 2005.
- [18] W. Lefèvre: Viewing chemistry through its ways of classifying. Foundations of Chemistry 14, S. 25-36, 2012.
- [19] G. Bachelard: Philosophie des Nein. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1980.
- [20] E. R. Scerri: What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question? Foundations of Chemistry 14, S. 69-81, 2012.
- [21] F. Varela, J.-P. Lachaux, E. Rodriguez, J. Martinerie: The Brainweb: Phase Synchronization and Large-Scale Integration. Nature Reviews Neuroscience 2, S. 229-239, 2001.
- [22] A. Karafillidis: Unmittelbares Handeln und die Sensomotorik der Situation. Über Francisco J. Varela, Ethical Know-How. In: D. Baeker (Hrsg.): Schlüsselwerke der Systemtheorie, 2., erweiterte Auflage, Springer VS, Wiesbaden, S. 223-249, 2016.
- [23] E. Hutchins: Cognition in the Wild. Cambridge: MIT Press, 1995.
- [24] R. Glanville: The Question of Cybernetics. Cybernetics and Systems 18, 2, S. 99-112, 1987.

- [25] W. R. Ashby: Requisite Variety and its Implications for the Control of Complex Systems. *Cybernetica* 1, 2: S. 83-99, 1958.
- [26] G. Vickers: Cybernetics and the Management of Men. In: ders., Towards a Sociology of Management. Chapman and Hall, London, S. 15-24, 1967.
- [27] P. Watzlawick, J. H. Beavin, D. D. Jackson: Menschliche Kommunikation. Formen, Störungen, Paradoxien. Hans Huber, Bern, 2000.
- [28] E. R. Scerri: A critique of Weisberg's view on the periodic table and some speculations on the nature of classifications. *Foundations of Chemistry* 14, S. 275-284, 2012.
- [29] E. R. Scerri: The Periodic Table, Oxford: Oxford UP, 2011.
- [30] T. A. Henzinger, J. Sifakis: The Discipline of Embedded Systems Design. *Computer* 10, IEEE Computer Society, S. 32-40, 2007.
- [31] M. L. Anderson: Embodied Cognition: A Field Guide. *Artificial Intelligence* 149, S. 91-130, 2003.
- [32] A. Clark: Supersizing the Mind. Embodiment, Action, and Cognitive Extension. Oxford/New York: Oxford UP, 2011.
- [33] F. J. Varela: Kognitionswissenschaft – Kognitionstechnik: Eine Skizze aktueller Perspektiven. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1990.
- [34] N. Suchman: Human-Machine Reconfigurations: Plans and Situated Actions, 2. Aufl., Cambridge: Cambridge UP, 2007.
- [35] P. H. A. Sneath, R. R. Sokal: Numerical Taxonomy, San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1973.
- [36] P. H. A. Sneath: Numerical classification of the chemical elements and its relation to the periodic system. *Foundations of Chemistry* 2, S. 237-263, 2000.

User-Centred Design als Instrument zur Bewertung ethischer Implikationen neuer Mensch-Technik-Interaktionen

Ein Fallbeispiel im Bereich der Pflegeausbildung

A. Trübswetter¹, T. Grewe², S. Glende¹

¹YOUSE GmbH

Florastraße 47, 13187 Berlin

angelika.truebswetter@youse.de, sebastian.glende@youse.de

²Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Treskowallee 8, 10318 Berlin

mail@torstengreve.com

Kurzzusammenfassung

Die Berücksichtigung der Nutzerbedürfnisse in der Mensch-Technik-Interaktion ist einer der Erfolgsmerkmale für die Entwicklung von assistiven Systemen. In Anbetracht der rasanten Entwicklung auf dem Gebiet der Technik sind allgemeingeltende Ethiken nicht mehr anwendbar. Es bedarf einer fallspezifischen ethischen Auseinandersetzung. Daher wird ein neuer Ansatz vorgestellt, der die frühzeitige Adressierung ethischer Implikationen ermöglicht, indem Methoden des User-Centred Designs mit einem adaptierten Modell zur Bewertung ethischer Implikationen kombiniert und zum Einsatz gebracht werden. Als Fallbeispiel wird ein öffentlich gefördertes Forschungsprojekt aus dem Bereich der Pflegeausbildung herangezogen, dessen Ziel die Entwicklung eines Systems zum akustisch und optisch erfahrbaren Lernen ist.

Abstract

“User-centred design as a tool to assess ethical implications of new human-computer interactions: A case study in the field of caregiver training”

Focussing on user needs in human-computer interaction is becoming increasingly important in research and the development of assistive technologies. Due to the rapid technological developments, valid ethics are no longer applicable. It requires case-specific ethical debates. Our new approach allows for an early addressing of ethical implications by combining and applying methods of user-centred design with an adapted model for evaluating ethical implications. A publicly funded research project in the field of caregiver training is used as a case study with the aim to develop a system for acoustically and visually perceptible learning.

Keywords: Mensch-Technik-Interaktion, User-Centred Design, ELSI, Technikethik, MEESTAR

1 Einleitung

Die Herausforderungen der heutigen Wirtschaftsmärkte sind sehr komplex, so dass kollaborative und interdisziplinäre Ansätze wie bspw. *Open Innovation*, *Design Thinking* oder *Partizipatives Design* zunehmend an Bedeutung gewinnen und teilweise den Status Quo im Kontext

des Innovationsmanagements darstellen [1]. Im Bereich der Technologieentwicklung wird immer deutlicher, dass die Adressierung der Bedürfnisse zukünftiger Nutzender einen erfolgskritischen Faktor für die Akzeptanz und somit auch für den wirtschaftlichen Erfolg einer Technologie bzw. eines Produktes oder einer Dienstleistung darstellt [2]. Zentrales Forschungsfeld stellt hier das *User-Centred Design (UCD)* dar.

In diesem Zusammenhang wird nutzerzentrierte Technologieentwicklung auch im Kontext des vorgestellten Fallbeispiels, dem Bereich der Pflegeausbildung, zunehmend an Bedeutung gewinnen. Denn durch die Erhöhung des Anteils älterer und damit potenziell pflegebedürftiger Menschen an der Gesamtbevölkerung wächst der Bedarf an Pflegekräften kontinuierlich [3]. Die Schere zwischen Pflegebedarf und -angebot wird sich weiter öffnen und den bereits heute postulierten Pflegenotstand verschärfen [4]. Ungeachtet der notwendigen gesundheitspolitischen Maßnahmen zur Aufwertung des Berufsstandes und zur Entspannung der Arbeitssituation in der Pflege bedarf es entsprechender Maßnahmen wie bspw. einer besseren Arbeitsmarkteinbindung von Pflegepersonal mit Migrationshintergrund, einer Intensivierung der Ausbildung von Pflegekräften oder einer verstärkten Gewinnung von Quereinsteigern. Dem Feld des Lernens kommt hier ein besonderer Stellenwert zu, da es die Grundlage bildet, um innovative Ansätze in den Markt zu bringen, den Bedarf an Weiterbildungen zu decken und die Arbeitsqualität im Berufsalltag zu verbessern. Die Entwicklung neuer technologischer Lernsysteme mit neuen Formen der Mensch-Technik-Interaktion (MTI) rückt stärker in den Fokus; der Bereich des akustisch und optisch erfahrbaren Lernens im Bereich der Pflegeberufe ist Untersuchungsgegenstand und Ziel des BMBF-geförderten Projektes AKOLEP (FKZ: 16SV7573) [5].

Für eine erfolgreiche Entwicklung und Implementierung neuartiger technologischer Lernsysteme im Bereich der Pflegeausbildung gibt es viele Stakeholder, die von deren Mehrwert überzeugt werden müssen; insbesondere die Akzeptanz der Nutzenden stellt einen erfolgskritischen Faktor dar [2]. Nutzerbedürfnisse und Nutzungskontexte gilt es bereits frühzeitig in den Design- und Entwicklungsprozess zu integrieren. Dafür kann auf die Vorgehensweise des UCD zurückgegriffen werden; vor allem auch, um ethische, rechtliche und soziale Implikationen (kurz ELSI) von Anfang an einzubeziehen. Dazu wurde von Manzeschke und Kollegen im Bereich der Forschung zu altersgerechten Assistenzsystemen das MEESTAR – Modell zur ethischen Evaluation sozio-technischer Arrangement entwickelt [6]. Die Autor/-innen stellen die Integration eines adaptierten MEESTAR zur Bewertung ethischer Implikationen im Kontext des UCDs vor und leisten damit einen Beitrag zur Methoden-Diskussion im Bereich der Technikethik.

2 Theoretischer Hintergrund

„Thinking like a designer can transform the way you develop products, services, processes – and even strategy“ [7]. Dem UCD und dem Design Thinking gemein sind ihre nutzerzentrierte Vorgehensweise, die sich möglichst stark an den Bedürfnissen potentieller Nutzender orientiert [8, 9] und den Anspruch eines methodologischen Ansatzes erhebt, der eine Vielzahl an Schritten, Methoden und Werkzeugen zur Adressierung von Nutzerbedürfnissen vereint. Design Thinking legt den Fokus dabei eher auf die Ideen- und Visionsentwicklung und setzt früher im Innovationsprozess an, UCD fokussiert eher die Gestaltung der Lösungen [10]. Bei der Frage nach verbindlichen Standards hat sich in den letzten Jahren die Beschreibung des iterativen Gestaltungsprozesses in der ISO 9241-210:2011-01 etabliert [11]. Grundlegende Elemente zur Erfüllung der Norm sind dabei die Entwicklung eines umfangreichen und interdisziplinären

Verständnisses des Untersuchungsgegenstandes, der partizipative Einbezug potentieller Nutzergruppen, die Berücksichtigung des gesamten Nutzererlebnisses (*User Experience*) sowie Evaluationen und Iterationen [11]. Vor allem der partizipative Einbezug potentieller Nutzergruppen liefert entscheidendes (implizites) Wissen über Nutzungskontexte und Arbeitsaufgaben. Ziel ist es, ein „echtes“ Verstehen zu entwickeln, im Gegensatz zur Entwicklung normativer Annahmen und Stereotypen [12].

Im Kontext von UCD und MTI gilt es zudem die Konzepte der Gebrauchstauglichkeit (*Usability*) und der Akzeptanz zu berücksichtigen. Ersteres beschreibt dabei das „Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“ [13]. Letzteres umfasst verschiedene Modelle zur Messung von Technikakzeptanz bei Nutzenden wie bspw. das *Technology Acceptance Model (TAM)* [14] oder die *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)* [15]. Das TAM zeigt, dass die Ablehnung oder Zuneigung eines Individuums zu technischen Systemen von der subjektiven Nützlichkeit und der subjektiven Benutzerfreundlichkeit abhängig ist [16]. Die UTAUT kommt zu einem komplexeren Ergebnis, bei dem mehrere Variablen u. a. Leistungserwartung, erwarteter Aufwand und sozialer Einfluss das Nutzerverhalten direkt beeinflussen; diese wiederum werden durch die Moderatoren Geschlecht, Alter, Erfahrung und Freiwilligkeit der Nutzung beeinflusst [15]. Gegenüber TAM wird UTAUT zwar häufig zitiert, jedoch selten genutzt und zeigt eine unterdurchschnittliche Leistungsfähigkeit [17].

In den dargestellten Modellen nicht betrachtet werden die ethischen, rechtlichen und sozialen Herausforderungen. Bestehende ethische Anforderungen finden bisher kaum Eingang in die nutzerzentrierte Produktentwicklung des UCDs. Daraus resultiert eine geringere Nutzungs-akzeptanz. Da menschliche Handlungsmöglichkeiten durch den wissenschaftlich-technischen Fortschritt jedoch zunehmen und bisher Unmögliches zum „Gegenstand technischer Gestaltbarkeit“ [18] wird, bestehen größere Wahlmöglichkeiten für Individuen. Oftmals können ethische Schwierigkeiten und Konflikte nicht mehr nur mit den bestehenden Rechtsnormen und traditionellen moralischen Normen geregelt werden [19]. Technikethik ist folglich im Bereich der angewandten Ethik anzusiedeln; auf unterschiedlichen Ebenen (individuell, organisational und gesellschaftlich) adressiert diese wiederum ethische Fragestellungen für ein bestimmtes Handlungsfeld [20]. In Bezugnahme zum ausgewählten Fallbeispiel, der Technologie- und MTI-Entwicklung im Bereich der Ausbildung von Pflegefachkräften, kann mit Hilfe des UCD eine stetige Nutzereinbindung gewährleistet werden; durch iterative Prozessschritte werden potentielle Nutzende über den gesamten Design- und Entwicklungsprozess mit dem Ziel einbezogen, deren Akzeptanz gegenüber der Technologie zu erhöhen und dadurch ein wirtschaftlich erfolgreiches und bedarfsgerechtes System zu entwickeln. Es stellt sich jedoch die Frage wie im Kontext des UCD die frühzeitige Adressierung ethischer, rechtlicher und sozialer Implikationen gestaltet werden kann, um eine hohe Nutzerakzeptanz zu erreichen. Dazu werden UCD Methoden mit einem adaptierten MEESTAR kombiniert und in einem Workshop zur Anwendung gebracht.

3 Methodisches Vorgehen

Für die Frage nach der Gestaltung der Adressierung von ELSI-Aspekten im UCD Kontext wird ein qualitatives Vorgehen gewählt. Qualitative Methoden eignen sich durch ihre ergebnisoffene Anlage besonders für die Entdeckung unbekannter Sachverhalte und Zusammenhänge, da sie

den Zugang zu subjektiven Sichtweisen in den Mittelpunkt stellen. Qualitative Sozialforschung ermöglicht durch ihr „Prinzip der Offenheit“ [21] „Lebenswelten, von innen heraus‘ aus der Sicht der handelnden Menschen zu erfassen“ [21].

Um einen neuen methodischen Ansatz zur frühzeitigen Adressierung ethischer Implikationen in technologiegetriebenen Forschungsprojekten zu adressieren, werden Methoden des UCDs mit einem adaptierten MEESTAR kombiniert und im Anwendungsbeispiel der Ausbildung von Pflegefachkräften vorgestellt. Als zentrale UCD Methode kommen in den durchgeführten Workshops *Personas* zum Einsatz. Personas sind archetypische Beschreibungen von Nutzerprofilen und werden als methodisches Werkzeug verwendet, um bspw. Technologie-entwickler dabei zu unterstützen, sich in die Lage potentieller Nutzergruppen hineinzudenken und -fühlen und im Designprozess deren Perspektive einzunehmen [22]. „Personas are not real people, but they represent them throughout the design process. They are *hypothetical archetypes* [Herv. i. O.] of actual users. Although they are imaginary, they are defined with significant rigor and precision“ [23]. Um Personas zu entwickeln bedarf es echter Nutzer-daten, die über qualitative und quantitative Verfahren erhoben werden können. Als eine zentrale Methode wird im vorgestellten Fallbeispiel – dem initialen Workshop mit potentiellen Nutzenden – mit einer qualitativen Netzwerkanalyse, der sogenannten *Verortung*, gearbeitet. Das entwickelte Verfahren orientiert sich dabei an der „Methode der konzentrischen Kreise“ [24]. Das Wesen der Verortung liegt darin, dass Wissen erfasst wird, indem die Workshop-Teilnehmenden Begriffe aus dem Technik-Kontext in Beziehung zueinander und zu sich selbst setzen, wobei die Relationen zur Mitte des Kreises die Beziehung der Begrifflichkeiten zum Individuum selbst widerspiegeln. Die Teilnehmenden haben zudem die Möglichkeit, das Beziehungsnetz um weitere, selbstgewählte Begriffe zu erweitern. Die zentralen Gedanken der einzelnen Personen zum Beziehungs-raster werden digital aufgezeichnet. Basierend auf der Analyse dieser Daten, bspw. mit Hilfe der zusammenfassenden Inhaltsanalyse [25] oder der empirisch begründeten Typenbildung [26], werden die Kern- und Randgruppen geclustert und beschrieben. So können durch die visuelle Vorgehensweise die subjektiven Einstellungen der Workshop-Teilnehmenden zu Technik-nutzung und -affinität erfasst und in Personas überführt werden.

Zur Bewertung der ethischen Implikationen wird auf das bereits im Bereich der Entwicklung altersgerechter Assistenzsysteme etablierte Modell zur ethischen Evaluation sozio-technischer Arrangements – MEESTAR (siehe Abbildung 3.1) [6, 20] zurückgegriffen und für den Kontext der MTI im Bereich der Ausbildung von Pflegefachkräften adaptiert.

„Dieses Modell repräsentiert ein dreidimensionales Bewertungsinstrument, das in strukturierter Weise zur ethischen Reflexion und Urteilsbildung beim Einsatz altersgerechter Assistenzsysteme anleitet. Es handelt sich auch um ein heuristisches Instrument, um in einem strukturierten Dialog anhand eines konkreten sozio-technischen Szenarios die Anwendung zu analysieren und auf der Grundlage identifizierter moralischer Probleme Lösungsansätze für den Einsatz zu entwickeln“ [6]. Auf der x-Achse des Modells befinden sich sieben relevante Dimensionen zur ethischen Bewertung, auf der y-Achse vier Stufen der ethischen Bewertung und auf der z-Achse die drei Ebenen der Beobachtung [6].

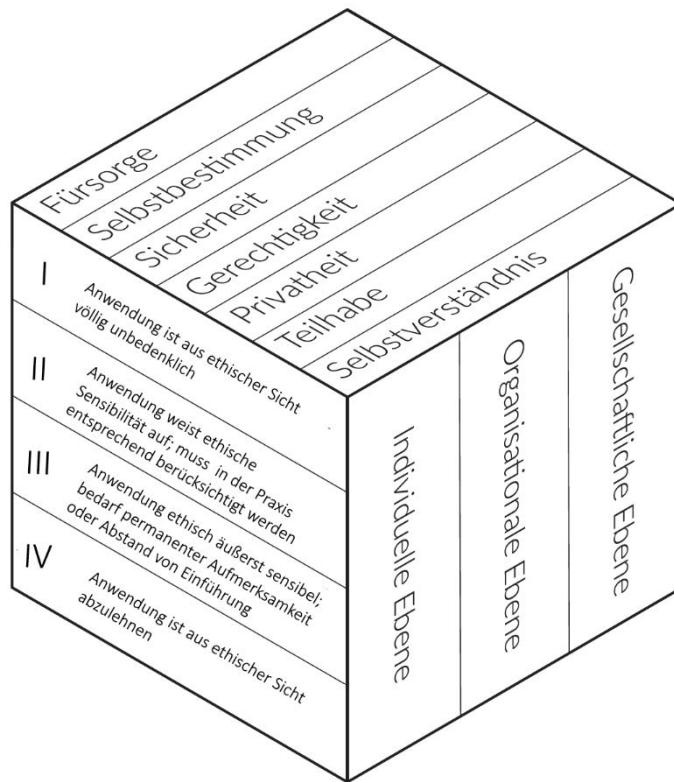


Abbildung 3.1: Dreidimensionales MEESTAR (eigene Darstellung in Anlehnung an [6])

Die Adaption erfolgte an zwei zentralen Punkten: Das Modell wurde hinsichtlich seiner visuellen Darstellung weiterentwickelt und modifiziert; konkret wurde ein haptischer dreidimensionaler MEESTAR-Würfel entwickelt, der die methodische Vorgehensweise und die Anzahl der erarbeiteten ethischen Implikationen zusammenfassend visualisiert. Des Weiteren wurde der Vorgang der Bearbeitung von den einzelnen Beobachtungsebenen des MEESTAR-Würfels (z-Achse) dahingehend abgewandelt, dass die gesellschaftliche Ebene nicht in einer Gruppenarbeit, sondern im Plenum bearbeitet wurde, da sie eine größere Abstraktion als die beiden anderen Ebenen aufweist und damit aus Sicht der Autor/-innen einer besonderen Moderation bedarf. Die Frage nach einer möglichen Adaption der sieben Dimensionen zur ethischen Bewertung (y-Achse) wurde als explorative Frage mit in den Workshop aufgenommen und wird in der Kapitel 4.2 reflektiert.

Die adaptierten und weiterentwickelten Methoden zur Entwicklung von Personas und der Adressierung ethischer Herausforderungen wurden in zwei unterschiedlichen Workshop-Settings eingesetzt und erprobt. Für den ersten Workshop konnten sechs potentielle Nutzende (drei weibliche Auszubildende, ein Pflegepädagoge, eine Schulleiterin sowie eine Pflegedienstleitung) gewonnen werden; sie bilden den Grundstein für die Persona-Entwicklung. Um das eigentliche Ziel, die neue Gestaltung der frühzeitigen Adressierung ethischer Themen im Kontext technologieorientierter Forschung zu verfolgen, wurde ein kollaborativer, inter-disziplinärer Workshop [19] mit insgesamt neun Vertretern der fünf projektbeteiligten Unternehmen durchgeführt. Die beiden halbtägigen Workshops fanden in den Räumlichkeiten der YOUSE GmbH statt. In beiden Workshops wurden die Teilnehmenden über die freiwillige Teilnahme sowie die Bestimmungen zu Datenschutz, Anonymität und Verwendung der aufgezeichneten Bild-, Ton- und Textdaten aufgeklärt.

4 Ergebnisse

4.1 Personas als Ausgangsbasis zur Bewertung ethischer Implikationen

Basierend auf den Ergebnissen der *Verortung* (Abbildung 4.1) und den Ergebnissen weiterer qualitativer Methoden können im ersten Schritt Nutzungsverhalten, Bedarfe, Wünsche und Vorbehalte an ein technologisches Lernsystem verschiedener Stakeholder im Kontext der Ausbildung von Pflegefachkräften erhoben werden.

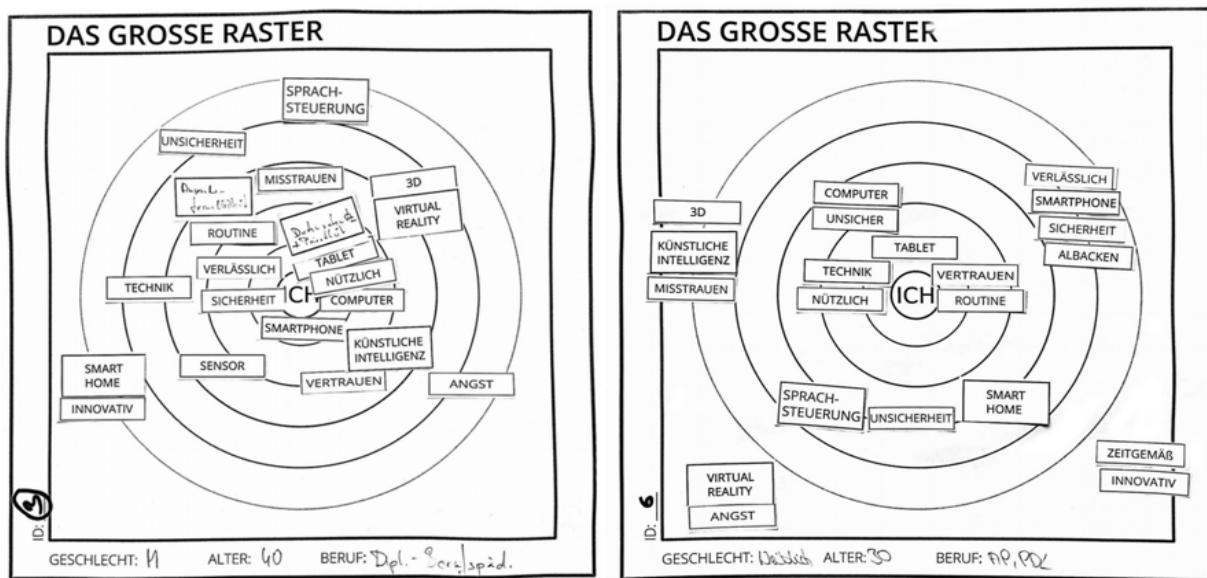


Abbildung 4.1: Verortung (eigene Darstellung)

Im Ergebnis lassen sich drei potentielle Nutzergruppen, die Auszubildenden, die Pflegepädagogen sowie die Organisationsleitungen identifizieren und charakterisieren. Vor allem durch die Ergebnisse der *Verortung* lassen sich die zentralen Unterschiede der drei Nutzergruppen hinsichtlich des persönlichen Technikbezuges herausarbeiten. Die drei entwickelten Personas sind immer durch die gleichen Charakteristika gekennzeichnet: Sie verfügen über einen „echten“ Namen, Alter und ein prototypisch aus den Ergebnissen synthetisiertes Motto zum Thema wie bspw. Kathleen Bremer, 22-jährige Krankenpflege-schülerin „*Trotz der technischen Möglichkeiten in der Medizin und Pflege ist es wichtig, dass man seine Menschlichkeit bewahrt!*“. Des Weiteren werden die Ergebnisse in einem sprachlich einfachen Fließtext zusammengefasst und eine Auswahl an Parametern visuell dargestellt, um den Umgang mit und die Einstellungen zu Technik der Personas zu beschreiben. In Stichpunkten werden zudem die subjektiven Einstellungen zu Chancen und Risiken des AKOLEP Systems festgehalten.

4.2 Kollaborativer MEESTAR-Workshop zur Bewertung ethischer Implikationen

Die in Kapitel 4.1 vorgestellten Personas werden transformiert und in „lebensechte“ Personen überführt, um sie für die Bewertung ethischer Implikationen im Rahmen des AKOLEP-Forschungsprojektes nutzbar zu machen. Das Ergebnis des Transformations-prozesses zeigt Abbildung 4.2, ebenso wie die MEESTAR-Materialien für die Gruppenarbeit zur Bewertung ethischer Implikationen. Jede Gruppe hat die Aufgabe, aus der Perspektive ihrer individuellen Persona, die Frage nach ethischen Herausforderungen auf individueller und organisationaler Ebene zu bearbeiten. Die Arbeit mit den Personas erleichtert es den Kleingruppen, neben der

Einschätzung ethischer Herausforderungen aus ihrer professionellen Expertise heraus, die Ebenen der potentiellen Nutzergruppen nicht zu vernachlässigen und kann daher als Gewinn für die Bearbeitung ethischer Implikationen gewertet werden.

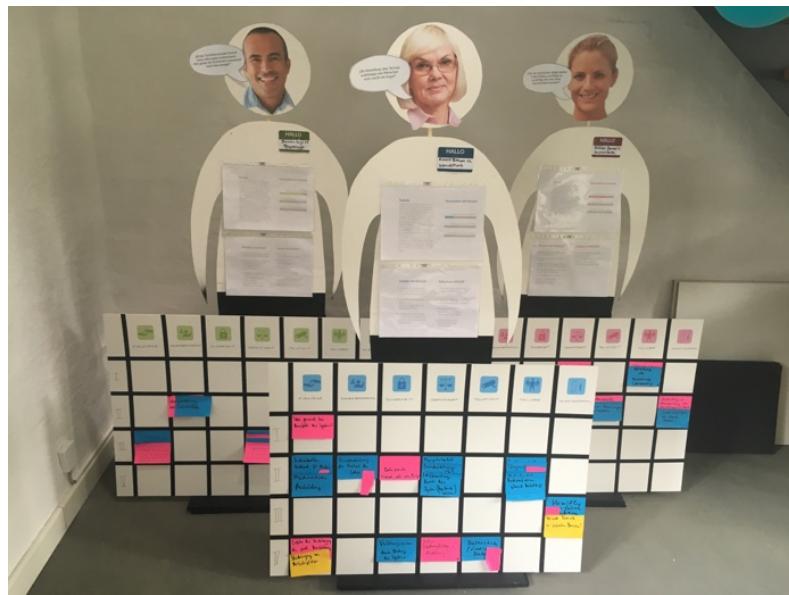


Abbildung 4.2: MEESTAR Workshop-Materialien (eigene Darstellung)

Durch die visuell und hochwertig aufbereiteten Workshop-Materialien kann für die Workshop-Teilnehmenden ein niedrigschwelliger Zugang zu ethischen Themen ermöglicht und „Freude“ und „Lust“ an der Bearbeitung ethischer Themen vermittelt werden. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund des Ziels, ethische Themen in Forschungsprojekten in Anlehnung an das UCD auch in iterativen Prozessschritten zu bearbeiten, ein zentraler Grundstein. Die Arbeit in drei interdisziplinär und möglichst divers zusammengesetzten Kleingruppen erweist sich ebenfalls als zielführend, um die Diskussion zu ethischen Implikationen auf individueller und organisationaler Ebene vorzubereiten. Basierend auf der Hypothese, dass die gesellschaftliche Ebene – im Gegensatz zur individuellen und organisationalen – im Fallbeispiel der Pflegeberufe eine untergeordnete Rolle spielt, wurde diese im Gegensatz zu Manzeschkes Vorgehen [6, 19, 20] nicht in der Kleingruppen-Arbeit, sondern im Plenum bearbeitet; dies zeigte sich nur bedingt als praktikable Vorgehensweise.

Die Anwendung des MEESTAR gilt es kritisch zu reflektieren; für den Kontext der Technologieentwicklung im Ausbildungsbereiche in der Pflege zeigen sich die sieben Dimensionen zur ethischen Bewertung (Abbildung 3.1) zu nahe am Kontext altersgerechter Assistenzsysteme und werden von den Teilnehmenden als zu starr und nicht ausreichend trennscharf wahrgenommen. Die Begleitung der Kleingruppen kann daher wie bei Manzeschke und Kollegen [6, 19, 20] als wichtiges Element festgehalten werden, da die Arbeit mit MEESTAR nicht intuitiv erfolgt, sondern einer Moderation bedarf. Der zeitliche Rahmen von zwei Stunden ist für eine erste Bearbeitung und Diskussion ethischer Implikationen auf individueller, organisationaler und gesellschaftlicher Ebene angemessen, wenn sichergestellt werden kann, dass die Ergebnisse im Anschluss aufbereitet und in einem sich anschließenden Format wiederaufgenommen werden.

5 Diskussion

Der Einsatz eines adaptierten MEESTAR wurde gewählt, da es ein bereits validiertes Instrument mit ausreichend Bezug zur ethischen Auseinandersetzung im Technik-Gesundheitskontext darstellt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich vor allem die Verortung (Abbildung 4.1) als adäquate Methode zur Erhebung subjektiver Einstellungen zu Technikthemen bewährt hat. Der visuelle und haptische Zugang [27], wo Begriffe aus dem Technik-Kontext in Beziehung zueinander gesetzt werden und die Relationen zur Mitte des Kreises die Beziehung der Begrifflichkeiten zum Individuum selbst widerspiegeln [24], ermöglicht es das implizite Wissen der potentiellen Nutzenden zu explizieren. Um die Ergebnisse für die Bearbeitung ethischer Implikationen aufzubereiten, bedarf es einer Transformation. Die visuelle Aufbereitung des MEESTAR in der Kombination mit Personas stellen ein zielführendes Instrument dar, um im frühzeitigen Projektverlauf bereits ethische Herausforderungen mit dem Projektteam zu diskutieren. Für den Bereich der Pflegeausbildung scheint jedoch eine Adaption des MEESTAR notwendig, die sich in erster Linie in einer Reduktion der Kategorien widerspiegelt.

Weiterhin bleibt festzuhalten, dass die gewählte Vorgehensweise mit anderen international diskutierten Konzepten und Modellen zur ethischen Evaluation technischer Gestaltungsprozesse und Innovationen wie bspw. *Value Sensitive Design (VSD)* oder *Responsible Research and Innovation (RRI)* sinnvoll erscheint. So stellt die integrative, iterative und trichotomische Methodologie des VSD primär menschliche Werte während des gesamten Technologiegestaltungsprozesses in den Vordergrund [28] und RRI bietet im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms *Horizon 2020* allumfassende Leitlinien, um verantwortungsvoll im Innovationsbereich zu agieren [29]. Daher wäre es im Rahmen weiterer angewandter Ethikforschung im AKOLEP-Projekt sinnvoll, den hier gewählten Ansatz mit anderen Ansätzen zu vergleichen und/oder anzupassen bzw. zu erweitern.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Forschungsvorhaben geht der Frage nach, wie die frühzeitige Adressierung ethischer Implikationen in Forschungsprojekten gestaltet werden kann. Dabei wurden ein Zugang über qualitative Methoden und der Anwendungsfall der stärkeren Technisierung der Pflegeausbildung gewählt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Personas ein zielführendes Instrument darstellen, um eine „Distanzverringerung“ zwischen Technologieentwickelnden und potentiellen Nutzenden zu ermöglichen; dabei gilt es zu beachten, dass vor allem visuelle und haptische [27] Zugänge diese „Distanzverringerung“ erleichtern und das *Involvement* der Workshop-Teilnehmenden deutlich erhöht werden kann. Die Kombination von Personas und einem adaptierten MEESTAR ermöglicht zum einen die Sensibilisierung der Workshop-Teilnehmenden für die Relevanz ethischer Themen und zum anderen die aktive Auseinandersetzung auf inhaltlicher Ebene. Die Autor/-innen plädieren daher dafür, ethische Themen in Anlehnung an Design Thinking und UCD als iterativen Prozess zu verstehen, der frühzeitig und kontinuierlich Bestandteil technologischer Forschungsprojekte sein sollte. Dazu bedarf es zum einen weiterer quantitativer und qualitativer Forschungsarbeiten, welche die Relevanz einer frühzeitigen Adressierung ethischer Themen untermauern sowie der Weiterentwicklung von MEESTAR zu einem stärker adaptiven und modularen Tool-Kit.

7 Literatur

- [1] A. Grots, I. Creuznacher: Design Thinking – Prozess oder Kultur? Drei Fallbeispiele einer (Veränderungs-)Methode. In: Organisationsentwicklung (2), S. 14-21, 2002.
- [2] Begleitforschung Mittelstand-Digital: Wissenschaft trifft Praxis. Neue Formen des Home Experience Design, BMWi, Bad Honnef, 2016.
- [3] D. Molinuevo: European Social Network. Services for older people in Europe. Facts and figures about long term care, 2008.
- [4] Initiative Neue Qualität der Arbeit: Ältere Beschäftigte im Pflegeberuf, 2016.
- [5] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Akustisch und optisch erfahrbare Lernen für den Bereich der Pflegeberufe (AKOLEP), 2016.
- [6] A. Manzeschke, K. Weber, H. Fangerau, E. Rother: Ethische Fragen im Bereich altersgerechter Assistenzsysteme, VDI/VDE, Berlin, 2013.
- [7] T. Brown: Design Thinking, In: Harvard Business Review, Juni, S. 84-92, 2008.
- [8] D. Wallach, S. C. Scholz: User-centered design: why and how to put users first in software development. In: Software for people, S. 11-38. Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- [9] J. Gulliksen, B. Göransson, I. Boivie, J. Persson, S. Blomkvist, A. Cajander: Key principles for user-centred systems design. Behaviour and Information Technology, 22.6, S. 397-409, 2003.
- [10] M. Rauterberg: User Centered Design: What, Why, and When. In: E. Graefe (Hrsg.): tekom; Jahrestagung, 2003.
- [11] DIN ISO 9241-210: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme, 2011.
- [12] J. D. Gould, C. Lewis: Designing for usability: Key principles and what designers think. Communications of the ACM, 1985, 28. Jg., Nr. 3, S. 300-311, 1985.
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit; Leitsätze (ISO 9241-11:1998), Beuth, Berlin, 1999.
- [14] W. R. King, J. He: A meta-analysis of the technology acceptance model. Information & management, 43(6), S. 740-755, 2006.
- [15] V. Venkatesh, M. G. Morris, G. B. Davis, F. D. Davis: User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View, MIS Quarterly, Vol. 27, No. 3, S. 425-478, 2003.
- [16] F. D. Davis: Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology, MIS Quarterly, Vol. 13, No. 3, S. 319-340, 1989.
- [17] Y. K. Dwivedi, N. P. Rana, H. Chen, M. D. Williams: A Meta-analysis of the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT). IFIP International Working Conference on Governance and Sustainability in Information Systems-Managing the Transfer and Diffusion of IT, S. 155-170, Springer, Berlin, 2011.
- [18] A. Grunwald: Technikzukünfte als Medium von Zukunftsdebatten und Technikgestaltung, Karlsruher Studien Technik und Kultur. Band 6, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2012.

- [19] A. Manzeschke: Angewandte Ethik organisieren: MEESTAR – ein Modell zur ethischen Deliberation in sozio-technischen Arrangements, In: M. Maring (Hrsg.): Vom Praktisch-Werden der Ethik in interdisziplinärer Sicht: Ansätze und Beispiele der Institutionalisierung, Konkretisierung und Implementierung der Ethik, Vol. 7, KIT Scientific Publishing, 2015.
- [20] A. Manzeschke: MEESTAR – ein Modell angewandter Ethik im Bereich assistiver Technologien, In: K. Weber, D. Frommeld, A. Manzeschke, H. Fangerau (Hrsg.): Technisierung des Alters – Beitrag zu einem guten Leben?, Stuttgart (Steiner), S. 263-283, 2015.
- [21] U. Flick, E. von Kardorff, I. Steinke: Qualitative Forschung: Ein Handbuch, 8. Aufl., Rowohlt, Reinbek, 2010.
- [22] J. Grudin, J. Pruitt: Personas. Participatory Design and Product Development: An Infrastructure for Engagement. In: PDC 02 Proceedings of the Participatory Design Conference, Malmö, Schweden, 2002.
- [23] A. Cooper: The Inmates are Running the Asylum. Why High-tech Product Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity, Sams Publishing, Indianapolis, 2004.
- [24] R. L. Kahn, T. C. Antonucci: Convoys over the life course. Attachment, roles, and social support. Life-span development and behavior, 3, S. 253-286, 1980.
- [25] P. Mayring: Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken, Beltz-Pädagogik, Weinheim, 2010.
- [26] S. Kluge: Empirisch begründete Typenbildung: Zur Konstruktion von Typen und Typologien in der qualitativen Sozialforschung, Opladen: Leske und Budrich, 1999.
- [27] K. Krippendorff: The semantic turn: A new foundation for design, Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [28] B. Friedman, P. Kahn, A. Borning: Value sensitive design: Theory and methods. University of Washington technical report, S.2-12, 2002.
- [29] R. Owen, P. Macnaghten, J. Stilgoe: Responsible research and innovation: From science in society to science for society, with society. Science and Public Policy, 39(6), S. 751-760, 2012.

Förderung der körperlichen Aktivität bei älteren Menschen durch körpernahe Sensorik

Entwicklungen und erste Beobachtungen der PROMOTE-Studie

J. Meyer¹, S. Boll¹, C. Voelcker-Rehage², S. Lippke³

¹OFFIS – Institut für Informatik
Escherweg 2, 26121 Oldenburg
meyer@offis.de, boll@offis.de

²Technische Universität Chemnitz, Institut für Angewandte Bewegungswissenschaften
Thüringer Weg 11, 09126 Chemnitz
claudia.voelcker-rehage@hsw.tu-chemnitz.de

³Jacobs University Bremen gGmbH
Campus Ring 1, 28759 Bremen
s.lippke@jacobs-university.de

Kurzzusammenfassung

Körperliche Aktivität ist ein wesentlicher Baustein für Selbständigkeit im Alter. Vernetzte persönliche Gesundheitsgeräte ermöglichen die Realisierung von auf die Bedürfnisse der Einzelnen zugeschnittenen Maßnahmen zur Bewegungsförderung. In der PROMOTE-Studie werden Aktivitätstracker zur objektiven Messung von Ausdaueraktivität eingesetzt. Die Einbindung dieser Geräte in ein Online-Interventionsportal ermöglicht das Monitoring und die Reflektion des individuellen Verhaltens. Eine anfängliche Begeisterung der Nutzerinnen und Nutzer lässt darauf schließen, dass diese technischen Unterstützungssysteme von den Menschen wirklich gewollt werden. Im praktischen Einsatz, insbesondere bei der erstmaligen Inbetriebnahme, zeigten sich Hürden in der Akzeptanz und der technischen Installation. Im laufenden Betrieb ist die Nutzung von Aktivitätstrackern Erfolg versprechend.

Abstract

“Promoting physical activity in elderly adults by body-worn sensors. The PROMOTE study”

Physical activity is a key component for independent living at old age. Networked personal health devices facilitate the provision of interventions for promoting physical activity, tailored to the individual needs. In the context of the PROMOTE study activity trackers are used for objective monitoring of endurance activities. The integration of these devices in an online intervention portal enables monitoring and reflection of one's behavior. Initially users were very excited which indicates that individuals really want the devices. Challenges in practical use are particularly related to acceptance and to installation problems. In regular operation, the use of activity trackers is promising.

Keywords: Körperliche Aktivität, ältere Menschen, Aktivitätstracker, Maßschneiderung, Bewegungsförderung, Motivation

1 Einleitung

Die Förderung körperlicher Aktivität älterer Menschen über 65 Jahre ist ein wesentlicher Baustein zum Erhalt der Mobilität und Selbstständigkeit im Alter. Bisherige Maßnahmen zur Bewegungsförderung zeigen jedoch nur eine geringe Wirksamkeit und eine abnehmende Effektivität von IT-gestützten Bewegungsinterventionen mit zunehmendem Alter der Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Ein Grund kann sein, dass diese Maßnahmen zu wenig auf die individuelle Situation, Kompetenzen und Bedürfnisse der Einzelnen zugeschnitten sind. Möglichkeiten zur Anpassung technischer Unterstützungssysteme besonders für Ältere sind unter anderem [1]:

- Großer Zeitumfang zur Einführung in die Gerätenutzung,
- kleine Teilnehmendenzahl bei Angeboten, z.B. ein 1:1 Verhältnis in einem – evtl. zusätzlichen – persönlichen Telefongespräch,
- gute Lesbarkeit des Displays, z.B. durch große Schriftgröße,
- Verringerung der Komplexität der Bedienoptionen, z.B. mit automatischer, körpernaher Sensorik der Aktivitätstracker, zur Verbesserung der Informationsaufnahme,
- altersgemäße Anpassung der Zielkriterien und der konkreten Erreichung dieser, z.B. Umfang der körperlichen Bewegung unter Berücksichtigung altersspezifischer Empfehlungen, und physiologischer Altersveränderungen (z.B. Abnahme der Kraft) sowie
- gezielte Einbeziehung und Mobilisierung personaler Ressourcen, z.B. familiäres und berufliches Umfeld und vorhandenen sozialen Netzwerks.

Verschiedene Autorinnen und Autoren haben argumentiert, dass eine derartige Individualisierung und Maßschneiderei von Gesundheitsförderungs- und Nachsorgeprogrammen sinnvoll ist [1, 5, 6, 7]: Programme können dadurch nachhaltiger und positiver wahrgenommen werden – insbesondere von älteren Teilnehmerinnen und Teilnehmern. Darüber hinaus haben verschiedene Projekte gezeigt, dass sich ältere Menschen wünschen, dass Programme ohne großen Aufwand aufgenommen werden können und sie verständlich und technisch nicht zu kompliziert sind. Indem Angebote auf individuelle Frage- und Problemstellungen der älteren Personen eingehen, kann vermieden werden, dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer auch mit zunehmendem Alter überfordert werden und erreicht werden, dass sich die Nutzungswahrscheinlichkeit verbessert. Subjektives Monitoring bietet eine solche Individualisierung, die – zumindest bei denjenigen, die die Bedienung erlernt haben und beherrschen – motivierende Effekte hat.

Gleichermaßen gilt für technische Unterstützungssysteme, dass ältere Menschen Informationen mit emotional positivem Gehalt besser erinnern und befolgen als Informationen mit angstauslösenden Inhalten [2]. Bei der Gestaltung von technischen Unterstützungssystemen kann dies gut berücksichtigt werden, denn sie bieten viele Möglichkeiten für Maßschneiderei und positive Verstärkung. Fragt man, welche technische Unterstützungssysteme Menschen mit zunehmendem Alter wirklich wollen, so ist zu berücksichtigen, dass mit fortschreitendem Alter Trends zu passiven Behandlungserwartungen und sinkender Bereitschaft zur Verhaltensänderung vorliegen [3]. Diese Veränderungen erfordern eine stärkere Betonung motivationaler Komponenten in altersmaßgeschneiderten Interventionen [3]. Die positiven Auswirkungen von wahrgenommener Autonomie auf Gesundheit und Wohlbefinden erhöhen die Wichtigkeit einer solchen Maßschneiderei weiter, da diese u.a. die Autonomie stärken kann [1].

Technologische Entwicklungen der letzten Jahre im Bereich vernetzter persönlicher Gesundheitsgeräte ermöglichen es, Gesundheitsparameter wie körperliche Aktivität individuell und alltagstauglich zu messen. Damit wird es möglich, Interventionen zur Bewegungsförderung zu realisieren, die auf Demographie, Fitness und Motivation einer Person zugeschnitten sind. Über

ein internetbasiertes System können Motivationsmechanismen wie objektives Monitoring und Reflektion, Belohnung und soziale Vernetzung angeboten werden.

Im Rahmen der PROMOTE-Studie im Projekt AEQUIPA (<http://www.aequipa.de>) wird die Wirksamkeit einer Bewegungsintervention auf primäre und sekundäre Outcomevariablen wie Aktivitätsverhalten, Wohlbefinden, körperliche und kognitive Fitness erfasst. Dazu wird eine Bewegungsintervention mit Aktivitätstracker (objektives Monitoring, Interventionsgruppe 2, s.u.) mit einem subjektiven Monitoring der körperlichen Aktivität in einem webbasierten Tagebuch (Interventionsgruppe 1) und mit einer Gruppe ohne Intervention (Wartelisten-Kontrollgruppe) verglichen. Insgesamt sollen 1.100 Personen an der Studie teilnehmen. Die Durchführung hat begonnen, Ergebnisse werden für Herbst 2017 erwartet.

2 Technologische Grundlagen

2.1 Aktivitätstracker

In den letzten Jahren ist eine neuartige Klasse von Geräten entstanden, die sich durch drei Eigenschaften auszeichnet: Die Geräte messen einen für die Gesundheit relevanten Parameter wie körperliche Aktivität, Schlaf, oder Gewicht. Sie sind vernetzt mit internetbasierten Diensten, beispielsweise einem Portal in dem die gemessenen Werte abgelegt werden. Und sie sind Lifestyle-orientierte Produkte für den Massenmarkt und keine Medizinprodukte für einen klinischen Einsatz.

Beispiele für solche Geräte sind Sportuhren, Schlafmonitore und vernetzte Körperfettwaagen. Die derzeit populärste Gruppe sind die Aktivitätstracker, oft unpräzise auch als „Fitnessarmband“ oder „Schrittzähler“ bezeichnet. Diese Geräte erfassen körperliche Aktivität, die sie u.a. als Schritzzahlen, verbrannte Kalorien oder aktive Minuten wiedergeben. Viele dieser Geräte bieten auch ein Schlafmonitoring an, das auf Aktimetrie beruht. Aktivitätstracker werden als Armbänder, Clips oder Bits für Gürtel oder Hosentasche, selten auch als Anhänger oder Anstecker angeboten. Moderne Smartphones oder Smartwatches bieten oft ebenfalls Funktionen für das Aktivitätstracking.

2.2 Einordnung

Aktivitätstracker sind Geräte für Endkonsumenten und Massenmarkt. Sie stehen damit in einem grundsätzlichen Zielkonflikt zwischen Einfachheit der Bedienung einerseits, und Qualität der Messdaten andererseits, was insbesondere für Nutzerinnen und Nutzer mit zunehmendem Alter zum Nachteil werden kann. Eine höhere Messgenauigkeit mit umfangreicheren und präziseren Messwerten, wie z.B. Herzfrequenz, erfordert in der Regel aufwändigere Sensorik, die ihrerseits u.U. größere Batterien und entsprechend größere und schwerere Geräte erfordert, oder die auch, etwa bei der Messung von Puls, bestimmte Tragepositionen am Körper notwendig macht. Das erhöht jedoch den Aufwand für die Anwenderinnen und Anwender, was spätestens mittelfristig die Compliance/Adhärenz für die Aufnahme bzw. Nutzung reduzieren und zum Abbruch der Anwendung führen kann [4]. Die höhere Messgenauigkeit als ein Datenqualitätsmaß reduziert damit u.U. die Verfügbarkeit von Daten als ein weiteres Qualitätsmaß.

Aktivitätstracker sind damit kein Ersatz für Akzelerometer wie die Geräte von ActiGraph (Pensacola, FL, USA), die zugunsten einer höchstmöglichen Messgenauigkeit eine deutlich höhere Aufdringlichkeit durch Größe, Gewicht, Trageposition etc. in Kauf nehmen. Diese Geräte finden ihren Einsatz in erster Linie zu Forschungszwecken. Aktivitätstracker sollten vielmehr als

eine eigenständige Gerätekasse mit eigenen Vor- und Nachteilen verstanden werden. Ihre Alltagstauglichkeit und der relativ geringe Preis machen sie besonders interessant zum Einsatz in (Feld-) Studien und Interventionen mit vielen Personen und/oder einer langen Laufzeit. Bei der Konzeption müssen jedoch die Einschränkungen, u.a. die Hürden bei der Inbetriebnahme und die reduzierte Datengenauigkeit, von Anfang an berücksichtigt werden, um von den Vorteilen, u.a. den Möglichkeiten zum breiten und langfristigen Einsatz, zu profitieren.

3 Von der Messung mit technischen Unterstützungssystemen zu maßgeschneiderten technischen Unterstützungssystemen und Bewegungsinterventionen

Neben der reinen Messung bieten technische Unterstützungssysteme viele Möglichkeiten, Bewegungsinterventionen auch zu individualisieren und maßzuschneidern. Die Maßschneiderung besteht darin, dass bei den Nutzerinnen und Nutzern zuerst die individuellen Defizite, z.B. zu wenig Alltagsaktivität, gemessen und dann individuelle Rückmeldungen gegeben werden [5], z.B. "Neben Ihrem Sport sind Sie täglich durchschnittlich 3 mal 2 Minuten körperlich aktiv. Das sind insgesamt 6 Minuten an jeweils 7 Tagen pro Woche, also 42 Minuten. Die allgemeine Empfehlung liegt jedoch bei 150 Minuten pro Woche".

Darüber hinaus können maßgeschneidert passende Interventionsbausteine gegeben werden, z.B. "Sie sind regelmäßig bei Ihren Sportkursen, das ist gut, aber versuchen Sie auch, in Ihrem Alltag aktiver zu sein und immer die Treppe zu nehmen oder mehr Strecken zu Fuß zu gehen und das Auto stehen zu lassen". Durch diese Maßschneiderung werden technische Unterstützungssysteme eher wirklich gewollt, da sie ein individuelles und direkt nutzbares Feedback liefern, d.h. die Motivation zur Nutzung steigt. Damit steigt die Effektivität ihres Einsatzes, da sie direkt zur Verhaltensänderung beitragen (können) und entsprechend bessere Gesundheitswirkungen erzielt werden [6]. Zahlreiche bisherige Studien haben genau dies untersucht. So zeigt eine Metaanalyse [7] zu individualisierten Interventionen zur Gesundheitsförderung, dass der generelle Effekt mit $r = .07$ zwar klein aber doch klinisch bedeutsam ist. Ziel der PROMOTE-Studie ist es, Wege zu finden, um auf Basis bisheriger Erkenntnisse größere Effekte für die spezielle Zielgruppe Ältere zu erzielen.

4 Die PROMOTE-Studie

4.1 Studiendesign

Geplant ist es, insgesamt 1.100 Personen im Alter von 65 bis 75 Jahren aus sechs Stadtteilen im Großraum Bremen zur Teilnahme an der Studie zu gewinnen. Die Auswahl der Stadtteile und die Rekrutierung erfolgt in Abstimmung mit einem anderen AEQUIPA Teilprojekt nach Kriterien der Sozialstruktur der Stadtteile und des Reifegrads („readiness“) der Gemeinden, Bewegungsangebote für Ältere zu implementieren. Rekrutiert wird über das Melderegister des Einwohnermeldeamtes in acht Kommunen, Zeitungsartikel und Flyer sowie Präsensveranstaltungen. Einschlusskriterien für die PROMOTE-Teilnahme sind: das Vorliegen eines Einverständnis zur Studienteilnahme, eine unabhängige Lebensführung (eigene/s Wohnung/Zimmer ohne Betreuung, keine Einstufung in eine Pflegestufe), Grundkenntnisse der deutschen Sprache, die Fähigkeit den Untersuchungs- und Interventionsort selbstständig aufzusuchen und die Gehfähigkeit ohne Hilfsmittel (Rollator/Gehhilfen), sowie die Erfüllung der technischen Mindestvoraussetzungen, um die Aktivitätstracker nutzen zu können. Ausschlusskriterien für eine Teilnahme sind: medizinische Kontraindikationen (Ärztliches Verbot für Teilnahme), neurolo-

gische Beeinträchtigungen oder Erkrankungen, kognitive Defizite, Einschränkungen des Bewegungsapparates oder der Wirbelsäule, schwere Erkrankungen des Herz-Kreislauf- oder Atemsystems, längere Abwesenheiten während des Untersuchungszeitraums. Nach erfolgreicher Rekrutierung werden die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer in eine von drei Gruppen randomisiert: webbasierte Intervention mit subjektivem Bewegungsmonitoring (Interventionsgruppe 1), webbasierte Intervention mit subjektivem und objektivem Bewegungsmonitoring (Interventionsgruppe 2) oder Wartelisten-Kontrollgruppe.

Um die kurzfristige Wirkung der Interventionen auf physische, psychologische und kognitive Parameter zu erfassen, werden in 1:1-Terminen die körperliche Aktivität, die körperliche Fitness sowie ausgewählte kognitive und psychische Variablen zur Baseline-Messung (T0) und zur Follow-up Messung (T1, 12 Wochen nach T0) erhoben und über die Zeit verglichen. Eine Woche nach T0 erfolgt für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der webbasierten Interventionen in einer Gruppensitzung mit max. 15 Personen, getrennt nach Interventionsgruppen, die Einführung in die Intervention. Die Interventionsgruppe 2 erhält hier gezielte Hinweise und Unterstützung zur Einrichtung und Nutzung des Aktivitätstrackers. Eine nach sechs Wochen stattfindende Gruppensitzung soll dazu dienen, die angemessene Verwendung der webbasierten Intervention (Aktivitätstagebuch, s.u.) zu kontrollieren.

Zusätzlich werden, für die zwei Interventionsgruppen getrennt, wöchentliche Gruppentreffen in den jeweiligen Gemeinden angeboten, in denen das Studienteam bei auftretenden Problemen Rat gibt und gemeinsame Aktivitäten (z.B. Stadtteilspaziergang) stattfinden. Die Wartelisten-Kontrollgruppe erhält nach Abschluss der Follow-up-Messung zwar Zugang zu der webbasierten Intervention mit subjektivem Bewegungsmonitoring (nachgeschaltete Intervention), aber nicht die Möglichkeit an Gruppentreffen teilzunehmen. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer können sich jederzeit an eine Hotline wenden, die bei Fragen jeglicher Art Unterstützung bietet und auch bei Bedarf durch gezielte Tipps, z.B. zur Konsultation des Hausarztes oder der Mobilisation von personalen Ressourcen, hilft.

4.2 Technik

In PROMOTE wird ein Internetportal als Interventionsinstrument verwendet. Die primäre Funktion ist das Aktivitätstagebuch (siehe Abbildung 4.1), in dem die Teilnehmerinnen und Teilnehmer die durchgeführten Übungen der jeweiligen Woche eintragen. In Anlehnung an die WHO und das American College of Sports Medicine (ACSM) sollen die Probandinnen und Probanden wöchentlich körperliche Aktivität in den Bereichen Ausdauer, Kraft und Gleichgewicht ausüben. Übungen für Gleichgewicht und Kraft werden manuell eingetragen. Bei der Interventionsgruppe 1 werden auch die Ausdaueraktivitäten manuell eingetragen. In Interventionsgruppe 2 werden diese Werte automatisch aus den eingesetzten Aktivitätstrackern übernommen. Die Leistungen der vergangenen Wochen können nicht mehr verändert, aber weiterhin rückblickend betrachtet werden, sodass eine Reflektion der erzielten Erfolge möglich ist. Außerdem bewerten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wöchentlich, wie zufrieden sie mit ihrer jeweiligen Wochenleistung sind. Ferner bekommen sie Feedback inwiefern ihre Aktivität den vorgegebenen Empfehlungen entspricht.

Studienwoche 1
28.3.2016 - 3.4.2016

Gleichgewicht •
Haken Sie hier Ihre durchgeführten Gleichgewichtsübungen ab. Ihre Trainingsempfehlung für Gleichgewichtsübungen lautet:
4 Mal pro Woche - Mindestens 5 Minuten

Krafttraining •
Haken Sie hier Ihre durchgeführten Kraftübungen ab. Ihre Trainingsempfehlung für Kraftübungen lautet:

Ausdauer •
Haken Sie hier Ihre durchgeführten Ausdauerübungen ab. Ihre Trainingsempfehlung für Ausdauerübungen lautet:
Insgesamt: Mindestens 150 Minuten pro Woche mit moderater Intensität oder 60 Minuten mit intensiver Intensität, mindestens 10 Minuten am Stück

Moderat

Intensiv

Wie zufrieden sind Sie mit Ihren Übungen in dieser Woche?
Bewerten Sie hier wie zufrieden Sie mit ihren Übungen sind. Beispielsweise können Sie bewerten, ob Sie sich gut fühlen weil Sie viel trainiert haben oder weil Sie Spaß beim Ausführen der Übungen hatten.

Abbildung 4.1: Das Tagebuch im PROMOTE-Interventionssystem (Ausschnitt)

Als weitere wesentliche Funktion wird die soziale Interaktion über Foren angeboten. Dort können die Probandinnen und Probanden sich untereinander austauschen und diskutieren. Die Studienleitung kann zudem weitere Informationen für alle Probandinnen und Probanden bereitstellen. Der Zugang zum Portal ist über Nutzername und Passwort geschützt. Die Beiträge in den Foren werden von der Studienleitung moderiert. Als Aktivitätstracker wird in PROMOTE das „Fitbit Zip“ der Firma Fitbit (San Francisco, CA, USA) eingesetzt (siehe Abbildung 4.2).



Abbildung 4.2: Fitbit Zip (Bild: Fitbit)

Das Fitbit Zip ist ca. 28*26*10mm groß und wiegt 8 Gramm. Es wird entweder in der Hosentasche getragen, oder mittels eines Clips an Gürtel, Hosenbund, BH o.ä. befestigt. Somit können die Teilnehmerinnen und Teilnehmer prinzipiell zwischen vielen verschiedenen Tragepositionen wählen; ein Tragen am Handgelenk nach Art einer Smart Watch ist jedoch nicht vorgesehen. Die Energieversorgung erfolgt über eine Knopfzelle, die nach Herstellerangaben eine

Laufzeit von bis zu 6 Monaten hat. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer müssen das Fitbit während der Studie also nicht aufladen. Die vom Gerät gemessenen Werte werden über das Smartphone oder den PC der Teilnehmerin/ des Teilnehmers nach fitbit.com, dem Internetdienst des Herstellers, übertragen sobald die Teilnehmerin/ der Teilnehmer in der Nähe des (eingeschalteten) PCs oder Smartphones ist. Das Fitbit speichert die detaillierten Daten für eine Woche; der Kontakt zu PC oder Smartphone muss also mindestens einmal pro Woche erfolgen. Das PROMOTE-System greift über eine Schnittstelle auf diesen Internetdienst zu, um die Daten der Teilnehmerinnen und Teilnehmer in das PROMOTE-Portal zu übertragen und dort weiter zu verarbeiten. Hierzu muss einmalig die Verbindung hergestellt und der Zugriff autorisiert werden; anschließend erfolgt die Datenübertragung im Hintergrund automatisch.

5 Erste Beobachtungen

5.1 Akzeptanz von Aktivitätstrackern bei der Zielgruppe

Aktivitätstracker sind zwar prinzipiell alltagstauglich und auch von technischen Laien und vermeintlich technikferneren Zielgruppen, wie z.B. älteren Menschen, grundsätzlich gut und einfach bedienbar [8], im praktischen Einsatz im Rahmen von PROMOTE (bisher n = 166) zeigten sich jedoch insbesondere zwei Hürden, die die Nutzung erschweren:

Zum Ersten lehnte ein Teil der Teilnehmerinnen und Teilnehmer die Nutzung von Aktivitätstrackern grundsätzlich ab, ohne sich vorher mit dem Gerät auseinander gesetzt zu haben. Das Gerät wurde gar nicht erst in Empfang genommen, oder aber unausgepackt wieder zurückgegeben. Da die Zuordnung zu den Interventionsgruppen randomisiert erfolgt, bedeutet dies einen wesentlichen Drop-Out in der Interventionsgruppe 2. Die Gründe für die Ablehnung werden im weiteren Verlauf der Studie untersucht werden.

Zum Zweiten waren einige Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit der erstmaligen Inbetriebnahme überfordert. Die hierzu notwendigen technischen Installationsprozeduren auf dem PC oder Smartphone sind zwar grundsätzlich für Laien konzipiert; für technisch unerfahrenere Nutzergruppen werden hier dennoch Hürden aufgebaut. Zusätzliche Komplexität entsteht durch die notwendige Kombination von Fitbit-Software und PROMOTE-Portal. Im regulären Betrieb ist diese Kombination für die Nutzerinnen und Nutzer zwar weitgehend transparent; in der erstmaligen Einrichtung ist sie allerdings erkläungsbedürftig und eine mögliche Fehlerquelle.

5.2 Einordnung

Diejenigen Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die diese technischen Hürden genommen haben, zeigten dann eine sehr hohe Adhärenz in der Nutzung der Aktivitätstracker (bisher n = 50). Eine vorläufige Analyse erster Daten zeigt, dass diese Probandinnen und Probanden die Geräte über den Beobachtungszeitraum hinweg praktisch täglich und durchgehend nutzten. Die Adhärenz ist damit erheblich höher als in anderen Studien beobachtet [9]. Sofern es also gelingt, die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu einer Regelnutzung zu befähigen und motivieren, ist der Einsatz von Aktivitätstrackern Erfolg versprechend. Bei dieser Gruppe kann angenommen werden, dass sie die technischen Unterstützungssysteme wirklich wollen. Die Frage, wie die nicht-adhärenen Personen dazu bewegt werden können, bleibt jedoch an dieser Stelle vorerst offen. Weitere Ergebnisse werden erst nach der technischen Aufbereitung der Daten berichtbar sein. Der Einsatz von Technologie in Studien und Interventionen, auch teilweise einfachere als Aktivitätstracker, wird auch in anderen Studien als nicht ganz unproblematisch dargestellt. Schmidt et al [10] setzten Schrittzähler in Verbindung mit manueller Dokumentation von

Schrittzahlen pro Aktivität über einen Zeitraum von 1-3 Tagen bei 832 Teilnehmerinnen und Teilnehmern ein. Auch in diesem technisch vereinfachten Fall zeigten sich Probleme mit Akzeptanz und Adhärenz: 7% der Teilnehmerinnen und Teilnehmer lehnten die Schrittzählernutzung ab, 9% lieferten anschließend keine oder fehlerhafte Aufschreibungen, und 10% nutzten den Schrittzähler nur unvollständig. Die Akzeptanzprobleme waren in diesem Falle geringer als bei der PROMOTE-Studie; demgegenüber können mit Aktivitätstrackern aber unvollständige Nutzungsdauern zuverlässiger erkannt und Fehlaufschreibungen vollständig vermieden werden.

Harrison et al [11] setzten ebenfalls das Fitbit Zip ein. Sie verzichteten dabei auf eine Softwareinstallation bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern und synchronisierten stattdessen die Daten bei den regelmäßigen Interviews selbst. Dennoch berichten sie über Probleme mit Adhärenz, insbesondere in der Anfangsphase, in der Nutzerinnen und Nutzer keinen Zugriff auf ihre Daten hatten, aber auch über technische Probleme des Fitbit sowie über häufigen Verlust des Gerätes. Derartige Probleme sind in der PROMOTE-Studie bisher nicht aufgetreten. Doch auch der vollständige Verzicht auf Technologie zugunsten einer manuellen Selbstaufschreibung ist problembehaftet. Schon das Beispiel von Schmidt et al [10] zeigt die Fehleranfälligkeit. Hinsichtlich des International Physical Activity Questionnaire kommen Lee et al [12] außerdem zu dem Schluss, dass die damit erzielbare Genauigkeit für Studienzwecke nicht ausreichend ist. Bruhmann et al [13] schlagen daher vor, konventionelle und technologiebasierte Assessment-Instrumente nicht als sich gegenseitig ausschließende Alternativen zu sehen, sondern sie als je nach geplantem Einsatz auszuwählende Werkzeuge zu betrachten.

6 Diskussion und Zusammenfassung

Aktivitätstracker sind derzeit sehr populäre Geräte. Sie sind preiswert, prinzipiell einfach bedienbar, und erlauben die Realisierung von darauf aufbauenden Systemen. Ihr Einsatz in Studien und Interventionen ist damit naheliegend und wird vielfach erprobt. In der PROMOTE-Studie verwenden wir einen Aktivitätstracker als Teil eines umfangreicheren Systems zur Realisierung einer an die individuelle Leistungsfähigkeit und Motivation angepassten Intervention für Ältere.

Die sehr unterschiedliche Akzeptanz von völliger Ablehnung bis hin zu sehr adhärenter Nutzung deutet darauf hin, dass es keine einheitliche technische Lösung geben kann: Einerseits werden noch niederschwelligere Angebote benötigt, die auch völlig ohne Technikvorkenntnisse genutzt werden können. Andererseits sind aber auch erheblich leistungsfähigere Interventionen denkbar, die den für Technik offeneren Nutzerinnen und Nutzer eine deutlich umfangreichere Unterstützung bieten können, ohne die Nutzungskomplexität dabei wesentlich zu erhöhen.

Die PROMOTE-Studie ist unter der ID DRKS00010052 beim Deutschen Register Klinischer Studien (DRKS, https://drks-neu.uniklinik-freiburg.de/drks_web/) registriert.

Das Projekt AEQUIPA wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 01EL1422C, 01EL1522I und 01EL1422F gefördert.

7 Literatur

- [1] S. Lippke, T. Kuhlmann: Gesundheitsförderungsmaßnahmen für Ältere mittels neuer Medien: Befunde sowie Implikationen für Forschung und Interventionen. Zeitschrift für Gesundheitspsychologie, 21, S. 34-44, 2013.

- [2] P. Gellert, W. Herrmann: Prävention körperlicher Krankheiten. In H. Wahl, C. Tesch-Römer & J. P. Ziegelmann (Hrsg.), *Angewandte Gerontologie – Interventionen für ein gutes Altern in 100 Schlüsselbegriffen* (2. Aufl., S. 175-181). Stuttgart: Kohlhammer, 2012.
- [3] H. Faller, A. Reusch, K. Meng: DGRW-Update Patientenschulung. *Rehabilitation*, 50, S. 284-291, 2011.
- [4] D. A. Epstein, M. Caraway, C. Johnston, A. Ping, J. Fogarty, S. A. Munson: Beyond Abandonment to Next Steps: Understanding and Designing for Life after Personal Informatics Tool Use. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. doi:10.1145/2858036.2858045, 2016.
- [5] S. Lippke, L. Fleig, A. Wiedemann, R. Schwarzer: A computerized lifestyle application to promote multiple health behaviors at the workplace: Testing its behavioral and psychological effects. *Journal of Medical Internet Research*, 17(10), e225. DOI: 10.2196/jmir.4486; PMID: 26429115; URL: <http://www.jmir.org/2015/10/e225>, 2015.
- [6] H. De Vries, S. Kremers, S. Lippke: (in press). *Health Education and Health Promotion*. In: E. F. Fisher, L. D. Cameron, A. J. Christensen, U. Ehlert, B. Oldenburg, F. Snoek, A. Zaini (Eds.). *Principles and Concepts of Behavioral Medicine: A Global Handbook*. Springer: Berlin, Heidelberg, New York.
- [7] S. M. Noar, C.N. Benac, M.S. Harris: Does tailoring matter? Meta-analytic review of tailored print health behavior change interventions. *Psychol Bull*, 133(4): S. 673-93, 2007.
- [8] J. Meyer, J. Fortmann, M. Wasmann, W. Heuten: Making Lifelogging Usable: Design Guidelines for Activity Trackers. *21st International Conference, MMM 2015, Sydney, NSW, Australia, 5.-7. Januar 2015, Proceedings, Part II*. S. 323-334, 2015.
- [9] J. Meyer, J. Schnauber, W. Heuten, H. Wienbergen, R. Hambrecht, H.-J. Appelrath, S. Boll: Exploring Longitudinal Use of Activity Trackers. *2016 International Conference of Healthcare Informatics (ICHI)*. Chicago, USA, IEEE, 2016.
- [10] M. D. Schmidt, L. C. Blizzard, A. J., Venn, J. A. Cochrane, T. Dwyer: Practical Considerations When Using Pedometers to Assess Physical Activity in Population Studies. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78(3), S. 162-170, doi:10.1080/02701367.2007.10599413, 2007.
- [11] D. Harrison, N. Berthouze, P. Marshall, J. Bird: Tracking physical activity: problems related to running longitudinal studies with commercial devices. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication - UbiComp '14 Adjunct*, S. 699-702, doi:10.1145/2638728.2641320, 2014.
- [12] P. H. Lee, D. J. Macfarlane, T. Lam, S. M. Stewart: Validity of the international physical activity questionnaire short form (IPAQ-SF): A systematic review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8(1), 115. Doi:10.1186/1479-5868-8-115, 2011.
- [13] B. A. Bruhmann, M. E. Schmidt: Assessment of physical activity in epidemiological studies: Are questionnaires obsolete in the era of accelerometry? *GMS Med Inform Biom Epidemiol*, 10(1), S. 1-12. Doi:10.3205/mibe000155, 2014.

Soziotechnische Assistenzensembles

Aushandlungen von Bedarf und Akzeptanz technischer Unterstützungssysteme

P. Biniok

peter.biniok@freenet.de

Kurzzusammenfassung

Fragen von Bedarf an und Akzeptanz von technischen Unterstützungssystemen werden interaktiv in soziotechnischen Assistenzensembles ausgehandelt. Das Konzept soziotechnischer Assistenzensembles wird als Analyseinstrument diskutiert, das zur wissenschaftlichen Diagnose sowohl die Dichotomie von Mensch und Technik als auch die Trennung von Technikentwicklung und Techniknutzung aufhebt. So wird es möglich, die Vielzahl am Technisierungsprozess beteiligter heterogener Akteure (Menschen ebenso wie Technik) in den Blick zu nehmen und deren Wechselwirkungsverhältnisse zu erkunden. In gewisser Weise öffnet dieser Ansatz die Türen der Labore und erkennt die Komplexität von Lebenswelt. Die Entwicklung technischer Unterstützungssysteme ist bestenfalls ein multidimensionaler Technisierungsprozess, der partizipativ, multidisziplinär, transformativ und ökologisch verläuft.

Abstract

“Sociotechnical Assistance Ensembles. Negotiations of Needs and Acceptance of Technical Support Systems“

Questions of demand for and acceptance of technical support systems are interactively negotiated in sociotechnical assistant ensembles. The concept of sociotechnical assistant ensembles will be discussed as an analytical tool, which, for scientific diagnosis, overcomes both the dichotomy of sociality and technology as well as the distinction of technology development and technology use. So it is possible to take a large number of heterogeneous actors (men as well as technology) into account and explore their interaction relationships during technization processes. In some way, this approach opens the doors of laboratories and recognizes the complexity of the lifeworlds. The development of technical support systems is at best a multidimensional technization process that proceeds in a participatory, multidisciplinary, transformative and ecologically manner.

Keywords: Assistenzensemble, Technisierung, soziotechnisch, disziplinübergreifend

1 Einleitung: Technik, Assistenz, Gesellschaft

Die Gegenwartsgesellschaft ist (auch) eine assistive Gesellschaft [1]. Assistzenzen, d.h. aus Assistenznehmern und Assistenzgebern zusammengesetzte Sozialformen, sind in verschiedenen Formen beobachtbar, etwa als Fürsorge und Kooperation unter Menschen (Butler, Laborassistent), Hilfestellung durch einfache Techniken (Navigationsgerät, elektrische Zahnbürste) oder Zusammenwirken komplexer Geflechte aus sozialen Akteuren und technischen Instanzen (bspw. computerassistierte Chirurgie, Ambient Assisted Living). Insbesondere letztere Sozialform nimmt in den letzten Jahren stetig zu, denn immer mehr technische Unterstützungssysteme

treten mit menschlichen Individuen in immer engere Austausch- und Wechselwirkungsverhältnisse. Damit werden nicht nur die Ebenen von Nutzung und Distribution (*Akzeptanz*), sondern ebenso die der Konzeption und Entwicklung (*Bedarf*) von unterstützenden Techniken tangiert. Die Techniksoziologie [2, 3] und die ‚Science and Technology Studies‘ [4] beschäftigen sich mit diesen Innovations-, Technisierungs- und Anwendungsprozessen und gehen von einem Wechselwirkungsverhältnis zwischen Mensch und Technik aus, das es genauer zu bestimmen gilt. Zum einen werden Techniken in ihrer Entwicklung durch soziale, kulturelle, ökonomische und andere Faktoren geprägt und bspw. durch die lokalen Bedingungen in Laboren geformt (Sozialkonstruktivismus). Techniken können sich je nach Ort und Zeitpunkt stark unterscheiden, auch wenn die grundsätzliche Funktion gleich ist. Zum anderen haben eingesetzte Techniken Auswirkungen auf das Sozialeben. Sie vermögen Handlungen der Menschen zu forcieren oder zu verhindern (Technikdeterminismus). Die intendierten und unintendierten Folgen von Technik zeigen sich dabei erst im Verwendungszusammenhang. Beide Perspektiven werden im ‚*Technopragmatismus*‘ [2] zusammengeführt. Es bestehen stets beidseitig Wirkkräfte, die die soziotechnischen Gesellschaftsstrukturen kontinuierlich hervorbringen und verändern. Dabei besitzt auch Technik eine spezifische Form der Handlungsträgerschaft und es bilden sich verteilte Handlungszusammenhänge zwischen Menschen und Techniken heraus. Der analytische Fokus liegt insbesondere auf der Ebene konkreter Aktionen und Interaktionen, vergrößert sich jedoch entsprechend der Fragestellung auch auf die darüber liegenden Ebenen von Gruppen, Organisationen und Systemen. Der Ansatz des *Technopragmatismus* wird durch Methoden der ‚*Technografie*‘ [5] komplementiert, bei denen mittels teilnehmender Beobachtung, Aufzeichnung von audio-visuellen Daten, Computerprotokollen und Befragungen der Zugang zu Mensch-Technik-Konfigurationen stattfindet.

Der vorliegende Beitrag orientiert sich an der Perspektive des *Technopragmatismus* und geht in den folgenden Abschnitten immer wieder dezidiert auf zusätzliche konzeptionelle Aspekte ein. Fragen zur Entstehung und zum Einsatz technischer Unterstützungssysteme lauten dabei: Welche Faktoren beeinflussen Design und Funktionalität des Unterstützungssystems? Wie sind innerhalb des Systems die Handlungsbeiträge auf Mensch und Technik verteilt? Wem wird welche Form der technischen Unterstützung zuteil und inwiefern wird dadurch soziales Handeln beeinflusst? Um diese und ähnliche Fragestellungen übergreifend zu bearbeiten, wird das Konzept *soziotechnischer Assistenzensembles* als Analyseinstrument zur Diskussion gestellt. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht zunächst darin, dass Mensch und Technik als zusammenhängend und sich wechselseitig beeinflussend verstanden werden. Darüber hinaus werden die beiden größtenteils separaten Sphären Technikentwicklung und Techniknutzung als Einheit aufgefasst und entsprechende Spannungen in den Blick genommen. Eine grundsätzliche Spannung besteht bspw. darin, die im Labor unter (natur-)wissenschaftlichen Kriterien und unter der Prämisse einer „hilfreichen“ Technik entwickelten Assistenz in die komplexe Lebenswelt selbstbestimmt agierender Individuen einzupassen.

Die Besonderheit des vorgeschlagenen Ansatzes liegt in der Fokussierung von *Assistenz als Aushandlungsgegenstand* von der ersten Ideengenerierung, über Entwicklung und Design bis hin zur Nutzung von Technik. Unterstützende Technik wird nicht losgelöst vom Nutzungskontext entwickelt und nicht unabhängig vom Entstehungskontext eingesetzt. Soziotechnische Assistenzensembles sind bei diesem Ansatz sowohl Analyseinstrument als auch Umgebung technischer Unterstützungssysteme. Die folgenden Überlegungen diskutieren mögliche Spannungen in Assistenzensembles und beziehen sich dabei vorrangig, jedoch nicht ausschließlich, auf

sozialwissenschaftliche Studien zum derzeit gesellschaftlich prominenten Feld ‚Ambient Assisted Living‘ (AAL).

2 Soziotechnische Assistenzensembles: Konzeptuelle Überlegungen

Zur umfassenden Beschreibung, Analyse und Implementation technischer Unterstützungssysteme wird das Konzept soziotechnischer Assistenzensembles vorgeschlagen [6]. *Soziotechnische Assistenzensembles* sind situativ, zielorientiert, und planvoll assoziierte und zusammengestellte Konfigurationen heterogener Instanzen, d.h. Menschen, Maschinen, Materialien. Im Gegensatz zu soziotechnischen Systemen [3] haben Ensembles einen über die Situation hinaus gehenden dynamischen Charakter und sind immer wieder neu kombinierbar. Im Unterschied zu soziotechnischen Konstellationen [2] sind Ensembles absichtsvoll zusammengestellt. Das Konzept spezifiziert den Ansatz soziotechnischer Ensembles [7, 8] für Assistenzsituationen. Assistenz wird verstanden als eine *verteilte Praxis*, d.h. eine Assistenzhandlung wird interaktiv ausgeführt. Ein oder mehrere Assistenzgeber erbringen eine Assistenzleistung, die ein oder mehrere Assistenznehmer in Anspruch nehmen. Die Assistenzleistung wird unidirektional erbracht bzw. in Anspruch genommen. Der Assistenzgeber ermöglicht einen Handlungsvollzug und damit ein kontinuierliches Weiterhandeln des Assistenznehmers. Die Leistung kommt dem Assistenznehmer „von außen“ als Fremdarbeit zugute. Assistenz ist keine Hilfe zur Selbsthilfe. Assistenzgeber können Menschen, Techniken, Organisationen und Institutionen oder Naturphänomene, wie Wind, sein. Die Spezifität soziotechnischer Assistenzensembles besteht darin, dass Techniken eine aktive Rolle als intelligente Handlungspartner (bspw. Algorithmen bzw. Softwareagenten) einnehmen können.

Assistenzensembles entstehen, weil eine entsprechende Leistung von einer einzelnen Instanz nicht erbracht werden kann oder nicht erbracht werden muss. Es existiert demnach eine Differenz zwischen insbesondere *unfreiwillig* entstandenen Situationen, die Assistenz erfordern, und Zuständen der Assistenz, die vor allem *freiwillig* entworfen und implementiert werden [9]. Analytisch lassen sich Ensembles unterscheiden, die aufgrund einer sozialen Schieflage (eingeschlossen psycho- und phiosoziale Defizite) oder als erleichterndes, freistellendes Sozialgefüge entstehen. Jedwede dieser Assistenzensembles ist funktional für die Gesellschaft: erstere Form wirkt kompensatorisch und letztere Form entlastend. Zur Kompensation von Defiziten kommen technische Unterstützungssysteme in soziotechnischen Assistenzensembles etwa als Exoskelette oder als AAL-Techniken zum Einsatz. Im Sinne eines entlastenden Sozialgefüges agieren technische Unterstützungssysteme selbstständig in Fahrerassistenzsystemen oder bei computer-assistierter Chirurgie. Die Entstehung der Ensembles ist mit dem Erlernen neuer Praktiken im Umgang mit der Technik und dem Erwerb neuen Wissens über bspw. Funktionalitäten und zugehörige Infrastrukturen verbunden.

Soziotechnische Assistenzensembles sind *dynamisch*, d.h. im Verlauf eines Technisierungsprozesses verändern sich die Akteurskonstellationen und -relationen. Und auch während der Nutzung der Technik können Modifikationen im Ensemble auftreten. Assistenzensembles sind relational, d.h. die Instanzen sind wechselseitig aufeinander bezogen. Veränderungen einer Instanz vermögen Änderungen anderer Instanzen hervorzurufen.

Soziotechnische Assistenzensembles haben unterschiedliche *Skalierungen* bzw. lassen sich in unterschiedlichen Skalierungen beobachten. In einer minimalen Konfiguration besteht das Ensemble aus einem Assistenznehmer, einem Assistenzgeber, der Assistenzleistung und einer zu ermöglichen Handlung. Aus analytischer Sicht kann hierbei Art des Assistenten oder Form

und Ausführung der Leistung im Mittelpunkt stehen. Je nach Fragestellung ist zugleich eine Erweiterung der Analyseeinheit um Kontextfaktoren oder (periphere) Akteure möglich. Handelt es sich bspw. um einen technischen Assistenzgeber, stellen sich Fragen zu dessen Entwicklung und Konstruktion: Wer hat die Technik finanziert? Wurde eine Bedarfsanalyse durchgeführt – und wenn ja, wie? Woher stammen die Designideen, und wie beeinflusst das technische Design die praktischen Handlungsvollzüge?

Technische Unterstützungssysteme, so die Prämisse, sind Bestandteil soziotechnischer Assistenzensembles [10]. Insofern sind Sie einerseits fokaler Gegenstand im Design- und Entwicklungsprozess als auch andererseits die Hauptkomponente der Nutzungspraxis. Das bedeutet, dass diverse Akteure das Aussehen und die Funktionalität der Technik aushandeln, spezifische Parameter und Anforderungen abstimmen und Einsatzgebiete und Voraussetzungen der Nutzung diskutieren. Sowohl Bedarf als auch Akzeptanz sind also weniger objektiv bestimmbar und viel stärker kontextabhängig, als zunächst angenommen werden könnte. Die entsprechenden Aushandlungen zur unterstützenden (synonym: assistiven) Technik erfolgen in soziotechnischen Assistenzensembles.

3 Aushandlungen zu technischen Unterstützungssystemen

Fragen von *Bedarf* und *Akzeptanz* technischer Unterstützung entscheiden sich nicht (nur) auf der Nutzer- und Anwendungsebene, sondern bereits viel früher und viel später in soziotechnischen Assistenzensembles. Die Entscheidungen über Aussehen, Funktionen und Einsatzgebiete von Technik sind das Ergebnis der Aushandlungen zwischen verschiedenen Akteursgruppen von Beginn der Idee eines technischen Unterstützungssystems an bis zum Einsatz in realen Situationen vor Ort. Bedarfe und Akzeptanz sind *polydimensional* und *kontextsensitiv* strukturiert [11]. Entscheidungen zu technischer Unterstützung, die sich allein an Ingenieursvisionen orientieren und/oder auf reiner Nutzerzentrierung basieren – so die These –, beziehen sich weder auf realweltliche Bedarfe noch führen sie zu Akzeptanz von Technik im alltäglichen Handeln.

Die Bereiche AAL und technisierte Pflege verdeutlichen beispielhaft diese These. In beiden Feldern scheinen die Diskrepanzen sowohl zwischen Anspruch an die Entwicklung *und* tatsächlichem Ergebnis als auch zwischen proklamierten Vorgehen *und* tatsächlicher Forschungspraxis besonders deutlich zu sein [12, 13]. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Divergenz zwischen Annahmen über die Bedürfnisse älterer und alter Menschen und deren tatsächlichen Bedarfen [14]. Es wird eine stärkere Fokussierung der Mensch-Technik-Beziehungen gefordert, um eine höhere Passgenauigkeit zwischen beiden zu erreichen [15]. Dabei liegen die Unstimmigkeiten gar nicht so sehr am fehlenden Wissen der älteren Menschen über ein Leben im Alter mit Technik, sondern es fehlen und scheitern Wege, dieses Wissen im Innovationsprozess fruchtbar zu machen [16].

3.1 Bedarf unterstützender Technik: Erschließung von Lebens- und Arbeitswelten

Technische Entwicklung gleicht idealerweise einem Formungsprozess, in dem materielle und soziale Welt in Einklang gebracht werden. Solch eine Perspektive der ‚technoscience‘ [17] überwindet die getrennten Sphären von Technikkonstruktion und Technikanwendung. Denn technische Entwicklungen beeinflussen die Gesellschaft ebenso stark wie gesellschaftliche Einflüsse die Techniken prägen. Technikentwicklung orientiert sich nicht nur an Effizienz und Ra-

tionalität, sondern stets auch an vorherrschenden technologischen Paradigmen [18], soziotechnischen Regimes [19], Diskursen und Gesellschaftsbildern. Die Vision vom „Internet der Dinge“ und Rede vom „aktiven Altern“ sind Beispiele dafür. Techniken werden durch soziale, kulturelle, ökonomische und andere Faktoren geformt [20]. Datenschutzregelungen eines Landes bedingen bspw. Möglichkeiten der Speicherung von Vitaldaten oder Aufenthaltsorten von Patienten. Es ist nicht sicher, dass das Resultat einer technischen Entwicklung genau das Produkt ist, das technisch-funktional hochwertiger erscheint. Vielmehr vereint eine erfolgreich entwickelte Technik auch Kostenfragen, Vorlieben von Anwendern, Materialeigenschaften, gesetzliche Regelungen usw.

In solch einem Prozess des ‚heterogeneous engineering‘ [21] werden bereits vom ersten Augenblick an Akteure aus verschiedenen ‚sozialen Welten‘ [22] einbezogen, um Bedürfnisse und Anforderungen zu ermitteln, Entscheidungen zu treffen und die Entwicklung voranzubringen. Allianzen, Aushandlungen und Machtbeziehungen nehmen Einfluss auf das endgültige Resultat [23]. Die Bedarfe und Bedarfslagen werden ausgehandelt an Schnittpunkten, an denen die Wünsche potentieller Nutzer, die Imaginationen von Technikern, die Studienergebnisse von Sozialwissenschaftlern, die Marktstudienresultate von Ökonomen, und Daten anderer Gruppen zusammentreffen.

Dies führt zum Schluss, dass Technikentwicklung möglichst *partizipativ* und *disziplinübergreifend* erfolgen müsste. Soziotechnische Assistenzensembles erweitern dazu den Blick vom isolierten Wirkzusammenhang ‚unterstützende Technik und Nutzer‘ auf (a) die Verarbeitung von Nutzer-Skripten und Handlungsanweisungen, (b) Referenzsetzungen und Rahmungen durch die beteiligten Akteure und (c) die Verteilung von Expertise und Zuständigkeiten.

(a) Skripte und Handlungsanweisungen

Nutzer existieren lange bevor eine Technik entwickelt und eingesetzt wird [24]. Bereits vor dem Beginn eines Entwicklungsprozesses werden von einzelnen Akteuren und in Teams und Projektgruppen zukünftige Nutzer imaginiert und es wird abgeschätzt, was Motive für den Einsatz einer Technik sein könnten und wie Anwender eine Technik handhaben werden [25, 26]. Das bedeutet, dass spezifische Nutzer einer Technik vorausgesetzt werden: Anfänger oder professionelle Anwender von smarten Geräten, junge oder alte Menschen, Männer oder Frauen. Dementsprechend gestalten sich das Design, die Funktionen und Anwendungsbedingungen: es existieren Kindersicherungen für das World Wide Web und Tablet-PCs speziell für Senioren (bspw. Geräte der Firma ASINA). Während der Konzeptions-, Design- und Entwicklungsphasen erfolgt eine Einschreibung dieser Vorstellungen und der zugehörigen Funktionalitäten als ‚Skript‘ [27] in die entsprechende Technik. Skripte sind die impliziten Handlungsanweisungen eines Geräts im Gegensatz zu einer expliziten Bedienungsanleitung. Im besten Fall benötigt eine Technik keine Bedienungsanleitung, sondern die Handhabung erklärt sich aus ihr selbst heraus bzw. anhand ihrer Komponenten und deren Anordnung. Soziotechnische Assistenzensembles erfassen nicht nur Nutzer und assistive Technik, sondern auch die eingeschriebenen Skripte und deren Urheber, d.h. die Technikentwickler, Geldgeber, Sozialwissenschaftler, usw. Es existieren Technikentwicklungsprojekte, in denen die Skripte einer Technik kaum die zukünftige Nutzergruppe adressieren. Dies kann bspw. auf eine unzureichende Erfassung der Bedarfslagen bzw. eine unzureichende Umsetzung in Funktionalitäten zurückgeführt werden. So entwickeln in einem Projekt verhältnismäßig junge Informatiker ausgehend von ihren eigenen Erfahrungen und unabhängig von einer Nutzerbefragung einen Sensor, der die Funktion hat,

menschliche Verhaltensweisen älterer Menschen als Störze zu erkennen [28]. Die Studie zeigt, dass die in die Algorithmen eingeschriebenen ‚Age-Skripte‘ zwar nicht zwangsläufig an der Lebenswirklichkeit älterer Menschen vorbeigehen, doch sie nehmen die subjektiven Bedürfnisse und Erwartungen der potentiellen Nutznießer weder auf noch werden sie im Prozess der Technikentwicklung angemessen reflektiert. Es werden also bereits in der Exploration und Konzeption unterstützender Technik Festlegungen getroffen, die die weitere Technisierung anleiten. Allein die Wahl eines jungen Körpers als Testobjekt für das soziotechnische Assistenzensemble ist diskussionswürdig. Die Gründe für dieses Vorgehen sind in diesem Fall nicht zwingend auf fehlende Kompetenzen im multidisziplinären Projektteam zurückzuführen, denn Sozialwissenschaftler haben eine Bedarfsanalyse durchgeführt. Vielmehr konnten die Ergebnisse im Projektzusammenhang aufgrund unzureichender Kommunikation und Abstimmung nicht fruchtbar gemacht werden. So stellen die strukturellen und institutionellen Gegebenheiten im Projekt einen Hinderungsgrund zur disziplinübergreifenden Kooperation dar.

Soziotechnische Assistenzensembles nehmen Skripte und deren Ursprung in den Blick. Die analytische Perspektive wird auf den frühen Beginn der Technikentwicklung erweitert. In solch einer Phase der Technisierung ist die Reflexion der Skripterstellung essentiell und der Einbezug nicht-technischer Wissenschaftler nötig, um sich mit konkreten Bedarfslagen auseinanderzusetzen und das Wissen in die Skriptkonstruktion einfließen zu lassen.

(b) Referenzsetzungen und Handlungsrahmen

In die Ideen und Vorstellungen über die zukünftigen Nutzer und die zukünftige Nutzung einer Technik fließen einerseits technowissenschaftliches Wissen und implizite Vermutungen und Annahmen von Designern und Entwicklern ein. Andererseits entstammen solche Daten der Marktforschung oder aus Bedarfsanalysen und Nutzer-Umfragen.

Dabei sind die Erwartungen an technische Unterstützung in den seltensten Fällen eindeutig und nicht ohne weiteres zugänglich. Studien weisen auf sehr multiple Anforderungen an unterstützende Technik hin. In Pflegearrangements etwa treffen die Sichtweisen von zu Pflegenden, Pflegekräften und Angehörigen der zu Pflegenden aufeinander [29]. Inwiefern ein Unterstützungssystem tatsächlich eine Unterstützung bei der Pflege bietet, hängt von der Sichtweise der jeweiligen Akteure ab. Je nachdem welcher dieser *Referenzrahmen* bei der Technikentwicklung zugrunde gelegt wird, entsteht eine andere Form der Unterstützung. Gerade bei avancierten Techniken, wie eigenständig „agierenden“ Pflegewagen, ist die Assistenzleistung nicht für alle beteiligten Akteure direkt erfahrbar. Diesbezüglich zeigt sich in der Studie von Krings und Weinberger eine starke Diskrepanz in den zugrunde gelegten Referenzrahmen der Entwickler und der Nutzer bzw. zwischen den Annahmen über den Nutzen von technischen Assistenten und den lebens- und arbeitsweltlichen Bedarfslagen.

Auch eine Nutzerzentrierung in Form von (standardisierten) Befragungen gibt lediglich einen Einblick in „typische“ Problemlagen, vermag jedoch nicht die Komplexität von Lebens- und Arbeitswelten abzudecken. Hier wären sowohl die Fokussierung von Lebenslage und Lebensführung [30] als auch eine kontinuierliche Beteiligung mindestens der Primärnutzer durch Interviews, Workshops, Gruppendiskussionen und Beobachtungen nötig [31, 32]. Ziel ist eine Beteiligung der relevanten Akteure am Design- und Entwicklungsprozess, der über ‚consumatism‘ hinausgeht und tatsächlich eine Form des ‚empowerment‘ ermöglicht [33]. Technikentwicklung im Bereich unterstützender Technik setzt daher in den letzten Jahren immer stärker auf das Paradigma der Partizipation von potentiellen Nutzern am Entwicklungsprozess. Es wird

bspw. ein Wechsel in der Einstellung von Designern beobachtet, weg von einem Design-Prozess *für* Nutzer, hin zu einem Design-Prozess *mit* Nutzern [34]. Gleichwohl ist dies ein Übergang vom nutzerzentrierten zum partizipativen und szenariobasierten Design [35]. Der Nutzer als Individuum wird Teil des Technisierungsprozesses und seine spezifischen Referenzrahmen finden Berücksichtigung im soziotechnischen Assistenzensemble.

(c) Expertisen und Zuständigkeiten

Selten sind jedoch explizit ausgearbeitete Beziehungen bspw. zwischen Designern und älteren und alten Menschen zu finden. Stattdessen treffen die vielfältigen Perspektiven der heterogenen Akteure eher wahllos aufeinander und werden nicht in Einklang gebracht [36]. Die Forderung lautet daher, dass Designer und Sozialwissenschaftler mehr zusammenarbeiten [34]. Letztere hätten die Methoden und Ansätze, um Nutzererfahrungen zu erfassen. Und erstere wüssten, wie daraus Ideen und Möglichkeiten generiert werden. Die Aufforderung zu *disziplinenübergreifender Kooperation* darf jedoch nicht nur für Designer gelten. Entwickler, Ingenieure und Naturwissenschaftler können ebenso von der Expertise anderer Wissenschaften profitieren – und umgekehrt. Auch die Arbeiten der Gerontologie (und Gerontechnologie) sollten stärker in der Entwicklung unterstützender Technologien berücksichtigt werden.

Die Methoden der Vermittlung zwischen den Akteuren verschiedener sozialer Welten greifen bislang wenig und es existieren diverse Einschränkungen, auch im partizipativen Design. Studien zeigen, dass Entwickler die potentiellen Nutzer und kritische Evaluationsergebnisse ignorieren und/oder nur selektiv Forschungsergebnisse berücksichtigen [37]. Darüber hinaus sind die ausgewählten Testnutzer einer Technik unter Umständen wenig repräsentativ und die Durchführung im Labor unter technikwissenschaftlichen Bedingungen kaum ein relevanter Testfall [38]. Mögliche Nebenwirkungen und unintendierte Effekte des Technikeinsatzes werden so nicht erfasst. Genau hier wäre eine Zusammenarbeit fruchtbar, die zumindest während der Technikentwicklung und -implementierung auf wissenschaftlicher Ebene die Trennung von Technik- und Sozialwissenschaft vermeidet. Die Rolle der Sozialwissenschaften als „Begleitforschung“ zur ex post-Legitimation von unterstützender Technik ist mit disziplinenübergreifender Kooperation nicht gemeint. Meine eigene Beteiligung in AAL-Projekten zeigte, dass die verschiedenen Expertisen im Forschungsprozess viel höhere Anerkennung und Einbindung finden müssten und einem geeigneten „Schnittstellenmanagement“ mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte. Soziotechnische Assistenzensembles verweisen auf diese Herausforderungen und bieten einen Ansatz für wissensbasierte Arbeitsteilung und die Etablierung von disziplinenübergreifenden Standards.

Zur Ermittlung der Bedarfe an unterstützender Technik sind *zusammengefasst* eine Subjektorientierung (statt einer Nutzerzentrierung), die Identifizierung impliziter Einschreibungen, Visionen und Ideologien in Technik sowie eine Re-Strukturierung von Technisierungsvorhaben zu disziplinenübergreifenden Projektzusammenhängen nötig. Der analytische Fokus soziotechnischer Assistenzensemble liegt dabei insbesondere auf der frühen Phase der Technikentwicklung. Die entsprechenden Konfigurationen aus relevanten Akteuren, Artefakten und Dingen, setzen sich dann nicht nur aus der assistiven Technik, Designern und Entwicklern sowie imaginierten Nutzern zusammen. Sondern in den Blick kommen zusätzlich wissenschaftspolitische Akteure als Visionäre und Auftraggeber und Forschungsparadigmen und Gesellschaftsbilder als projekt- und technikprägende Faktoren. Zudem werden Primär- und Sekundärnutzer in die

subjektorientierte Erhebung der unterschiedlichen Bedarfe in verschiedenen Lebenswelten einzbezogen. Dazu wiederum werden andere Wissenschaften stärker eingebunden, und insbesondere den Sozialwissenschaften kommt eine neue Rolle zu.

3.2 Akzeptanz unterstützender Technik: Einbettung in den Lebens- und Arbeitsalltag

Die Analyse der Gesellschaft als ‚seamless web‘ [39] zeigt die Einflüsse von sozialen, organisatorischen, wirtschaftlichen und politischen Elementen in der Konstruktion und im Einsatz von Technik. Ebenso wie Mensch und Technik im Technisierungsprozess in einem engen Wechselwirkungsverhältnis stehen, werden Fragen der Akzeptanz nicht allein unter Bezug auf die Funktionsfähigkeit und Handhabung von Technik beantwortet. Akzeptanz hängt auch mit individuellen Vorlieben, gesellschaftlichen Werten, sozialstrukturellen Merkmalen usw. zusammen. Zur Erforschung der Akzeptanz von zukünftigen Großtechnologien in der Gesellschaft, wie Gen- oder Nanotechnologie, haben sich die Wissenschaftszweige des ‚Public Understanding of Science‘ (and Technology) herausgebildet [40]. Diese Arbeiten zielen darauf ab, die Einstellung der Bevölkerung zu innovativen Verfahren und Produkten zu erfassen und durch Instrumente der Risiko- und Wissenschaftskommunikation Vorbehalte abzubauen und Potentiale abzufragen. Ähnlich verhält es sich derzeit im Bereich unterstützender Technologien.

Diese Form der Akzeptanz als *Grundeinstellung* gegenüber technischer Unterstützung zum alleinigen Ausgangspunkt für Evaluationsstudien zu nehmen ist jedoch einseitig. Akzeptanz von Technik ist zugleich im alltäglichen *Gebrauch* zu analysieren. Laborsettings bieten dabei in der Regel nicht die erforderliche Komplexität realer Bedingungen und sind daher tendenziell als Vorstufe einer Evaluation in Lebenswelten zu betrachten. Hinzu kommt, dass Nutzer Techniken oft anders einsetzen, als von den Entwicklern geplant [24]. Das ist im Labor ebenfalls nicht sichtbar oder wird als „Fehlverhalten“ interpretiert. Unterstützende Technik müsste im Lebensalltag über längere Zeit erprobt und in die Lebenssituationen integriert werden. Dann besteht die Möglichkeit, zusätzlich zu ermittelten Bedarfen auch die praxisrelevanten Aspekte auf Technik zu übertragen [38].

Daraus folgt, dass Technikentwicklung bestenfalls *transformativ* und *ökologisch* erfolgt, Technik also in den Lebens- und Arbeitsalltag eingepasst wird. Soziotechnische Assistenzensembles fokussieren hierbei (a) Fragen des Vertrauens in Technik und eruieren (b) das Einüben und (c) das Justieren von Technik. Der realweltliche Einsatz von technischen Unterstützungssystemen scheint allerdings eher untererforscht im Vergleich zur Auseinandersetzung mit Bedarfslagen.

(a) Vertrauen und Zuversicht

Technik bleibt in der Nutzung und Anwendung oft eine ‚Blackbox‘ [41], denn es ist meist nicht erforderlich, genauere Kenntnisse über deren Funktionsweise zu besitzen. Benutzer können darauf vertrauen, dass Geräte funktionieren und zur Erfüllung der gewünschten Aufgaben dienen. Dieses Vertrauen basiert bspw. auf der Marke des Herstellers und der symbolisierten Unternehmenskultur. Unternehmen, denen die Herstellung von qualitativ hochwertigen, langlebigen, sicheren oder besonders „smarten“ Geräten gelingt, erarbeiten sich einen „guten Ruf“ und Nutzer sind positiv gegenüber zukünftigen Produkten eingestellt. Vertrauen in Technik wird zusätzlich aufgrund technologischer Standardisierung und Institutionalisierung [42] aufgebaut. Bier gebraut in Übereinstimmung mit dem deutschen Reinheitsgebot, DIN-Norm-Materialien oder Produkte mit Gütesiegeln weisen dem Nutzer spezifische Qualitätsmerkmale gegenüber anderen Produkten aus. Diese Akzeptanzfaktoren kommen jedoch erst zum Tragen, wenn die Technik

am Markt verfügbar ist. Für viele assistive Techniken, an denen geforscht wird und von denen Prototypen existieren, ist das (noch) nicht der Fall.

Über die tatsächliche Akzeptanz von bspw. AAL-Techniken (oder Robotern) ist bislang wenig bekannt, d.h. sowohl umfassende Akzeptanzstudien als auch Längsschnittstudien fehlen [13, 43]. Klar definiert dagegen sind die Akzeptanz beeinflussenden *Faktoren*, die sich etwa in technikspezifische (Verlässlichkeit, Benutzerfreundlichkeit, Support des Anbieters), dienstleistungsspezifische (wahrgenommener Nutzen und Qualität, Kosten, Erprobbarkeit) und nutzerspezifische (Technikaffinität, Geschlecht, soziales Umfeld) Merkmale unterscheiden lassen [44]. Implizite Anknüpfung an negativ konnotierte Altersbilder und entsprechende Skripte führen möglicherweise bei einem Teil der Technikentwicklungen zu Ablehnung. Akzeptanzfördernd sei hingegen eine Beschreibung des Nutzens als Möglichkeit der Persönlichkeitsentfaltung oder Selbstverwirklichung und eben nicht als Defizitkompensation [45, 46].

Entscheidend für die Akzeptanz assistiver Technik ist folglich, die Anwender in ihrem Aneignungs- und Nutzungsprozess bestmöglich zu unterstützen. Soziotechnische Assistenzensembles erweitern hier den Blick auf das Resultat der Technikentwicklung und verweisen auf die Relevanz von bspw. Service-Telefonen und Bedienungsanleitungen, Standards, aber auch auf die Berücksichtigung ethischer und rechtlicher Aspekte [47].

(b) Einüben und Sinngebung

Ein Großteil der unterstützenden Techniken ist (noch) nicht am Markt und in diesen Fällen stellen sich Fragen der Akzeptanz prospektiv und oft nur mit Blick auf Visionen, Szenarien oder Prototypen im Labor; und eben nicht auf den tatsächlichen Einsatz im Lebensalltag [48]. Doch gerade im Lebensalltag wird die Technik mit einem nutzerspezifischen Sinn belegt [45]. Denunziert mich ein Gerät als unterstützungsbedürftig? Bin ich durch die Gerätenutzung up to date? Welche Funktionalität kann mit meinem Alltag in Einklang gebracht werden?

Studien zu assistiven Computertechnologien zeigen erstens, dass eine Begleitung in Form von *Kursen* und ein ungezwungenes Ausprobieren der Technik die Akzeptanz fördern kann [49, 50]. Das Wissen um eine kompetente Ansprechperson gibt den Nutzern die notwendige Sicherheit während des Einübens. Zweitens wird in den Studien deutlich, dass sich Nutzer die Technik jeweils anders aneignen. Vorgefertigte Skripte aus der Konzeptionsphase (also Funktionsmerkmale) werden dabei unter Umständen ignoriert. Drittens ist beobachtbar, dass Aushandlungen darüber stattfinden, wie die Technik in bestehende soziale Grundmuster eingepasst wird. Beispielsweise werden Domänen männlicher Technikkompetenz trotz der Aneignung von Computertechnologien durch die Ehefrau aufrechterhalten: Frauen übernehmen weiterhin Kommunikationsaufgaben mit dem Tablet-PC (Bedienwissen) und Männern verbleibt die Aufgabe handwerklich-maschinellen Problemlösens (Nutzungswissen).

Auf ganz andere Weise demonstriert Treusch [51] das Einüben im Umgang mit assistiver Technik am Beispiel eines Küchenroboters. Mittels Demonstrationen im Labor wird einem Publikum der Roboter als unterstützende Technik vorgeführt. Dieser Prozess generiert zunächst die Annahme, dass der Roboter ein hilfreicher Akteur im Alltag sein kann – er wird durch Nachempfinden seitens des Publikums zum menschen-ähnlichen Interaktionspartner. Die Demonstration bzw. die Studie verweist zugleich darauf, dass der Umgang mit dem Roboter nicht per se als Unterstützung durch die Maschine gelesen werden kann. Denn was der Roboter kann, wird ihm durch Einüben situativ antrainiert. Interessanterweise unterstützt der Laborant den

Roboter in diesem Lernprozess; er wird also selbst zu einem Assistenten. Was eine Assistenz ist, wird hier allerdings auch wieder im Labor entschieden und bedarf weiterer Evaluation. Die Perspektive soziotechnischer Assistenzensembles verdeutlicht, dass unterstützende Technik in der Nutzung mit Sinn belegt wird und Rollen an Mensch und Maschine verteilt werden. Erst im realweltlichen Gebrauch wird die Unterstützungsleistung von Technik generiert und werden die Handlungsanteile auf die lokal beteiligten Instanzen übertragen. Das bildet die Grundlage für Akzeptanz.

(c) Justieren und Verorten

Mit dem Prozess des Einübens sind möglicherweise *Veränderungen* im Lebensalltag verbunden. Denn Akzeptanzforschung bedeutet auch, die Auswirkungen von Technik auf den Lebensalltag der Nutzer zu reflektieren und abzuschätzen. Techniken beeinflussen das soziale Leben und gesellschaftliche Strukturen, sie restrukturieren bspw. Kommunikation und soziale Beziehungen [52]. Individuen befolgen einerseits die Handlungsanweisungen der Skripte, (re)interpretieren diese nach individuellen Vorlieben und richten ihre Alltagspraxis danach aus. Andererseits beeinflussen Techniken menschliche Handlungen dadurch, dass sie mit Menschen in Interaktion treten [53], ihnen Anweisungen geben und mit ihnen kooperativ Aufgaben erledigen.

Praxistests mit unterstützender Technik im Lebensumfeld zeigen, dass sich durch die Nutzung durchaus neue Handlungsoptionen herausbilden können [49]. So erhöht und verfestigt sich der Teilhaberaum von Senioren durch den Einsatz von Tablet-PCs. Mit den neuen Geräten und den neuen Kompetenzen können bspw. im Ausland lebende Verwandte per Videotelefonie kontaktiert werden. Zudem vertiefen sich bestehende Sozialkontakte und die Rolle der Senioren innerhalb ihrer sozialen Netzwerke ändert sich. Kinder und Enkelkinder äußern bspw. Anerkennung über den Einsatz moderner Computertechnologien.

Technik verändert also nicht nur den Alltag einer einzelnen unterstützten Person, sondern wirkt sich auch auf deren Umfeld aus. Dies gilt ebenso für professionelle Arbeitsumgebungen. So zeigt eine Studie, dass sich infolge der Einführung neuer Sicherheitstechniken nicht nur das Verhalten von an Demenz erkrankten Personen verändert, sondern Handlungen und Wahrnehmungen der gesamten Figuration der an Pflege beteiligten Akteure [54]. Die Technik fordert Pflegende bspw. zu restriktiven Handlungsweisen auf, die sonst situativ und kontingent entschieden worden wären. Über längere Zeit könnten sich die Deutungs- und Handlungsschemata von Pflegekräften nach der Einführung neuer Assistenzsysteme verändern, von einem an Selbstbestimmung und Individualität orientierten Pflegeleitbild hin zu stärker standardisiertem Sicherheitsdenken und Effizienzstreben.

Um die Akzeptanz von Technik zu ermöglichen und zu erhöhen, reicht es nicht aus, die Einstellung gegenüber neuer Technik zu erfassen und davon auszugehen, dass diese im Alltag angenommen wird. Ebenso zu kurz greifen Tests unter Laborbedingungen. Vielmehr muss der Einsatz vor Ort bei den Anwendern evaluiert werden. Das bedeutet, dass frühe Praxistests über einen langen Zeitraum durchzuführen wären – vor allem, weil sich neue Nutzungsweisen und Gewinne erst in der kreativen Aneignung unterstützender Technik ergeben. Zum erfolgreichen Einsatz gehört neben der technischen Funktionsfähigkeit die Berücksichtigung der realweltlichen Bedingungen in Form eines „Ökochecks“: Sind alle nötigen Infrastrukturen vorhanden, sowohl technischer als auch sozialer Art? Auf wen wirkt sich der Technikeinsatz noch aus? Was ist bei langfristiger Nutzung zu erwarten?

Zusammenfassend wird die Akzeptanz von unterstützenden Techniken in soziotechnischen Assistenzensembles verhandelt, die über eine assistive Technik im Laborkontext hinausgehen. Neben Primär- und Sekundärnutzern werden hier zusätzlich Tertiärnutzer [55] relevant. Es ist zu eruieren, inwiefern noch weitere Akteure als Dienstleister (Bildungseinrichtung) oder Institution (Gesetzgeber) den Nutzungsprozess beeinflussen oder beeinflusst werden. Auch ist nicht-technikwissenschaftliche Expertise nötig, um bspw. den Evaluationsprozess zu koordinieren und/oder durchzuführen. Darüber hinaus kommt der bereits existierenden Technik in der Lebens- und Arbeitswelt eine wichtige Rolle zu. Denn alte und neue Techniken müssen unter Umständen kombiniert und gekoppelt und daher Schnittstellen und Kompatibilitäten berücksichtigt werden.

4 Fazit: Technische Entwicklung und Nutzung sind untrennbar

Bedarfe bzgl. und Akzeptanz von technischen Unterstützungssystemen sind das Ergebnis subjektiver Aushandlungen statt objektiver Feststellungen. Was ein Bedarf ist, hängt von den tatsächlichen Bedürfnissen und Wünschen der Nutzer ab, ist bedingt durch die Kompetenzen der Wissenschaftler und formt sich an der Widerständigkeit der Technik. In diesem Prozess ist es ebenso wichtig, die Lebens- und Arbeitswelten der Nutzer zu erschließen, wie auch die Laborwelten der Entwickler und Ingenieure mit Blick auf deren Paradigmen zu hinterfragen. Die Bestimmung isolierter Bedarfslagen läuft Gefahr, die komplexen Referenzrahmen technischer Unterstützungssysteme zu übersehen.

Der Zusammenhang zwischen Bedarf und Akzeptanz ist weniger kausal als es scheint. Die erfolgreiche funktionale Adressierung eines Bedarfs durch Technik zieht nicht automatisch die Akzeptanz derselben nach sich. Akzeptanz von Technik ist nicht allein durch die Bestätigung der Funktionsfähigkeit von Unterstützungssystemen erreicht. Sie setzt vielmehr eine erfolgreiche Einbettung in den Lebensalltag voraus. Dazu gehören entsprechende Infrastrukturen (etwa Internetzugang) und Finanzierungsmöglichkeiten, aber auch die Emanzipation des Nutzers im Lebenszyklus, d.h. eine Zuhandenheit der neuen Technik.

Technikentwicklung und Techniknutzung können kaum getrennt werden, sondern sind als *ein* Prozess anzusehen und in der Praxis umzusetzen. Die Aneignung der unterstützenden Technik mag zu neuen Veränderungen der Technik selbst führen und wieder an (neuen) Bedarfslagen anknüpfen. Soziotechnische Assistenzensembles verweisen auf die Rekursivität von Technisierung und betonen die kontinuierliche Dynamik von soziotechnischen Gesellschaftsstrukturen. Technikentwicklung vollzieht sich im Nexus von Handeln und Struktur [56]. Das bedeutet, dass sich Technisierung als kollektiver Prozess sowohl in Abhängigkeit vom Kontext als auch situativ vollzieht. Technik und Soziales können weder bei Entwicklung noch Nutzung getrennt betrachtet werden. Soziotechnische Assistenzensembles kommen hierbei als analytisches Konzept zum Tragen und lenken den Blick auf Mensch *und* Technik, auf Entwicklung *und* Nutzung als auch Technik- *und* Sozialwissenschaft.

Die Entwicklung technischer Unterstützungssysteme ist ein multidimensionaler Technisierungsprozess und verläuft partizipativ, multidisziplinär, transformativ und ökologisch. Das bedeutet auch und vor allem, dass neue Projektformen in der Forschung nötig sind: langfristig, interinstitutionell, holistisch. Dann erhöht sich die Möglichkeit, mittels technischer Unterstützungssysteme die Lebensqualität der Menschen zu verbessern.

5 Literatur

- [1] P. Biniok, E. Lettkemann, E. (Hrsg.): Assistive Gesellschaft. Multidisziplinäre Erkundungen zur Sozialform „Assistenz“. Springer (forthcoming).
- [2] W. Rammert: Technik – Handeln – Wissen. Zu einer pragmatischen Technik- und Sozialtheorie. Wiesbaden: VS Verlag, 2007.
- [3] J. Weyer: Techniksoziologie. Genese, Gestaltung und Steuerung sozio-technischer Systeme. Weinheim: Juventa, 2008.
- [4] E. J. Hackett, O. Amsterdamska, M. Lynch, J. Wajcman (Hrsg.): The Handbook of Science and Technology Studies. Cambridge: MIT Press, 2007.
- [5] W. Rammert, C. Schubert: Technografie. Zur Mikrosoziologie der Technik. Frankfurt a.M.: Campus, 2006.
- [6] S. Selke, P. Biniok: Assistenzensemble für die Gesellschaft von morgen. 8. AAL-Kongress, Hrsg.: VDE; VDE Verlag, S. 50-56, 2015.
- [7] W. E. Bijker: Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs: Toward a Theory of Sociotechnical Change. MIT-Press, 1997.
- [8] C. Schubert: Die Praxis der Apparatemedizin. Ärzte und Technik im Operationssaal. Frankfurt a.M.: Campus-Verlag, 2006.
- [9] B. Gransche: Wir assistieren uns zu Tode. Leben mit Assistenzsystemen zwischen Kompetenz und Komfort. Assistive Gesellschaft. Multidisziplinäre Erkundungen zur Sozialform „Assistenz“, Hrsg. P. Biniok, E. Lettkemann; Springer (forthcoming).
- [10] R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme. Springer, 2015.
- [11] S. Buxbaum-Conradi, S. Heubischl, T. Redlich, R. Weidner, M. Moritz, P. Krenz: Sozial nachhaltige Entwicklung technischer Unterstützungssysteme. Technische Unterstützungssysteme, Hrsg.: R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg; Springer, S. 129-139, 2015.
- [12] H. Pelizäus-Hoffmeister: Zur Bedeutung von Technik im Alltag Älterer. Theorie und Empirie aus soziologischer Perspektive. Springer, 2013.
- [13] H. Künemund: Chancen und Herausforderungen assistiver Technik. Nutzerbedarfe und Technikakzeptanz im Alter. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 24, S. 28-35, 2015.
- [14] R. Haux, A. Hein, G. Kolb et al.: Information and Communication Technologies for Promoting and Sustaining Quality of Life, Health and Self-sufficiency in Ageing Societies. Outcomes of the Lower Saxony Research Network Design of Environments for Ageing (GAL). Informatics for Health and Social Care 39, S. 166-187, 2014.
- [15] Beimborn u.a.: Focusing on the Human: Interdisciplinary Reflections on Ageing and Technology. Ageing and Technology: Perspectives from the Social Sciences, Hrsg.: E. Domínguez-Rué, L. Nierling; transcript, S. 311-333, 2016.
- [16] A. Peine, A. Faulkner, B. Jæger, E. Moors: Science, technology and the ‘grand challenge’ of ageing – Understanding the socio-material constitution of later life. Technological Forecasting & Social Change 93, S. 1-9, 2015.
- [17] B. Latour: Science in action. How to follow scientists and engineers through society. Cambridge: Harvard University Press, 1987.

- [18] G. Dosi: Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy* 11, S. 147-162, 1982.
- [19] F. W. Geels: From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. Insights about dynamic and change from sociology and institutional theory. *Research Policy* 33, S. 897-920, 2004.
- [20] D. A. MacKenzie, J. Wajcman: The social shaping of technology. Buckingham: Open University Press, 1999.
- [21] J. Law. Technology and Heterogeneous Engineering: The Case of Portuguese Expansion. In: *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, Hrsg. W. E. Bijker, T. P. Hughes, T. J. Pinch; Cambridge: MIT Press, S. 111-134, 1987.
- [22] A. L. Strauss: A Social World Perspective. *Studies in Symbolic Interaction*, S. 119-128, 1978.
- [23] B. Latour: Eine neue Politik der Dinge und für die Menschen. *Innovationen in Technik, Wissenschaft und Gesellschaft*, Hrsg. E. Fricke; Bonn: Friedrich Ebert Stiftung, S. 147-181, 1998.
- [24] N. Oudshoorn, T. Pinch: How Users Matter. *The Co-Construction of Users and Technology*. Cambridge: MIT Press, 2003.
- [25] S. Woolgar: Configuring the user: the case of usability trials. In: *A Sociology of Monsters: essays on power, technology and domination*, Hrsg. J. Law; London: Routledge, S. 58-100, 1991.
- [26] H. Mackay, C. Carne, P. Beynon-Davies, D. Tudhope: Reconfiguring the User: Using Rapid Application Development. *Social Studies of Science* 30, S. 737-757, 2000.
- [27] M. Akrich: The De-Scription of Technical Objects. In: *Shaping Technology/Building Society. Studies in sociotechnical change*, Hrsg. W. E. Bijker, J. Law; Cambridge: MIT Press, S. 205-224, 1992.
- [28] C. Endter: Assistiert altern. Die Entwicklung eines Sturzsensors im Kontext von Ambient Assisted Living. *Assistive Gesellschaft. Multidisziplinäre Erkundungen zur Sozialform „Assistenz“*, Hrsg. P. Biniok, E. Lettkemann; Springer (forthcoming).
- [29] B.-J. Krings, N. Weinberger: Kann es technische Assistenten in der Pflege geben? Überlegungen zum Begriff der Assistenz in Pflegekontexten. *Assistive Gesellschaft. Multidisziplinäre Erkundungen zur Sozialform „Assistenz“*, Hrsg. P. Biniok, E. Lettkemann; Springer (forthcoming).
- [30] T. Birken, H. Pelizäus-Hoffmeister, P. Schweiger: Soziologische Bedarfsanalyse für Technikentwicklung. *Technische Unterstützungssysteme*, Hrsg.: R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg; Springer, S. 110-118, 2015.
- [31] P. Biniok, I. Menke, S. Selke: Social Inclusion of Elderly People in Rural Areas by Social and Technological Mechanisms. *Ageing and Technology: Perspectives from the Social Sciences*, Hrsg.: E. Domínguez-Rué, L. Nierling; transcript, S. 93-117, 2016.
- [32] Verbundprojekt SONIA: Soziale Teilhabe durch technikgestützte Kommunikation. Ministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie, Frauen und Senioren Baden-Württemberg, 2016.
- [33] A. Walker: Why involve older people in research? *Age and Ageing* 36, S. 481-483, 2007.

- [34] E. B.-N. Sanders: From User-Centered to Participatory Design Approaches. Deisgn and the social sciences, Hrsg.: J. Frascara; Taylor & Francis Books Limited, 2002.
- [35] S. Cieslik, P. Klein, D. Compagna, K. Shire: Das Szenariobasierte Design als Instrument für eine partizipative Technikentwicklung im Pflegedienstleistungssektor. Technologiegestützte Dienstleistungsinnovation in der Gesundheitswirtschaft, Hrsg. K. A. Shire, J. M. Leimeister (Hrsg.); Springer, 2012.
- [36] A. J. Lassen, J. Bønnelycke, L. Otto: Innovating for ‘active ageing’ in a public–private innovation partnership: creating doable problems and alignment. *Technol. Forecast. Soc. Chang* 93, S. 10-18, 2014.
- [37] D. Compagna, F. Kohlbacher: The limits of participatory technology development: The case of service robots in care facilities for older people. *Technological Forecasting & Social Change* 93, S. 19-31, 2015.
- [38] C. Endter: Skripting Age – The Negotiation of Age and Aging in Ambient Assisted Living. *Ageing and Technology: Perspectives from the Social Sciences*, Hrsg.: E. Domínguez-Rué, L. Nierling; transcript, S. 121-140, 2016.
- [39] T. P. Hughes: The Seamless Web: Technology, Science, Etcetera, Etcetera. *Social Studies of Science*, 16(2), 281-292, 1986.
- [40] B. Wynne: The public understanding of science. *Handbook of Science and Technology Studies*, Hrsg. S. Jasanoff, G. E. Markle (Hg.) Thousand Oaks: Sage, S. 361–388, 1995.
- [41] B. Latour: Pandora’s hope: essays on the reality of science studies. Cambridge: Harvard University Press, 1999.
- [42] G. Wagner: Vertrauen in Technik. *Zeitschrift für Soziologie* 23, S. 145-157, 1994.
- [43] M. Marschollek, H. Künemund: Gerontologie zwischen Akzeptanz und Evidenz. *Z Gerontol Geriat* 47, S. 639-640, 2014.
- [44] J. Hogreve, N. Bilstein, D. Langnickel: Alter schützt vor Technik nicht? Zur Akzeptanz technologischer Dienstleistungsinnovationen von Senioren. Mit AAL-Dienstleistungen altern. Nutzerbedarfsanalysen im Kontext des Ambient Assisted Living, Hrsg.: D. Bieber, K. Schwarz; Saarbrücken: iso, S. 32-50, 2011.
- [45] H. Pelizäus-Hoffmeister: Motives of the Elderly for the Use of Technology in their Daily Lives. *Ageing and Technology: Perspectives from the Social Sciences*, Hrsg.: E. Domínguez-Rué, L. Nierling; transcript, S. 27-46, 2016.
- [46] R. R. Brauer, N. M. Fischer, G. Grande: Akzeptanzorientierte Technikentwicklung. *Technische Unterstützungssysteme*, Hrsg.: R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg; Springer, S. 140-146, 2015.
- [47] A. Manzeschke: MEESTAR – ein Modell angewandter Ethik im Bereich assistiver Technologien. *Technisierung des Alters – Beitrag zu einem guten Leben?* Hrsg. K. Weber, D. Frommeld, A. Manzeschke, H. Fangerau. Stuttgart: F. Steiner, S. 263-283, 2015.
- [48] J. Grauel, A. Spellerberg: Akzeptanz neuer Wohntechniken für ein selbstständiges Leben im Alter – Erklärung anhand sozialstruktureller Merkmale, Technikkompetenz und Technikeinstellungen. *ZSR* 53, S. 191-215, 2007.
- [49] P. Biniok, I. Menke: Societal Participation of the Elderly: Information and Communication Technologies as a “Social Junction”. *Anthropology & Aging* 36, S. 164-181, 2015.

- [50] K. Dietel: Generations- und geschlechtsspezifische Technikaneignung im technikunterstützen Wohnen. Assistive Gesellschaft. Multidisziplinäre Erkundungen zur Sozialform „Assistenz“, Hrsg. P. Biniok, E. Lettkemann; Springer (forthcoming).
- [51] P. Treusch: Humanoide Roboter als zukünftige assistive Akteure in der Küche? Einblicke in die Herstellung eines Robot Companions. Assistive Gesellschaft. Multidisziplinäre Erkundungen zur Sozialform „Assistenz“, Hrsg. P. Biniok, E. Lettkemann; Springer (forthcoming).
- [52] K. H. Hörning: Technik und Kultur: ein verwickeltes Spiel der Praxis. Technik und Gesellschaft. Hrsg. J. Halfmann, G. Bechmann, W. Rammert; Frankfurt a.M.: Campus, S. 131-151, 1995.
- [53] W. Rammert, I. Schulz-Schaeffer (Hrsg.): Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik; Frankfurt a.M.: Campus, 2002.
- [54] J. Hergesell: Assistive Sicherheitstechniken in der Pflege von an Demenz erkrankten Menschen. Assistive Gesellschaft. Multidisziplinäre Erkundungen zur Sozialform „Assistenz“, Hrsg. P. Biniok, E. Lettkemann; Springer (forthcoming).
- [55] A. Rachmann, I. Maucher, B. Schöler, M. Hewing: Benutzerzentriertes Service Engineering am Beispiel einer Telemonitoring-Dienstleistung. Mit AAL-Dienstleistungen altern. Nutzerbedarfsanalysen im Kontext des Ambient Assisted Living, Hrsg.: D. Bieber, K. Schwarz; Saarbrücken: iso, S. 32-50, 2011.
- [56] P. Biniok: Technische Entwicklung im Nexus von Handlung und Struktur. In: EWE 24, S. 520-523, 2013.

Raum-Spiel

Generieren eines kulturellen Raummodells durch Mensch-Roboter Interaktion

O. Schürer, C. Müller, C. Hubatschke, B. Stangl

Technische Universität Wien,
Institut für Architekturwissenschaften,
Fachbereich Architekturtheorie,
Forschungsgruppe H.A.U.S., Humanoids in Architecture and Urban Spaces
schuerer@tuwien.ac.at

Kurzzusammenfassung

Die Beziehung von Menschen zu Technologie ist von Erfolgsgeschichten, aber auch von großen Problemen geprägt. Ein grundsätzliches Problem machen wir an den Wesensunterschieden von menschlichen und technischen Wahrnehmungssystemen fest. Besonders beim Einsatz in assistiven Systemen ist die Berücksichtigung von individuellen und kulturellen Bedeutungen ein Schlüssel zur Nützlichkeit und Akzeptanz von Technologie. Kulturelle Regelwerke basieren auf Bedeutungen, deren räumliche Situiertheit und der Erzeugung von reichhaltigen Beziehungen unter ihnen. Dafür haben wir einen Ansatz entwickelt, bei dem die unterschiedlichen Wahrnehmungssysteme gemeinsam ein mit Künstlicher Intelligenz generiertes, hybrides Raummodell teilen. Ziel unseres Projekts ist die Erzeugung eines kulturellen Bedeutungsmodells von Raum, das auf der Interaktion zwischen Mensch und Roboter basiert. Die Rolle von Humanoiden Robotern wird als „companion“ angesetzt. Dies soll dazu führen, für technische Systeme bislang nicht erfassbare menschliche, kulturelle Agenden in ihre Wahrnehmung von Raum einzubinden.

Abstract

“Space-Play, generating a model of cultural meaning of space by interaction between human and robot”

Technical perception systems exhibit essential differences in comparison with human perception systems. Technical perception systems comprise geometry, numbers and images. But humans can define only a very small portion of space by means of technically abstract values. Far more important are topologies of personal meanings rooted in cultural meanings. This causes an accumulation of problems. Robots are endowed with most complex technical perception systems. They are being developed for the most intimate areas of human existence, but they cannot participate in our human sphere of perception. Therefore, we have developed an approach, which tries to connect machinic and cultural perception systems, in which humanoid robots are grasped as “companions”. Aim of our approach is to develop a cultural model of space, involving robots and A.I. within the same context of meaning as humans.

Keywords: Humanoide Roboter, Raummodell kultureller Bedeutungen, Interaction Design, Sprachspiel, Maschinelles Lernen.

1 Einleitung

Zunehmend wird der menschliche Alltag mit unterschiedlichsten Technologien angereichert. Künstliche Intelligenz ist bereits in Bereichen wie dem Börsenhandel, Gesichtserkennung oder in Schnittstellen für Mobiltelefone in Verwendung. Nun gesellen sich noch Roboter zur rasch fortschreitenden Forschung in Künstlicher Intelligenz. Im Alltag soll die Fusion dieser Technologien Dienstleistungen anbieten, die gleichermaßen individuelle Begehrungen befriedigen und gesellschaftliche Probleme lösen, wie etwa Sexualpartner und Altenpflege.

In unserer überalternden Gesellschaft wird zunehmend Hoffnung in Pflege durch humanoide Roboter gesetzt. Anthropomorphe Maschinen können Menschen am ehesten unterstützen und am einfachsten Vertrauen erwecken, wenn sie sich „natürlich“ in den intimen physischen und sozialen Räumen bewegen, in denen die Pflege und Assistenz stattfindet. Entscheidend für die Akzeptanz assistiver Roboter sind soziale Fähigkeiten und die Möglichkeit selbständig von ihrer Umgebung zu lernen [1, 2].

Die technologische Entwicklung steht heute vor einem Paradox: Roboter werden für die intimsten Bereiche der menschlichen Existenz entwickelt – aber sie können keinen Anteil am menschlichen Wahrnehmungsraum nehmen. Künstliche Intelligenzen sind auf die Schranken ihrer technischen Wahrnehmungssysteme und Datenmodelle verwiesen. Nur nach Maßgabe der Wahrnehmungssysteme werden Daten erfasst und dem Modell entsprechend verarbeitet; was die Charakteristik der Leistung des technologischen Systems ausmacht. Somit existieren technische Systeme in anderen Realitäten als Menschen. Die vielen technischen Wahrnehmungssysteme weisen essentielle Unterschiede zum menschlichen Wahrnehmungssystem auf, erfassen sie doch Raum in Geometrien, Zahlen und Bildern. Für Menschen ist Raum hingegen nur zu einem sehr kleinen Teil durch technisch-abstrakte Größen bestimmt. Wesentlich sind vielmehr persönliche Erfahrungen, Assoziationen und Gewohnheiten, die jeweils in kulturellen Bedeutungen wurzeln. Obwohl Roboter also über die modernsten Wahrnehmungssysteme verfügen, teilen sie doch nicht denselben Wahrnehmungsraum wie Menschen; hier kulminieren Problematiken an denen unsere Forschung ansetzt.

Der Stand der Forschung in diesem Bereich ist beispielsweise von Konzepten wie „Object Recognition“ [3], „Semantic Scene Labeling“ [4] und „Intention Recognition“ [5] bestimmt. So werden etwa mit „Object Detection“ materielle Objekte für ein technisches System erkennbar und folglich mit „Object Recognition“ bzw. „Scene Labeling“ benennbar gemacht, allerdings nur solche Objekte die, von der üblichen, typischen Form für Objekte ihrer Klasse, nicht allzuweit abweichen. Die „Intention Recognition“ geht darüber hinaus auch auf einen funktionalen Zusammenhang von erkannten Objekten und mit ihnen verknüpften Handlungen ein. Gemeinsam ist diesen bestehenden Konzepten, dass sie die Problemstellung nach Maßgabe technischer Möglichkeiten lösen. Dabei werden die kulturellen Bedeutungen von Objekten von ihren technologischen Repräsentationen durch Daten in den Hintergrund gedrängt und die individuellen Bedeutungen verschwinden.

In Ergänzung zu diesen Ansätzen, arbeiten wir an der Entwicklung eines kulturellen Konzepts von Raum für humanoide Wahrnehmungssysteme. Dafür verwenden wir die Fähigkeiten eines humanoiden Roboters zur menschenähnlichen Interaktion als Ansatz zur Datenerfassung und Modellbildung. Im hier zur Diskussion gestellten Raummodell werden Bedeutungen von Objekten durch sprachliche Interaktion erfragt und mithilfe von Algorithmen des maschinellen Lernens verknüpft. Durch das Sammeln und miteinander verknüpfen vieler verorteten Bedeu-

tungen entsteht ein Raummodell, das sich weder auf technische Parameter noch auf menschliche Wahrnehmungen und individuelle Bedeutungen reduzieren lässt. Vielmehr entsteht so ein hybrides Raummodell das gemeinsam durch sprachliche Interaktion erzeugt wurde. Dabei sollen neue Interaktionsräume möglich werden, die von Menschen und Robotern gleichermaßen entwickelt wurden. Ein humanoider Roboter und dessen künstliches Intelligenz-System werden so in denselben Bedeutungskontext wie wir Menschen involviert.

Der von Ludwig Wittgenstein [6] geprägte Begriff vom Sprachspiel bedeutet, dass jede sprachliche Äußerung im menschlichen Leben verwurzelt ist. Denn die verschiedenen menschlichen Sprachspiele machen nur dort Sinn. Jedes Wort, jeder Begriff und jeder Satz haben Bedeutungen, die vom Kontext der Handlungen und Situationen, in denen sie geäußert werden, abhängen. Auch Mathematik und formale Logik zählen zu den Sprachspielen. In Anlehnung an das philosophische Sprachspiel verwendet unser architektonisches Raum-Spiel den Zusammenhang von sprachlichen Äußerungen und menschlichen Praktiken. Im Unterschied aber, wird hier kulturelle Bedeutung zwischen Mensch und Humanoiden verhandelt, um Raum zu konstituieren. Mittels natürlich-sprachlicher Mensch-Maschine Kommunikation soll die wechselseitige Konstruktion von Raum und Bedeutung im Dialog ermöglicht werden. Mit den Möglichkeiten der humanoiden Gestalt werden menschliche Gesten und Körperhaltungen imitiert, um diese Konstruktion mit nicht-sprachlicher Kommunikation zu bereichern. Mithilfe dieser Interaktion entsteht für den Humanoiden ein Wahrnehmungsraum, der weit über technische Parameter hinaus, interaktiv aus Bedeutungen geformt ist.

2 Raum durch Technologien

Gegenwärtig leben wir in von Technologie durchdrungenen Räumen, wobei der Technologisierungsgrad stetig steigt. In modernen Gebäuden stehen bereits grundlegende Versorgungs- und Haustechniksysteme für die Gebäudeautomation wie Elektrizität, drahtlose Netzwerke, Wohnraumlüftung und vernetzte Beleuchtungssysteme zur Verfügung. Die neuartigen Funktionen sozialer Roboter sind der Zugriff auf physische Objekte, digitale Objekte anderer technischer Systeme, die Fortbewegung im Raum und die soziale Interaktion mit Menschen. Dadurch sind soziale Roboter im Gegensatz zu bestehender Haustechnik, bzw. ubiquitous computing systeme, mobile und teils autonom agierende Technologien. Mobile Roboter eröffnen neue Optionen, wo ortsbundene Technologien an ihre Grenzen stoßen. Dabei bewegen sie sich nicht nur in physischen, sondern agieren gleichzeitig auch, durch ihre digitale Vernetzung, in virtuellen Räumen; damit stellen sie eine Art Knoten im Netzwerk zwischen diesen unterschiedlichen Arten von Raum dar.

In der zeitgenössischen Technologieentwicklung ergänzen einander dabei zwei technologische Ansätze. Das Konzept des sogenannten ubiquitous computing, konzipiert von Mark Weiser in den frühen 90er Jahren [7] und die Entwicklung von Social Robotics [8], sind Teil der Basis einer Entwicklungsrichtung von Technologie im 21. Jahrhundert geworden. Weisers Ansatz geht davon aus, dass Technologie in das Gewebe des Alltags eingeflochten wird und letztendlich davon ununterscheidbar wird. Während manche Technologien diskret in die Lebensräume sickern, treten Roboter, als Artefakte des Social Robotics Ansatzes, explizit in Erscheinung. Die prägnanteste Ausprägung der Roboter sind Humanoiden, aufgrund ihrer Simulation isolierter humarer Fähigkeiten und der menschlichen Gestalt. Die technischen Leistungen werden für beide Entwicklungsrichtungen durch die Vernetzung automatisiert operierender Sensoren und dem algorithmischen Prozessieren der Sensordaten in Datenmodellen von Software erreicht.

Im Zusammenwirken stellen diese Komponenten technische Wahrnehmungs-Systeme dar. Diese Art Technologie wird etwa tätig bei der banalen Regelung einer Raumtemperatur, bis hin zur Ermöglichung autonomen Verhaltens von hyperkomplexen Maschinen, wie in humanoiden Robotern. An diesem Beispiel wird auch der Aspekt der Zweckdienlichkeit der verschiedenen technischen Wahrnehmungs-Systeme erkennbar, deren unterschiedliche Zielsetzungen verschiedene Formen von Realitäten erzeugen. Beim ersten Beispiel wird simpel Lufttemperatur mit Heizleistung gekoppelt, beim zweiten Beispiel hingegen wird für ein Künstliches Intellekt-System „die Welt“ abgebildet. Komplexität und Unvorhersehbarkeit der Alltagswelt, in der wir Menschen uns meist relativ mühelos bewegen, stellt eine große Herausforderung für hyperkomplexe technische Systeme dar. Alle technischen Wahrnehmungs-Systeme weisen essentielle Unterschiede zum menschlichen Wahrnehmungssystem auf. Ihren quantitativ basierten, technisch-abstrakten Parametern stehen persönliche Bedeutungen gegenüber, die wiederum in einen kulturellen Kontext eingeschrieben sind. Somit agieren Menschen und Humanioide Helfer in sehr unterschiedlichen Wahrnehmungsräumen.

3 Raum zum Leben

Die menschliche Lebenswelt ist essentiell räumlich. Raum ist hier vor allem ein holistisches Substrat von Bedeutungen und deren Vorortungen, woraus all die Relationen entstehen, die in sozialen und kulturellen Raumtheorien diskutiert werden. Architektur widmet sich speziell den Aspekten von Raum zum Leben. Auf die Domäne kommen Veränderungen zu, die viele, seit langem kulturell konservierte Verhaltensweisen um die Erzeugung und Verwendung von Räumen grundlegend transformieren werden. Gebäude wie wir sie kennen, werden dabei zunehmend durch mobile Teile und ausgeklügelte Steuerungen erweitert werden. Wir stehen an der Schwelle einer Entwicklung bei der in naher Zukunft, technologische Artefakte wie Haus und Roboter, durch ihr Zusammenwirken alltägliche Wahrnehmungsräume ausbilden werden.

Raum, als Basis der relationalen Lebenswelt von Menschen, wird von technischen Wahrnehmungssystemen in Form von Zahlen, Geometrien und/oder Bildern in die Steuerungsalgorithmen des jeweiligen technischen Systems gespeist. Diese sind jedoch nicht in der Lage Bedeutungen zu detektieren, sowie höchst eingeschränkt, diese Parameter ihrer Umgebung in kulturell bedeutungsvolle Bezüge zueinander zu setzen. Somit existieren technische Systeme in anderen Realitäten als Menschen. Die Wirkmächte der jeweiligen Realitäten stehen in Konkurrenz um die Deutungshoheit über die Wirklichkeit der gelebten Alltagswelt. Diese strukturelle Andersartigkeit menschlicher und technologischer Realitäten birgt Konflikt- und Gefahrenpotential. Häufig fühlen sich NutzerInnen von Assistenzsystemen gegängelt, bedrängt oder unterfordert und lehnen sie deshalb ab.

Die sozialen Räume der Menschen sind vielfältig. Humanioide Roboter sollen in privaten Haushalten genauso wie in halböffentlichen Geschäftslokalen oder öffentlichen Malls eingesetzt werden. Sozialer Raum ist kein permanent fixierter Raum, sondern wird vielmehr andauernd „produziert“ [9] und befindet sich somit in einem ständigen Wandel. Die Produktion des Raumes ist dabei niemals ein neutraler Prozess, sondern vielmehr stets von Machtstrukturen, ökonomischen Interessen und kulturellen Hegemonien mitbestimmt. Wie der Raum, so dürfen auch Technologien nicht als neutral verstanden werden, auch in diese sind Machtstrukturen eingeschrieben. Unser Projekt versucht diese Fragen nach Macht zu thematisieren und weiters die Ermächtigung der BenutzerInnen gegenüber einer Künstlichen Intelligenz zu befördern. Dabei werden „technische Objekte“ [10] als aktive Akteure thematisiert. Auch Humanioide Roboter

sind demnach keine simplen weiteren Objekte oder neutrale Akteure, sondern müssen als aktive Gestalter dieser Räume theoretisiert und untersucht werden. Des Weiteren muss stets mitbedacht werden, in welchen Machtgefügen diese Humanoide entwickelt, erforscht und angewendet werden. Wie Langdon Winner in seinem Essay „Do Artefacts have Politics?“ [11], wollen auch wir danach fragen, welche kulturellen, ethischen und politischen Konzeptionen in solche Roboter eingebaut werden sollten, insbesondere bezogen auf den die häusliche Umwelt formenden, architektonischen Raum.

Diese Fragen sollen unter der Verwendung von transdisziplinären Methoden und künstlerischer Forschung bearbeitet und philosophisch reflektiert werden; so sollen auch neue transdisziplinäre Zugänge und Methoden entwickelt und in aktuelle Debatten und Diskurse rund um Fragen der Roboterethik [12] interveniert werden.

Die Forschung an Problemen der Lebenswelt erfordert ein methodisches Vorgehen, das die Ansätze unterschiedlicher Disziplinen integriert. Der transdisziplinäre Ansatz dieses Projektes besteht aus dem Zusammenführen der Expertisen aus Architektur, Automationstechnik und Philosophie. Synergien entstehen im Überlappen und Schärfen von Fragestellungen, wie etwa den hier vorliegenden, nach einem kulturellen Bedeutungsmodell von Raum. Ergänzend dazu werden Methoden künstlerischer Forschung angesetzt. In der HRI-Forschung wird bereits künstlerische Forschung angesetzt, wie das beispielsweise bei der Methode des Theatrical Robot der Fall ist [2]. Dabei wird die künstlerische Umsetzung von Mensch-Roboter Interaktion, in einer Performance, verwendet, um sozialwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. Im Gegensatz dazu wird in unserem Projekt künstlerische Forschung nicht als artistisches Mittel zum soziologischen Zweck eingesetzt.

Die Vielfalt lebensweltlicher Komplexität besteht im Detail aus einer verblüffend großen Unzahl singulärer Objekte und Prozesse. Der permanente Alltagsdiskurs zu Operationen in und über diese Objekte und Prozesse ist nur teilweise mit teleologischen Methoden fassbar. Künstlerische Forschungsmethoden folgen nicht expliziten Zielvorgaben, sie werden ergebnisoffen aber dennoch zielorientiert entwickelt. Sie dürfen non-kausale Wirkungen ansetzen und müssen nicht zwangsläufig nach Ursache-Wirkung Zusammenhängen entfaltet werden. Sie verwenden explizit Unschärfen, absichtliche Fehllesung und Superpositionen von etablierten Konzepten, darüber hinaus sind Referenzen und Quellen jeder Art zulässig. Originäre Phantasie und schlussfolgernde Argumentation werden gleichwertig erachtet „... where logical thinking is naturally intertwined with associative and intuitive conceptualization.“ [13] Diese spezifische Art von iterativen und reflexiven Prozessen [14, 15, 16] wird von uns für das Aktualisieren eines kulturellen Bedeutungsmodells von Raum angesetzt. Somit verstehen wir das Projekt als transdisziplinäre, künstlerische Forschung. Denn künstlerische Forschung ermöglicht uns über technische und sozialwissenschaftliche Fragestellungen hinaus, die Frage nach dem Stellenwert von kulturellen Bedeutungen von Raum, den unterschiedlichen Wahrnehmungsweisen des Raums, sowie den Möglichkeiten eines gemeinsamen Raumverständnisses von Roboter und Nicht-Robotern zu entwickeln, auszuwerten und zu reflektieren. Die Findungen und Erkenntnisse werden nicht anhand von sozialen oder technischen Zielvorgaben in einem Ursache-Wirkungszusammenhang bewertet, sondern als offenes Ergebnis in Kontexten der Lebenswelt evaluiert.

Wie Räume gestaltet, verändert und produziert werden und wie wir uns in diesen Räumen bewegen und in diesen Räumen miteinander interagieren, wird größtenteils durch Wahrnehmung beeinflusst. Was wir sehen, hören fühlen usw. bestimmt unsere Lebenswelt mit. Wie jedoch

Objekte, Räume und Menschen gesehen, gefühlt und gehört werden ist zu einem nicht vernachlässigbaren Teil von kulturellen Faktoren geleitet. Welche kulturellen Bedeutungen Räume und Objekte haben, wird ebenfalls stets neu verhandelt und transformiert. humanoide sind Co-Produzenten von sozialem Raum und interagieren mit dem Raum gleichermaßen wie mit den Menschen im Raum. Diese Maschinen müssen, um Aufgaben wie die Pflege, den Verkauf von Produkten oder sonstige assistive Dienstleistungen erfüllen zu können, also um mit Menschen adäquat interagieren zu können, mit diesen kulturellen Bedeutungen lernen umzugehen. Dabei kann die kulturelle Bedeutung nicht einfach einprogrammiert werden. Nicht nur, weil sich Bedeutungen verändern, sondern eben auch weil sie ständig neu verhandelt werden müssen und individuell sehr unterschiedlich sein können. humanoide Roboter sollen also nicht nur lernen diese kulturellen Bedeutungen zu erkennen, sondern auch diese Bedeutungen mitzugestalten. Damit werden sie eine neuartige Position zwischen der bestehenden Technologie und den Menschen einnehmen.

4 Beziehung Mensch und technisches Artefakt

Welche Grundlagen sind nun sinnvoll für die Gestaltung der Beziehung von einzigartigen, menschlichen Individuen zu einem serientypischen, verzerrten, technischen Spiegelbild eines Menschen, einem Humanoiden?

Es war eine relativ simple und alltägliche Situation, aus der der französische Philosoph Jacques Derrida komplexe Überlegungen und tiefgreifende Reflexionen entwickelte. Eines Tages, als Derrida gerade aus der Dusche stieg, bemerkte er, dass er nackt vor seiner Katze stand, die sich in das Badezimmer geschlichen hatte. Was Derrida an dieser Begegnung so faszinierte, war die simple Beobachtung, dass er sich in dieser Situation geschämt hatte, dem Blick seiner Katze ausgeliefert zu sein. Obwohl die Katze bestimmt keine Idee hatte, was Nacktheit bedeutet, und auch höchstwahrscheinlich keinerlei Interesse an seiner Nacktheit zeigte, fühlte sich Derrida doch vom Blick seiner Katze beobachtet. „How can an animal look you in the face?“ fragt Derrida in dem Vortrag „The Animal That Therefore I Am“, in dem er diese Situation schildert. [17] humanoide Roboter für den häuslichen Bedarf sind konstruiert um uns ins Gesicht sehen zu können, um uns anblicken zu können. Es scheint fast so als wäre diese Fähigkeit ihr Hauptzweck, ja überhaupt einer der wesentlichen Gründe, weshalb man humanoide Roboter überhaupt entwickelt, nämlich, weil diese Roboter ein Gesicht haben, das wir anschauen können, ein Gesicht, das aber eben auch zurückschauen kann, das fähig ist unseren Blick zu erwidern [18, 19, 20]. Mit Kameras als Augen, haben humanoide Roboter nicht nur die Fähigkeit zu „sehen“, sondern darüber hinaus auch noch zu filmen. Zusätzlich verfügen sie auch noch über eine Vielzahl an weiteren Sensoren, die andauernd ihre Umgebung aufzeichnen und evaluieren. Darüber hinaus verbindet man sie auch noch mit zahllosen anderen helfenden und assistiven technischen Artefakten. All dies erzeugt eine völlig differente Wahrnehmung von Raum, Zeit und Handlungen als sie Menschen haben, die soziokulturell konditioniert und architektonisch beeinflusst sind. Sollten wir, in einer Zeit in der humanoide Roboter immer mehr in unsere privaten und intimsten Räume vordringen und dabei fähig sind uns anzuschauen, uns anzublicken, dabei Scham empfinden, oder sind diese Roboter bloß die Sammlung technisch basierter Angebote in einem System, das sie verkörpern, bloße technische Diener also, deren Blick uns nicht berührt? Oder sind sie vielmehr eine Art Gefährten, hybride Wesen, die mit uns unsere intimsten Räume teilen, während sie diese gleichzeitig potentiell auch per Internet weltweit teilen könnten?

In ihrem Buch „When Species Meet“ [21] kritisiert die amerikanische Philosophin und Theoretikerin Donna Haraway Derridas Zugang, denn er hätte im Blick seiner Katze eine Chance nicht ernst genommen und die vielfältigen Möglichkeiten und die Bedeutung des Blicks der Katze übersehen. Denn dieser Blick der Katze ist – so Haraway – eine Einladung zu einem gemeinsamen Werden, einem „becoming with“, dem also was sie „companion species“ nennt. Denn jeder Blick ist doch immer auch ein reziproker Prozess, jedes Zusammenleben mit einem solchen Wesen ist ein gemeinsames Werden. Dieses gemeinsame Werden verlangt laut Haraway auch einen anderen Zugang zur Ethik, eine Ethik der geteilten Verantwortung. So wie ein Blindenhund für sein Herrchen oder Frauchen verantwortlich ist, ist auch diese/r für den Hund verantwortlich. Das Zusammenleben mit einem Hund basiert auf einer gemeinsam geteilten Verantwortung für den jeweils anderen. Ein Prinzip, das nicht nur für die Mensch-Hund Beziehung gilt: „Responsibility is a relationship crafted in intra-action through which entities, subjects and objects, come into being“ [21].

Kann dieses Verhältnis zwischen Mensch und dieser Art von technischem Artefakt mit Haraway als „companion species“ verstanden werden? Wie kann so eine gemeinsam geteilte Verantwortlichkeit zwischen Mensch und Roboter aussehen? Aufbauend auf einem ähnlichen Verständnis von gemeinsam geteilter Verantwortung, wollen wir also die ethischen, politischen und räumlichen Konsequenzen reflektieren und entwickeln ein technisches System, bei dem Menschen für ihre Roboter sorgen, die gegengleich diese Menschen im Alltag unterstützen.

5 Technologische Wahrnehmungssysteme und Raum zum Leben

Stand der zeitgenössischen Forschung ist, dass technische Wahrnehmungssysteme, Objekte und Nutzer in Zahlen fassen, Räume geometrisch registrieren und bildlich darstellen. Sie sind jedoch nicht in der Lage diese Elemente ihrer Umgebung in menschlich bedeutungsvollem Bezug zueinander zu setzen. Im Kontrast dazu haben wir einen Ansatz entwickelt, bei dem die Erzeugung eines kulturellen Bedeutungsmodells von Raum, auf der Interaktion zwischen Mensch und Roboter basiert. Die Maschine wird dabei als „companion“ verstanden. Mit dem Ansatz soll dem technischen System ermöglicht werden, aus dem interaktiven Requirieren von kulturellen Bedeutungen ein Konzept von Raum zu entwickeln und es dynamisch zu adaptieren; Humanoide Roboter und K. I. werden domestiziert.

Humanoide Roboter als mögliche zukünftige „companion species“ zu erforschen, heißt auch, die oben genannten Fragen nach neuen Formen von Wahrnehmung zu integrieren. Die Zuschreibungen von Bedeutungen zu Objekten, Räumen, Bauteilen, Personen und Maschinen ist ein netzwerkartig referierendes System, das durch geometrische, bildliche, soziale und kulturelle Beziehungen aufgespannt wird. Dabei konstituieren Bedeutungen der einzelnen Teile sowie deren Beziehung sich wechselseitig und werden dabei ständig dynamisch in Aushandlungen transformiert. Ausgestattet mit Sensoren, die technisch völlig andere Bilder der Umwelt produzieren als der menschliche Wahrnehmungsapparat, kann gerade transdisziplinäre, künstlerische Forschung helfen, diese spezifischen Formen von Wahrnehmung sichtbar zu machen und darüber hinaus Möglichkeiten aufzeigen, wie eine Intra-aktion der Humanoiden mit den menschlichen Wahrnehmungen verwoben werden kann, um aus individuellen und kollektiven Bedeutungen ein kulturelles Modell von Raum zum Leben zu generieren. Ein Modell von Raum, das weder auf die menschliche noch auf die humanoide Perspektive reduzierbar ist.

6 Setting generieren eines ersten Prototypen eines kulturellen Raummodells

Wir wurden eingeladen einen Beitrag für die „Lange Nacht der Roboter“ zu gestalten, die am 25.11.2016 in Wien stattfindet. Hier haben wir erstmalig die Möglichkeit Laien als Probanden für das Generieren eines Raummodells kultureller Bedeutungen zu requirieren und es gleichzeitig auch öffentlich vorzustellen. Unser Beitrag bietet den BesucherInnen ein „Gespräch“ mit einem Humanoiden Roboter an: Eine natürlich-sprachige Interaktion, unterstützt durch Gesten, über den Raum in dem der Roboter auftritt und die Bedeutung von Gegenständen im Umfeld. Für uns ist dies eine Möglichkeit unser System zu testen, da zu erwarten ist, dass BesucherInnen sehr unterschiedliches Vorwissen, soziale und kulturelle Hintergründe und Interessen mitbringen.

Ein stationärer Humanoider Roboter, Modell Romeo der Firma Aldebaran, ist mit unserem Maschinenlernsystem ausgestattet. Entscheidend ist die Fähigkeit des Roboters, neben Tonein- und Tonausgabe, die verbale Kommunikation durch verschiedene Gesten zu erweitern. Der Roboter deutet in einen beliebigen Bereich des Raumes und befragt BesucherInnen nach ihrer persönlichen Bedeutung von einzelnen Gegenständen. Die Antworten der BesucherInnen werden vom Maschinenlernsystem aufgezeichnet. Mittels cloud-basierter Spracherkennung von Google, wird diese Spracheingabe in Text umgewandelt. Neben der Speicherung des gesamten Satzes, wird die Eingabe in einzelne Begriffe zerlegt. Der Zugriff auf das Wordnet mittels LibLeipzig ermöglicht die Bestimmung der jeweiligen grammatischen Grundform und somit eine erste Kategorisierung der einzelnen Begriffe nach ihrer Wortart. Die spezifischere Kategorisierung des gesamten Inputs erfolgt mittels der Bibliotheken von maschinellem Lernen von Orange in Python. Gleichzeitig werden die geäußerten Bedeutungen mittels der Zeigerichtung des Roboters und einer Ultraschallmessung räumlich verortet. Das Maschinenlernsystem kontextualisiert die durch die Interaktion entwickelten Bedeutungen mit einem bestimmten Bereich des Raumes in Relation zur Position des Roboters. Die Sätze, Satzbausteine, Begriffe und Orte, kumuliert im Bedeutungsmodell, stehen folglich dem Roboter zur Fortführung der Kommunikation zur Verfügung.

Das Einarbeiten der menschlichen Äußerungen und die Verortung der Bedeutungen werden den BesucherInnen, um das technologische System transparent zu machen, auf zwei Screens visuell dargestellt. Nachdem beides in Echtzeit passiert, können die BesucherInnen mitverfolgen, wie die von ihnen geäußerten Bedeutungen im System aufgenommen werden. Über die verschiedenen Gespräche hin, kumuliert das Maschinenlernsystem zu jedem vom Roboter nachgefragten Gegenstand, aber auch zu jedem anderen Gegenstand der eventuell thematisiert wurde, eine Vielzahl an Begriffen. Diese Begriffe werden in der K. I. nach der Häufigkeit bewertet. Die unterschiedlichen Bewertungen zu unterschiedlichen Objekten werden wiederum aufeinander bezogen und kategorisiert. Dies geschieht mittels der Klassifikations- und Regressions-Algorithmen von Orange in Python, wie beispielsweise der sehr einfachen Methode: „k-nearest-neighbors“. Unser Maschinenlernsystem generiert eine Bedeutungshierarchie, aber ohne die individuellen Nennungen verschwinden zu lassen. Im Gegenteil, die individuellen Bedeutungen sind erfasst und werden im Besonderen, als Teil des weiteren Austausches mit der Maschine, verwendet. Denn eine wichtige Zielsetzung ist dem individuellen Bedeutungsumfang eines Empfängers von assistiver Technologie entsprechen zu können.

Weiters wurden dem Roboter verschiedene Gesten, Begriffe und Phrasen trainiert um, ähnlich einem Gespräch unter Menschen, die Interaktion anzureichern und zu einem Kommunikations-

erlebnis zu machen. Fragen BesucherInnen den Roboter nach Bedeutungen, verwendet die Maschine die unterschiedlichen Ebenen an individuellen und kumulierten Bedeutungen für ihre Antworten.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die wichtigsten Forschungsfragen für diese erste Entwicklungsstufe unseres Prototypen:

- 1) Gelingt die interaktive Erzeugung eines Raummodells von kulturellen Bedeutungen a] in Echtzeit b] unter den nicht genau kontrollierbaren Bedingungen von Akustik, Optik und Interaktion einer „Langen Nacht der Roboter“?
- 2) Wird das entstehende Modell a] als Repräsentation akzeptiert und b] erachten die BesucherInnen die Repräsentation als eine relevante Abstraktion von Raum und Objekten?
- 3) Reflexion über die Eignung künstlerischer Forschung als Methode zur Entwicklung des kulturellen Raummodells. Philosophische und architektonische Beurteilung des ersten Prototyps des Modells.

Nach der Auswertung der Interaktionen und des so entstandenen Raummodells werden die Ergebnisse für die Entwicklung der folgenden Ziele angewandt:

- 1) Prognose von Bedeutung mittels der oben erwähnten Klassifikation- und Regressionsmethoden.
- 2) Ansetzen der Bedeutungen und der diversen Raumkonzepte unterschiedlicher Kulturen wie etwa das japanische Basho.
- 3) Ein nächster Punkt ist das Einführen der Dimension von Zeit ins Modell. Die geplanten Ansätze sind Zeit als vierte Dimension, oder Zeit kinematisch als dritte Dimension eines zweidimensionalen Raumes anzusetzen.
- 4) Nach der Bewertung, Vernetzung und Kategorisierung der Bedeutungen soll die Verortung von Kategorien und Bedeutungsnetzen getestet werden.
- 5) Erweitern der natürliche-sprachigen Kommunikation durch nonverbale Elemente wie menschliche Gesten in Verbindung mit Gesichtsausdrücken von Gestimmtheit und Gehirnströmen.
- 6) Sollte der Ansatz zu einem brauchbaren Modell führen, wird seine Übertragbarkeit auf andere Unterstützungssysteme getestet und eine Verallgemeinerung angesetzt.

8 Literatur

- [1] B. R. Duffy: Anthropomorphism and the social robot. *Robotics and autonomous systems*, 42(3), S. 177-190, 2003.
- [2] K. Dautenhahn: Methodology and themes of human-robot interaction: a growing research field. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2007.
- [3] T. Varvadoukas, E. Giannakidou, J. V. Gomez, N. Mavridis: Indoor Furniture and Room Recognition for a Robot using Internet-derived Models and Object Context. *10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, 2012.
- [4] H. S. Koppula, A. Anand, T. Joachims, A. Saxena: Semantic Labeling of 3D Point Clouds for Indoor Scenes. *Neural Information Processing Systems*, NIPS, 2011.
- [5] P. Krauthausen: Learning Dynamic Systems for Intention Recognition in Human-Robot-Cooperation. *KIT Scientific Publishing*, Karlsruhe, 2013.

- [6] L. Wittgenstein: Philosophische Untersuchungen. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Frankfurt, 2001.
- [7] M. Weiser: Ubiquitous Computing. Computer 10, S. 71-72, 1993.
- [8] R. A. Brooks: Intelligence without representation. Artificial intelligence, 47(1), S. 139-159, 1991.
- [9] H. Lefebvre: The Production of Space. Blackwell, 1991.
- [10] G. Simondon: Die Existenzweise technischer Objekte. Zürich, diaphanes, 2012.
- [11] L. Winner: Do Artifacts have Politics?. The Whale and the Reactor: A Search for Limits in an Age of High Technology, Chicago: University of Chicago Press, 1987.
- [12] P. Lin et al. (Hg.): Robot Ethics. MIT-Press, 2015.
- [13] C. Dyrssen: Navigating in Heterogeneity: Architectural Thinking and Art-based Research. H. Biggs, M. Karlsson: The Routledge Companion To Research In The Arts, 2011.
- [14] J. Klein: Was ist künstlerische Forschung. kunsttexte.de/Auditive Perspektiven, Nr. 2/2011, www.kunsttexte.de. 2011.
- [15] A. Rey, S. Schöbi (Hg.): Künstlerische Forschung – Positionen und Perspektiven. Museum für Gestaltung Zürich 2009.
- [16] J. Badura et. al (Hg.): Künstlerische Forschung. Ein Handbuch, diaphanes, 2015.
- [17] J. Derrida: The Animal That Therefore I Am (More to Follow). Critical Inquiry, Vol. 28, No. 2 (Winter, 2002), S. 369-418, 2002.
- [18] M. Coeckelberghs: Humans, Animals, and Robots: A Phenomenological Approach to Human-Robot Relations. International Journal of Social Robotics 3, S. 197-204, 2011.
- [19] M. Coeckelbergh: Growing Moral Relations: Critique of Moral Status Ascription. Palgrave Macmillan, 2012.
- [20] M. Coeckelbergh, D. J. Gunkel: Facing Animals: A Relational, Other-Oriented Approach to Moral Standing. Journal of Agricultural and Environmental Ethics 27, 2014.
- [21] D. Haraway: When Species Meet. University of Minnesota Press, 2008.

(Datenschutz)rechtliche Herausforderungen im Gesundheitsbereich

Technische Unterstützung im Krankenhaus-, Pflege- und Rehabilitationswesen

M. Schuler-Harms, D.-S. Valentiner

Helmut-Schmidt-Universität, Professur für Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches
Wirtschafts- und Umweltrecht
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg
schuler-harms@hsu-hh.de, dana.valentiner@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Der Einsatz neuer Technologien im Gesundheitsbereich wirft eine Reihe rechtlicher Fragen auf, denen der vorliegende Beitrag gewidmet ist. Neben den datenschutzrechtlichen Herausforderungen, die aus digitaler Vernetzung und technischer Innovation erwachsen, interessieren insbesondere die wechselseitigen Bezüge zum Medizin(produkte)recht und dem Produktsicherheitsrecht, die durch Fragen der rechtlichen Absicherung einer Qualitätssicherung und -standardbildung für den Gesundheitssektor verklammert werden: Was wird für die Zulassung neuer technologischer Systeme im Gesundheitsbereich verlangt? Wie kann (sozial)rechtlich die (funktionsgerechte) Entwicklung solcher Systeme unterstützt werden? Wie gestaltet sich gezeitgeberischer Handlungsbedarf?

Abstract

“Technical Support Systems in Health Service: Legal Challenges and Data Protection“

The use of new technologies in the health sector raises a number of legal questions, especially regarding data protection. In addition to the data protection regulations arising from digital networking and technical innovation, requirements of medical law, product safety and quality assurance must be followed. In this context, the paper addresses the following questions: What are the requirements for the permission of new technological systems in health service? How can law support the development of such systems? Is there a need for legislative action?

Keywords: Gesundheitsdatenschutzrecht, Innovationsregulierung, Produktsicherheit, Qualitätssicherung

1 Einleitung: Technische Unterstützung im Gesundheitssektor

Technische Entwicklungen werden im Gesundheitssektor aus verschiedenen Gründen eingesetzt: Sie sollen Krankheitsverhütung, -früherkennung und -behandlung sowie Pflege und Rehabilitation unterstützen und erleichtern, nicht selten verbessern. Dabei reicht ihr Einsatz von der bloßen Weiterentwicklung bewährter Hilfsmittel (z.B. Pflegebett mit drehbarer Liegefäche und Aufstehfunktion) über auf Mensch-Maschine-Interaktion ausgerichtete und am Körper getragene technische Unterstützungssysteme (z.B. Equipment zur Teleoperation, Geh-Assistenz-Systeme) bis zur eigenständigen Ausführung von Pflegemaßnahmen (z.B. Pflege-Roboter). So vielfältig wie die Gründe für den Einsatz technischer Unterstützung sind die Einsatzgebiete, der

Kreis der in technische Unterstützung eingebundenen und von ihnen betroffenen Personen sowie die konkrete Ausgestaltung von Maßnahmen und Instrumenten (Abbildung 2.1)]. Technische Unterstützungssysteme finden sich bislang einerseits in Krankenhäusern, Pflegeheimen, Arztpraxen sowie weiteren ambulanten und stationären Einrichtungen, sie halten andererseits verstärkt Einzug in den Alltag (z.B. Smart Watches, Fitnessarmbänder und Apps) und die häusliche Sphäre (z.B. Smart Home Elemente wie Hausnotrufsysteme, Sturzsensoren, Sensoren zur Messung von Kohlenstoffmonoxid-Konzentration, Luftbelastung durch Pollen, Temperatur und Luftfeuchtigkeit). Genutzt werden sie überwiegend von Patientinnen und Patienten, aber auch dem pflegerischen und medizinischen Personal, welches in seiner Arbeit entlastet werden soll. Außerdem können weitere Personen betroffen sein, die sich im Einwirkungskreis technischer Unterstützung befinden (z.B. Partnerinnen und Partner, pflegende Angehörige in der häuslichen Sphäre).

Unterschieden werden können insbesondere IuK-Technologien (z.B. digitale Vernetzung), technische Unterstützungssysteme (z.B. Exoskelett für Querschnittsgelähmte) sowie Mobile-Health-Anwendungen (z.B. Gesundheitsapps), deren Zuschnitt sich wiederum am Zweck der Nutzung orientiert sowie daran, wer sie nutzen soll. In der Medizin werden IuK-Technologien etwa zur Vermeidung von Personal- und Versorgungsengpässen (z.B. Telemedizin) sowie technische Systeme zur Optimierung der Gesundheitsversorgung eingesetzt. In der Pflege und Rehabilitation unterstützt Technik den betroffenen Menschen und oftmals das medizinische und pflegerische Personal. Zur Prävention – bei fließenden Übergängen zu Lifestyle und anderen Nutzungszwecken – werden verstärkt Mobile-Health-Anwendungen eingesetzt, die sich überwiegend an Nutzerinnen und Nutzer richten, aber Daten erheben, verarbeiten und auswerten, die z.B. auch für Versicherungen von Interesse sind.

Der zunehmende Einsatz technischer Entwicklungen prägt und verändert den Gesundheitssektor. Neue Instrumente der vernetzten Datennutzung (Fortentwicklung der elektronischen Gesundheitskarte, elektronische Patientenakte) sollen eine wirksamere und effizientere Gesundheitsversorgung sicherstellen, beschreiten aber auch den Pfad zum „gläsernen Patienten“. Gerade im Alltag verbreitet sich der Trend zur Selbstvermessung (Self-Tracking und Quantified Self), der nicht minder komplexe Fragen des Datenschutzes aufwirft und die Gesundheit berühren kann. Diese – auch mit dem Schlagwort „Gesundheit 4.0“ bezeichneten – Entwicklungen [5] bringen Herausforderungen mit sich, die bei der technischen wie rechtlichen Fortentwicklung berücksichtigt werden müssen. Im Regelungsgebiet des Gesundheitssektors verbinden sich dabei Regulierungsziele der an der Gesundheitsversorgung orientierten Innovationsförderung mit solchen des Gesundheitsdatenschutzes, der Produktsicherheit und der Qualitätsicherung.

2 Innovationsförderung und das Ziel verbesserter Gesundheitsversorgung

Die Regulierung technischer Unterstützung im Gesundheitswesen bewegt sich im Spannungsfeld von Innovation und Rechtsschutz. Dabei greift es zu kurz, die Spannungen allein zwischen Technik und Recht zu verorten, vielmehr bringt erst das komplexe Zusammenspiel von Recht, Politik, Technik, Wirtschaft und Wissenschaft Innovationen hervor [3]. Die sich aus diesem Zusammenspiel ergebende Spannungslage ist geprägt von Ungleichzeitigkeiten, Überlagerungen und Widersprüchlichkeiten. Der Hauptwiderspruch liegt im Versprechen der Regulierbarkeit selbst, das in der „unmöglichsten und zugleich notwendigen Innovationsregulierung“ besteht

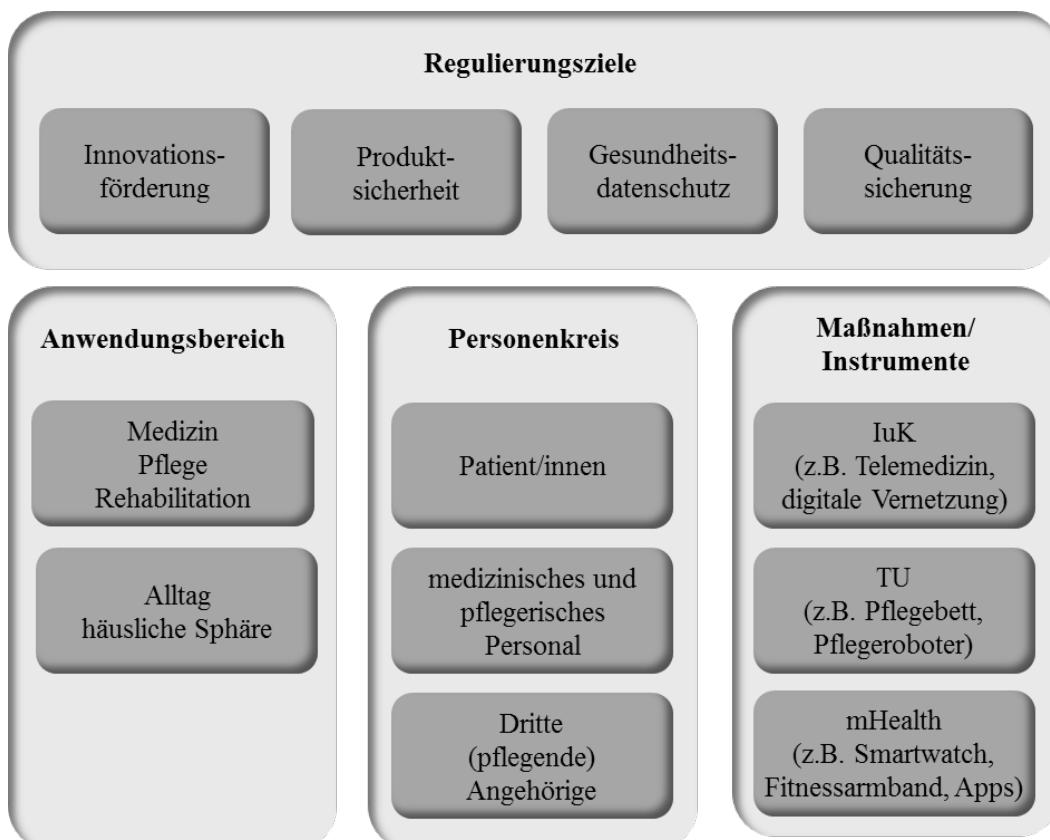


Abbildung 2.1: Regulierung technischer Unterstützung im Gesundheitswesen

[3]. Um in dieses Feld steuernd – regulatorisch – einzugreifen, bemüht sich die rechtswissenschaftliche Innovationsforschung in vorausschauender, begleitender und evaluierender Perspektive Gesetzmäßigkeiten, Pfadabhängigkeiten oder jedenfalls Kulminationspunkte von (Wechsel-)Wirkungen zu identifizieren – und wählt damit bisweilen andere Anknüpfungspunkte und beschreibt einen anderen Forschungsgegenstand als die ökonomische, politikwissenschaftliche oder technikwissenschaftliche Innovationsforschung.

Das Gesundheitsdatenschutzrecht erweist sich in diesem Feld auch deshalb als besonders herausfordernd, weil es ein besonders stark ausdifferenziertes Sach- und Regelungsgebiet bildet [11]. Dem Gesetzgeber steht im Bereich der Gesundheitspolitik grundsätzlich ein weiter Gestaltungsspielraum (auch als „Innovationsermessens“ bezeichnet) zu [14]. Das u.a. in Art. 2 Abs. 2 S. 1 GG geborgene Grundrecht auf Gesundheitsschutz stellt dabei den wesentlichen Maßstab der Ausübung des Innovationsermessens dar und markiert das „Gewährleistungszentrum innovativer Versorgungssteuerung“ [14]. Als verfassungsrechtlich vorgegebenes Innovationsziel im Gesundheitsdatenschutzrecht lässt sich daher die (verbesserte) Gesundheitsversorgung beschreiben [26], deren zentrale Innovationsfelder der Ausbau informationstechnischer Infrastrukturen, der digitalen Vernetzung und des Datenaustausches sowie der Einsatz von E-Health, mHealth und technischen Unterstützungssystemen sind. Diesem Innovationsziel stehen der Datenschutz als Ausprägung des Rechts auf informationelle Selbstbestimmung und die Qualitätssicherung sowie die Produktsicherheit als Aspekte eines im Grundrecht auf Gesundheitsschutz verankerten „Grundrechts auf Qualität medizinischer Versorgung“ [14] gegenüber. Dem Spannungsverhältnis liegen zwei widerstreitende Interessen zugrunde: das einerseits bestehende Interesse an Wissen und systematischer wie prozedural abgesicherter Wissensge-

nerierung – dies betrifft insbesondere das Wissen, das erforderlich ist, um Krankheiten zu überwinden und Gesundheit zu erhalten, aber auch das Wissen, das aus rein ökonomischer Motivation für die Entwicklung neuer Gesundheitsprodukte benötigt wird –, und andererseits das Recht auf Nichtwissen sowie die informationelle Selbstbestimmung des/der Einzelnen.

3 Gesundheitsdatenschutz

Der Einsatz von IuK-Technologien, Unterstützungssystemen und E-Health erfolgt insbesondere durch elektrische Geräte, Bewegungsmelder und intelligente Sensoren und erfordert die Erhebung, Auswertung und Weiterleitung von Daten. Bei den gewonnenen Daten handelt es sich überwiegend um Zustandsdaten, die durch die Verknüpfung und im Zusammenspiel mit weiteren Daten Angaben über persönliche oder sachliche Verhältnisse einer bestimmten oder bestimmbaren Person ermöglichen [15]. Personenbezogene Daten sind sensible Daten, deren Schutz das Grundrecht auf informationelle Selbstbestimmung (Art. 2 Abs. 1 i.V.m. 1 Abs. 1 GG, Art. 8 EU-GRCh) gewährleistet. Auch die Gewährleistung der Vertraulichkeit und Integrität informationstechnischer Systeme muss im Rahmen der Regulierung technischer Unterstützung im Gesundheitswesen sichergestellt werden. Für die Erhebung, Übermittlung und Verarbeitung von Sozial- und Gesundheitsdaten gelten besondere Schutzzvorschriften. Neben den Vorschriften aus SGB V, IX, X und XI sind dies insbesondere die unionsrechtliche Datenschutz-Grundverordnung (EU-DSGVO), die datenschutzrechtlichen Regelungen des Bundes (BDSG) und der Länder, das Telemediengesetz, das Telekommunikationsgesetz sowie das Gesetz für sichere digitale Kommunikation und Anwendungen im Gesundheitswesen vom 21.12.2015 (E-Health-Gesetz), das auf den technologischen Wandel reagiert und u.a. Regelungen zur Förderung der Telemedizin enthält. Das hieraus resultierende rechtliche Schutzkonzept für Gesundheitsdaten verfolgt im Wesentlichen zwei Ziele: einerseits die klassischen Ziele des Datenschutzes, also insbesondere Datensicherheit, Datenhoheit, Datenvermeidung und Datensparsamkeit, wobei Gesundheitsdaten als besonders sensibel und schutzbedürftig (sensitiv) eingestuft werden; andererseits die Sicherstellung der Gesundheitsversorgung, insbesondere auch der Versorgung förderlicher informationstechnischer Infrastrukturen im medizinischen Bereich. Dieses Schutzkonzept wird durch die fortschreitende technologische Entwicklung im Gesundheitswesen auf die Probe gestellt.

3.1 Gesundheitsdatenschutzrechtliche Herausforderungen

Bereits die Frage, welche Daten als besonders zu schützende und besonderen Vorgaben unterfallende Gesundheitsdaten einzuordnen sind, bereitet Schwierigkeiten. Grundsätzlich sind gemäß § 4 Abs. 1 BDSG Erhebung, Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten nur zulässig, soweit eine Rechtsvorschrift es erlaubt oder anordnet oder der/die Betroffene eingewilligt hat. Auch Art. 9 Abs. 1 EU-DSGVO untersagt die Verarbeitung von Gesundheitsdaten, sieht in Abs. 2 aber Ausnahmen vor, zu denen insbesondere die Einwilligung gehört. Gesundheitsdaten sind als besondere personenbezogene Daten i.S.d. § 3 Abs. 9 BDSG bzw. Art. 9 Abs. 1 EU-DSGVO einzuordnen, für die weitere Voraussetzungen gelten, die u.a. in den Sozialgesetzbüchern (insb. im 10. Kapitel des SGB V), in Landeskrankenhausgesetzen bzw. Gesundheitsdatenschutzgesetzen festgeschrieben sind. Bei Gesundheitsdaten werden hohe Anforderungen an die datenschutzrechtliche Einwilligung gestellt: Gemäß § 13 Abs. 2 Nr. 2 BDSG ist die Einwilligung bei dieser besonderen Art von personenbezogenen Daten in qualifizierter Form des § 4a Abs. 3 BDSG nötig, d.h. sie bedarf nicht nur der Schriftform, sondern muss sich

ausdrücklich auf die konkreten Gesundheitsdaten beziehen. Wie bereits eingangs dargestellt, sind die Übergänge verschiedener Nutzungszwecke neuer Technologien häufig fließend. Dies erfordert zum Beispiel bei mHealth-Anwendungen die Unterscheidung danach, ob Apps zu Gesundheitszwecken oder bloßen Lifestyle- oder Wellbeing-Zwecken eingesetzt werden. Gesundheitsdaten werden in Art. 4 Nr. 15 EU-DSGVO definiert als „personenbezogenen Daten, die sich auf die körperliche oder geistige Gesundheit einer natürlichen Person, einschließlich der Erbringung von Gesundheitsdienstleistungen, beziehen und aus denen Informationen über deren Gesundheitszustand hervorgehen“. Das BDSG verzichtet auf eine entsprechende Begriffsbestimmung. Unproblematisch ist die Einordnung von Informationen über Gesundheitszustand, Krankheiten, Beschwerden, Störungen oder Behandlungen, Untersuchungen und Therapien als Gesundheitsdaten. Es genügt für die Einordnung als Gesundheitsdaten grundsätzlich auch, dass sich die Information über die besonders sensiblen Gegebenheiten mittelbar aus dem Gesamtzusammenhang ergibt [6, 22]. Für die Bestimmung des Gesamtzusammenhangs ist auf Verarbeitungskontext und -zweck abzustellen [16]. Dieser kann jedenfalls angenommen werden, wenn Vitaldaten erhoben und mit Angaben zu Alter oder Gewicht gekoppelt werden, aber auch bei weitaus unverdächtigeren Daten (z.B. Schrittzähler), wenn diese in Kombination mit anderen Daten entsprechende Aussagen über den Gesundheitszustand zulassen [10].

Die Einwilligung selbst ist angesichts der fortschreitenden Technisierung des Gesundheitssektors auf ihre Eignung im Rahmen des skizzierten Schutzkonzepts zu hinterfragen. Gemäß § 4a Abs. 1 S. 1 BDSG ist die Einwilligung nur wirksam, wenn sie auf der freien Entscheidung des/der Betroffenen beruht. Ökonomische, gesundheitliche und soziale Abhängigkeiten bedrohen die Freiwilligkeit. Im Bereich der öffentlichen Leistungsgewährung, im Krankenversicherungsrecht sowie im Behandlungs- und Pflegeverhältnis kann diese Schwierigkeiten bereiten, wenn die Einwilligung z.B. Voraussetzung dafür ist, dass notwendige Behandlungen oder Leistungen bewilligt oder erbracht werden [25, 27]. Je nach Dringlichkeit der Leistungsgewährung kann das Prinzip der Freiwilligkeit eingeschränkt sein, wenn die Sicherstellung einer optimalen, schnellen und effizienten Behandlung eine Entscheidung über die datenschutzrechtliche Einwilligung ausschaltet [23].

Die wirksame Einwilligung erfordert außerdem gemäß § 4a Abs. 1 S. 2 BDSG die hinreichende Information der Betroffenen über den Zweck der Datenerhebung bzw. -verwendung. Dafür muss insbesondere auf die konkret zu verwendenden Daten (durch Nennung der betreffenden Daten oder durch Bezugnahme auf einen Datensatz) sowie den Zweck ihrer Nutzung (insbesondere Speicherung und Übermittlung) hingewiesen werden [1, 7]. Wie umfassend der Zweck erklärt werden muss, ist nicht abschließend geklärt [15]. Der Einsatz neuer Technologien im Gesundheitsbereich könnte einerseits eine Erklärung über die Vorgänge ihrer elektronischen Verarbeitung (jedenfalls in Grundzügen) nahelegen. Andererseits kann es gerade bei technischen Innovationen, insbesondere intelligenter, d.h. sich selbst fortentwickelnder Technologie, ggf. unmöglich sein, langfristig über Funktionsweise und Datennutzungsprozesse aufzuklären. Um der Aufklärungspflicht im Gesundheitssektor nachzukommen, müsste das medizinische und pflegerische Personal außerdem über entsprechende Kompetenzen verfügen [25].

Fehlt eine datenschutzrechtliche Einwilligung, ist die Datennutzung nur zulässig, falls sie gesetzlich erlaubt oder angeordnet ist. In Betracht kommen insbesondere die Ausnahmen vom Verbot der Datenverarbeitung in Art. 9 Abs. 2 a)-j) EU-DSGVO sowie die Erlaubnistatbestände aus § 28 Abs. 6-8 BDSG, u.a. wenn dies zum Schutz lebenswichtiger Interessen des/der Betroffenen oder eines/einer Dritten erforderlich ist (Abs. 6 Nr. 1), wenn es sich um Daten handelt,

die der/die Betroffene offenkundig öffentlich gemacht hat (Abs. 6 Nr. 2), oder wenn dies zum Zweck der Gesundheitsvorsorge, der medizinischen Diagnostik, der Gesundheitsversorgung oder Behandlung oder für die Verwaltung von Gesundheitsdiensten erforderlich ist und die Verarbeitung dieser Daten durch ärztliches Personal oder durch sonstige Personen erfolgt, die einer entsprechenden Geheimhaltungspflicht unterliegen (Abs. 7 S. 1).

Auch der Ausbau informationstechnischer Infrastrukturen, der digitalen Vernetzung und des Datenaustausches im Gesundheitsbereich wirft datenschutzrechtliche Fragen auf. Smart Home Elemente, die Vitaldaten erheben und auswerten und z.B. bei einem Sturz der Bewohnerinnen und Bewohner ein Notfallsignal auslösen und Rettungs-, Pflegedienst oder Angehörige kontaktieren, sind darauf angewiesen, dass sie Daten an die Systeme zur Verfügung stellenden Unternehmen, medizinischen Einrichtungen oder weitere Dritte übermitteln. Und auch Versicherungen und Einrichtungen der Leistungserbringung können ein Interesse an der Übermittlung von Daten aus dem Self-Tracking ihrer Versicherungsnehmerinnen und Versicherungsnehmer haben oder daran, deren Daten weiterzugeben. Dabei können sich ökonomische Gründe für die Datennutzung mit medizinischen Gründen vermischen und sie sogar überwiegen, besonders wenn Versicherungen über die Belohnung der Nutzung bestimmter Maßnahmen oder verhaltensbasierte Tarifmodelle nachdenken – Modelle, die nicht nur im Hinblick auf das Recht der Datenverarbeitung, sondern auch auf das im Gesundheitswesen geltende Solidaritätsprinzip und die Wahlfreiheit in Gesundheitsfragen kritischen Fragen begegnen [10, 27].

Das Datenschutzrecht setzt der Dateninfrastruktur spezifische Grenzen. Das Bundessozialgericht entschied, dass im Geltungsbereich des gesetzlichen Krankenversicherungsrechts (SGB V) die Weitergabe von Patientendaten durch Leistungserbringerinnen und -erbringer nur dann und in dem Umfang erlaubt ist, in dem bereichsspezifische Vorschriften über die Datenverarbeitung im SGB V dies explizit gestatten (BSG, Urteil vom 10.12.2008 – B 6 KA 37/07 R). Die weitergehende Einwilligung nach allgemeinen Vorschriften wurde für diesen Bereich damit wohl ausgeschlossen und zugleich Rechtsunsicherheit über die Anwendbarkeit und Abgrenzung von SGB V und BDSG erzeugt [12, sehr kritisch 2]. Die Nutzung eines Großteils technischer Neuheiten im Gesundheitswesen wird zwar nur ausnahmsweise in den Geltungsbereich des SGB V fallen, sodass eine Einwilligung regelmäßig möglich sein wird – je nachdem, ob es sich um sensitive Daten handelt, unter den beschriebenen strengerem Voraussetzungen. Allerdings drohen neben den dargestellten Schwierigkeiten Umgehungen der datenschutzrechtlichen Anforderungen durch Anbieterinnen und Anbieter aus der EU und dem nicht-europäischen Ausland, z.B. bei E-Health und mHealth-Instrumenten [10].

Das E-Health-Gesetz vom 21.12.2015 soll die Entwicklung und Integration moderner IuK-Technologien innerhalb der informationstechnischen Infrastrukturen des Gesundheitssystems unterstützen, um ihr Potential zur Verbesserung der Qualität und Wirtschaftlichkeit der medizinischen Versorgung, insbesondere auch im ländlichen Raum, zu entfalten. Es enthält u.a. Vorgaben, die bei der Umsetzung der Telemedizin zu beachten sind. Technische Entwicklung und gesetzgeberische Zielsetzung (Etablierung der Telematikinfrastruktur als der zentralen Infrastruktur für eine sichere Kommunikation im Gesundheitswesen) gehen aber noch nicht Hand in Hand, vielmehr entwickeln sich insbesondere mHealth-Anwendungen außerhalb der vom Gesetz betroffenen Strukturen. Die so entstehenden Schutzlücken gilt es zu evaluieren und – möglicherweise durch Sondervorschriften – zu schließen [10].

Der strukturelle Ausbau informationstechnischer Systeme im Gesundheitssektor und der Einsatz von Instrumenten der Selbstvermessung stellen schließlich auch die ärztliche Schweigepflicht als Grundprinzip staatlich gewährleisteter Gesundheitsversorgung in Frage [10, 27]. Das Gesundheitsdatenschutzrecht gründet auf der Annahme, dass überwiegend zur Verschwiegenheit verpflichtetes Personal (Berufsgeheimnisträgerinnen und -träger) mit Gesundheitsdaten in Berührung kommt. Abgesichert wird dieses Prinzip durch das standesrechtliche Patientengeheimnis, das Sozialgeheimnis (§ 35 SGB I) sowie durch strafrechtliche Sanktionen (§ 203 Abs. 1 StGB). Aktuelle Trends wie die Entwicklung von mHealth-Applikationen weisen bereits im Ansatz auf eine Gesundheitsversorgung ohne ein entsprechendes Sicherungsniveau.

3.2 Technischer Datenschutz als Lösung?

Maßnahmen des technischen Datenschutzes zielen auf die „vorgreifende“ Sicherstellung des Gesundheitsdatenschutzes und betreffen bereits die Phase der Entwicklung technischer Innovationen. Die Ziele des Datenschutzes – insbesondere Datenvermeidung und -sparsamkeit, Integrität, Vertraulichkeit, Transparenz – werden im Verfahren technischen Datenschutzes sektoren spezifisch hinsichtlich ihrer Bedeutung und Wirkung für den betroffenen Personenkreis sowie ihres Einsatzes priorisiert, bestimmen die Ausrichtung technischer Entwicklung und geben konkrete Vorkehrungen vor. Klassische Instrumente des technischen Datenschutzes (insbesondere in Entwicklungsansätzen des *Privacy by Design*) sind Verschlüsselungstechniken der Anonymisierung, der Pseudonymisierung sowie die Einrichtung und Verwendung sicherer Netzwerke und abgesicherter Übermittlungswege [24]. Technischer Datenschutz ist am datenschutzrechtlichen Leitmotiv der Einwilligung auszurichten und muss daher auch technische Möglichkeiten zum (temporären) Widerruf der Einwilligung finden. Die europäische Datenschutz-Grundverordnung gibt in Art. 25 das Ziel der Datenminimierung durch Technikgestaltung und durch datenschutzfreundliche Voreinstellungen explizit vor.

Technischer Datenschutz lässt sich rechtlich besonders vielversprechend im Rahmen technikneutraler Regulierung abbilden. Der Ansatz technikneutraler Regulierung bemüht sich, rechtliche Vorgaben bereits in den technischen Entwicklungsprozess zu integrieren, dabei aber in Ansehung einer Vielzahl technischer Möglichkeiten nicht auf eine konkrete Technik fixiert zu sein. Technikneutralität bedeutet dabei nicht aus sich heraus Innovationsoffenheit, kann häufig sogar den gegenteiligen Effekt erzeugen [19], lässt sich aber jedenfalls für die grundlegenden Maßnahmen technischen Datenschutzes fruchtbar machen.

4 Produktsicherheit

Zu den grundlegenden Zielen der Regulierung von Technik gehören neben der Förderung von Innovationen der Schutz vor Risiken und die Gewährleistung von Sicherheit. Die Sicherheit von Produkten wird durch das Konzept zivilrechtlicher Haftung, das öffentliche Gefahrenabwehrrecht und strafrechtliche Sanktionen sichergestellt. Die Gewährleistung von Produktsicherheit knüpft dabei an die physische Beschaffenheit von Produkten an [13]. Aus der konkreten Beschaffenheit in Kombination mit dem Einsatzgebiet eines Produkts können sich spezifische Anforderungen aus spezialgesetzlichen Vorschriften ergeben (z.B. an Medizinprodukte, Bauprodukte, Bedarfsgegenstände). Aufgrund der beschleunigten Technikentwicklung lässt sich Sicherheit häufig nur indirekt, z.B. über das Haftungsrecht, anstreben [8]. Das Bedürfnis nach staatlicher Sicherheitsfürsorge hat aber auch umfassende Regelungen hervorgebracht, die

der unmittelbaren Gewährleistung von Sicherheit dienen sollen oder vorgelagerte Systeme wie solche des Qualitätsmanagements mit dem Ziel der Haftungsvermeidung bilden. Für technische Entwicklungen, die im Gesundheitsbereich eingesetzt werden, sind die medizinproduktrechtlichen Regelungen (insb. MPG, MPKPV und die Auslegungshilfen in Leitlinien und Handbüchern der Europäischen Kommission) maßgebend. Daneben kommt technischen Normen (z.B. DIN-Normen) trotz fehlender rechtlicher Verbindlichkeit eine bedeutende Rolle zu. Mit der innovativen Fortentwicklung von Medizinprodukten treten zwei Problemkreise in den Vordergrund: Erstens kommt Technik zum Einsatz, die neue medizinische Beratungs- und Behandlungsmaßnahmen ermöglicht, sich dabei aber neben dem klassischen Gesundheitssektor (Arzt-Patient-Beziehung, Face to Face) entwickelt. Hierzu zählen insbesondere digitale Angebote wie E- und mHealth-Anwendungen. Letztere entziehen sich den medizinproduktrechtlichen Standards, wenn sie ausschließlich Lifestyle- und Wellness-Zwecken dienen [20]. Dieser Umstand macht eine Konkretisierung des medizinischen Einsatzes bzw. des „Medizinprodukts“ erforderlich. Diese Notwendigkeit einer rechtlichen Abgrenzung hat auch die Europäische Kommission in ihrem Grünbuch über Mobile-Health-Dienste betont [4]. Zweitens gewinnt mit der Digitalisierung von technischen Entwicklungen das Datenschutzrecht an Bedeutung und verleiht dem Produktsicherheitsrecht eine neue Dimension, denn dieses muss in sein Konzept von „Sicherheit“ zunehmend Aspekte der Datensicherheit aufnehmen.

5 Qualitätssicherung

Die Sicherung von Qualität ist erklärtes Ziel einer Vielzahl gesundheitsrechtlicher Normen (siehe nur die Abschnittsüberschrift vor §§ 135-139d SGB V: „Sicherung der Qualität der Leistungserbringung“, oder im ärztlichen Standesrecht § 5 MBO-Ä: „Ärztinnen und Ärzte sind verpflichtet, an den von der Ärztekammer eingeführten Maßnahmen zur Sicherung der Qualität der ärztlichen Tätigkeit teilzunehmen [...]\“). Sie gestalten das dem Grundrecht auf Gesundheitsschutz innenwöhnende Recht auf Qualität medizinischer Versorgung und die damit verbundene staatliche Gewährleistungspflicht aus, die auch Regelungen zur Qualitätssicherung erfordert [14, 26]. Damit ist aber weder etwas darüber bekannt, wie ein solches grundrechtlich verankertes Qualitätssicherungsprinzip im Gesundheitssektor aussehen könnte, noch welche Auskleidung es im Spannungsfeld von technischer Innovation und Gesundheitsdatenschutz erfährt.

Zwei grundlegende Aspekte sind für jede Qualitätssicherung erforderlich: die Qualitätsermittlung und die Wahl passender Sicherungsmittel. Die Qualitätsermittlung erfordert eine sektorenpezifische Bestimmung qualitativer Anforderungen, die ggf. in eine jedenfalls temporäre (wenn Qualitätssicherung als auf stetige Verbesserung gerichtet und damit in einem dynamischen Sinn verstanden wird) und bereichsspezifische Standardbildung münden kann. Die zur Verfügung stehenden Sicherungsmittel können wiederum vorausschauend, begleitend oder evaluierend eingesetzt werden, z.B. in Form von Risikobewertungen, prospektiven Einschätzungen, Zertifizierungen, Qualitätsprüfungen oder gar Sanktionen.

Der Qualitätsbegriff bezieht sich in seiner Verwendung im Gesundheitsrecht stets auf das „Wie“ der zu erbringenden Leistung [18], ist dabei – wie das Beispiel der MBO-Ä zeigt – nicht auf Produkte beschränkt, sondern erfasst auch Dienstleistungen, und er nimmt Strukturen und Prozesse der Leistungserbringung in den Blick [17]. Die Frage des gebotenen Qualitätsniveaus im Gesundheitsbereich wird durch die grundrechtlich verankerten Prinzipien der Gewährleistung der Gesundheitsversorgung, das Recht auf körperliche Unversehrtheit, das Recht auf in-

formationelle Selbstbestimmung über Sozial- und Gesundheitsdaten usw. gerahmt und einfach gesetzlich weiter bestimmt, z.B. in § 135a Abs. 1 S. 2 SGB V („Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse“) [21]. Während im medizinischen Bereich diese Prinzipien auf die Fortentwicklung und Verbesserung der Gesundheitsvorsorge ausgerichtet sind, kommt etwa im Bereich der Pflege der Verbesserung der Lebensqualität Bedeutung zu [9]. Das Recht auf informationelle Selbstbestimmung und die Vertraulichkeit informationstechnischer Systeme prägt besonders die Qualitätsanforderungen, die an E-Health-Instrumente und IuK-Technologien gestellt werden, und wird zum wichtigen Parameter der Qualitätssicherung. Datenschutz und Qualitätssicherung geraten beim Gesundheitsschutz bisweilen aber auch in einen Konflikt, wenn die auf Gesundheit und Verbesserung der Lebensqualität bezogene Qualitätssicherung – insbesondere die Sicherungsmittel – Informationen erfordert, die dem Datenschutz unterfallen, und diesen zurücktreten lässt [18]. Dieses Phänomen ist angesichts der ausdifferenzierten Gesetzeslage zum Datenschutz und der kurorischen Rechtslage zur Qualitätssicherung bemerkenswert, lässt sich aber im Wege der Abwägung auflösen, wenn eine wie hier beschriebene grundrechtlich geschützte Qualitätssicherungspflicht für den Gesundheitssektor angenommen wird.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz neuer Technologien und die fortschreitende Digitalisierung im Gesundheitsbereich fordern sowohl Recht als auch Technik. Bei der Entwicklung von Technologien sollten datenschutzrechtliche Grundsätze der Datenvermeidung und Datensparsamkeit, aber auch der Vertraulichkeit und Transparenz frühzeitig beachtet werden, indem die für die Technik erforderliche Datenerhebung und -nutzung ermittelt und weiterer Dateneinsatz vermieden werden. Das Produktsicherheitsrecht hält für einige Produkte (z.B. Medizinprodukte) spezialgesetzliche Regelungen bereit, die sich nach Beschaffenheit und Einsatzgebiet des Produkts richten und bereits zu Beginn eines Entwicklungsprozesses identifiziert werden sollten. Schwieriger gestalten sich Empfehlungen zur Qualitätssicherung, sofern (noch) keine einschlägigen rechtlichen Vorgaben existieren. Die Qualitätsstandardbildung ist durch ihre dynamische Fortentwicklung gekennzeichnet und der „Stand wissenschaftlicher Erkenntnisse“ wird durch technische Entwicklungsprozesse mitgestaltet. Die Minimalanforderungen an Qualität steigen mit diesen Entwicklungen. Das legt die Empfehlung nahe, sich bei der Technikentwicklung an bestmöglicher Qualität zu versuchen, die in aller Regel aber durch ökonomische Erwägungen nach unten korrigiert wird.

Die Regulierung technischer Unterstützung bedarf einer Untersuchung des Anwendungsbereichs und des von der Nutzung berührten Personenkreises sowie die Anpassung an unterschiedliche Maßnahmen und Instrumente. Diese gilt es anhand ihrer Herausforderungen für das Recht, z.B. im Sinne eines technikneutralen Regulierungsansatzes, zu systematisieren. Eine herausragende Rolle kommt dem Datenschutz zu, der auch die rechtlichen, sich überlappenden Konzepte von Produktsicherheit und Qualitätssicherung prägt und verändert. Datenschutz hat sich zur „Materie des europäischen und internationalen Rechts“ entwickelt. Alle auf Datenschutz ziellenden Reformvorhaben müssen deshalb die rechtlichen Herausforderungen im Mehrebenensystem denken [11], wobei auch die nationale Ebene mit Kompetenzfragen und Verflechtungen auf gesetzlicher und untergesetzlicher Ebene, einschließlich des berufsbezogenen Standesrechts, aufwartet. Aus dem Blickwinkel der Innovationsförderung durch Recht stellen sich zudem Fragen der zeitlichen Dimension von Innovationsregulierung, die bislang un-

terbelichtet bleiben: Nicht nur die technische Entwicklung verläuft exponentiell, auch die Technikregulierung zeichnet sich durch inkrementelle Entwicklung aus, bei der zeitlich nachfolgende Regulierung von vorgelagerten Entwicklungsschritten und vorangegangener Wissensgenerierung anderer Akteurinnen und Akteure profitiert. Dieser Lernprozess wird bislang rechtlich kaum abgebildet oder (prozess-)regulatorisch begleitet.

7 Literatur

- [1] E.-M. Becker, D. Schwab: Big Data im Gesundheitswesen – Datenschutzrechtliche Zulässigkeit und Lösungsansätze. In: Zeitschrift für Datenschutz, S. 151-155, 2015.
- [2] D. Bieresborn: Teil IX – Datenschutz im Gesundheitssektor, Hrsg.: N. Forgó, M. Helfrich, J. Schneider: Betrieblicher Datenschutz – Rechtshandbuch, S. 761-817, 2014.
- [3] A. Bora: Innovationsregulierung als Wissensregulierung, Hrsg.: M. Eifert, W. Hoffmann-Riem: Innovationsfördernde Regulierung, Innovation und Recht II, S. 23-43, 2009.
- [4] Europäische Kommission, Grünbuch über Mobile-Health-Dienste (“mHealth”), 10.04.2014, COM(2014) 219 final, abrufbar unter: <http://ec.europa.eu/transparency/reg-doc/rep/1/2014/DE/1-2014-219-DE-F1-1.Pdf> (Abrufdatum: 15.08.2016).
- [5] U. M. Gassner: MedTech meets M-Health. In: Zeitschrift für das gesamte Medizinproduktorecht, S. 73-82, 2015.
- [6] P. Gola, C. Klug, B. Körffer: Kommentierung § 3 BDSG, Hrsg.: P. Gola, R. Schomerus: Bundesdatenschutzgesetz, 12. Aufl., 2015.
- [7] P. Gola, C. Klug, B. Körffer: Kommentierung § 4a BDSG, Hrsg.: P. Gola, R. Schomerus: Bundesdatenschutzgesetz, 12. Aufl., 2015.
- [8] J. Halfmann: Technikrecht aus Sicht der Soziologie, Hrsg.: M. Schulte, R. Schröder: Handbuch des Technikrechts, 2. Aufl., S. 93-107, 2011.
- [9] G. Igl: Kriterien und Strukturen der Qualitätssicherung in der Kranken- und Pflegeversicherung: Gesetzliche Vorgaben und Ausgestaltung, Hrsg.: C. Rolfs: Qualitätssicherung im Sozialrecht. Bundestagung des Deutschen Sozialrechtsverbandes e.V., 13./14. Oktober 2011 in Erfurt, S. 81-115, 2012.
- [10] S. Jandt, C. Hohmann: Fitness- und Gesundheits-Apps – Neues Schutzkonzept für Gesundheitsdaten? In: Zeitschrift für Kommunikation und Recht, S. 694-700, 2015.
- [11] T. Kingreen, J. Kühling: Weniger Schutz durch mehr Recht: Der überspannte Parlamentsvorbehalt im Datenschutzrecht – Eine Problematisierung am Beispiel des Gesundheitsdatenschutzrechts. In: Juristenzeitung, S. 213-221, 2015.
- [12] J. Kühling, M. Klar: Datenschutz bei E-Health – Zeit für grundlegende Reformen. In: Zeitschrift für Datenschutz und Datensicherheit, S. 791-795, 2013.
- [13] S. Müller: Produktionsmanagement und Recht, Hrsg.: J. Ensthaler, D. Gesmann-Nuissl, S. Müller: Technikrecht: Rechtliche Grundlagen des Technologiemanagements, S. 13-115, 2012.
- [14] R. Pitschas: Innovative Versorgungsstrukturen im Lichte der Grundrechte und verfassungsrechtlichen Kompetenznormen. In: Zeitschrift für Medizinrecht, S. 154-161, 2015.
- [15] C. Regnery: Datenschutzrechtliche Fragen beim Ambient Assisted Living. In: Tagungsband Herbstakademie, IT und Internet – mit Recht gestalten, S. 579-596, 2012.
- [16] A. Rehmann, D. Heimholt: Rechtliche Aspekte von Health-Apps. In: Zeitschrift für Arzneimittelrecht und Arzneimittelpolitik, S. 250-256, 2014.

- [17] F. Reimer: Qualitätssicherung als Verwaltungsaufgabe, Hrsg.: C. Rolfs: Qualitätssicherung im Sozialrecht. Bundestagung des Deutschen Sozialrechtsverbandes e.V., 13./14. Oktober 2011 in Erfurt, S. 9-29, 2012.
- [18] F. Reimer: Qualitätssicherung: Grundlagen eines Dienstleistungsverwaltungsrechts, 2010.
- [19] A. Roßnagel: „Technikneutrale“ Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen, Hrsg.: M. Eifert, W. Hoffmann-Riem: Innovationsfördernde Regulierung, Innovation und Recht II, S. 323-337, 2009.
- [20] K. Rübsamen: Rechtliche Rahmenbedingungen für mobileHealth. In: Zeitschrift für Medizinrecht, S. 485-491, 2015.
- [21] M. Schuler-Harms: Kommentierung § 135a SGB V, Hrsg.: J. Berchtold, S. Huster, M. Rehborn: Gesundheitsrecht: SGB V, SGB XI, 1. Aufl., 2015.
- [22] S. Simitis: Kommentierung § 3 BDSG, Hrsg.: S. Simitis: Bundesdatenschutzgesetz, 8. Aufl., 2014.
- [23] S. Theißen: Risiken informations- und kommunikationstechnischer (ITK-)Implantate im Hinblick auf Datenschutz und Datensicherheit, 2009.
- [24] C.-D. Ulmer: Datenverarbeitung und Datenschutz im Gesundheitswesen – technische Möglichkeiten und rechtliche Grundlagen. In: Rechtsdepesche für das Gesundheitswesen, S. 272-278, 2012.
- [25] Unabhängiges Landeszentrum für Datenschutz Schleswig-Holstein, Vorstudie – Juristische Fragen im Bereich altersgerechter Assistenzsysteme, abrufbar unter: <https://www.datenschutzzentrum.de/aal/2011-ULD-juristischeFragenAltersgerechteAssistenzsysteme.pdf> (Abrufdatum: 17.08.2016), 2010.
- [26] A. Wallrabenstein: Verfassungsrechtliche Vorgaben für die Regelung der Qualitätssicherung, Hrsg.: C. Rolfs: Qualitätssicherung im Sozialrecht. Bundestagung des Deutschen Sozialrechtsverbandes e.V., 13./14. Oktober 2011 in Erfurt, S. 157-173, 2012.
- [27] T. Weichert: Big Data, Gesundheit und der Datenschutz. In: Zeitschrift für Datenschutz und Datensicherheit, S. 831-838, 2014.

Beschreibung bestehender Sicherheitsnormen und fachspezifischer Erkenntnisse bei der Entwicklung von Exoskeletten

K. Polunin¹, M. Klöckner², B. Kuhlenkötter², C. Plegge³

¹RIF e.V., Abteilung Produktionsautomatisierung
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20, 44227 Dortmund
Konstantin.Polunin@rif-ev.de

²Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme
Universitätsstr. 150, 44801 Bochum
Kloeckner@lps.rub.de, Kuhlenkoetter@lps.rub.de

³Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE
Fraunhoferstraße 20, 53343 Wachtberg
Christian.Plegge@fkie.fraunhofer.de

Kurzzusammenfassung

In Anlehnung an die verfügbaren Normen und Richtlinien beschreibt der Beitrag die durchzuführenden Arbeiten zur Entwicklung und Markteinführung von Exoskeletten. Dazu werden Exoskelette in eine Klasse von Assistenzrobotern eingruppiert und die relevanten Normen und Richtlinien identifiziert. Zudem erfolgt die theoretische Erläuterung des Zertifizierungsprozesses, welcher durch die beispielhafte Durchführung für die Markteinführung eines Exoskeletts vervollständigt wird. Allerdings sind Normen nur als Anhaltspunkte anzusehen, die bei der Markteinführung helfen. Wesentlich sind hingegen die gesetzlich geltenden Bestimmungen. Somit muss der Hersteller bei der Entwicklung und dem Inverkehrbringen eines Produktes eigenverantwortlich darlegen, dass seine Produkte sicher sind. Letztlich ist das Ergebnis der zuständigen Prüfstelle entscheidend.

Abstract

“Description of existing safety standards and scientific findings in the development of exoskeletons”

Following available standards and guidelines, this paper describes the work needed to develop and launch exoskeletons. It classifies exoskeletons into a group of assistance robots and, at the same time, identifies necessary standards and guidelines. The certification process is theoretically described. On this theoretical basis, this article exemplarily demonstrates the complete process of the launch of an exoskeleton. However, standards are only a help for the launch while the statutory provisions are essential. The manufacturer of a product needs to demonstrate his own responsibility guaranteeing that his products are safe. In the end, the result of the inspection authority is crucial before a product can be placed on the market.

Keywords: Exoskeleton, certification, assistive robotics, man-machine-cooperation, standardization

1 Einleitung

Das Themenfeld der industriellen Robotik begann in den frühen 1960er Jahren mit dem erstmaligen Einsatz eines Industrieroboters (UNIMATE) bei dem amerikanischen Automobilhersteller General Motors [1]. Im Laufe der Zeit wurden immer mehr roboterbasierte Fertigungslösungen industriell eingesetzt und es konnte nachgewiesen werden, dass durch den Einsatz von frei programmierbaren Handhabungsvorrichtungen die Wirtschaftlichkeit des Herstellungsprozesses gesteigert werden konnte. Im Zuge der steigenden Anzahl von roboterbasierten Fertigungssystemen wurde der Bedarf an Standards und Normen vor allem in Bezug auf die einzuhaltenden Sicherheitsanforderungen immer größer und so erfolgten Mitte der 1980er Jahre erste Standardisierungsverfahren für Industrieroboter, die bis zum heutigen Tage durch weitere Normen und Standards erweitert bzw. ergänzt wurden. So stellt die ISO 10218-1 [2] und die ISO 10218-2 [3] dem Entwickler sowohl Anforderungen und Richtlinien für eine inhärent sichere Konstruktion als auch entsprechende Schutzmaßnahmen und allgemeine Informationen für den Einsatz von Industrierobotern zur Verfügung.

Durch den demografischen Wandel in den westlichen Industrienationen gewinnen persönliche Assistenzroboter immer mehr an Bedeutung. Speziell in der Industrie können Mitarbeiter durch die Nutzung von Assistenzrobotern soweit entlastet werden, dass sie in der Lage sind ihrer wandelnden Leistung entsprechend ihre Tätigkeiten über ihr gesamtes Arbeitsleben hinweg auszuüben. Einen entscheidenden Anteil haben hier bewegungsunterstützende Roboter, sogenannte Exoskelette, die am Körper des jeweiligen Benutzers befestigt sind und durch angetriebene Achsen die physischen Fähigkeiten des Menschen ergänzen und verbessern. Aufgrund des intensiven Kontaktes mit dem Benutzer weisen Exoskelette allerdings auch ein hohes Risikopotenzial hinsichtlich Personenschäden auf, wodurch Entwickler vor enorm hohe Anforderungen, im Bereich der Sicherheit bei der Realisierung solcher Systeme, gestellt werden. Analog zu der ISO 10218-1/2 wurde daher die EN ISO 13482:2014 verfasst, die Sicherheitsanforderungen für persönliche Assistenzroboter inklusive der Exoskelette, formuliert [4]. Der Beitrag beschreibt, wie die Forderungen der EN ISO 13482 umgesetzt und weitere relevante, bestehende Sicherheitsnormen für roboterbasierte Applikationen bei der Entwicklung, dem Inverkehrbringen und der Zertifizierung von Exoskeletten berücksichtigt werden können.

2 Externe Rahmenbedingungen und Zulassungskriterien für Exoskelette

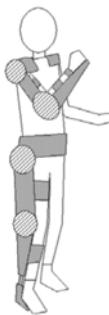
Bevor es möglich ist auf die externen Rahmenbedingungen und Zulassungskriterien für Exoskelette einzugehen, wird der Begriff des Exoskeletts zunächst definiert. Dadurch können Exoskelette von anderen Arten der Assistenzrobotik abgegrenzt werden. Des Weiteren ist es dadurch möglich, die bestehenden Normen und Richtlinien, die für die Entwicklung und das Inverkehrbringen von Exoskeletten genutzt werden können, zu identifizieren. Dadurch kann zudem der entsprechend durchzuführende Zertifizierungsprozess bestimmt werden.

2.1 Definition Exoskelett

In der internationalen Norm ISO 13482 werden die Anforderungen und Richtlinien für eine inhärent sichere Konstruktion, die Schutzmaßnahmen und die Benutzerinformation bei der Nutzung von persönlichen Assistenzrobotern beschrieben. Hierzu werden die persönlichen Assistenzroboter nach ISO 13482 in folgende drei Kategorien unterteilt [4]:

- mobiler Roboterassistent,
- Personenbeförderungsroboter und
- Bewegungsunterstützende Roboter.

Die dritte Gruppe der persönlichen Assistenzroboter umfasst alle tragbaren Roboter, wie z. B. Exoskelette, die am Körper des jeweiligen Benutzers befestigt sind. Darüber hinaus gehören Mobilitätshilfen, wie roboterbasierte Gehhilfen oder auch Stützvorrichtungen zum Stehen, zur Klasse der bewegungsunterstützenden Roboter. Diese sollen die physischen Fähigkeiten des Menschen ergänzen und verbessern. Die physische Unterstützung kann sowohl an einzelnen Gelenken aber auch an den gesamten Extremitäten erfolgen. Es existiert eine Vielzahl von Möglichkeiten, um bei der Durchführung von alltäglichen menschlichen Bewegungen, wie dem Gehen oder bei körperlich anstrengenden Aufgaben, wie schwerem Heben, unterstützend zur Seite zu stehen. Ziel ist es, unterstützende Robotertechnologien zu entwickeln, um die steigenden Bedürfnisse der Menschen zu erfüllen und die Lebensqualität zu Hause oder im Arbeitsumfeld zu verbessern. Die Klassen der bewegungsunterstützenden Roboter sind hierbei nach ISO 13482 wie folgt unterteilt: Vorrichtungen zur Unterstützung der Beinbewegungen; Vorrichtungen zum Tragen des Körpergewichts; Tragbare Roboter in Form eines Exoskeletts; Tragbare Roboter; Nicht am Körper fixierte Assistenzroboter. Abbildung 2.1 zeigt die Definition eines Exoskeletts nach ISO 13482 sowie eine auf dem Markt erhältliche Variante, den HAL von Cyberdyne.



Exoskelett nach ISO 13482



HAL - Cyberdyne

Abbildung 2.1: Exoskelette [4, 5]

2.2 Normen und Richtlinien für Exoskelette

Wie bei allen Produkten üblich, wird auch bei dem Inverkehrbringen bzw. der Zertifizierung von Exoskeletten auf bestehende Normen und Richtlinien zurückgegriffen. Die Normen und Richtlinien, die im Rahmen dieser Thematik von Bedeutung sind, werden in Tabelle 2.1 zusammengefasst. Aufgrund ihrer Relevanz für das Entwickeln und Inverkehrbringen eines Exoskeletts, wird zudem die EN ISO 13482:2014 kurz hinsichtlich ihres Inhaltes erläutert.

Generell gilt, dass die genannten Normen nur als Anhaltspunkte zu verstehen sind. Maßgeblich sind die gesetzlichen Bestimmungen, welche jedoch leider nur sehr unkonkret formuliert sind. Zudem handelt der Hersteller bei der Entwicklung und dem Inverkehrbringen der Produkte eigenverantwortlich und muss darlegen, dass seine Produkte sicher sind. Allerdings ist das Vorgehen dazu nicht im Detail festgelegt. Entscheidend ist hierbei das Ergebnis der zuständigen Prüfstelle. Ein weiterer wichtiger Aspekt in diesem Kontext ist, dass Materialien oder Bauteile, die bereits in Produkten mit Zulassung verwendet werden, nicht erneut hinsichtlich ihrer Verträglichkeit geprüft werden müssen, jedoch im Kontext neu zugelassen werden.

Tabelle 2.1: Übersicht relevanter Normen und Richtlinien für die Exoskelettentwicklung

Norm/Richtlinie	Titel
ISO/TS 15066	Entwicklung der technischen Spezifikation ISO/TS 15066 zur Festlegung von Kraftgrenzen bei Mensch-Roboter-Kollaboration
ISO 13854	Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen
EN ISO 13857	Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen
DIN EN ISO 12100	Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
DIN EN ISO 12100 Berichtigung 1	Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
EN ISO 13482:2014	Roboter und Robotikgeräte – Sicherheitsanforderungen für persönliche Assistenzroboter
DIN EN ISO 13849-1	Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze
DIN EN ISO 13849-2	Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Validierung
DIN EN ISO 13850	Sicherheit von Maschinen – Not-Halt – Gestaltungsleitsätze
DIN EN ISO 13855	Sicherheit von Maschinen – Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen
DIN EN ISO 22523:2007-04	Externe Gliedmaßenprothesen und externe Orthesen - Anforderungen und Prüfverfahren
2006/42/EG	Maschinenrichtlinie
RoHS-Richtlinie (2002/95/EG)	Beschränkt Verwendung von gefährlichen Stoffen in elektrischen und elektronischen Geräten
WEEE-Richtlinie (2002/96/EG)	EU-Richtlinie zur Verringerung von Elektro- und Elektronikschrott
(99/5/EWG)	EU-Richtlinie zu Funkanlagen und Telekommunikationseinrichtungen

Norm: EN ISO 13482:2014

Titel: Roboter und Robotikgeräte – Sicherheitsanforderungen für persönliche Assistenzroboter
Inhalt: Diese Norm wurde unter Berücksichtigung der speziellen Gefahren erarbeitet, die mit dem Einsatz von Robotern und Robotikgeräten in neuen Anwendungsbereichen außerhalb der industriellen Umgebung und des Produktionsbereichs verbunden sind. Diese Norm konzentriert sich auf Sicherheitsanforderungen für die Anwendung nicht-medizinischer Haushalts- und Assistenzroboter. Es wird eine Klassifizierung von bewegungsunterstützenden Robotern und eine Zuweisung von auszuführenden funktionalen Aufgaben je Klasse vorgenommen. Des Weiteren werden Betriebsräume eines bewegungsunterstützenden Roboters, bei dem die Bewegungsrichtung mit berücksichtigt wird, beispielhaft dargestellt. In Kombination mit den tabellarisch zusammengefassten „Gefährdungen durch den persönlichen Assistenzroboter“ (Anhang A) lässt

sich anhand dieser Norm eine Klassifizierung und sicherheitsgerechte Betrachtung eines Exoskelettes – unter Berücksichtigung des durch den Einsatz entstehenden spezifischen Arbeitsraumes – durchführen. Dabei sollte beachtet werden, dass diese Norm **nicht für den militärischen Einsatz** gilt. Sollte der spätere Verwendungszweck im militärischen Umfeld liegen, so kann der Inhalt dieser Norm lediglich als Orientierungshilfe bei der Ausarbeitung von notwendigen Sicherheitsanforderungen von Exoskeletten im militärischen Einsatz gesehen werden.

2.3 Anwendung bestehender Normen bei der Entwicklung eines Exoskeletts

Während des Entwicklungsprozesses eines Roboters ist ein Roboterhersteller durch den Gesetzgeber im Rahmen der Maschinenrichtlinie dazu verpflichtet eine Risikobeurteilung durchzuführen. Werden Risiken identifiziert, muss der Hersteller Vorkehrungen treffen, um eine Risikominderung zu erreichen, so dass bei der Verwendung des Robotersystems nur noch vertretbare Restrisiken bestehen.

Im Folgenden werden die Schritte einer *Risikobeurteilung* vor dem Hintergrund einer Exoskelettentwicklung dargestellt und auf relevante Normen verwiesen.

Risikobeurteilung

In der Norm ISO 12100 ist die grundsätzliche Durchführung einer Risikobeurteilung beschrieben, welche sich aus einer *Risikoanalyse* und einer darauffolgenden *Risikobewertung* zusammensetzt. Die einzelnen Schritte nach ISO 12100 sind nachfolgend in Abbildung 2.2 skizziert. Bei der Risikobeurteilung ist die Art der Anwendung, der Verwendungszweck und der vorgesehene Anwender des Produktes ausschlaggebend für die Bewertung. Diese Faktoren entscheiden darüber, ob ein existierendes Risiko als akzeptabel eingestuft werden kann.

Bei der Durchführung einer Risikobeurteilung für ein Exoskelett kann neben der ISO 12100 auch die ISO 13482 hinzugezogen werden. So können die darin beschriebenen, speziellen Anforderungen an ein persönliches Assistenzsystem auf das betrachtete Exoskelett angewendet werden, um zu beurteilen, inwiefern mögliche Gefährdungen auftreten können.

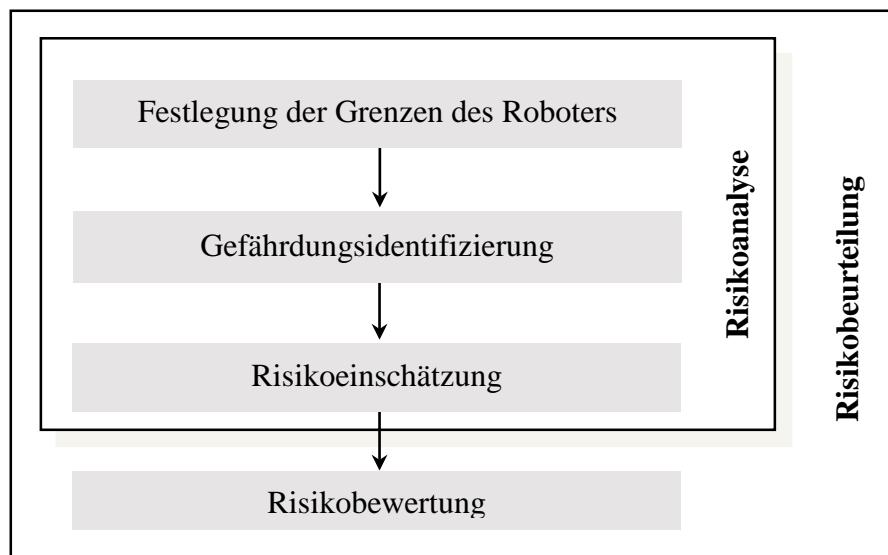


Abbildung 2.2: Risikobeurteilung und Risikoanalyse nach ISO 12100

Risikoanalyse

Zu Beginn einer Risikoanalyse wird festgelegt, welche zeitlichen und räumlichen Verwendungsgrenzen für das bewegungsunterstützende Robotersystem vorgesehen sind. So lassen sich mögliche Gefahrensituationen bei der Anwendung besser identifizieren und geeignete Gegenmaßnahmen ergreifen. Im nächsten Schritt werden durch die Gefährdungsidentifizierung sämtliche Gefährdungen bestimmt, die im Rahmen der Verwendung eines persönlichen Assistenzroboters vorkommen können. Eine Hilfestellung bei der Bestimmung von möglichen Gefährdungen bieten dabei die in der ISO 12100 aufgelisteten allgemeinen, potenziellen Gefährdungen beim Umgang mit Maschinen. Zusätzlich sollten die möglichen Gefährdungen bei persönlichen Assistenzrobotern, die im Anhang der ISO 13482 zusammengefasst sind, für eine spezifische Betrachtung der möglichen Gefahren hinzugezogen werden. Zu den typischen Gefährdungen zählen hierbei beispielsweise sowohl die Kollision zwischen Mensch und Roboter als auch die Stabilitätsprobleme des Robotersystems.[6]

Tabelle 2.2: Beispielhafte Gefährdungen durch den persönlichen Assistenzroboter [ISO 13482]

Gefährdungskategorie	Beispiel aus der Gefährdungsanalyse	
	Gefährdung	Mögliche Folge
Gefährdungen durch Laden der Batterie	Überladen der Batterie	Brand, Ausstoß schädlicher Dämpfe oder Stoffe
Gefährdungen durch Stress, Körperhaltung und Benutzung	Anstrengende Körperhaltung für die Bedienung des Roboters erforderlich	Muskel-Skelett-Erkrankungen
Gefährdungen durch die Roboterbewegung	Mechanische Instabilität (Umkippen, Fallen, zu starkes Neigen)	Quetschungen, Fangen, fallengelassene Lasten

In Tabelle 2.2 sind aus ISO 13482 beispielhaft einige Gefährdungen mit den dazugehörigen möglichen Folgen dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung der Gefährdungen kann der Norm ISO 13482 entnommen werden. Die Liste der signifikanten Gefährdungen dient als Leitfaden bei der Gefährdungsidentifizierung und soll vor allem unerfahrenen Anwendern der Sicherheitsnorm dabei helfen wichtige Gefahrenquellen nicht unberücksichtigt zu lassen [6].

Neben den Gefährdungen, welche nach außen hin auftreten, müssen auch die Gefährdungen für den Benutzer selber betrachtet werden. Besonders bei der Benutzung eines Exoskeletts spielen die Belastungsgrenzen des Menschen eine entscheidende Rolle. Hierzu sollte die Anatomie des menschlichen Körpers, im Hinblick auf die Beweglichkeit und die mögliche Belastbarkeit der einzelnen durch das Exoskelett unterstützten Gelenke, betrachtet werden.

Zusätzlich zu der Betrachtung der allgemeinen Gefährdungen muss der Sturz des Benutzers bei einem Exoskelett basierten Anwendungsszenario detailliert betrachtet werden, da dieser ein enormes Gefährdungspotential birgt. Hier kann Tabelle 2.3 gemäß AKIYAMA ET AL. als Orientierungshilfe herangezogen werden, da dort die potenziellen Gefahrenquellen aufgelistet sind, welche in direktem Zusammenhang zu einem Sturz des Benutzers stehen.

Tabelle 2.3: Risiken bei der Verwendung von bewegungsunterstützenden Robotern, welche in einem Sturz des Bedieners resultieren können [8]

Gefährdungskategorie	Gefährdung	Mögliche Folge
Gefährdungen im direkten Zusammenhang mit bewegungsunterstützenden Robotern	Beschränkung von Gelenkfähigkeitengraden	Gleichgewichtsverlust, da eine normale Bewegung nicht ausgeführt werden kann
	Abnahme der Bewegungsfähigkeit der Gelenke	Gleichgewichtsverlust, da eine normale Bewegung nicht ausgeführt werden kann
	Veränderung des Schwerpunkts und Trägheitsmoments	Gleichgewichtsverlust, da die veränderten mechanischen Eigenschaften für den Benutzer ungewohnt sind
	Zeitlicher Versatz der Assistenz	Gleichgewichtsverlust aufgrund von unerwarteten Kräften und Momenten, die auf den Benutzer einwirken
Umgebungsbedingte Gefährdungen	Kollisionen mit Hindernissen	Gleichgewichtsverlust aufgrund plötzlich einwirkender externer Kräfte
	Instabilität beim Stand	Gleichgewichtsverlust, da das Körpergewicht nicht mehr unterstützt werden kann

Mit Hilfe der Risikoanalyse wird es dem Roboterhersteller ermöglicht schwerwiegende Gefahrenpotentiale frühzeitig zu erkennen und diese bei der konstruktiven Umsetzung zu berücksichtigen.

Das letzte Element der Risikoanalyse bildet die Risikoeinschätzung der zuvor identifizierten Gefahrenpotenziale. Diese erfolgt durch den Hersteller basierend auf dem vorliegenden Anwendungsfall und den aus der Gefährdung resultierenden Folgen. Die Beschreibung der einzelnen Gefahren und deren potentiellen Auswirkungen auf den Anwender ist in diesem Fall die Basis für die Risikoeinschätzung. [6]

Risikominderung

Eine Risikominderung sollte durchgeführt werden, wenn ausgehend vom persönlichen Assistenzroboter Gefahren ermittelt werden, die ein Risiko für den Benutzer darstellen. Ziel ist es, alle identifizierten Risiken auf ein vertretbares Maß zu verringern. Der folgende Abschnitt beschreibt die notwendigen Schritte zur Risikominderung nach der Norm ISO 12100, die in ISO 13842 für persönliche Assistenzroboter zusammengefasst sind. Unter Berücksichtigung aller für eine bestimmte Anwendung identifizierten Gefährdungen muss ein persönlicher Assistenzroboter nach den Grundsätzen in der ISO 12100 unter den folgenden Gesichtspunkten konstruiert werden (siehe Abbildung 2.3):

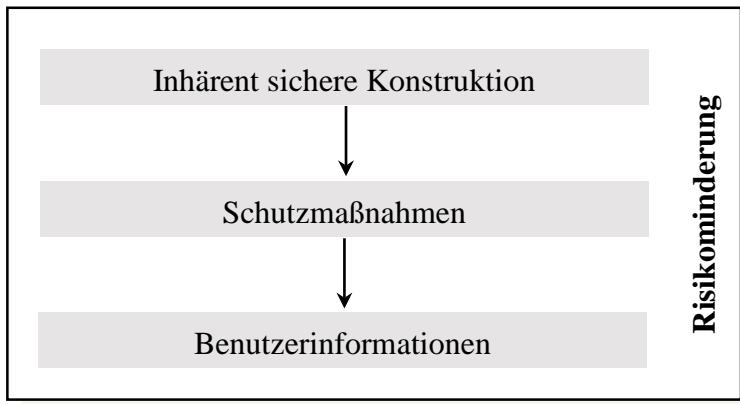


Abbildung 2.3: Risikominderung nach ISO 12100

Der erste und zugleich wichtigste Schritt bei der Risikominderung liegt in der Anwendung von Maßnahmen für eine *inhärent sichere Konstruktion*. Darunter fallen beispielsweise Änderungen der mechanischen Konstruktion, um die Stabilität des Robotersystems zu verbessern oder um scharfe Kanten am Roboter zu vermeiden [6]. Durch geeignete, konstruktive Maßnahmen können Risiken gemindert oder beseitigt werden, die auf dem wechselseitigen Zusammenwirken zwischen den gefährdeten Personen und dem Roboter beruhen. Sollte anwendungsbedingt die Vermeidung eines Kontaktes zwischen dem betrachteten Assistenzroboter und einem Menschen nicht möglich sein, so sollten Maßnahmen ergriffen werden, um die Kontaktkraft auf ein vertretbares Maß zu reduzieren. Als Richtwerte können hierbei die aufgelisteten Kraftgrenzen für unterschiedliche Körperregionen bei Mensch-Roboter-Kollaboration nach der Norm ISO/TS 15066 herangezogen werden.

Im zweiten Schritt der Risikominderung werden nach ISO 12100 zusätzliche *Schutzeinrichtungen* und/oder *Schutzmaßnahmen* entworfen. Diese dienen dazu, die Risiken infolge der dynamischen Wechselwirkung zwischen den sicherheitsrelevanten Hindernissen und dem persönlichen Assistenzroboter zu reduzieren. Als Beispiel können Sensoren zur Erfassung von Personen in unmittelbarer Umgebung, zusätzliche Not-Halt Vorrichtungen oder trennende Schutzeinrichtungen zum Robotersystem beziehungsweise dessen Arbeitsumgebung, hinzugefügt werden. Bei der Anordnung der zusätzlichen Sensorik sollten die notwendigen Mindestabstände zum Aktionsraum des Exoskeletts nach DIN EN ISO 13855 beachtet werden. Ähnliches gilt für die Ausführung der Not-Halt Vorrichtungen, die sich an den in der DIN EN ISO 13850 formulierten Gestaltungsleitsätzen orientieren sollten. Bei der Verwendung von trennenden Schutzeinrichtungen, wie Schutzzäunen, sind die notwendigen Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen nach EN ISO 13857 zu beachten.

Bei dem Einsatz von sicherheitsrelevanter Sensorik muss eine Anbindung an die Steuerung des Robotersystems erfolgen. Dabei sollten die verwendeten sicherheitsrelevanten Komponenten der Steuerung den Gestaltungsleitsätzen nach DIN EN ISO 13849-1 und einer Validierung nach DIN EN ISO 13849-2 genügen.

Zudem sollte eine Betrachtung des Arbeitsbereiches stattfinden in welcher geprüft wird, ob Mindestabstände zwischen starren und beweglichen Konturen, wie Wänden und Maschinenteilen, nach der ISO 13854 eingehalten werden, so dass eine Quetschung von Körperteilen vermieden werden kann.

Der letzte Schritt umfasst die *Erstellung einer Betriebsanleitung*, worin Informationen zu den verbliebenen Restrisiken enthalten sind, die trotz der inhärent sicheren Konstruktion und geeigneten Schutzmaßnahmen bestehen bleiben. Zur Validierung der Sicherheitsanforderungen werden in ISO 13842 verschiedene Verfahren vorgeschlagen:

- Sichtprüfung,
- Praktische Prüfungen,
- Messungen,
- Beobachtung während des Betriebs,
- Prüfung von Schaltplänen,
- Prüfung von Software,
- Überprüfung der aufgabenbasierten Risikobeurteilung sowie
- Prüfung der Auslegung und relevanter Dokumente.

Zusätzlich gilt es bei der Entwicklung die ROHS-Richtlinie zu beachten, um eine Gefährdung des Benutzers durch eine übermäßige Verwendung von gefährlichen Stoffen in den Komponenten des Exoskelettes zu vermeiden. Sofern die Funktion des Exoskelettes eine Datenübertragung über Funkwellen vorsieht, muss ebenfalls die 99/5/EWG-Richtlinie eingehalten werden, um einer negativen Beeinträchtigung des Benutzers und seiner Umgebung durch elektromagnetische Strahlung vorzubeugen.

3 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Bericht wurden die für eine Exoskelettentwicklung relevanten Normen und Richtlinien dargestellt. Bei einer darauffolgenden schematisch durchgeführten Risikoanalyse mit einer anschließenden Risikominderung wurde auf die relevante Normen und medizinische Erkenntnisse verwiesen und deren Inhalt in Bezug auf den Entwicklungsprozess eines Exoskelettes gesetzt. Das dargestellte Vorgehen kann somit als Orientierungshilfe bei der Entwicklung und Zertifizierung von Exoskeletten herangezogen werden und gewährt durch den normativen Charakter des Vorgehens den Verantwortlichen ein höheres Maß an Sicherheit bei konstruktiven Entscheidungen.

Über die sicherheitsrelevanten normativen Aspekte der Assistenzrobotik hinaus sollten jedoch auch Erkenntnisse anderer Fachdisziplinen, wie insbesondere der Ergonomie, berücksichtigt werden. So ist eine essentielle Bedingung für die Realisierung einer bewegungsunterstützenden Funktion zum Beispiel ein unmittelbarer Kontakt zwischen Benutzer und Roboter. Dabei kann es aufgrund von Werkstoffpaarungen oder in Folge von ungünstig gestalteten Auflageflächen zu Hautreaktionen und Druckstellen, die bis hin zur Beeinträchtigung des Blutflusses der betroffenen Körperregion führen können, kommen. Die beschriebenen Folgen müssen nicht unbedingt einen sicherheitsrelevanten Aspekt innehaben, beeinflussen aber maßgeblich den Komfort und damit auch die Akzeptanz seitens des Anwenders. Somit könnte durch eine ergonomische Betrachtung das Vermarktungspotenzial des Exoskelettes gesteigert werden. Anhaltspunkte dazu liefert die DIN EN ISO 22523:2007-04 in welcher Anforderungen hinsichtlich der ergonomischen Ausführung und der einzusetzenden Werkstoffe für Orthesen und Prothesen formuliert sind. Diese kann aufgrund der Ähnlichkeit der Anwendungsfälle auch für Exoskelette verwendet werden. In der Norm werden außerdem Prüfverfahren für Orthesen und Prothesen aufgeführt, die für eine Festigkeitsvalidierung tragender Exoskelettkomponenten gegebenenfalls herangezogen werden können.

4 Literatur

- [1] S. Hesse: Industrieroboterpraxis. Automatisierte Handhabung in der Fertigung. Braunschweig: Vieweg. ISBN 9783528068875, 1998.
- [2] DIN EN ISO 10218-1; 01/2012. Industrieroboter-Sicherheitsanforderungen-Teil 1: Roboter, 2012.
- [3] DIN EN ISO 10218-2; 06/2012. Industrieroboter-Sicherheitsanforderungen-Teil 2: Robotersysteme und Integration, 2012.
- [4] T. Jacobs, G. S. Virk: ISO 13482- The new safety standard for personal care robots. 45th International Symposium on Robotics (ISR 2014) and the 8th German Conference on Robotics (ROBOTIK 2014). S. 698-703, 2014
- [5] C. Plegge: Reisebericht Cyberdyne zu Besprechung v. 27.11.2015, 2015.
- [6] A. Benallal, R. Billardon, J. Lemaitre: Continuum damage mechanics and local approach to fracture: Numerical procedures. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 92, Elsevier Science Publishers, S. 141-155, 1991.
- [7] P. Hartley, F. R. Hall, J. M. Ciou, I. Pillinger: Elastic-plastic finite-element modeling of metal forming with damage evolution. Advanced Methods in Materials Processing Defects, Hrsg.: M. Predeleanu, P. Gilormini; Elsevier Science Publisher, S. 135-142, 1997.
- [8] Y. Akiyama, I. Higo, Y. Yamada, S. Okamoto: Analysis of recovery motion of human to prevent fall in response to abnormality with a physical assistant robot. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2014). S. 1493-1498, 2014.

MEESTAR²

Ein erweitertes Modell zur ethischen Evaluierung soziotechnischer Arrangements

K. Weber

Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST)
Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Regensburg, Galgenbergstraße 24,
93053 Regensburg
Karsten.Weber@oth-regensburg.de

Kurzzusammenfassung

MEESTAR (Modell zur ethischen Evaluierung soziotechnischer Arrangements) wurde 2012 im Auftrag des BMBF dazu entwickelt, Konfliktpotenziale des Einsatzes altersgerechter Assistenzsysteme in der Pflege und Gesundheitsversorgung alter und hochbetagter Menschen während des Entwicklungsprozesses oder bei der Implementierung offenzulegen, kommunizierbar werden zu lassen und somit ein diskursives Umfeld zu schaffen, in dem soziotechnische Lösungsansätze gefunden werden können. MEESTARs Potenzial ist allerdings größer, da dieses Werkzeug auch an neue soziotechnische Kontexte jenseits altersgerechter Assistenzsysteme angepasst werden kann. Die Struktur, Anwendung und Anpassungsmöglichkeiten MEESTARs werden im Folgenden vorgestellt und es wird aufgezeigt, dass mit einem angepassten Verfahren MEESTAR² bei sorgfältiger Gestaltung nicht nur Pflegetechnik, sondern Technik allgemein ethisch evaluiert werden kann.

Abstract

“MEESTAR² – An extended model for the ethical evaluation of socio-technological arrangements”

MEESTAR (Model for the ethical evaluation of socio-technical arrangements) has been developed in 2012 on behalf of the BMBF to disclose potential conflicts of using age-appropriate assistance systems in nursing and health care of elderly people. It shall help to identify and communicate those potential conflicts and thus to create a discursive environment in which socio-technical solutions might be found. MEESTARs potential however is larger since this tool can be adapted to new socio-technical contexts beyond age-appropriate assistance systems. The structure, application and customization options of MEESTAR are presented in the following text and it will be shown that after careful and well-reasoned design an adapted MEESTAR² could be employed to ethically evaluate technology in general.

Keywords: Ethische Evaluierung, partizipative Technikgestaltung, Ambient Assisted Living, Akzeptanzforschung, Ethik in der Lehre

1 Einleitung

„The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it. [...] We are therefore trying to conceive a new way of thinking about computers, one that takes into account the human world and allows the computers themselves to vanish into the background.“ [1] Als Mark Weiser diese

technische Vision des Computers für das 21. Jahrhundert in den frühen 1990er Jahren äußerte, waren die beiden meistverkauften Homecomputer, der *Sinclair ZX80/ZX81* und der *Commodore C64* etwa zehn Jahre auf dem Markt; Weisers Ideen, die schließlich unter Bezeichnungen wie *Ubiquitous Computing*, *Pervasive Computing* und *Ambient Intelligence* umgesetzt wurden, waren noch weit entfernt von einer Umsetzung in marktfähige Produkte. Allerdings wurde mit der Idee einer unsichtbaren und allen Lebensbereichen durchdringenden Computertechnik der Grundstein für *Smart Home*, *Ambient Assisted Living* oder *altersgerechte Assistenzsysteme* gelegt. Die Systeme, die so bezeichnet werden, sind schon aus technischer Sicht mit großen Herausforderungen verbunden, doch man kann mit guten Gründen argumentieren, dass langfristig die damit einhergehenden gesellschaftlichen Herausforderungen erstens deutlich größer und zweitens vermutlich weitaus schwieriger zu lösen sein werden.

Obwohl Weiser also eine Idee entwickelt hatte, die zu vielen Innovationen führte, fand eine systematische *öffentliche* Auseinandersetzung mit den *normativen* Fragen, die mit entsprechenden technischen Systemen einhergehen, bis vor gar nicht so langer Zeit nicht oder nur in geringem Maße statt. *Wissenschaftliche* Publikationen zu möglichen gesellschaftlichen Auswirkungen ubiquitärer und gleichzeitig nicht mehr als solche erkennbaren IuK-Technologie wurden und werden in der Regel nur innerhalb der Wissenschaft selbst rezipiert; darüber hinaus wurde meist ausschließlich auf die Auswirkungen ubiquitärer Technik in Bezug auf Datenschutz und Schutz der Privatsphäre fokussiert, doch sind dies nicht die einzigen Lebensbereiche, die durch den Einsatz entsprechender Technik betroffen sein werden. Allerdings haben normative Überlegungen bspw. im ISTAG-Report *Scenarios for Ambient Intelligence in 2010* [2] ebenso wie in vielen anderen politikberatenden Publikationen kaum Bedeutung erlangt: Der genannte Text enthält lediglich eine Seite, auf der „kritische sozio-politische Aspekte“ angerissen, jedoch nicht ausführlich thematisiert werden.

2 Demografischer Wandel, Pflegenotstand und technische Unterstützung

Seit einiger Zeit wird nun nicht nur in Deutschland in Reaktion auf den dramatischen demografischen Wandel diskutiert, den durch diesen Wandel entstehenden gesellschaftlichen Herausforderungen insbesondere im Bereich der Gesundheits- und Pflegeversorgung mithilfe technischer Unterstützungssysteme zu begegnen. Diese sollen zur Kostendämpfung im Gesundheits- und Pflegesystem beitragen, denn es ist zu befürchten, dass die wachsende Zahl alter und hochbetagter Menschen, die noch dazu häufig chronisch krank sind [3], im Zusammenspiel mit der gleichzeitigen Verringerung der Arbeitstätigen und damit Beitragsträger, langfristig zu erheblichen Finanzierungslücken in den sozialen Sicherungssystemen führen und zudem intergenerationale Gerechtigkeitsfragen aufwerfen könnte [4]; Unterstützungssysteme sollen dem Arbeitskräftemangel abhelfen, denn schon heute haben Gesundheits- und Pflegedienstleister erhebliche Schwierigkeiten, ihren Arbeitskräftebedarf zu decken; Technik soll den Beschäftigten im Gesundheits- und Pflegedienst ebenso wie den informell Pflegenden bei der Verrichtung belastender Tätigkeiten zumindest helfen, um zu verhindern, dass die Pflegetätigkeit selbst zur Verursachung schwerer Pflegefälle beiträgt; mithilfe von Technik soll die Pflege- und Gesundheitsversorgung auch in dünn besiedelten Regionen sichergestellt werden, da dort bereits heute die (personelle) Infrastruktur ausgedünnt ist [5]; insbesondere alten und hochbetagten Menschen, die pflege- und hilfsbedürftig sind, soll Technik ein selbstbestimmtes Leben in den ei-

genen vier Wänden ermöglichen und zur sozialen Teilhabe beitragen [6]; last but not least sollen entsprechende technische Systeme helfen neue Märkte zu öffnen und damit wohlstandsfördernd oder zumindest -sichernd wirken [7, 8].

Altersgerechte Assistenzsysteme (folgend mit *AAL* abgekürzt) als technische Unterstützung im Gesundheits- und Pflegebereich umfassen dabei bspw. Computerspiele, die die geistige Fitness und Leistungsfähigkeit insbesondere von alten und hochbetagten Menschen erhalten helfen sollen [9], Telemonitoring- und Telecare-Systeme zur Unterstützung der ärztlichen Versorgung vor allem in ländlichen Gebieten [10], Pflegeroboter wie die *Robbe Paro* [11] sowie hochgradig vernetzte Systeme ebenso wie Service- und Haushaltsroboter, die Menschen mit physischen und psychischen Handicaps ein selbstbestimmtes Leben in den eigenen vier Wänden ermöglichen sollen [12].

3 Ethische Evaluierung sozio-technischer Arrangements

Der Einsatz solcher technischen Systeme im häuslichen Umfeld wirft weitreichende soziale und normative Fragen auf, da die Technik von Menschen genutzt werden soll, die sich in der Regel in einer schwierigen Lebenssituation befinden und daher als besonders vulnerabel gelten müssen. Daher liegt es nahe, mögliche Auswirkungen solcher Systeme auf moralische Normen und Werte nicht nur und nicht erst vor deren Einsatz (oder gar danach), sondern bereits vor und während deren Entwicklung zu evaluieren.

Dazu gehört auch ein kritischer Blick auf deren Vermarktung: Betrachtet man Informationsmaterial zu AAL-Projekten, das auf Messen, bei Tagungen oder im Internet präsentiert wird, werden in aller Regel Senioren abgebildet, die sich offensichtlich in einem blendenden physischen wie psychischen Zustand befinden [13]. Es stimmt zwar, dass, verglichen mit früheren Generationen, die heute lebenden alten und hochbetagten Menschen in der Regel einen besseren gesundheitlichen Zustand aufweisen. Doch auch heute wird das Alter nicht nur von attraktiven Grauhaarigen definiert, sondern Alter(n) bedeutet oftmals Krankheit, Gebrechlichkeit, Leid und vollständige Angewiesenheit auf die Hilfe anderer Menschen – alte und hochbetagte Personen gehören zu einer in vielfältiger Weise vulnerablen Personengruppe. Schon deshalb ist eine zentrale Aufgabe der angewandten Ethik im Zusammenhang mit AAL-Systemen, einseitige Bilder und Leitbilder des Alter(n)s infrage zu stellen, die Vielfalt existierender wie möglicher Lebensvollzüge zu benennen und positive wie negative Aspekte des Alter(n)s zu kommunizieren: Das Bild des immer aktiven alten Menschen kann sich zu einer Zumutung entwickeln, wenn es selbst normative und normierende Kraft bekommt. Die Diskrepanz zwischen idealisierenden und realistischen Altersleitbildern mag eine Ursache dafür gewesen sein, dass das BMBF im Grundsatz den Forschungsbedarf bezüglich der von AAL-Systemen aufgeworfenen normativen Fragen erkannte und 2012 ein Projekt zur ethischen Evaluierung dieser Technik in Auftrag gab; dessen Ergebnisse sind in der Broschüre *Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme* [14] versammelt. Die wichtigsten Ziele des Projekts waren die Identifizierung ethisch relevanter Bewertungsdimensionen altersgerechter Assistenzsysteme, die Entwicklung eines entsprechenden Bewertungsmaßstabes und die Formulierung einer *Gebrauchsethik* in Form von (fünfzehn) Leitlinien, die sich an alle relevanten Stakeholder im Zusammenhang mit AAL-Systemen richten, also bspw. Entwickler altersgerechter Assistenzsysteme, Nutzer, Pflegedienste und deren Beschäftigte, Angehörige usf.

3.1 MEESTAR: Modell zur ethischen Evaluierung soziotechnischer Arrangements

Ausgehend von einem Eskalationsmodell zur Bewertung gentechnischer Eingriffe am Menschen [15] wurde ein Modell zur ethischen Evaluierung sozio-technischer Arrangements – kurz: MEESTAR – entwickelt. Aus dem Eskalationsmodell wurden dabei die Bewertungsstufen und die empirische Vorgehensweise übernommen: In Fokusgruppen und mithilfe eines an die zu evaluierende Technik angepassten Szenarios wird das betreffende altersgerechte Assistenzsystem von Mitgliedern möglichst vieler Stakeholder-Gruppen für insgesamt sieben ethische Dimensionen bewertet. Drei Dimensionen waren durch die Zielrichtung der durch das BMBF geförderten AAL-Forschung bereits vorgegeben: *Teilhabe, Fürsorge* und *Sicherheit*. Weiterhin wurden durch leitfadengestützte Interviews mit Stakeholdern die Dimensionen *Selbstbestimmung, Gerechtigkeit, Privatheit* sowie *Selbstverständnis* als wichtig identifiziert (da die inhaltliche bzw. begriffliche Ausgestaltung der Dimensionen an anderer Stelle [14] bereits ausführlich beschrieben wurde, soll hier darauf verzichtet werden).

Mit MEESTAR soll der in der angewandten Ethik (bspw. [16, 17]) schon länger diskutierten Einsicht gefolgt werden, dass Verantwortung in mindestens drei verschiedenen Ausprägungen auftreten kann, denn nicht nur Individuen müssen ihre Handlungen verantworten, sondern auch korporative Akteure wie bspw. Unternehmen. Zudem kann man über eine gesellschaftliche Ebene der Verantwortung sprechen. Daher wurden bei der Gestaltung von MEESTAR individual-, institutionen- und sozialethische Perspektiven zur Geltung gebracht, da die beim Einsatz von Technik in der Pflege- und Gesundheitsversorgung involvierten Stakeholder sehr unterschiedliche Erwartungen haben und verschiedene, zuweilen sicherlich auch kollidierende, Interessen verfolgen. Dadurch können normative Spannungen entstehen, die expliziert werden müssen, damit mit ihnen produktiv umgegangen werden kann.

MEESTAR zielt in erster Linie darauf, *ethisches* Problembewusstsein aufseiten möglichst vieler Stakeholder und damit aufseiten der technischen Entwicklung wie aufseiten der Anwendung in der Pflege alter und hochbetagter Menschen zu generieren – allerdings hat sich in der bisherigen Anwendung oft gezeigt, dass MEESTAR auch dazu beitragen kann nicht-ethische Aspekte des jeweiligen technischen Systems aus neuen Perspektiven zu betrachten, da Stakeholder zu Wort kommen, die bei der technischen Gestaltung sonst oft nicht konsultiert werden. Gegen den oft erhobenen Einwand, dass ethische Erwägungen systematisch mit einer tiefen Technikskepsis oder gar Technikablehnung verbunden seien, muss betont werden, dass die Nutzung von MEESTAR (und auch von anderen ethischen Evaluationswerkzeugen wie MAST [18, 19]) weder auf unkonditionierte Akzeptanz noch grundsätzliche Ablehnung eines technischen Systems zielen kann und darf, sondern stets situationsabhängige Abwägungen im Vordergrund stehen müssen: Ist eine technische oder nicht-technische Lösung für die Pflegeunterstützung zu präferieren? Wäre eine High- oder Low-Tech-Variante sinnvoller? Sollten dauerhafte oder temporäre Lösungen angestrebt werden? Können datenintensive Maßnahmen durch datensparsame ersetzt werden?

MEESTAR ebenso wie andere Werkzeuge dienen dazu, Trade-offs jeder in Betracht gezogenen Alternative explizit und für alle Stakeholder sichtbar zu machen, um diesen zu ermöglichen Nutzen und Belastungen bzw. Kosten, Chancen und Risiken, Vor- und Nachteile, Gewinne und Verluste auf Basis belastbarer Informationen abschätzen zu können, denn nur auf einer wohlinformierten Grundlage sind verantwortliche und verantwortbare Entscheidungen durch die Stakeholder zu treffen. Dabei sollte angestrebt werden, dass eine ethische Evaluation entgegen

dem klassischen Wasserfallmodell der Technikentwicklung nicht nur einmal und dann womöglich auch noch am Ende des Entwicklungsprozesses durchgeführt wird oder gar erst dann, wenn Unternehmen mit ihren Produkten in den Markt drängen, sondern schon während der Entwicklung und Gestaltung dieser Produkte und im besten Fall iterativ, um immer wieder Rückmeldung über die Passung des Produkts zu den Erwartungen der Stakeholder zu bekommen.

3.2 Weiterentwicklung zu MEESTAR²

Eine nicht zu vernachlässigende methodische Herausforderung MEESTARs liegt nun darin, die beteiligten Stakeholder in ihren Urteilen nicht bzw. so wenig wie möglich zu beeinflussen – hier unterscheidet sich dieses Werkzeug nicht von anderen (sozialwissenschaftlichen) Erhebungsmethoden. Tatsächlich bergen die durch die Bewertungsdimensionen vorgegebenen Normen und Werte ein erhebliches Beeinflussungspotenzial, da die Teilnehmer der Fokusgruppengespräche ihre eigenen normativen Vorstellungen auf diese Dimensionen projizieren (müssen). Auch wenn dies bisher nur als anekdotische Evidenz betrachtet werden kann, ist festzuhalten, dass sich bei Anwendung von MEESTAR in Lehrforschungsprojekten¹ ebenso wie bei der Evaluation laufender F&E-Projekte mehrfach zeigte, dass sich aus Sicht der beteiligten Stakeholder die Auswahl der betrachteten normativen Dimensionen nicht als selbstverständlich erweist, durchaus diskussionswürdig erscheint und einer systematischeren Begründung bedarf, als sie bisher verfügbar ist. All diese Sachverhalte legen nahe, MEESTAR weiter zu entwickeln, um dabei bspw. die Bewertungsdimensionen besser zu begründen oder deren Auswahl zu revidieren.

Da in entsprechenden Projekten, seien sie nun öffentlich gefördert oder privatwirtschaftlich betrieben, kaum die Ressourcen vorhanden sind, das zu leisten, muss dies soweit wie nur möglich im Rahmen einer Methodenentwicklung vorher geschehen. Ein Weg dahin wäre, Technologie-Klassen zu bilden und jeweils ein Set von Bewertungsdimensionen zu entwickeln und zu begründen. Gelänge dies, wäre gezeigt, dass MEESTAR² auf andere Anwendungsfelder angepasst werden kann. Hierbei könnte an eine Vielzahl etablierter Vorgehensweisen bzw. grundsätzlicher Methoden aus dem Bereich der Technikethik, dem Health Technology Assessment (HTA; MAST [18, 19] wurde weiter oben bereits kurz angesprochen) und der partizipativen Technikgestaltung angeknüpft werden. Zu nennen wäre bspw. der Ansatz des *Value Sensitive Design* (VSD), im Deutschen auch als wertebasiertes Design bezeichnet, der zuerst von Batya Friedman [20] propagiert wurde und explizit darauf abzielt, zunächst die moralischen Werte (also das, was in MEESTAR als „Dimensionen“ bezeichnet wird), die durch eine bestimmte Gestaltung der Technik betroffen sein könnten, zu erkennen und zu benennen. Die Methodik von VSD kann somit dazu genutzt werden, auf systematische Weise Bewertungsdimensionen für MEESTAR² zu identifizieren, die dann im MEESTAR-Diskurs ethisch evaluiert werden können. Damit ist allerdings ein zusätzlicher Aufwand verbunden, der angesichts der in aller Regel eher knappen Ressourcen, die den ethischen, juristischen und sozialen Aspekten der

¹ Für den Lehralltag bspw. in Studiengängen, in denen ethische Grundkenntnisse vermittelt werden sollen, aber nur wenig Zeit dafür vorsehen, kann MEESTAR² als didaktisches Hilfsmittel sinnvoll eingesetzt werden. Die Studierenden können über die Wahl eigener Bewertungsdimensionen und die Begründung dieser Auswahl dafür sensibilisiert werden, wie umfassend Technik das Leben von Menschen mitbestimmt. Darüber lässt sich gut vermitteln, dass Technikeinsatz stets unterschiedliche Interessen verschiedenster Stakeholder berührt, dass ein Ausgleich der Interessen einer normativen Begründung bedarf und dass die Wahl des theoretischen Ausgangspunkts bestimmt, zu welchen normativen Urteilen man kommt. Die bisher gewonnenen Erfahrungen in der Lehre an der OTH Regensburg sind durchweg positiv.

Technik gewidmet werden, oftmals nicht ohne weiteres zu leisten sein wird. Ein Weg zur Minimierung dieser Problematik könnte wiederum darin bestehen, die umfangreiche Literatur zu VSD im Kontext verschiedener Technologien dahingehend zu befragen, welche relevanten Normen und Werte dort bereits identifiziert wurden.

Eine gewisse Ähnlichkeit MEESTARs ist ebenso in Bezug auf die *Ethical Matrix* [21] festzustellen. Mit dieser Methode sollen die vier Grundprinzipien aus dem medizinethischen Ansatz des *Principlism* von Beauchamp und Childress [22] (dies sind: *Autonomy* / Autonomie bzw. Selbstbestimmung; *Beneficence* / Wohltun; *Nonmaleficence* / Nichtschaden; *Justice* / Gerechtigkeit) dazu genutzt werden, die Konsequenzen des Einsatzes von Technik in Hinblick auf die Förderung oder aber auch Verletzung der genannten Prinzipien zu bewerten. Es ist offensichtlich, dass diese fast vollständig direkt in MEESTAR-Bewertungsdimensionen übersetzt werden können, so im Fall von Selbstbestimmung und Privatsphäre, die bei Beauchamp und Childress unter *Autonomy* fallen, Fürsorge und Teilhabe fallen unter *Beneficence*, Sicherheit unter *Nonmaleficence*, Gerechtigkeit kann unmittelbar übersetzt werden; nur die Dimension des Selbstverständnisses bzw. Selbstbildes kann nicht ohne weiteres in die vier Prinzipien bei Beauchamp und Childress eingeordnet werden (tatsächlich ist dies jene Dimension, die in bisher durchgeführten MEESTAR-Workshops, sei es in Lehrforschungsprojekten, sei es bei F&E-Projekten, die meisten Nachfragen provozierte; diese Dimension soll die Teilnehmer von MEESTAR-Workshops dazu anregen, über mögliche Veränderungen bspw. ihrer eigenen Profession durch Technik nachzudenken und diese Veränderung moralisch zu bewerten).

Akzeptiert man diese Zuordnung, versteht man die MEESTAR-Bewertungsdimensionen als normative Prinzipien mittlerer Reichweite, die ihre Begründung zum einen aus der Praxis medizinischen Handelns gewinnen (ähnlich wurde bei der Findung einiger MEESTAR-Dimensionen vorgegangen, s.o.), zum anderen aber durchaus aus allgemeinen theoretischen Annahmen der Ethik abgeleitet werden können. Entsprechende Begründungsleistungen können also aus der ausführlichen Debatte zum *Principlism* entlehnt werden; das Hinzufügen und Weglassen von Bewertungsdimensionen ließe sich aus den weitergehenden Differenzierungen der vier Prinzipien bei Beauchamp und Childress ableiten oder aber in Hinblick auf die Irrelevanz eines Prinzips für die jeweilige Anwendungsdomäne.

3.3 Kritik und notwendige weitere Schritte

Grundsätzlich kann man der Verwendung von MEESTAR und anderer ethischer Bewertungsverfahren – insbesondere solchen, die mit sozialwissenschaftlichen Methoden arbeiten – entgegenhalten, dass mit solchen Werkzeugen allenfalls die subjektiven normativen Einschätzungen der (meist kleinen Zahl der) beteiligten Stakeholder eruiert und gerade keine allgemeinen ethischen Bewertungen vorgenommen werden können. Folgt man diesem Argument, heißt dies letztlich, dass MEESTAR und MEESTAR² nichts anderes wären als Methoden zur Messung von Technikakzeptanz bzw. -ablehnung, wobei allerdings nicht nur das bloße Faktum, sondern auch die Gründe eruiert werden.

Tatsächlich besteht ein enger Zusammenhang zwischen normativer Technikbewertung auf der einen und partizipativer Technikgestaltung sowie Technikakzeptanz auf der anderen Seite. Denn für Technikakzeptanzforschung ist die Einbeziehung prospektiver Nutzer methodisch unabdingbar, um Akzeptanz oder Ablehnung feststellen zu können. Dabei ist nicht relevant, ob ein einfaches (bspw. [23]) oder stärker differenziertes Technikakzeptanzmodell (z.B. [24]) verwendet wird – in allen entsprechenden Modellen müssen zumindest Nutzerpräferenzen erhoben

werden. Lässt man dann die Ergebnisse entsprechender Untersuchungen gezielt in die Gestaltung von Technik mit einfließen, ist man einer partizipativen Technikgestaltung schon sehr nahe gekommen.

Bei der normativen Bewertung von Technik wird der Zusammenhang jedoch nicht unmittelbar klar: MEESTAR kann zwar die subjektiven ethischen Bewertungen prospektiver Nutzer offenlegen; infrage steht allerdings, ob diese einer grundsätzlichen ethischen Prüfung anhand etablierter ethischer Theorien standhalten könnten. Tatsächlich ist zu vermuten, dass bspw. aus einer deontologischen (oder konsequentialistischen, sorgeorientierten etc.) Perspektive die jeweils betrachtete Technik anders zu beurteilen wäre (wobei hier oft das Problem in unausgesprochenen Vorannahmen innerhalb der verwendeten ethischen Theorie liegt). MEESTAR und MEESTAR² kann man sicherlich nicht solchen Theorieansätzen zurechnen; versteht man sie jedoch als diskursethische Ansätze, wird deren *normative* Ausrichtung offenbar: Die jeweils betrachtete Technik ist normativ als gut zu bezeichnen und damit normativ akzeptabel, wenn in einem Diskurs (der natürlich bestimmten Bedingungen genügen muss) die Diskurteilnehmer gemeinsam eine entsprechende Bewertung vornehmen. Dies sollte stets vor dem Hintergrund unterschiedlicher Expertise und Interessenlagen geschehen – daher das Ziel der Einbeziehung unterschiedlicher Stakeholder in den MEESTAR-Prozess.

Zuletzt wäre es aus Sicht jener, die Technik gestalten und entwickeln sollen, wahrscheinlich naheliegend, wenn MEESTAR² eine Priorisierung der Bewertungsdimensionen beinhaltete. Bisher stehen diese gleichberechtigt nebeneinander; die ursprüngliche Überlegung dahinter war, dass es bei der Anwendung von MEESTAR in erster Linie darum gehen soll, Problemlösungsvorschläge auf Basis der Evaluierung entwickeln zu können. Allerdings ist durchaus denkbar und sogar sehr wahrscheinlich, dass Bewertungsdimensionen und damit moralische Werte in Konkurrenz zueinander stehen – der Schutz der Privatsphäre und Sicherheit sind hierfür gute Kandidaten [25]. In solch einer Situation wäre eine Priorisierung, die unter anderem auch durch rechtliche Anforderungen bspw. des BDSG notwendig werden könnte, hinsichtlich der technischen Gestaltung eines Produkts sicher hilfreich. Wird die Priorisierung, unter Berücksichtigung rechtlicher Anforderungen, ebenfalls im Rahmen eines MEESTAR-Durchlaufs vorgenommen, so hätte dies zudem den großen Vorteil, dass sich die beteiligten Stakeholder erneut wechselseitig Rechenschaft für ihre Entscheidungen ablegen müssen und die so gewonnenen Begründungen selbst für die technische Gestaltung, aber auch für das Selbstverständnis der beteiligten Stakeholder fruchtbar gemacht werden können.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Schon aus ökonomischen Erwägungen heraus ist es sinnvoll altersgerechte Assistenzsysteme frühzeitig hinsichtlich der normativen Erwartungen der Stakeholder zu evaluieren. Dies zielt auf eine durch alle Stakeholder mitbestimmte Gestaltung von Technik und gehört damit in den Kontext partizipativer bzw. konstruktiver Technikfolgenforschung [26]; dies bietet zudem die Chance, die oft geforderte – aber ebenso oft nicht erreichte – Einbeziehung ethischer und soziokultureller Aspekte im *Health Technology Assessment* (HTA) zu erreichen [27, 28].

Die Nutzung partizipativer Verfahren der Technikgestaltung unter Beteiligung möglichst aller Stakeholder stellt außerdem nicht nur eine originär ethische Forderung im Sinne des *Empowerment* dar, sondern darüber hinaus auch eine Methode zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit altersgerechter Assistenzsysteme. Aus deren unzureichender Berücksichtigung erwachsen mindestens zwei Gefahren, die sowohl aus Nutzersicht als auch aus einer gesellschaftlichen

Perspektive untragbar sind: Erstens werden oftmals für die jeweilige Zielgruppe inadäquate Produkte und/oder Dienstleistungen entwickelt, die daher auf Ablehnung stoßen; zweitens und daran anknüpfend muss befürchtet werden, dass eine Gesellschaft als Ganzes in eine pfadabhängige technische Entwicklung und damit in einen technologischen Lock-in gerät, der schwer bis gar nicht zu überwinden sein könnte, weil die Wechselkosten untragbar wären. Partizipative Verfahren der Technikgestaltung können helfen dies zu vermeiden, außerdem bessere Produkte zu entwickeln und ethische Abwägungen zu berücksichtigen. Mit der Nutzung partizipativer Verfahren der Technikgestaltung wird nicht zuletzt dem Ansatz der wertebasierten Gestaltung von Technik [29] Geltung verschafft und so der durch die EU geforderten Vorgehensweise des *Responsible Research & Innovation* [30] gefolgt.

5 Literatur

- [1] M. Weiser: The Computer for the Twenty-First Century. In: Scientific American, 265 (3), S. 94-104, 1991.
- [2] ISTAG: Scenarios for Ambient Intelligence in 2010. Final Report compiled by K. Ducatel, M. Bodganowicz, F. Scapolo, J. Leijten, J.-C. Burgelman. Abrufbar unter: <http://www.ist.hu/doctar/fp5/istagsenarios2010.pdf>, 2001.
- [3] S. F. Lichtenhaller: Altern aus der Perspektive der Alzheimer Forschung. In: K. Gabriel, W. Jäger, G. M. Hoff (Hrsg.): Alter und Altern als Herausforderung. Freiburg, München: Alber, S. 49-58, 2011.
- [4] K. Weber, S. Haug: Demographische Entwicklung, Rationierung und (intergenerationale) Gerechtigkeit – ein Problembündel der Gesundheitsversorgung. In: J. C. Joerden, J. N. Neumann (Hrsg.): Medizinethik 5. Studien zur Ethik in Ostmitteleuropa, Band 8. Frankfurt/Main et al.: Peter Lang, S. 45-74, 2005.
- [5] S. Bauer: Ansteigende Diversitäten ländlicher Räume? Schlussfolgerungen für die Regionalpolitik. In: R. Friedel, E. A. Spindler (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung ländlicher Räume. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 97-112, 2009.
- [6] D. Betz, S. Häring, K. Lienert, S. Lutherdt, S. Meyer, M. Reichenbach, C. Sust, H.-C. Walter, P. Weingärtner: Grundlegende Bedürfnisse potenzieller AAL-Nutzer und Möglichkeiten der Unterstützung durch moderne Technologien. In: S. Meyer, H. Mollenkopf (Hrsg.): AAL in der alternden Gesellschaft. Anforderungen, Akzeptanz und Perspektiven. Berlin, Offenbach: VDE, S. 40-62, 2010.
- [7] VDI/VDE-IT: Technologische und wirtschaftliche Perspektiven Deutschlands durch die Konvergenz der elektronischen Medien. Berlin: VDI/VDE-IT. Abrufbar unter: <http://www.vdivde-it.de/publikationen/studien/technologische-und-wirtschaftliche-perspektiven-deutschlands-durch-die-konvergenz-der-elektronischen-medien-studienband>, 2011.
- [8] U. Fachinger, H. Koch, Kl.-D. Henke, S. Troppens, B. Braeseke, M. Merda: Ökonomische Potenziale altersgerechter Assistenzsysteme. Ergebnisse der „Studie zu ökonomischen Potenzialen und neuartigen Geschäftsmodellen im Bereich Altersgerechte Assistenzsysteme“. Vechta. Abrufbar unter: https://partner.vde.com/bmbf-aal/Publikationen/studien/intern/Documents/VDE_PP_AAL_%C3%96kon.%20Potenziale_RZ_oB.pdf, 2012.

- [9] B. Kapralos, M. Katchabaw, J. Rajnovich, W. Ijsselsteijn, H. H. Nap, Y. de Kort, K. Poels: Digital game design for elderly users. In: Proceedings of the 2007 conference on Future Play. New York: ACM, S. 17-22, 2007.
- [10] T. Botsis, G. Hartvigsen: Current status and future perspectives in telecare for elderly people suffering from chronic diseases. In: Journal of Telemedicine and Telecare, 14(4), S. 195-203, 2008.
- [11] C. D. Kidd, W. Taggart, S. Turkle: A sociable robot to encourage social interaction among the elderly. In: Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Orlando: IEEE, S. 3972-3976, 2006.
- [12] S. H. Park, S. H. Won, J. B. Lee, S. W. Kim: Smart home – digitally engineered domestic life. In: Personal and Ubiquitous Computing, 7(3-4), S. 189-196, 2003.
- [13] U. Bittner: Der „Silbermarkt“: Chancen und Probleme einer Technisierung des alternenden Lebens. In: K. Brukamp, K. Laryionova, C. Schweikardt, D. Groß (Hrsg.): Technisierte Medizin – Dehumanisierte Medizin? Ethische, rechtliche, und soziale Aspekte neuer Medizintechnologien. Kassel: Kassel University Press, S. 41-49, 2011.
- [14] A. Manzeschke, K. Weber, E. Rother, H. Fangerau: Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme. Berlin: VDI/VDE, 2013.
- [15] J. Hacker, Tr. Rendtorff, P. Cramer: Biomedizinische Eingriffe am Menschen. Ein Stufenmodell zur ethischen Bewertung von Gen- und Zelltherapie. Berlin: de Gruyter, 2009.
- [16] G. Ropohl: Ethik und Technikbewertung. Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1996.
- [17] H. Lenk: Zwischen Wissenschaft und Ethik. Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1992.
- [18] K. Kidholm, A. G. Ekeland, L. K. Jensen, J. Rasmussen, C. D. Pedersen, A. Bowes, A. A. Flottorp, M. Bech: A Model for Assessment of Telemedicine Applications: MAST. In: International Journal of Technology Assessment in Health Care, 28(1), S. 44-51, 2012.
- [19] K. Kidholm, J. Rasmussen, A. G. Ekeland, A. Bowes, S. A. Flottorp, C. D. Pederson, L. K. Jensen, S. Dyrehauge: MethoTelemed. Final Study Report, V2.11. Abrufbar unter: http://www.mast-model.info/Downloads/MethoTelemed_final_report_v2_11.pdf, 2010.
- [20] B. Friedman: Value-sensitive design. In: Interactions, 3(6), S. 16-23, 1996.
- [21] B. Mepham: A Framework for the Ethical Analysis of Novel Foods: The Ethical Matrix. In: Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 12(2), S. 165-176, 2000.
- [22] T. L. Beauchamp, J. F. Childress: Principles of biomedical ethics. New York: Oxford University Press, 2006.
- [23] F. D. Davis, R. P. Bagozzi, P. R. Warshaw: User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. In: Management Science, 35(8), S. 982-1003, 1989.
- [24] T. Kollmann: Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme. Konsequenzen für die Einführung von Telekommunikations- und Multimediasystemen. Wiesbaden: Gabler, 1998.
- [25] K. Weber: MEESTAR: Ein Modell zur ethischen Evaluierung sozio-technischer Arrangements in der Pflege- und Gesundheitsversorgung. In: K. Weber, D. Frommelt, A. Manzeschke, H. Fangerau (Hrsg.): Technisierung des Alters – Beitrag für ein gutes Leben? Stuttgart: Steiner, S. S. 247-262, 2015.

- [26] A. Genus: Rethinking constructive technology assessment as democratic, reflective, discourse. In: *Technological Forecasting and Social Change*, 73(1), S. 13-26, 2006.
- [27] A. Gerhardus, A. K. Stich: Sozio-kulturelle Aspekte in Health Technology Assessments (HTA). In: *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen*, 102(2), S. 77-83, 2008.
- [28] D. Lühmann, H. Raspe: Ethik im Health Technology Assessment – Anspruch und Umsetzung. In: *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen*, 102(2), S. 69-76, 2008.
- [29] J. van den Hoven: ICT and Value Sensitive Design. In: P. Goujon, S. Lavelle, P. Duquenoy, K. Kimppa, V. Laurent (eds.): *The Information Society: Innovation, Legitimacy, Ethics and Democracy. In Honor of Professor Jacques Berleur S.J.*, IFIP International Federation for Information Processing. Berlin: Springer, S. 67-72, 2007.
- [30] B. C. Stahl, G. Eden, M. Jirotka, M. Coeckelbergh: From computer ethics to responsible research and innovation in ICT: The transition of reference discourses informing ethics-related research in information systems. In: *Information & Management*, 51(6), S. 810-818, 2014.

Human Perception of Velocity and Lateral Deviation in Haptic Human-Robot Collaboration

J. Schmidtler, L. Petersen, K. Bengler

Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie

Boltzmannstr. 15, 85747 Garching

schmidtler@lfe.mw.tum.de, petersen@lfe.mw.tum.de, bengler@lfe.mw.tum.de

Kurzzusammenfassung

Eine an der Methodik der Psychophysik orientierte Studie wurde durchgeführt, um Informationen über die menschliche Wahrnehmung von Geschwindigkeit und seitlicher Abweichung in haptischen Mensch-Roboter-Kollaborationen zu erhalten und im Anschluss Gestaltungsprinzipien abzuleiten. Ein modifizierter Reis Robotics RV20-16 wurde verwendet, um passiv wahrgenommene Geschwindigkeiten und seitliche Abweichungen über einen 1.5 m langen Weg darzustellen. Die Simple-Staircase Methode wurde eingesetzt, um die Unterschiedsschwelle für Geschwindigkeit (Referenzreiz bei 500 mm/s; JND = 11.6 %) und absolute Schwelle für seitliche Abweichung ($M = 41.33$ mm, $SD = 18.50$ mm) zu bestimmen. Es wurde darauf aufbauend eine lineare Regression zur Modellierung von Akzeptanz (Acc) als Funktion der Geschwindigkeit abgeleitet: $Acc(v) = 0.747 + 0.004 \cdot v + \varepsilon$; $R^2 = .678$, $F(1,229) = 482.69$, $p < .001$.

Abstract

A psychophysical study was conducted to obtain information about human perception of velocity and lateral deviation in haptic Human-Robot Collaboration to form design and interaction principles. A modified Reis Robotics RV20-16 was used to present passively perceived velocity and lateral deviations over a 1.5 m long path. A simple-staircase method was applied to obtain results for differential thresholds for velocity (reference stimulus at 500 mm/s; JND = 11.6 %) and an absolute threshold for lateral deviation ($M = 41.33$ mm, $SD = 18.50$ mm). A linear regression was applied to describe acceptance (Acc) as a function of velocity: $Acc(v) = 0.747 + 0.004 \cdot v + \varepsilon$; $R^2 = .678$, $F(1,229) = 482.69$, $p < .001$.

Keywords: Haptics, Psychophysics, Human Factors, Human-Robot Collaboration

1 Introduction

Recent changes in the areas of production (Industrie 4.0 [1], mass customization [2]), society (demographic change and increasing awareness of diverse human capabilities and characteristics [3]), and standardization (hybrid systems are made usable [4, 5]) justify a rethinking of new production systems. One promising approach can be the close complementary haptic collaboration between humans and robots. By using robotic skills like power assist, inertia masking and virtual guidance combined with the human high fidelity sensory system within a shared control approach [6, 7], it is possible to compensate weaknesses of each partner by strengths of the other [8]. To ensure acceptance and well-being of the human operator, which can be seen as a requirement for high performance, the usability of new collaborative systems must be optimized. Following the design approach of human-centered-assistance-applications (HCAA, [9]) the objective is not only to look at the machine side, but to concentrate specifically on the human operator. Whilst information between the two haptically linked partners is exchanged

mainly via force (e.g. haptically collaborating robots called cobots [10], intelligent assist devices [11], and exoskeletons [12]), a considerable amount of information remains hidden from each other [13]. Speaking of haptic interaction this study is concerned with Human-Robot Collaboration after the taxonomy given by [9], where human and robot are collaborating in the same working space, at the same time, with a common goal, and close direct contact (here: haptically).

2 Acceptance of Novel Power Assistance Systems

In this paper, we focus on automotive assembly lines, where more and more assistance systems like haptic Human-Robot Collaborations are introduced. Classical ergonomic solutions like hand guided manipulators and workplace analysis are no longer sufficient to solve ergonomic problems [14]. In the authors' opinion, human power assistance represents one key aspect to overcome present boundaries and provides room for new handling concepts. Strength amplification, inertia masking, and guidance via virtual surfaces [15] enable improved ergonomic work.

Since acceptance of these novel collaborating systems depends heavily on intuitiveness, naturalness, and transparency of the haptic interface assuring usability and in other words effectiveness, efficiency, user satisfaction, and safety. Handling movements at today's automotive assembly lines can be classified in two distinct manipulation types. According to the speed-accuracy trade off, humans can perform fast but imprecise or precise but slow movements [16, 17]. In terms of an assembly, an example for imprecise fast movements could be bringing a part from outside the line to the car, where no major accuracy but rapidity is needed. Fine positioning of a part at the body of the car, for example to properly meet drills or notches, requires high accuracy, which is why this task represents precise slow movements. This paper addresses especially fast imprecise collaborative movements. Slow-down effects, because of inadequate design of the haptic interaction can negatively influence usability and as a consequence hinder acceptance. Since modern complex assembly lines will not be able to spare on the flexibility of human workers, it is crucial to focus on the capabilities and needs of humans [18].

3 Perception of Proprioceptive Information Related to Position and Velocity

Haptically collaborating robots, assisting human workers while manipulating heavy objects, mainly interact with the human via proprioception and kinesthesia. Following the design approach of HCAA [9], it is crucial to understand human proprioceptive perception to ensure optimal usability and as a consequence ensure acceptance and wellbeing. This paper will focus on human proprioception and kinesthesia as a decisive design factor for haptic Human-Robot Collaborations. Besides the cutaneous sense, proprioception and kinesthesia are a part of the somatosensory system and provides the ability to sense the position, orientation, and velocity of body and limbs [19]. Free nerve endings, Ruffini for static force, and Pacinian corpuscles for acceleration of joint angles (mechanoreceptors of articulations and muscles), as well as muscle spindles and Golgi tendons, give the human central nervous system (CNS) the ability to sense proprioceptive information. Humans interpret proprioceptive information related to position and velocity, whilst both reach conscious perception and may be accepted as processed separately at the same time [20]. Cordo et al. [20] found that the CNS may use position and velocity of limbs to predict future positions. To enable this human capability, they propose that arm

positions are perceived in advance of their actual position and constitute an internal predictive model to compensate for time delays in the CNS [21].

Table 3.1 summarizes findings in the literature which are applicable in the scope of this article. In 1898 Goldscheider [22] found out that proximal joints have lower detection thresholds in passive motion and passive position sense than distal joints, but these results are very controversially discussed in the research community, as [23] points out. More recent studies are conforming Goldscheider's findings though. However, no study could have been found that implies whole body movements and use cases near the aforementioned Human-Robot Collaboration context. Since information flaws between human and robot still impede optimal usability of haptic Human-Robot Collaborations, a study was conducted to obtain insight in human perception of position deviation and velocity in close collaboration with a robot.

Table 3.1: Chronological overview over the most appropriate findings in the literature

Author	Sample	Limb	Application	Detection Thresholds
[22]	undefined	shoulder, elbow, finger	motion & position	shoulder < elbow < finger
[24]	9 (m & f undefined)	shoulder, elbow, finger	velocity	7°/s – 30°/s
[25]	3 (m & f undefined) 3 (m & f undefined)	wrist, elbow shoulder	position	2° 0.8°
[26]	undefined	hip, knee, ankle, toe	position position	0.1° - 0.6° hip < ankle < knee < toe
[27]	7 (m & f undefined)	knee	velocity position	0.02°/s 0.08°
[28]	16 (8f), 23 ± 3.8 years	shoulder	velocity	10 - 12 % (JND)

4 Objectives

Thinking of humans collaborating haptically with robots, stability and bandwidth issues spark the fair question (research question, RQ) of engineers and robot developers:

RQ 1: How accurate does a haptically collaborating robot have to be for imprecise fast movements?

Answering this question, the absolute threshold for lateral deviation Δx was established, to gain insight into what range a cobot can move, without noticing by the human operator. These findings can be used to implement stable impedance controlled [29] cobotic systems that take advantage of humans' unconsciousness of small lateral deviations.

As aforementioned, acceptance of cobots will highly depend on appropriate useable velocities. We propose that velocities that are rated by operators as “too slow” will hinder appropriate usability, especially in fast imprecise movements. Also an area for velocities rated as “too fast” are important for the design of cobots, because workers certainly will not reach this area and by knowing these velocities, robot developers are able to design leaner robot controls. Hence two research questions, which should build on one another, were formulated. First, it was of interest to what extent humans can perceive differences in velocities:

RQ 2: Which differences in velocities are just perceivable for humans?

So differential thresholds for velocities (above and under a reference stimulus) were established. The results should provide insight in how to communicate for example changing characteristics of assembly situations (fast imprecise vs. slow precise).

With these results in mind, it was of interest to find the abovementioned velocity ranges for “too slow”, “comfortable”, and “too fast”:

RQ 3: How fast should a haptically collaborating robot move so that interaction is accepted?

5 Method

5.1 Theoretical Background and Measures

A study was conducted to investigate the perceptible absolute threshold (also called Detection Threshold DT [30]) of lateral deviation Δx and differential threshold (also called Difference Limen or Just Noticeable Difference JND [30]) for velocities with a reference stimulus of $v_{ref} = 500$ mm/s. The simple staircase method [31] (Figure 5.2, right) was used. The simple staircase method is an adaptive method. Its simplicity and flexibility justifies its frequent use in many studies [32]. In this method, a pair of two stimuli is presented to the participant, called reference stimulus (RS) and adapted stimulus (AS). The stimuli are presented after each other with minimal time distance. After experiencing both stimuli, the participant has to judge whether a perceptible difference occurred (“difference recognized”, Figure 5.2) or not (“difference not recognized”, Figure 5.2). After successfully recognizing the difference between RS and AS, a new pair of stimuli is presented. The RS stays exactly the same and AS is modified either decreased or increased, depending on the chosen approximation. In each way, the difference between RS and AS is lowered until the participant just cannot successfully recognize a perceptible difference, which is called reversal point. Again the difference between the two stimuli is increased until the participant perceives a distinction, which again counts as a reversal point. After six reversals (first reversal will be left out) the experiment stops. By averaging the values at the reversal points an approximation of the so called 50% differential threshold can be obtained.

To collect subjective opinions on acceptable velocities for each velocity stimulus, tested in the simple staircase, a five-point Likert scale was used. Starting with 1 for “too slow” to 5 for “too fast”, while 3 represented “comfortable”.

5.2 Sample

A total of twenty-one participants, 11 (52.4%) female and 10 (47.6%) male, took part in this experiment. Mean age of the participants was 24.7 years with a minimum of 19 and a maximum of 34 years ($SD = 3.3$). Anthropometric measurements for body height ($M = 175.87$ cm, $SD = 10.23$ cm, 12 p* woman – 93 p man, *p: percentile), torso length ($M = 89.59$ cm, $SD = 6.28$ cm, 1 p woman – 95 p man), and body weight ($M = 68.93$ kg, $SD = 15.34$ kg, 3 p woman – 96 p man) in relation to the SizeGERMANY survey of 2007 [33], indicate a representative part of the German population anthropometry. No one reported any motoric or sensory impairment that could interfere with the experimental tasks. The sample was chosen in favor to control equal perception capabilities via a homogenous age distribution as well as a uniform distribution between men and women. Each participant volunteered to take part in the study which is why a basically higher attention and motivation can be assumed.

5.3 Experimental Setup

The study was conducted in an experimental room at the Chair of Ergonomics at the Technical University of Munich. A modified Reis Robotics RV20-16 (Figure 5.1) was used to present the passively perceived velocities and lateral deviations over a 1.5 m long path. Acceleration was set constant at 0.8 mm/s² throughout the whole experiment. Applied velocities ranged between 100 mm/s and 900 mm/s. The robot's movements were implemented using the modes “linear” and “circular”. Linear is defined as the shortest distance between two points, so a perfect straight line. It was used for any movement investigating velocities as well as the reference stimulus in the lateral deviation part. Circular defines a circle out of three given points. These points are the starting point, ending point, and a lateral deviated point (Δx , Figure 5.1, right) perpendicular to the above-mentioned linear straight line. To calibrate the robot system and check for correct movement trajectories a Vicon motion tracking system was used while establishing the experiment. The robot was used in hand-automatic mode, and not in the safer hand-mode, because then, according to ISO 10218 [4], only 250 mm/s would have been possible. A consent form and exact instructions informed the participants about possible risks and dangers. The experimental trials were implemented in a way that the robot was moving away from the human at all times, so collisions during the experiment should be impossible. To move the robot back to its initial starting position, the participant had to leave the area of movement (Figure 5.1, left). Each trial only started by confirmation and initiation of the experimenter. The experimenter was able and ready to hit an emergency stop at all times.

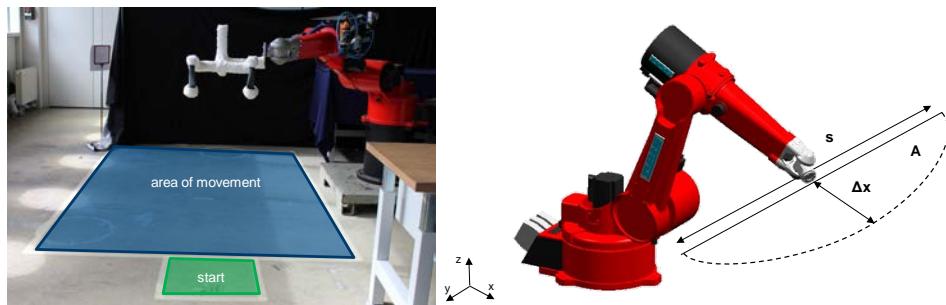


Figure 5.1: Left – experimental area with marked area of movement and start area, and the modified Reis RV20-16 robot with wrapped vertical handles; right – linear straight lines along the y-axis, the circular path with lateral deviation Δx , and the segment plane A

Two vertically oriented handles were mounted on the TCP (tool center point) of the robot. Via height adjustment of the robot arm, the handle height was adapted according to the anthropometric requirements of each participant. It was specified in a way that the elbow angle, while holding the handles, was about 90 degrees and elbow torso angle was about 10 degrees. Foam was wrapped around the handle construction to minimize possible impact force of the HMI (human-machine-interface) in the unlikely event of a collision (no crash or other accident happened at any time).

5.4 Procedure

After an introduction, including a consent for participation and information about possible risks, demographic and anthropometric data of each participant were recorded. To avoid any influencing effects of first contact of naïve participants with robots, every participant ran through a lead-in scenario. Three exemplary trials of the conducted experiment were presented and had

to be passed. The following experiment was divided in two parts. The trials in each part followed a similar scheme. The participant stands in the start position and grabs the handles mounted on the robot. Upon initiation of the experimenter, the robot started its programmed path and the participant had to follow to the end position. Then the participant had to leave the area of movement and get back to the start position. The trial then began all over again with a changed stimulus.

For investigation of the minimum perceptible lateral deviation – absolute threshold Δx_{ABS} – the robot's movement trajectory was adjusted to present pairs of stimuli. The RS was a trajectory as a linear accurate straight line along the y-axis of the robot (Figure 5.1) of 1.5 m. By adding a third point halfway between start and end (0.75 m) in the mode circular, and adding a perpendicular distance in the x-direction, a lateral deviation Δx was displayed. The first AS in the simple staircase was set to 150 mm, so the first reversal point could be found quickly. After successfully detecting a difference, stimulus difference between RS and AS was set to 50 mm until the next reversal point. Again, the stimulus difference was reduced for each alteration until five reversals were passed. The programmed robot velocity was set to 500 mm/s at an acceleration of 0.8 mm/s². The aforementioned simple staircase method was used to apply adapted AS. In the second part of the study, detection thresholds for velocity differences under and above a RS of $v_{ref} = 500$ mm/s were investigated (Figure 5.2, right). To find the first reversal point, a difference of RS and AS of 400 mm/s was applied. The following differences ranged from 200 mm/s to 50 mm/s. After each trial, the participants had to state their subjectively perceived comfort, on a five-point Likert scale, regarding the robot velocity, while keeping a collaboration scenario in an assembly context in mind. Again, the above-mentioned trajectory as a straight line in the mode linear and a constant acceleration of 0.8 mm/s² was used. To avoid participants judging changes in distance covered or changing accelerations instead of velocity, we employed a constant distance and acceleration (Figure 5.2, left). According to [21] velocity perception during constant distance revealed no difference to velocities perceived during constant duration. As a consequence, it can be assumed that there is no decisive influence of shorter display duration.

The initial movement is perceived mainly via flexion of the elbow and shoulder joints. After an individual amount of time the participant starts to follow the moving robot and an increasing part of the perception takes place in hip, knee, and foot joints. Besides these proprioceptive and kinesthetic parts, visual and vestibular information was available for the participants. The latter incoming sensory information was admitted to take into account the use case of an industrial assembly. The experiment lasted less than 60 minutes each and was conducted within common working hours (9 am - 5 pm).

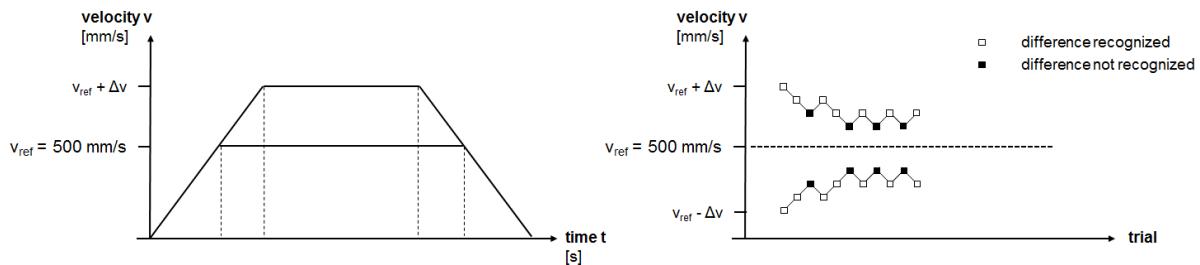


Figure 5.2: Left – velocity profile over time for increased stimulus $v_{ref} + \Delta v$; right – exemplary simple staircase scenarios for $v_{ref} + \Delta v$ and $v_{ref} - \Delta v$

6 Results

6.1 Statistical Analysis

For statistical analysis, the significance level was set at $\alpha = .05$. Besides classic frequentist concepts like the student's t-test, ANOVA and linear regression, the Bayes Factor (BF) was used, as proposed in [34]. We used the classification of [35] where $1 < \text{BF} < 3$ indicates anecdotal evidence, $3 < \text{BF} < 10$ moderate evidence, and $10 < \text{BF} < 30$ strong evidence for the regarded hypothesis. The classification of effect sizes for η^2 and Cohen's d is according to [36]: small ($\eta^2 = .01, d = .20$) – medium ($\eta^2 = .06, d = .50$) – large ($\eta^2 = .14, d = .80$). MATLAB and Excel were used for data preparation, SPSS and JASP were used for statistical analysis.

6.2 Absolute Threshold for Lateral Deviation

Arithmetically averaging the reversal points two to six, over all 21 participants, resulted in the mean absolute threshold for lateral deviation $M = 41.33 \text{ mm}$ ($SD = 18.50 \text{ mm}$). Since the robot trajectory was designed by using the mode circular, it is possible to apply equation (1) for the circle segment plane A. By using the mean absolute threshold this results in a minimum perceptible passed plane $A = 41.358.43 \text{ mm}^2 = 0.041 \text{ m}^2$. No significant difference has been found between men ($M = 35.20 \text{ mm}, SD = 14.61 \text{ mm}, 95\% \text{ CI } [24.75, 45.65]$) and women ($M = 46.91 \text{ mm}, SD = 20.50 \text{ mm}, 95\% \text{ CI } [33.14, 60.68]$), $t(19) = -1.49, p = .152, d = .652, BF_{10} = 0.845$ (anecdotal), $95\% \text{ CI } [-4.71, 28.13]$.

$$A = \frac{\frac{1}{2} \cdot \arctan\left(\frac{2 \cdot \Delta x}{s}\right) \cdot (4 \cdot \Delta x^2 + s^2)^2 + \Delta x \cdot s \cdot (4 \cdot \Delta x^2 - s^2)}{16 \cdot \Delta x^2} \quad (1)$$

6.3 Differential Threshold for Velocity

The analysis of differential thresholds for velocity have shown a detection limen of $M = 48.95 \text{ mm/s}$ ($SD = 24.54 \text{ mm/s}$; $JND_{high} = 9.79\%$) for higher velocities Δv_{high} ($500 \text{ m/s} + \Delta v$) and $M = 66.76 \text{ mm/s}$ ($SD = 26.95 \text{ mm/s}$; $JND_{low} = 13.35\%$) for lower velocities Δv_{low} ($500 \text{ m/s} - \Delta v$). As a result, a just noticeable difference $JND = 11.6\%$ can be accepted. A repeated measures ANOVA with the repeated measures factor velocity (high / low) and a between subject factor gender (men / women) was applied. Since Levene's test has not indicated a violation ($\Delta v_{high} - F(1,19) = 0.25, p = .626; \Delta v_{low} - F(1,19) = 0.87, p = .362$) we assume homogeneous variances. A significant difference has been found comparing the differential thresholds for higher and lower velocities, $F(1,19) = 5.97, p = .024, \eta^2 = .239$. Furthermore, a Bayes factor of $BF_{10} = 4.38$ indicates a moderate evidence for the difference between differential thresholds under and over the reference stimulus. No significant effects have been found for gender ($F(1,19) = 0.10, p = .761, \eta^2 = .005, BF_{10} = 0.39$), which is in line with [28], as well as for the interaction velocity*gender ($F(1,19) = 1.5 \cdot 10^{-6}, p = .99, \eta^2 < .001, BF_{10} = 1.73$ – anecdotal).

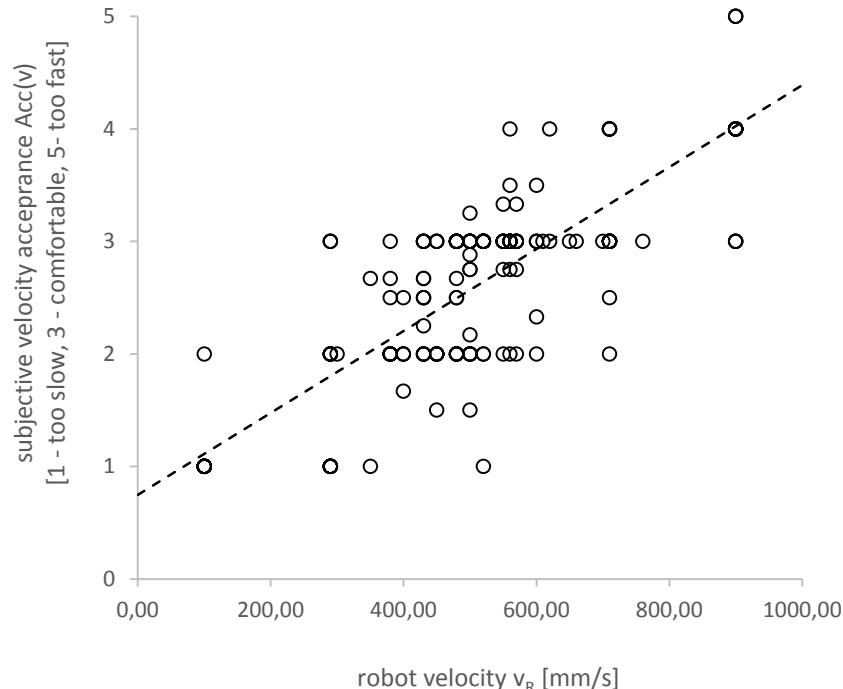


Figure 6.1: Scatter plot of subjective velocity acceptance $Acc(v)$ over robot velocity v_R

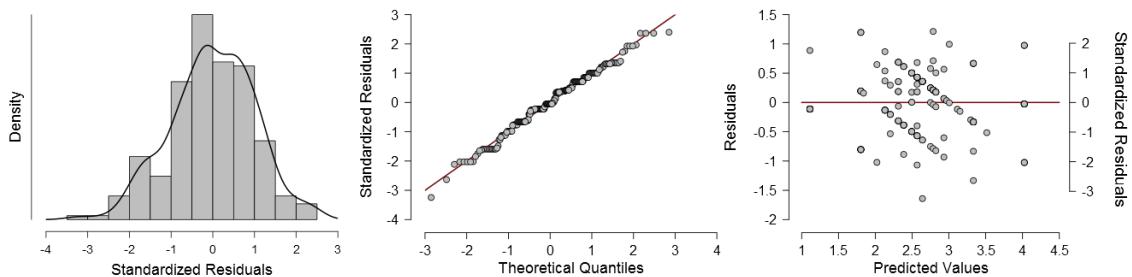


Figure 6.2: Model assumptions – left: standardized residuals histogram; middle: Q-Q plot standardized residuals; right: residuals vs. predicted

6.4 Acceptance as a Function of Velocity

Figure 6.1 illustrates a scatter plot of subjective velocity acceptance ratings, of each participant in each trial of the above-mentioned simple staircase method, over the installed robot velocities. A linear regression was applied to describe acceptance as a function of velocity ($R^2 = .678$, $F(1,229) = 482.69$, $p < .001$):

$$Acc(v) = 0.747 + 0.004 \cdot v + \varepsilon \quad (2)$$

Model assumptions for linear models have been checked and are summarized in Figure 6.2. Linearity is given since the residuals over predicted values do not indicate any sort of nonlinear or other patterns. There is no need to check for absence of collinearity, because only one predictor is applied in equation (2). Homoscedasticity can be assumed since there are no conspicuous changes in variance in the residuals over predicted values plot. Normality of residuals also can be accepted taking into account the density and Q-Q plot. No suspicious influential data points have been found. Independence of errors was negligible, because no correlation between

consecutive errors in case of the time series data occurred ($r = -0.048$, 95% CI [-0.176, 0.082], $p = .47$).

6.5 Discussion

In this study, we investigated human perception of velocity and lateral deviation in haptic Human-Robot Collaboration. The results show that a minimum of 41.33 mm over a 1.5 m path cause a perceivable deviation in lateral position at the human while haptically collaborating with a robot. This result can be used for the design of novel admittance controlled power amplifying robots, especially in terms of virtual walls and guidance. Thinking of a shared control approach [6], effects of haptic assistance on accuracy (i.e. root mean square error, RMSE) in common horizontal manipulation tasks will be crucial for optimized usability of novel cobots [7]. In fast imprecise movements deviations of the above-mentioned characteristic are not perceivable and hence should have no acceptance lowering effect. These results cannot be applied for slow precise movements.

Secondly differential thresholds under and above 500 mm/s were investigated and resulted in an averaged JND of 11.6 %. It also shows that humans are more accurate in perceiving velocity differences for decreasing velocities than increasing velocities in passive haptic imprecise collaborations. So it can be assumed that humans are more sensitive to decreasing velocities. A linear regression revealed a strong correlation ($R = .678$) between increasing velocity and acceptance. An optimum, in terms of manipulation comfort for the used sample, was found at $v_{Acc} = 563.25$ mm/s, which corresponds to the middle of the used five-point Likert scale. Compared to the ISO 10218 standard, which proposes a velocity of 250 mm/s in a collaboration mode, it seems very clear that this will be not acceptable for most human operators. Studies of Schmidtler et al. [7, 18] verify mean velocities for fast imprecise horizontal manipulation tasks at $M = 260$ mm/s ($SD = 330$ mm/s) which cap at 1310 mm/s. Paying attention to the high standard deviation it becomes apparent that these findings are in line with the results of the conducted psychophysical study. This again justifies the need for further studies to investigate acceptable and natural velocities in close collaboration with a power assisting system to ensure optimal usability and acceptance.

7 References

- [1] M. Lorenz, M. Rüßmann, R. Strack, K. L. Lueth, M. Bolle: Man and Machine in Industry 4.0. Bost. Consult. Gr., 2015.
- [2] F. S. Fogliatto, G. J. C. Da Silveira, D. Borenstein: The mass customization decade: An updated review of the literature. Int. J. Prod. Econ., vol. 138, no. 1, pp. 14-25, 2012.
- [3] E. Frieling, M. Buch, J. Wieselhuber: Alter(n)sgerechte Arbeitssystemgestaltung in der Automobilindustrie - die demografische Herausforderung bewältigen. Z. Arbeitswiss., vol. 60, no. 4, pp. 213-219, 2006.
- [4] DIN EN ISO 10218-1 - Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots. 2012.
- [5] ISO TS 15066 - Robots and robotic devices - Collaborative robots. 2016.
- [6] D. a. Abbink, M. Mulder, E. R. Boer: Haptic shared control: Smoothly shifting control authority?. Cogn. Technol. Work, vol. 14, no. 1, pp. 19-28, 2012.

- [7] J. Schmidtler, M. Körber, K. Bengler: A Trouble Shared Is a Trouble Halved – Usability Measures for Human-Robot Collaboration: In: IEEE SMC 2016 - 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2016.
- [8] A. De Santis, B. Siciliano, A. De Luca, A. Bicchi: An atlas of physical human-robot interaction. *Mech. Mach. Theory*, vol. 43, no. 3, pp. 253-270, 2008.
- [9] J. Schmidtler, V. Knott, C. Hölzel, K. Bengler: Human Centered Assistance Applications for the working environment of the future. *Occup. Ergon.*, vol. 12, no. 3, pp. 83-95, Sep. 2015.
- [10] W. Wannasuphoprasit: Cobots: Collaborative Robots. Northwestern University, 1999.
- [11] K. L. Tan: Intelligent assist device: design and development. 4th Natl. Conf. Telecommun. Technol. 2003. NCTT 2003 Proceedings., pp. 198-202, 2003.
- [12] H. Kazerooni: A Review of the Exoskeleton and Human Augmentation Technology. In: ASME 2008 Dynamic Systems and Control Conference, Parts A and B, 2008, pp. 1539-1547.
- [13] J. Schmidtler, K. Bengler: Size-Weight Illusion in Human-Robot Collaboration. In: IEEE RO-MAN 2016 - 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2016.
- [14] J. Schmidtler, C. Hölzel, V. Knott, K. Bengler: Human centered assistance applications for production. *Procedia Manuf.*, no. July, 2014.
- [15] J. E. Colgate, M. Peshkin, S. H. Klostermeyer: Intelligent assist devices in industrial applications: a review. *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, 2003.
- [16] W. A. Wickelgrem: Speed Accuracy Tradeoff and Information Processing Dynamics.pdf. *Acta Psychol. (Amst.)*, vol. 41, pp. 67-85, 1976.
- [17] P. Marayong, A. M. Okamura: Speed-Accuracy Characteristics of Human-Machine Cooperative Manipulation Using Virtual Fixtures With Variable Admittance. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 46, no. 3, pp. 518-532, 2004.
- [18] J. Schmidtler, C. Harbauer, K. Bengler: Investigation of Human Behaviour in Pushing and Pulling Tasks for Direct Manipulation of a Collaborative Robot. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter, 2014.
- [19] E. B. Goldstein: Sensation and perception. 9th ed. Wadsworth: CENGAGE Learning, 2014.
- [20] P. Cordo, L. Carlton, L. Bevan, M. Carlton, G. K. Kerr: Proprioceptive coordination of movement sequences: role of velocity and position information. *J. Neurophysiol.*, vol. 71, no. 5, pp. 1848-61, 1994.
- [21] G. K. Kerr, C. J. Worringham: Velocity Perception and Proprioception. pp. 79-86, 2002.
- [22] A. Goldscheider: Physiologie des Muskelsinnes. Johann Ambrosius Barth, 1898.
- [23] K. Li: Just noticeable difference thresholds of passive limb motion in healthy young adults. University of Minnesota, 2008.
- [24] D. I. McCloskey: Differences between the senses of movement and position shown by the effects of loading and vibration of muscles in man. *Brain Res.*, vol. 61, no. C, pp. 119-131, 1973.
- [25] H. Z. Tan, M. a Srinivasan, B. Eberman, B. Cheng: Human factors for the design of force-reflecting haptic interfaces. *Dynamic Systems and Control*, vol. 55, no. 1. pp. 353-359, 1994.

- [26] K. M. Refshauge, R. Chan, J. L. Taylor, D. I. McCloskey: Detection of movements imposed on human hip, knee, ankle and toe joints. *J. Physiol.*, vol. 488, no. 1, pp. 231-241, 1995.
- [27] H. T. Weiler, F. Awiszus: Characterization of human joint proprioception by means of a threshold hunting paradigm. *J. Neurosci. Methods*, vol. 85, no. 1, pp. 73-80, 1998.
- [28] M. Djupsjöbacka, D. Domkin: Correlation analysis of proprioceptive acuity in ipsilateral position-matching and velocity-discrimination. *Somatosens. & Mot. Res.*, vol. 22, no. 1-2, pp. 85-93, 2005.
- [29] D. Surdilovic, G. Schreck, U. Schmidt: Development of Collaborative Robots (COBOTS) for Flexible Human-Integrated Assembly Automation. *Robot. (ISR)*, 2010 41st Int. Symp. 2010 6th Ger. Conf. Robot, pp. 1-8, 2010.
- [30] J. C. Baird, E. Noma: Fundamentals of scaling and psychophysics. 1978.
- [31] C. Kaernbach: Simple adaptive testing with the weighted up-down method. *Percept. Psychophys.*, vol. 49, no. 3, pp. 227-229, 1991.
- [32] M. R. Leek: Adaptive procedures in psychophysical research. *Percept. Psychophys.* vol. 63, no. 8, pp. 1279-92, 2001.
- [33] A. Seidl: SizeGERMANY – the new German Anthropometric Survey Conceptual Design, Implementation and Results. 2009.
- [34] M. Körber, J. Radlmayr, K. Bengler: Bayesian Highest Density Intervals of Take-Over Times for Highly Automated Driving in Different Traffic Densities. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society (HFES) 2016, Annual Meeting, 2016.
- [35] F. D. Schönbrodt, E.-J. Wagenmakers, M. Zehetleitner, M. Perugini: Sequential Hypothesis Testing With Bayes Factors: Efficiently Testing Mean Differences. *Psychol. Methods*, 2015.
- [36] J. Cohen: Statistical power analysis for the behavioral sciences. Academic press, 1988.

Gaze Gesture-Based Human Robot Interface

Sh. Alsharif, O. Kuzmicheva, A. Gräser

Universität Bremen, Institut für Automatisierungstechnik

Otto-Hahn-Allee 1, 28359 Bremen

salsharif@iat.uni-bremen.de, olena@iat.uni-bremen.de, ag@iat.uni-bremen.de

Kurzzusammenfassung

„Augengestenbasiertes Mensch-Maschine-Interface“

In diesem Artikel wird ein neuartiges augengestenbasiertes Mensch-Maschine-Interface vorgestellt, welches die Steuerung eines Roboterarms mit sieben Freiheitsgraden durch die Augenbewegungen als einziges Eingangssignal ermöglicht. Zur optimalen Nutzung der vom Eye-Tracker gelieferten zweidimensionalen Informationen, sind verschiedene Steuerungsmodi definiert worden, die es ermöglichen, den Roboterarm im 3D-Raum zu bewegen, den Greifer zu rotieren und Objekte zu greifen. Die Augengesten sowie der Zustand der Augen, werden verwendet, um zwischen den unterschiedlichen Steuerungsmodi umzuschalten. Eine Studie wurde durchgeführt, um die Gebrauchstauglichkeit der vorgestellten Schnittstelle zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen ein hohes Potential der augengestenbasierten Schnittstelle als Alternative zu anderen handfreien Steuerungsmodalitäten.

Abstract

This paper introduces a novel gaze gesture-based Human-Robot Interface to control a robot arm with seven Degrees-Of-Freedom (DOF) using the eye movement as the sole input. To make the best use of the two-dimensional information provided by the eye tracking glasses, different control modes are defined to translate, rotate, open, or close the robot gripper. Gaze gestures and state of the eyes are used to switch between different control modes. A user study is conducted to test the usability of the proposed interface. The results demonstrate the high potential of the gaze gesture-based interface as an alternative to the other hands-free interfaces.

Keywords: gaze gesture, eye-gaze interaction, hands-free human-robot interface, robot arm

1 Introduction

The development of assistive robotics in the past decades grants the wish of object manipulation for disabled people in daily and professional life [1]. These kinds of systems provide the user with the possibility to perform a part of their daily activities independently, without the help of their assistant. However, controlling the robot with conventional interfaces such as joystick and keyboard is hardly possible for users with reduced physical capabilities. A number of alternative hands-free Human-Robot Interfaces (HRIs) have been developed in the recent years which use other biosignals including voice [2], head [3], or mouth [4] movements, in order to provide an interface between the user and the robot. In this regard, the main disadvantage of the speech and mouth tracking based interfaces is that only discrete control commands can be generated. In addition, speech-based interfaces are less accurate on the background noise, the speed of speech, speaking style, and gender of the speaker. Needless to say that for many quadriplegic patients with restricted head movements, controlling the robot using the head movement-based interface is nearly impossible.

Considering the above restrictions and the fact that user's eyes are already involved in most of the daily activities, in this study we use the measured gaze direction signal as a communication modality between the user and the robot. The most challenging problem is to design a HRI which has the capability to use only the two-dimensional information provided by the eye tracker in order to translate and rotate the robot gripper at any position and orientation. Several other important requirements need to be considered when designing such an interface. Some of the main requirements are listed here:

- 1) The interface must have the capability to interpret two-dimensional information provided by the eye tracker to generate fourteen different commands: six commands for rotating the gripper around the positive or negative direction of the x-, y-, and z-axes, six commands for translating the gripper along the positive or negative direction of the x-, y-, and z-axes, and two commands for opening and closing the gripper.
- 2) The natural gaze direction must be distinguished from gazes which intend to control the robot. In other words, the interface must avoid the Midas touch problem [5].
- 3) The interface must provide a direct interaction between the user and the robot. The user's visual attention should not be distracted from the robot movement by any visual stimulus, e.g. a Graphical User Interface (GUI).
- 4) The interface must relieve the user from the inverse kinematic calculation where user's commands are generated in the Cartesian space.
- 5) The interface must be able to reliably determine the gaze direction that intends to stop the robot arm at any position and orientation ensuring no uncertainty for the user.

2 State of the art

To the best of our knowledge, so far only two interfaces have been proposed that take advantage of the eye movements to control the robot manipulator [6, 7]. These proposed systems have their own limitations and do not entirely fulfill the aforementioned requirements. In the system proposed by [7], one camera was mounted in front of the robot and real-time images of the camera were displayed for the user in the GUI. The gaze direction was measured by the wearable eye tracker and the user could then control different joints of the robot by looking at the related buttons on the GUI. The main drawbacks of this interface are: firstly, only discrete commands can be created to move the robot; secondly, with such an interface the user can not follow the robot movements and at the same time provide control commands; thirdly, since the robot arm is controlled in the joint space, the user is confronted with the inverse kinematic task and will therefore experience a very high cognitive load.

In the scheme proposed in [6], a wearable eye tracking device was used. To control the robot using the gaze direction, two different control strategies were introduced: directional control and vector directional control. In the directional control, the image of the scene camera of the eye tracker was divided into five different areas. Whenever the gaze direction of the user fell inside any of these areas, the robot was moved in the xy-plane to the left, right, up, or down, correspondingly. If the gaze direction was in the center of the scene camera, the robot would stop. In the vector directional control mode, the angle and amplitude of the gaze vector in the scene camera were used to move the robot diagonally in the xy-plane and at the same time the magnitude of the gaze vector was used to determine the velocity profile of the robot movement. Due to the limited number of commands in the proposed interface, the robot arm could only be moved in one plane, i.e., movement along the third dimension (z) and changing the orientation

of the robot were not considered in the control scheme. Moreover, a large range of the visual angle of the user was associated with control commands which in turn increases the probability that unrelated eye movements are detected as intentional robot commands. This results in a high cognitive load and uncertainty for the user and makes such an interface not suitable for disabled people.

This paper introduces a novel gaze gesture-based interface that enables the user to control the robot using eye movement as the sole input. Contrary to [7], where a GUI is required to enable the interaction of the user with the robot, here, the gaze focus on the robot gripper is directly used to generate continuous robot commands. In addition, unlike the interface presented in [6], the proposed interface provides all required commands to translate and rotate the gripper with respect to its all three axes. To achieve this, gaze gestures are introduced to switch between different control modes provided by the system. Furthermore, dynamic commanding areas are suggested to enable the user to investigate the environment of the robot while avoiding unintentional movements of the robot. The results of this experiment indicate the feasibility and usability of such an interface as an effective hands-free communication tool.

3 Proposed concept

Different control modes are proposed to overcome the limitation of the low DOF of the input signal (eye gaze) compared to the controlled DOF of the robot arm. For each control mode, one or two DOF of the robot can be controlled. Since the communication of the user with the robot is only through the eye movements, switching between the control modes should also be performed with the eye movements. To achieve this, eye gestures along with the state of the eye are used for switching modalities.

In this study, SensoMotoric Instruments (SMI) eye tracking glasses are used to measure the gaze direction of the user. These glasses consist of three cameras: two infrared eye cameras, measuring the eye movements and one scene camera. As the gaze direction, i.e., Point Of Regard (POR), is determined in the scene camera coordinate, the direct gaze direction of the user on the gripper is used to provide intuitive interaction of the user with the robot. Consequently, no GUI is required for the generation of the control commands.

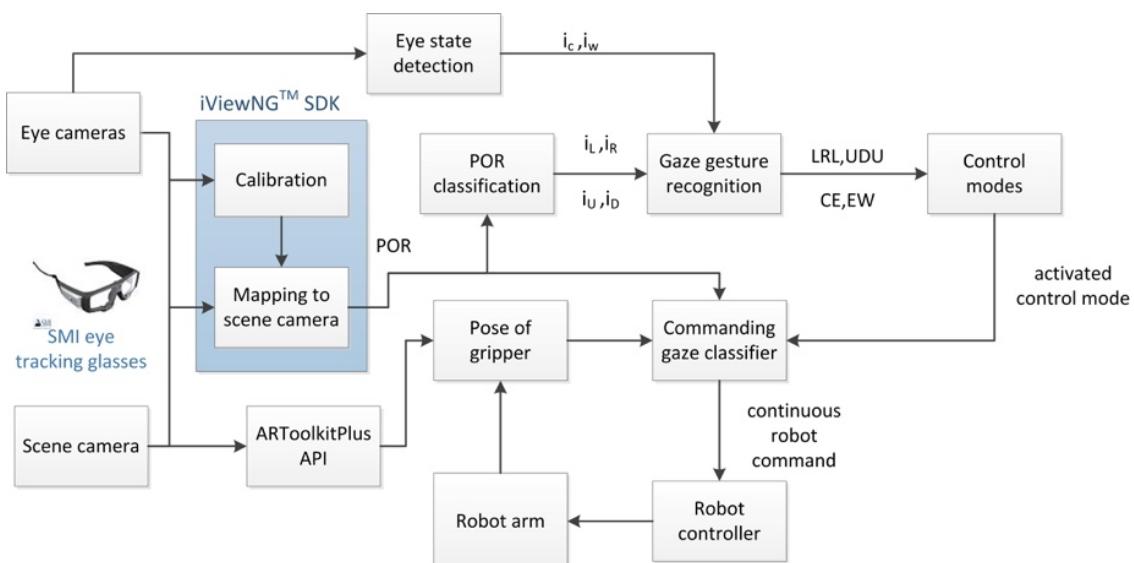


Figure 3.1: Control concept of the gaze gesture-based HRI

Moreover, dynamic commanding areas are proposed to meet the requirements of a reliable interface. This provides the capability to differentiate between commanding relevant gaze directions from the non-commanding relevant gaze directions. The dynamic commanding areas are defined around the robot gripper and are updated with the gripper movement. Based on the position of the POR in the scene camera and the activated control mode, different DOF of the robot arm can be controlled. Figure 3.1 illustrates the entire control concept of the gaze gesture-based HRI. In the next section, the main blocks depicted in Figure 3.1 are explained in more detail.

3.1 Gaze gesture recognition

The concept of gaze gesture was introduced originally by Drewes [8]. Gaze gestures are defined as a number of strokes performed in a predefined sequence where strokes are defined as rapid eye movement between two fixations.

In the so far proposed gaze gesture-based interfaces, the gaze direction was measured with a static eye tracker evaluated with respect to the static stimulus (normally a monitor) and used as the object selection strategy [9, 10]. However, in our study, the gaze direction is measured by the eye tracking glasses and used as a modality to switch between different control modes. The application of eye tracking glasses enables the user to create a gaze gesture in any arbitrary plane without the need for any static stimulus.

The necessary step in order to recognize a gaze gesture is to differentiate between primary gaze directions. To accomplish this, we classify the gaze directions into five main groups, namely, up, down, left, right, and center, based on the coordinates of POR provided by iViewNG™ SDK [11]. After the classification of the POR, the predefined sequences of eye movements (gaze gestures) are recognized using a Timed Finite State Machines (TFSM) [12].

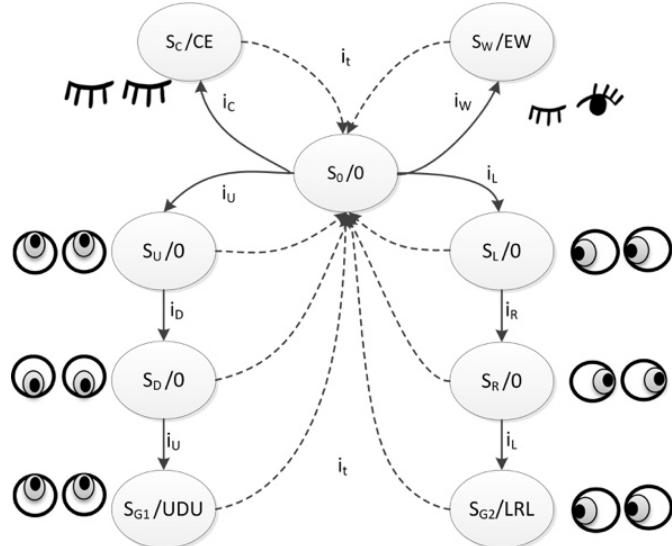


Figure 3.2: Gaze gesture recognition TFSM for the recognition of the gaze gesture Left-Right-Left (LRL), Up-Down-Up (UDU), Closed Eyes (CE) and Eye Winking (EW)

As shown in Figure 3.2, the inputs of the TFSM are the classified POR and the state of the eyes. Based on the position of POR in the scene camera, seven different events can occur: i_u (up), i_d (down), i_l (left), i_r (right), i_t (timeout, if no event happens in the predefined period of time) and the event i_c (close eyes) and i_w (eye winking) are defined based on the state of the eyes.

Immediately upon entering a new state, the user is acoustically informed about the state which is activated. The output of the TFSM is then the code of the recognized gesture: for instance, for the sequence of up-down-up the output is UDU and for the sequence of left-right-left the output is LRL. Similarly, the output is CE or EW for the closed eyes or eye winking states, respectively.

It is obvious that the number of possible gaze gestures can be extended by altering the order of the classified PORs as well as by increasing the number of possible classification groups (e.g. by defining additional groups of top-left, top-right, etc.). The investigation and comparison of different possible gaze gestures and the possibility of recognition of three-dimensional gaze gestures using conventional pattern recognition methods will be the focus of our future work.

3.2 Eye state detection

The states of the user's eyes are used as additional input modalities to switch between different control modes. The system differentiates between three eye events: close eyes (i_c , when both eyes are closed), winking (i_w , when only one eye is closed) and open eyes (i_o). The natural eye blinks and commanding eye blinks are distinguished in such a way that only eye blinks that last more than 500 ms are considered as commanding blinks. The same rule is applied for the eye winks. Similarly to [13], the Normalized Cross Correlation (NCC) method is used to detect the state of the eyes. The NCC is calculated using equation 3.1, where $T(x,y)$ is the template image of the the closed eye, $I(x,y)$ is the current frame of eye camera, \bar{T} is the average value of the closed eye template, and \bar{I} is the average value of the current frame of eye camera.

$$NCC(x, y) = \frac{\sum_{x',y'}(T(x', y') - \bar{T}) \cdot (I(x + x', y + y') - \bar{I})}{\sqrt{\sum_{x',y'}(T(x', y') - \bar{T})^2 \cdot \sum_{x',y'}(I(x + x', y + y') - \bar{I})^2}} \quad (3.1)$$

The NCC between the closed eye template and the stream of eye camera data indicates the similarity among them. The NCC is calculated for each eye separately. Whenever the NCC calculated for both eyes are larger than the predefined threshold of 0.7 for a specific time duration, both eyes are considered as closed (i_c). Similarly, if only one of the calculated NCC exceeds the threshold, then this state is associated with winking (i_w).

It is important to emphasize that the NCC score increases even when the user looks downward while the eyes are not totally closed. To prevent such kind of wrong eye blink or eye wink detection, the information about the pupil radius calculated by iViewNGTM SDK is applied as an additional criteria to help determine the state of the eyes. Since during an eye wink or a full blink, the pupil completely disappears, its radius is a suitable additional feature to distinguish between the cases where the eyes look downward and the cases where the eyes are totally closed. This means that the eyes are considered as closed if only for both eyes the NCC value exceeds the threshold and the pupil radius remains zero for at least 500ms. The same method is applied only for one eye, for the detection of an eye wink.

3.3 Commanding gaze classifier

The gaze direction of the user is used to explore the robot environment and at the same time to select the desired destination point of the robot. For an intuitive and reliable interaction, the HRI must be capable of classifying the POR into two main classes, commanding or natural POR. In this regard, we define the dynamic commanding areas around the gripper of the robot. The commanding areas are updated with the robot movement. This enables the user to follow

the movement of the gripper and to provide continuous robot controlling commands at the same time. For the calculation of dynamic commanding areas, the position and orientation of the gripper in the scene camera are required. The pose of the gripper can be calculated by applying conventional image processing techniques. Since the image processing problem is out of the scope of this paper, we used a marker-based detection for accurate pose estimation instead. As shown in Figure 3.3, one marker is mounted on the table in front of the robot. The position and orientation of the marker with respect to the scene camera of the eye tracker are determined with the help of the ARToolKitPlus SDK [14]. The position and orientation of the marker with respect to the robot base coordinate system are known. Furthermore, the position of the gripper with respect to the base coordinate system is calculated using forward kinematics. As shown in equation (3.2) the position and orientation of the gripper are obtained as a result of multiplying the transformation matrices,

$${}^C T_G = {}^C T_M \cdot {}^M T_B \cdot {}^B T_G \quad (3.2)$$

where ${}^C T_G$ is the gripper frame with respect to the scene camera of eye tracking glasses, ${}^C T_M$ is the marker frame with respect to the scene camera of eye tracking glasses, ${}^M T_B$ is the base frame with respect to the marker frame, and ${}^B T_G$ is the gripper frame with respect to the base frame. The projected coordinates of the gripper in the scene camera are calculated based on the intrinsic and extrinsic camera parameters. Based on the activated control mode, the commanding areas are defined, either on upper, lower, left, and right sides of the gripper or only on upper and lower sides of the gripper. It should be considered that even if the gripper is concealed from the user's sight by any obstacle, the commanding areas will stay available.

Different commands are assigned to each of the commanding areas at each control mode. The definition of different control modes and the association of commands at each control mode are described in the next section.

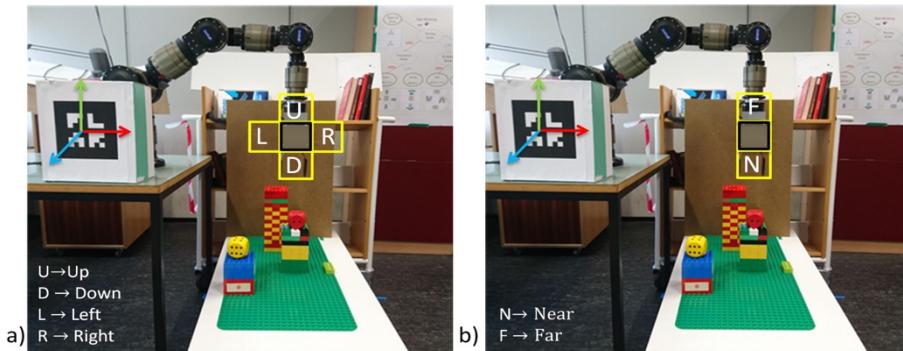


Figure 3.3: Dynamic commanding areas at (a) the left, right, upper, and lower side of the gripper in *trans_xy* mode (b) the upper and lower side of the gripper in *trans_z* mode

3.4 Control modes

To overcome the limitation of the lower DOF of the eye movements than the controlled DOF of robot arm, five different control modes are defined: rotation around x- and y-axes (*rot_xy*), rotation around the z-axis (*rot_z*), translation along x- and y-axes (*trans_xy*), translation along the z-axis (*trans_z*) and *gripper* mode. In addition to the control modes, three interconnection modes, *translation*, *rotation*, and *waiting mode* are defined. The commands in translation mode are performed with respect to the robot base coordinate system, whereas the commands in rotation mode are performed with respect to the gripper coordinate system. Four different eye

events, namely, LRL and UDU, EW and CE are used to switch between different modes. The activated mode is announced to the user, immediately upon entering a mode. Figure 3.4 illustrates the described modes and their associated gaze gestures. It should be noted that with a close eye event in each mode, the system returns to its previous mode. For simplicity, the close eye event is not shown in each state. As can be seen in Figure 3.3 and Figure 3.4, at each control mode, different numbers of commanding areas are available. The interconnection modes offer no dynamic commanding areas and serve only as a linkage between different control modes. Four commanding areas are available in the *rot_xy* and *trans_xy* modes, while in the *rot_z*, *trans_z*, and *gripper mode*, only two commanding areas are defined. At each control mode, different commands are associated with the dynamic commanding areas. For example, with the four dynamic commanding areas, in the *trans_xy* mode, the user can translate the gripper along the positive or negative direction of the x- or y-axis or with two commanding areas, in *trans_z* mode, translate the gripper along the positive or negative direction of the z-axis. Based on the active control mode, whenever the POR falls in any of the commanding areas, the associated control command is generated. To overcome the Midas touch problem [5], a command is created only after validating that the POR remains in the commanding area for the dwell time duration. The robot movement is stopped whenever the POR is outside of the commanding areas or when both eyes are closed. For the ease of use, the assignment of commands to these areas is adapted according to the user's viewpoint. This means, for example, in *trans_xy* mode, looking at the left side of the gripper regardless of the orientation of the gripper, moves the gripper from user's point of view to the left side.

With the proposed method all 14 robot control commands required to translate, rotate, open, and close the gripper are available. To move/rotate the gripper toward the desired position/orientation, first the related control mode must be activated. Then, based on the position of POR on the scene camera and the activated control mode, the position or orientation of the gripper will be changed continuously given the POR is inside the commanding area.

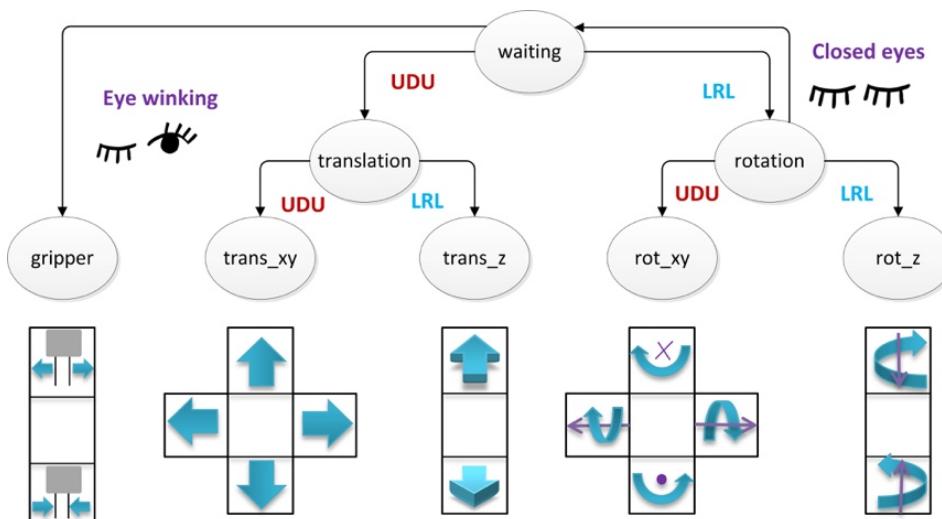


Figure 3.4: The five different control modes with their associated commands. The switching between the states is done with the gaze gestures (LRL & UDU) and with the state of both eyes (EW & CE). At each state, the CE event is used to switch back to the previous state.

4 User study

4.1 Apparatus

The SMI binocular eye tracking glasses, with a temporal resolution of 60 Hz, parallax compensation, and accuracy of 0.5° (over all distances) were used in this investigation. After successful three-point calibration, the gaze direction of the user with respect to the scene camera is provided by the manufacturer supplied iViewNg™ SDK.

The controlled Schunk robot arm with seven DOF, equipped with a PG70 gripper and a force-torque sensor, was mounted on a table.

4.2 Procedure

Six female and four male subjects participated in this experiment. One of the female subjects has been diagnosed with multiple sclerosis and is paralyzed from the neck down. The age of the participations ranged from 28 to 60 years. All users had either normal vision or wore corrective lenses during the experiment.

The participants were seated at a 150 cm distance in front of the robot arm. Three Lego columns were mounted on the table in front of the robot with two cubes on the top of the first and third columns. The task of the user was to grasp the first cube from the first column and put it on the second column behind it (first subtask), then grasp the other cube from the third column and put it on the first one (second subtask). The starting pose of the gripper and also the distance between the columns were the same for all the users. The participants were asked to finish the task as fast as possible. Before starting the experiment, the users were briefed on how to switch between different control modes and how to perform different gaze gestures. Furthermore, they were provided with two minutes time to practice different gaze gestures. Both subjective and objective measurements were collected for the evaluation of the interface. The time to complete the task and the number of required switching commands were used for objective evaluation. For subjective evaluation, all the participants were asked to fill out the NASA Task Load Index (NASA-TLX) [15] questionnaire.

4.3 Results

All participants were able to complete the control task using the proposed interface. The time required to perform both subtasks for each participant is shown in Figure 4.1. The average completion time for the first subtask was 5.59 ± 1.14 minutes, and for the second subtask was 6.41 ± 1.37 minutes.

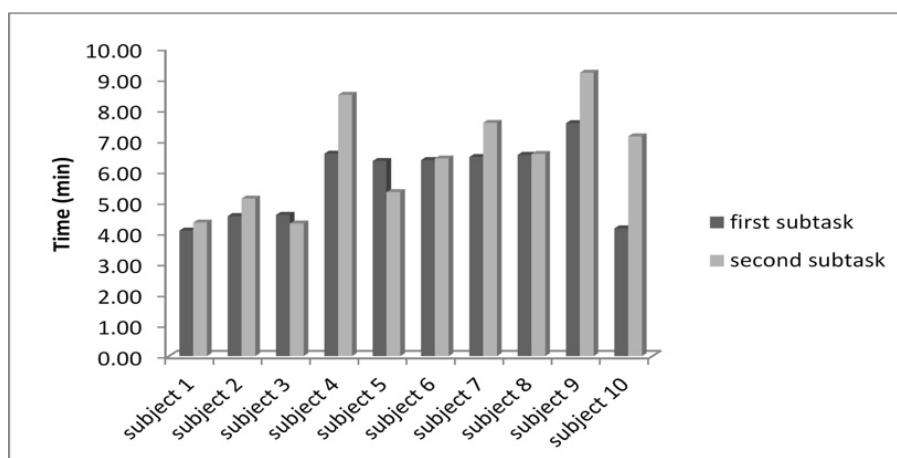


Figure 4.1: Measured time for each participant to complete the first and second subtask.

Figure 4.2(a) presents the average number of required gestures to complete both subtasks. The results show that the number of required closed eye commands was more than all other defined gestures. This is due to the fact that switching from one control mode to the other requires a closed eye event to first turn back to the previous state. In addition, since we only used four different eye events, the definition of interconnection states was essential. This, consequently, increased the number of required close eye events.

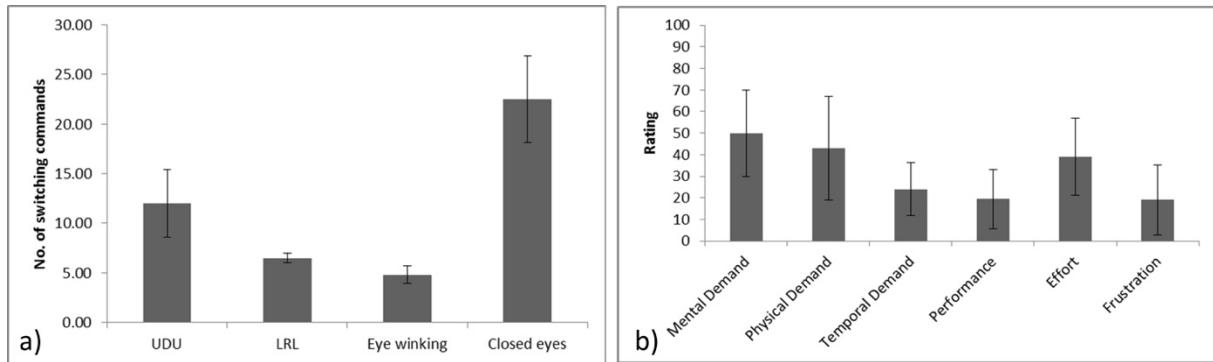


Figure 4.2: Mean and standard deviation of a) Number of generated switching commands
b) NASA-TLX questionnaires

The average value of NASA-TLX obtained for all users are presented in Figure 4.2 (b). The results show that although the whole interaction of the user with the robot was based on the eye movements, the mental load (50 ± 20), physical demand (43 ± 24), temporal demand (24 ± 12.20) of the task were not rated as difficult. All the users were mostly satisfied with their performance (19 ± 13.68) and rated the level of frustration with 19 ± 16.24 . The level of effort associated with the task was 39 ± 18.24 .

5 Conclusion

This paper has presented a novel gaze gesture-based HRI. The results showed the high potential of the proposed interface as a hands-free interface for people with restricted body movement. The conducted experiment demonstrated that with the help of this interface the users were able to provide continuous control of the robot arm movement towards the destination point by means of an eye gaze. Different control modes have been proposed to overcome the lower DOF of input signal than the controlled DOF of the robot arm. Switching between these control modes was performed by means of gaze gestures and the state of the eyes. However, from the data analysis perspective it can be concluded that too many switching commands were required to turn from one mode to the other. In our future work, more gestures will be included in the interface in order to reduce the number of switching commands. It should also be emphasized that gaze gestures were used in this study only as switching modalities. It is however also possible to use gaze gestures to directly control a certain DOF of the robot. In this case, after the recognition of the gaze gesture, either a discrete command is generated which will move the robot around/along the selected axis or the robot movement will continue until a stop command is generated. The usability evaluation and comparison of different alternatives will be the focus of our future work.

Finally, the definition of dynamic commanding areas enabled the user to freely investigate the robot environment without the fear of unintentionally moving the robot. However, the participant's feedback has shown that the definition of commanding area on the lower side of

the gripper was inconvenient. Some gaze directions of the user on the lower side of the gripper, e.g. for specification of the pose of the cube on the column, were recognized as robot commands. In our future work we intend to compare and investigate different possible positions and the possible number of dynamic commanding areas and thus to determine how the usability of the interface can be improved and such unintentional robot commands can be prevented.

6 References

- [1] A. Gräser, T. Heyer, L. Fotoohi, U. Lange, H. Kampe, B. Enjarini, S. Heyer, C. Fragkopoulos, D. Ristić-Durrant: A supportive FRIEND at work: Robotic workplace assistance for the disabled. *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 20, no. 4, pp. 148–159, 2013.
- [2] B. House, J. Malkin, J. Bilmes: The VoiceBot. *Proc. 27th Int. Conf. Hum. factors Comput. Syst. - CHI 09*, p. 183, 2009.
- [3] N. Rudigkeit, M. Gebhard, A. Gräser: Towards a User-Friendly AHRS-Based Human-Machine Interface for a Semi-Autonomous Robot. 2014.
- [4] M. Nam, M. U. Ahmed, Y. Shen, P. K. Rhee: Mouth tracking for hands-free robot control systems. *Int. J. Control. Autom. Syst.*, vol. 12, no. 3, pp. 628-636, 2014.
- [5] R. J. K. Jacob: What you look at is what you get: The use of eye movements in human-computer interaction techniques. *Tois*, vol. 9, no. 2, pp. 152-169, 1991.
- [6] Z. P. Rico: The WAM arm: modelling, control and its application in a HMI based on gaze tracking Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Leicester by Zaira Pineda Rico Department of Engineering University of Leicester. 2014.
- [7] D. H. Kim, J. H. Kim, D. H. Yoo, Y. J. Lee, M. J. Chung: A Human-Robot Interface Using Eye-Gaze Tracking System for People with Motor Disabilities. vol. 3, no. 4, pp. 229-235, 2001.
- [8] H. Drewes, A. Schmidt: Interacting with the computer using gaze gestures. *Proc. Int. Conf. Human-computer Interact.* pp. 475-488, 2007.
- [9] J. P. Hansen, A. Alapetite, I. S. MacKenzie, E. Møllenbach: The use of gaze to control drones. *Proc. Symp. Eye Track. Res. Appl. - ETRA '14*, pp. 27-34, 2014.
- [10] H. Drewes, A. De Luca, A. Schmidt: Eye-gaze interaction for mobile phones. *Proc. 4th Int. Conf. Mob. Technol. Appl. Syst. 1st Int. Symp. Comput. Hum. Interact. Mob. Technol. - Mobil. '07*, p. 364, 2007.
- [11] “iViewNGTMSDK.” [Online]. Available: <http://www.smivision.com/en/gaze-and-eye-tracking-systems/support/software-download.html>.
- [12] M. G. Merayo, M. Núñez, I. Rodríguez: Formal testing from timed finite state machines. *Comput. Networks*, vol. 52, no. 2, pp. 432-460, 2008.
- [13] K. Grauman, M. Betke, J. Gips, G. R. Bradski: Communication via eye blinks - detection and duration analysis in real time. *Proc. 2001 IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition. CVPR 2001*, vol. 1, pp. 1010-1017, 2001.
- [14] D. Wagner, D. Schmalstieg: ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices. *Proc. 12th Comput. Vis. Winter Work. CVWW07*, pp. 139-146, 2007.
- [15] “NASA TLX.” [Online]. Available: <http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx>.

Individuelle und dynamische Workerinformationssysteme

Einordnung, Definition und Beschreibungsmodell

S. Teubner, G. Reinhart, R. Haymerle, U. Merschbecker

Technische Universität München,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)
Boltzmannstraße 15, 85748 Garching
Severin.Teubner@iwb.tum.de

Kurzzusammenfassung

Mitarbeiter begegnen täglich der Herausforderung, hohe Qualitäts- und Produktivitätsziele bei einer variantenreichen Produktion zu erfüllen. Unterstützung können hier individuelle und dynamische Workerinformationssysteme bieten. Um der zunehmenden Bedeutung dieser Systeme gerecht zu werden, werden in diesem Artikel zunächst eine Einordnung in das Themenfeld der Assistenzsysteme vorgenommen, eine Definition von Workerinformationssystemen präsentiert und deren Charakteristika in einem Beschreibungsmodell herausgearbeitet.

Abstract

“Individual and dynamic worker information systems”

Every day, employees face the challenge to fulfil high quality and productivity goals, with numerous product variations to be produced. In this context, individualised and dynamic worker information systems can provide support. In order to give consideration to the increasing importance of these systems, this article will first offer a classification into the topic area of assistance systems, present a definition of worker assistance systems, and carve out their characteristics within a descriptive model.

Keywords: Operator information systems, assembly information system, worker information system, worker assistance

1 Einleitung

Im turbulenten Marktumfeld sind produzierende Unternehmen heutzutage einem starken globalen Wettbewerb ausgesetzt, dem viele mit einer variantenreichen Produktion entgegentreten [1]. Aus der Produktrvielfalt und Produktkomplexität ergeben sich für die Montage eine enorme Informationsvielfalt und -menge über einzelne Bauteile und Produktionsschritte. Um die Kundenaufträge trotzdem möglichst schnell und flexibel zu erledigen, sind leistungsfähige Informationssysteme erforderlich.

Darüber hinaus spielen bei der Realisierung entsprechend flexibler Produktionssysteme die Mitarbeiter eine zentrale Rolle [2]. Sie besitzen eine hohe Mobilität bei der Ausführung von Montageschritten als auch die Fähigkeit zur Anpassung an neue Aufgaben und Situationen in der Produktion [3]. Damit bieten sie großes Potenzial, verschiedenste Varianten zu produzieren. Um dieses Potenzial nutzen und von den Stärken profitieren zu können, sind Informationssysteme notwendig, die den Montagemitarbeiter über auszuführende Tätigkeiten informieren. Der

Mitarbeiter muss bei seinen Schwächen, z.B. Erinnerungsvermögen oder begrenzte Zuverlässigkeit [4], unterstützt werden, um Montagefehler und kostspielige Nacharbeit zu vermeiden, beispielsweise indem variantenspezifische Abmaße oder Bauteile auf einem Bildschirm angezeigt werden.

Erschwerend kommen am Hochlohnstandort Deutschland hohe Leistungsanforderungen hinzu, die sich in notwendigen Arbeitsverdichtungen beziehungsweise Effizienz- und Qualitätssteigerungen äußern. Insbesondere in einer hochvarianten Serienmontage nach dem Fließprinzip, wie sie zum Beispiel in der Nutzfahrzeugbranche anzutreffen ist, sind Informationsdichte und Zeitdruck häufig besonders hoch. Beim Arbeitsablauf sollte daher neben der Optimierung der manuellen Montagetätigkeiten auch der Informationsfluss für den Mitarbeiter verbessert werden [3], um die Informationsvermittlung zu beschleunigen sowie die kognitive Belastung auf ein Minimum zu reduzieren.

Des Weiteren führen Trends wie der demografische Wandel und Zeitarbeit [5] zwangsläufig zu einer heterogenen Mitarbeiterschaft hinsichtlich der Fertig- und Fähigkeiten sowie der Erfahrung, sodass ein unterschiedlicher Informationsbedarf zur Ausübung der Tätigkeiten seitens der Mitarbeiter entsteht.

Verbesserte Informationssysteme scheinen hier, insbesondere in der deutschen Industrie, als Erfolgsfaktor und wichtiger Stellhebel [6]. Im Besonderen bieten individuelle, dynamische Werkerinformationssysteme das Potenzial einer flexiblen, variantenreichen sowie vor allem mitarbeitergerechten und gleichzeitig wirtschaftlichen Produktion. Damit sind sie ein Baustein ganzheitlicher Ansätze zur Montagemitarbeiterassistenz und stehen in Einklang mit Systemen zur physischen Belastungsreduktion, die Krankheitsbildern wie Muskel-Skelett-Erkrankungen vorbeugen sollen.

Um der zunehmenden Bedeutung von Werkerinformationssystemen gerecht zu werden, wird in diesem Artikel ein grundlegendes Verständnis über entsprechende Systeme ausgearbeitet. Die entwickelte Einordnung, Definition und das Beschreibungsmodell stellen eine Grundlage für das Forschungsprojekt „Individuelle, dynamische Werkerinformation“ dar, welches die MAN Truck & Bus AG gemeinsam mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München seit Dezember 2015 bearbeitet. Darauf aufbauend werden für die LKW-Endmontage sowohl bestehende Werkerinformationssysteme weiterentwickelt als auch neue Informationssysteme implementiert, die an die Mitarbeiter und Montagesituation anpassbar sind.

2 Werkerinformationssysteme

Für die Definition des Begriffs Werkerinformationssystem wird zunächst eine Einordnung in den übergeordneten Begriff der Assistenzsysteme vorgenommen und der Betrachtungsraum eingegrenzt. Aufbauend auf der Definition folgt eine detaillierte Betrachtung anhand eines allgemeinen Beschreibungsmodells für Werkerinformationssysteme.

2.1 Einordnung – Werkerinformationssysteme als Teil von Assistenzsystemen

Der Mitarbeiter führt als zentrales Element im Arbeitssystem Tätigkeiten im Sinne seiner Arbeitsaufgabe durch. Dabei kann er auf verschiedenste Weise unterstützt werden. Unter Assistenz- bzw. Unterstützungssystemen werden nur Systeme verstanden, die dem Mitarbeiter bei seiner Arbeit behilflich sind (vgl. Begriffsbedeutung „assistieren“ nach [7]) und ihn nicht vollständig ersetzen/substituieren [8].

Beim Ausführen einer Tätigkeit folgt der Mitarbeiter dem in der Abbildung 2.1 dargestellten Muster zur menschlichen Informationsverarbeitung und Handlungsregulation. Demzufolge können die ebenfalls in der Abbildung dargestellten drei Klassen von Assistenzsystemen Wahrnehmungsassistenz, Entscheidungsassistenz und Ausführungsassistenz unterschieden werden. [9]

Selbstverständlich erscheinen kognitive und physische Assistenzsysteme auch in Mischform [10]. Der Grad der Unterstützung kann pro Assistenzbereich jeweils unterschiedlich stark ausfallen und bietet Möglichkeiten für detailliertere Klassifikationsebenen (weiterführende Informationen: [4] KRAISS 1998, [8] WEIDNER ET AL. 2015, [11] SHERIDAN 1992).

Darüber hinaus gibt es weitere Klassifikationsansätze für Assistenzsysteme, die jedoch für die grobe Einordnung und Abgrenzung des Überbegriffs Werkerinformationssysteme als Repräsentant für die Wahrnehmungsassistenzsysteme für Montagemitarbeiter im ersten Schritt zu weit führen (siehe beispielsweise [8] WEIDNER ET AL. 2015, [10] Karafillidis & Weidner 2015, [12] Gerke 2015).

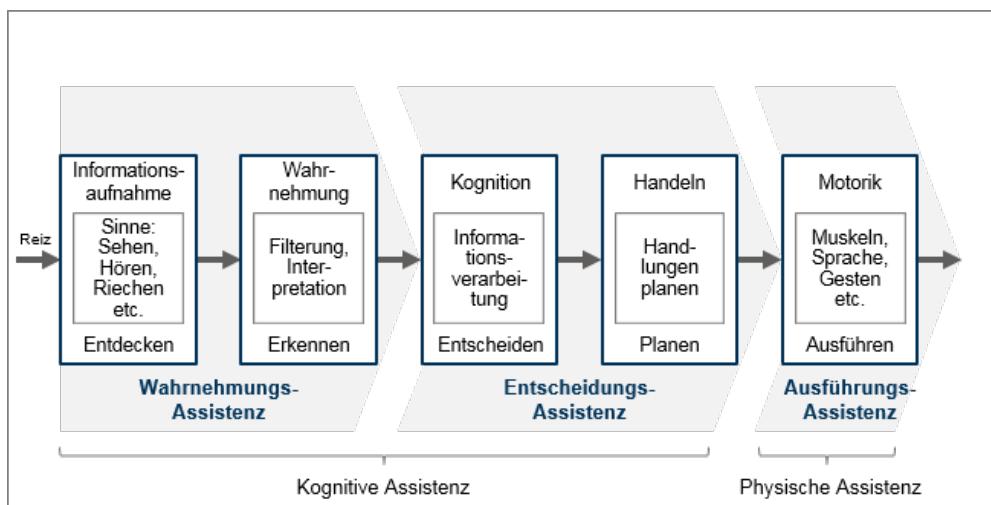


Abbildung 2.1: Menschliche Informationsverarbeitung und Handlungsregulation
(in Anlehnung an [9])

Im Gesamtkontext eines Arbeitssystems ergibt sich eine Interaktion zwischen Mensch und Assistenzsystem, welches bei der Durchführung des Arbeitsprozesses unterstützen kann (siehe Abbildung 2.2). Aus der Ausgabe des Assistenzsystems oder dem Arbeitsprozess entdeckt der Mitarbeiter seine Arbeitsaufgabe und wirkt mit oder ohne Unterstützung des Assistenzsystems auf den Arbeitsprozess zur Vollendung der von ihm verlangten Aufgabe ein.

Vergleichbar mit der menschlichen Informationsverarbeitung und Handlungsregulation bestehen die Assistenzsysteme aus einer Eingabe bzw. Sensorik, einer Steuerungseinheit und einer Ausgabe bzw. Aktorik. Aus einer Eingabe des Mitarbeiters oder über die Sensoren werden Informationen über die zu übernehmenden Tätigkeiten aufgenommen, welche von der Steuerungseinheit, ggf. unter Zuhilfenahme von internen und externen Datenbanken, verarbeitet werden. Das Ergebnis der Steuerungseinheit wird über die Aktorik ausgeführt oder dem Mitarbeiter über eine Ausgabeeinheit mitgeteilt. Assistenzsysteme können dabei unterschiedliche Automationsgrade aufweisen und den Mitarbeiter unterschiedlich stark entlasten (vgl. [9]).

Mit Hilfe des Interaktionsmodells lassen sich die Werkerinformationssysteme als kognitive Assistenzsysteme einordnen, mit denen der Mitarbeiter interagiert, um seine Arbeitsaufgabe wahr-

zunehmen. Die Ausgabe des Assistenzsystems ist im Gegensatz zur Aktorik, die auf den Arbeitsprozess einwirkt, an den Mitarbeiter gerichtet. In welcher Weise unterstützt werden soll, entscheidet die Steuerungseinheit auf Basis von Nutzereingaben oder der Sensorik.

Im Falle eines Workerinformationssystems zur Unterstützung bei einer Montageaufgabe kann beispielsweise eine Arbeitsanweisung vom Mitarbeiter per Eingabe abgerufen oder nach sensorischer Identifikation des zu montierenden Produkts angezeigt werden. Eine Variante von Entscheidungsassistenzsystemen könnte eine Software zur Aufgabenpriorisierung für Springer sein, die Unterstützungstätigkeiten nach bei Unterlass entstehendem Nacharbeitsaufwand bewertet und sortiert. Im Bereich der physischen Unterstützung beziehungsweise Ausführungsassistenz kann eine breite Bandbreite von Handgabelhubwagen bis hin zu Mensch-Roboter-Kooperationen an möglichen Assistenzsysteme genannt werden.

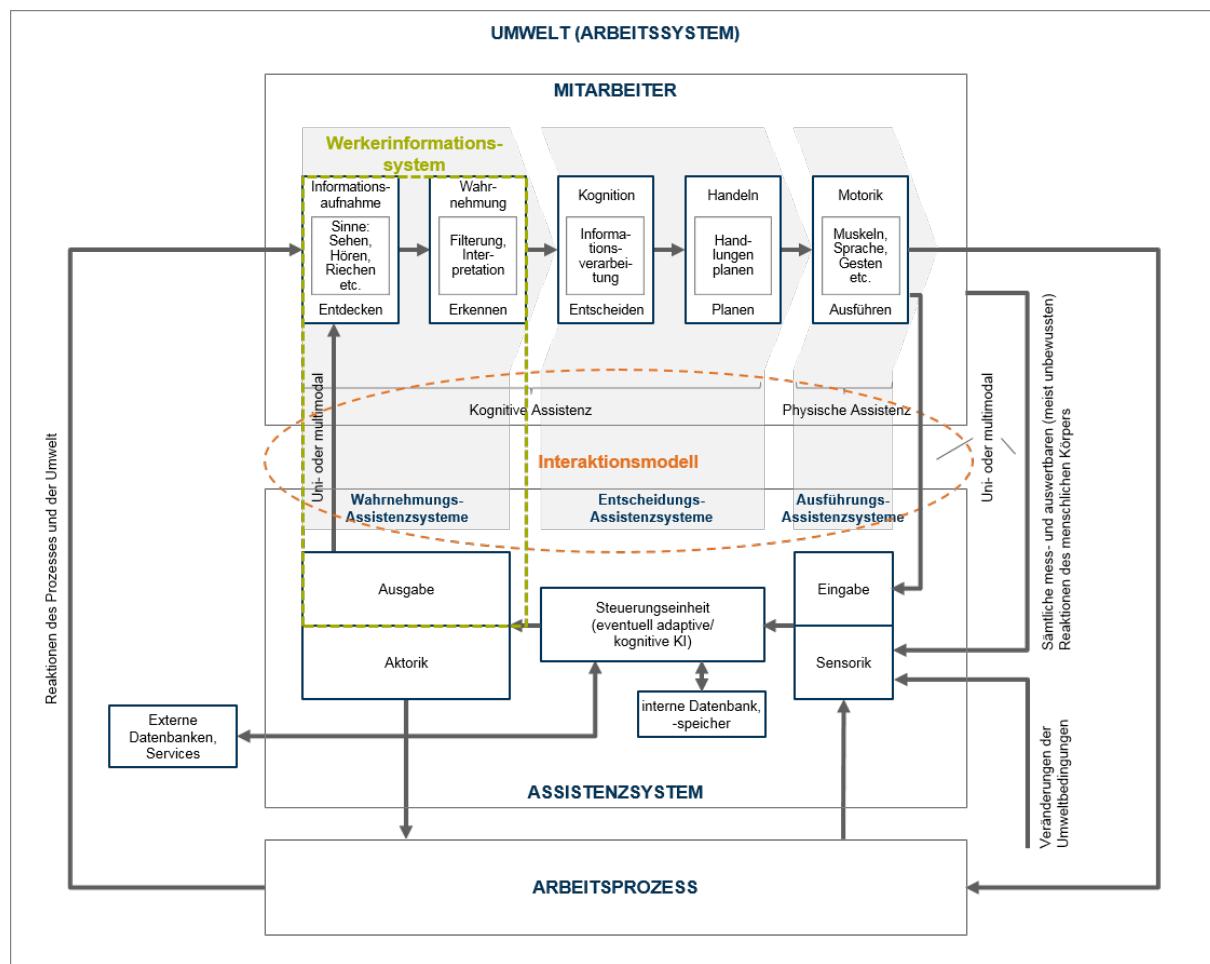


Abbildung 2.2: Interaktionsmodell Mensch-Assistenzsystem (in Anlehnung an [12])

Basierend auf dieser Einordnung kann im nächsten Abschnitt eine Definition des Begriffs Workerinformationssystem vorgenommen werden.

2.2 Definition – Individuelle und dynamische Workerinformation

Workerinformationssysteme unterstützen die Wahrnehmung in der menschlichen Handlungsabfolge zur Erledigung einer Arbeitsaufgabe, indem sie den Werker über von ihm verlangte Tätigkeiten informieren. Ihre Aufgabe ist es, Informationen zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Form dem Werker, assoziiert zu seiner aktuellen Tätigkeit, zur Verfügung zu stellen, um eine Tätigkeit effizient auszuführen zu können. [5, 13, 14]

Der Begriff „Werker“ impliziert bereits, dass es sich um eine bestimmte Personengruppe der Mitarbeiter in einem Unternehmen handelt. Die Bezeichnung Mitarbeiterinformationssystem wird häufig synonym verwendet [13], lässt aber keine präzise Unterscheidung zu. Unter der Personengruppe der Werker sollen Mitarbeiter gefasst sein, die eine direkte Produktionsaufgabe erfüllen. Die Mehrheit der Anwendungsfälle sind dabei Montageaufgaben, da die Montage im Gegensatz zur Fertigung in vielen Fällen stärker von menschlicher Arbeitskraft geprägt ist. Die Personengruppen von Meistern oder Logistikern, die über Informationssysteme beispielsweise Produktprogramme oder Kommissionierlisten erhalten, sind nicht inkludiert.

Ein Blick auf Abbildung 2.1 macht offensichtlich, dass die Information alleine noch nicht zu einer richtigen Tätigkeit und einem erfolgreichen Durchlauf des Musters führt. Der Mitarbeiter muss zunächst die ihm gegebenen Informationen zielführend interpretieren, indem er diese mit seinen individuellen Erfahrungen und dem gegebenen Produktionskontext richtig vernetzt. Dadurch entsteht das notwendige Wissen zum Ausführen der Arbeitsaufgabe, wie Abbildung 2.3 veranschaulicht. [15, 16]

Information ist also empfängerindividuell [17], was die Anpassung der Informationsübermittlung an die Mitarbeitererfahrung beziehungsweise die Entwicklung individueller Werkerinformationssysteme als folgerichtigen und notwendigen Schritt für eine Effizienzsteigerung herausstellt. Gleichzeitig kann auch eine dynamische Informationsbereitstellung die Informationsübermittlung an den Mitarbeiter verbessern, vor allem hinsichtlich der Aufnahmezeit und Aufnahmefehlern. Dynamisch bedeutet, dass sich die Information abhängig vom Produkt oder von der Produktionssituation anpasst. Dies können beispielsweise Zusatzinformationen oder eine unterschiedliche Reihenfolge von Tätigkeiten sein je nach Produkt oder interdependenten Produktparametern. Weiterhin ließe sich auf aktuelle Qualitätsmängel oder häufige Montagefehler gesondert hinweisen, beispielsweise mit einem rot blinkenden Kasten oder einem Hinweissignal bei bestimmten Prozessschritten. In ähnlicher Weise können präventiv seltene oder geänderte Produkte besonders hervorgehoben werden, um die Aufmerksamkeit des Mitarbeiters zu stimulieren.

Durch individuell und dynamisch richtig eingestellte Information, kann der Aufmerksamkeitsfokus aufrechterhalten werden. Die Fähigkeit des Mitarbeiters, den Aufmerksamkeitsfokus über längere Zeit aufrecht zu erhalten, wird als Vigilanz bezeichnet [18].

Das Feld der Informationsquellen, aus dem der Werker versucht, seine Aufgabe wahrzunehmen, entspricht grundsätzlich seiner gesamten Umwelt beziehungsweise dem Arbeitssystem. Meist wird unter Werkerinformationssystem eine Kommunikationstechnik verstanden, welche regelbasiert, also systematisch, über eine Ausgabeeinheit Informationen für den Werker explizit bereitstellt. Im einfachsten Fall ist das eine Arbeitsunterweisung oder ein Standardarbeitsblatt in Papierform. Vermehrt werden jedoch digitale Varianten verwendet, die Arbeitsaufgaben per Bildschirm an den Werker übermitteln.

Häufig sind es aber auch Kollegen oder Vorgesetzte, die unregelmäßig beziehungsweise unsystematisch Informationen mündlich überliefern. Dies geschieht zumeist, wenn ein unerfahrener Mitarbeiter neu an einer Arbeitsstation eingesetzt wird. Neben den schriftlichen Arbeitsanweisungen wird dieser auch einige Hinweise und Tipps von der Kollegen zum Ablauf seiner Tätigkeiten erhalten, die nicht vollständig dokumentiert sind.

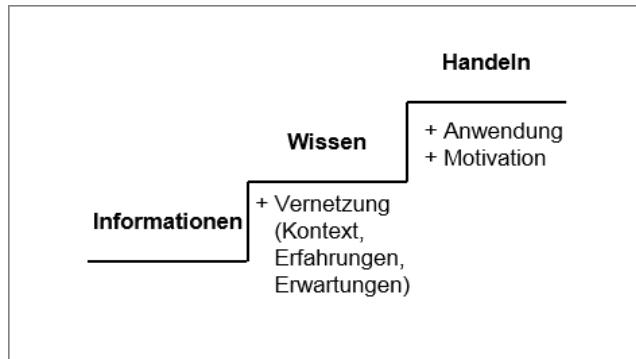


Abbildung 2.3: Wissenstreppe [16]

Auch aus bereitgestellten Betriebsmitteln oder von der Logistik vorkommissionierten, zu verbauenden Produktkomponenten können dem Werker implizit einige Tätigkeiten oder Aufgabenaspekte klar werden. Nicht zuletzt kann es vorkommen, dass ein Kollege Tätigkeiten bereits übernommen hat, um den Werker bei umfangreichen, stressigen Tätigkeiten zu entlasten oder Verteilzeit zu verschaffen.

Aus den genannten Beispielen geht hervor, dass sich das Feld von Informationsquellen anhand von zwei Dimensionen beschreiben lässt. Zum einen kann unterschieden werden, ob die Information explizit oder implizit übermittelt wird, zum anderen, ob es sich um eine systematische Weise oder unsystematisch, nicht regelbasierte Weise handelt. Daraus ergeben sich vier grundsätzliche Arten der Informationsbereitstellung (siehe Abbildung 2.4).

Bekannte Assistenzsysteme zur Werkerinformation können demnach als explizit und systematisch charakterisiert werden. Eine weitere Erkenntnis liegt darin, dass der Werker nur einen Teil der Informationen, aus denen er seine Aufgaben ableitet, aus den gängigen Informationssystemen bezieht. Mit der Matrix wird ein Rahmen für die Klassifizierung von Informationen gespannt, die bei der Analyse von Informationsflüssen am Arbeitsplatz zu berücksichtigen sind. Zudem wird aus der Abbildung eine interessante, häufig unterschätzte und in Publikationen meist missachtete Informationsquelle ersichtlich, nämlich die der systematischen, impliziten Information. Sie kann vermeintlich eine geringere kognitive Belastung und schnellere Verarbeitung begünstigen, dadurch dass die Information intuitiver zugänglich ist. Für weitere Forschungsprojekte wäre es an dieser Stelle interessant, entsprechende Regeln und Systeme zu entwerfen und Studien durchzuführen.

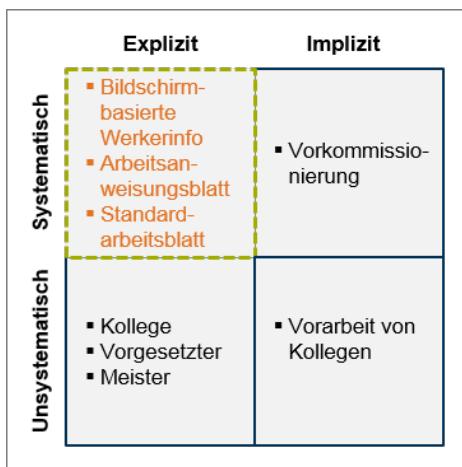


Abbildung 2.4: Vier grundsätzliche Arten der Informationsbereitstellung

Der Großteil implementierter Werkerinformationssystemen als wahrnehmungsunterstützende Assistenz ist wohl dem expliziten Feld zuzuordnen. Im nächsten Abschnitt wird daher ein kurzer Überblick zum Stand der Forschung in diesem Feld gegeben.

2.3 Stand der Forschung – Individuelle und dynamische Werkerinformationssysteme

Wie in Kapitel 1 bereits hergeleitet ist eine individuelle und dynamische Werkerinformation besonders bedeutsam in Anbetracht der Entwicklungen in produzierenden Unternehmen. Abbildung 2.5 zeigt die für den Stand der Forschung untersuchten Themenfelder sowie die Fokussierung innerhalb des Themenkomplexes auf.



Abbildung 2.5: Zu untersuchende Themenfelder und Fokussierung beim Stand der Forschung

Das grundlegende Themenfeld der Werkerinformationssysteme umfasst dabei Aspekte der konzeptionellen Gestaltung und technischen Realisierung wie (software-)ergonomische Gestaltungsrichtlinien oder Systemarchitekturen. Das Themenfeld Individuelle Information beinhaltet die Modellierung der Mitarbeiter sowie deren Einflussfaktoren auf eine individuelle Informationsbereitstellung. In ähnlicher Weise sind im Themenfeld Dynamische Information die Modellierung des dynamischen Produktionsumfeldes sowie vor allem der Einflussfaktoren auf die Informationsbereitstellung inkludiert.

Die Fokussierung orientiert sich an einer hochvarianten oder kundenindividuellen Serienmontage nach dem Fließprinzip, in der aufgrund der Informationsvielfalt und der zumeist knappen Taktzeit im Minutenbereich ein erhöhter Bedarf an individuellen, dynamischen Werkerinformationssystemen besteht. Es sollen ausschließlich die direkt wertschöpfenden Mitarbeiter an der Arbeitsstation betrachtet werden, da hier Effizienz- und Qualitätssteigerungen erreicht werden sollen (vgl. Kapitel 1). Daher liegt der Fokus auch auf ausführungsbegleitenden, tätigkeitsbezogenen Informationen (Arbeitsanweisungen) und der Unterstützung der Wahrnehmung dieser. Wie schon mit Abbildung 2.4 verdeutlicht, steht die dafür verwendete systematische, explizite Werkerinformation im Blickpunkt.

Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016

In Abbildung 2.6 sind Forschungsprojekte, Veröffentlichungen sowie Industrielösungen den genannten Themenfeldern und der gewählten Fokussierung gegenübergestellt. Die Harvey-Balls geben eine grobe Bewertung hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ansätze für ein individuelles und dynamisches Workerinformationssystem in drei Stufen ab.

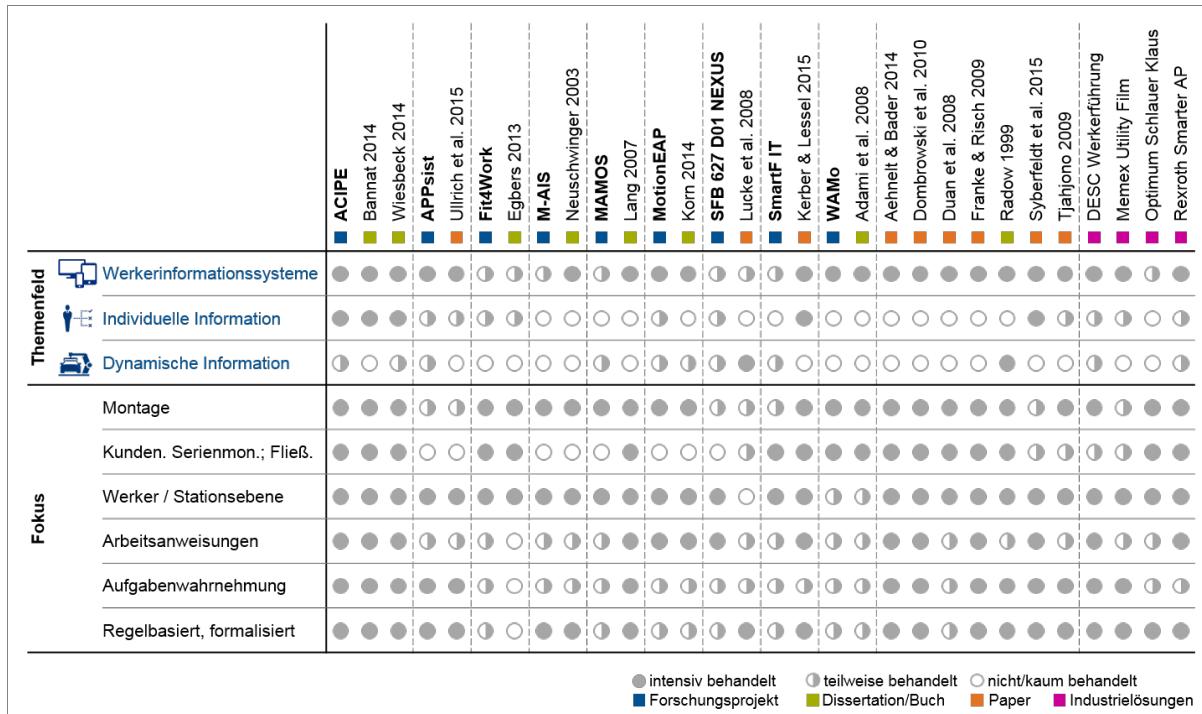


Abbildung 2.6: Stand der Forschung zu individuellen und dynamischen Workerinformationssystemen

Im Folgenden werden die nahe liegenden Projekte beziehungsweise Veröffentlichungen kurz vorgestellt und diskutiert.

Das Forschungsprojekt ACIPE legte mit seinen beiden Autoren Wiesbeck und Bannat einen Schwerpunkt auf adaptiver Montageführung mittels Erfassung der Mitarbeiterhandlung und montagezustandsbasierter Anweisungsgenerierung. Es wurden unter anderem eine Graphenstruktur für Produktzustände, ein Online-Algorithmus für situativ optimale Montagesequenzen sowie ein Assistenzsystem zur Werkeraktionserfassung entwickelt. Der Fokus lag hauptsächlich auf Werkerinteraktion und individueller Werkerführung, sodass Weiterentwicklungspotenzial hinsichtlich der Berücksichtigung des dynamischen Produktionsumfeldes besteht. [19, 20] Ullrich et al. (2015) stellen im Rahmen des Projektes APPsist Intelligente Wissensdienste für die Smart Production insbesondere eine Systemarchitektur für eine Dienste-Plattform in den Vordergrund. Der Fokus liegt jedoch mehr auf instandhaltenden Tätigkeiten sowie der Interaktion des Mitarbeiters mit Maschinen und Anlagen. [21]

Kerber & Lessel (2015) (Forschungsprojekt SmartF IT) präsentieren in ihrer Veröffentlichung „Adaptive und gamifizierte Werkerassistenz in der (semi-)manuellen Industrie 4.0-Montage“ ein Assistenzsystem, welches Arbeitsanweisungen bspw. über die individuelle Wiederholhäufigkeit und Fehlerfreiheit an den Mitarbeiter anpasst. Aspekte einer Fließmontage und des dynamischen Produktionsumfeldes wie veränderte Produkte oder Prozesse spielen hingegen eine untergeordnete Rolle. [22]

Als Industrielösung sei noch die Werkerführung von DESC zu nennen, die ebenfalls Wiederholhäufigkeiten und mitarbeiter spezifische Fehlerraten bei der Anzeige von Arbeitsanweisungen berücksichtigt. Tiefergehende Details zu Methoden und Konzepten sind jedoch nicht verfügbar.

Unter den technischen Konzepten für Werkerinformationssysteme konnte bei der Literaturrecherche kein umfangreiches Beschreibungsmodell aufgedeckt werden, welches verschiedene Facetten und Varianten von Werkerinformation strukturiert. Daher wird im nächsten Kapitel ein speziell für Werkerinformationssysteme zugeschnittenes Beschreibungsmodell beschrieben.

2.4 Beschreibungsmodell – Systemparameter und Ausprägungen

Ein Werkerinformationssystem kann grundsätzlich als Sender-Empfänger-Modell interpretiert werden. Der Informationsaustausch lässt sich dabei über sechs Aspekte näher beschreiben (in Anlehnung an: [23, 24]): Was wird wo, wann, wem, wie (in welcher Weise und womit), warum übermittelt. Auf dieser Basis zeigt Abbildung 2.7 ein Beschreibungsmodell für Werkerinformationssysteme.

Die Sender- beziehungsweise Ersteller-Seite, welche die Informationen erstellt und pflegt, befasst sich in erster Linie mit den Punkten Warum, Wem, Was und Wie. Daraus ergeben sich vier Gestaltungsfelder. Das Gestaltungsfeld Scope umfasst die Umstände und Gründe für den Informationsaustausch, der grundsätzlich darin liegt, dass dem Mitarbeiter die Tätigkeitsausführung ermöglicht oder erleichtert wird. Der anvisierte Mitarbeiter beziehungsweise die Mitarbeitergruppe wird im Gestaltungsfeld Consumer näher beleuchtet. In den Feldern Core Data und Composition wird beschrieben, was übermittelt werden soll und wie die Informationszusammenstellung/-aufbereitung für den Mitarbeiter erfolgt.

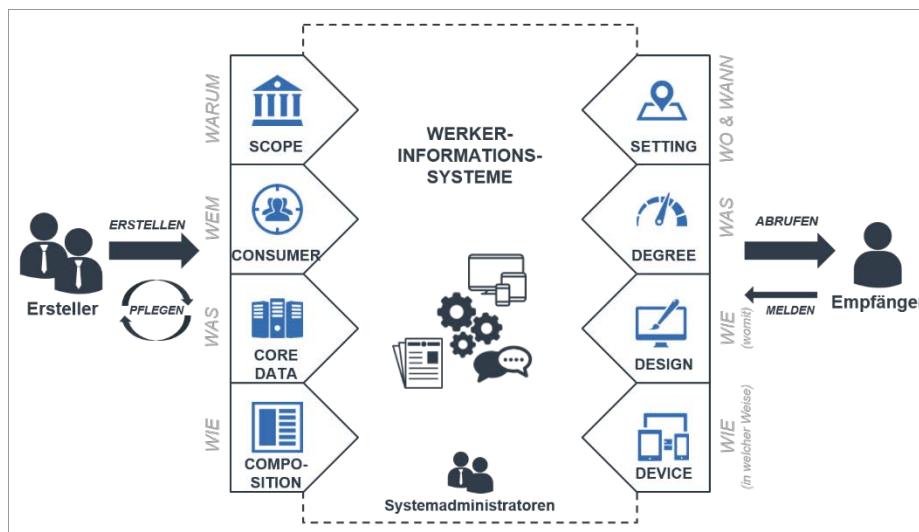


Abbildung 2.7: Beschreibungsmodell Werkerinformationssystem

Die Empfänger-Seite, welche die Information abruft und Rückmeldung gibt, ist betroffen von den Aspekten Wo und Wann, welche sich im Gestaltungsfeld Setting widerspiegeln. Von den Aspekten Was und Wie sind sowohl die Empfänger als auch die Sender betroffen, jedoch aus einer anderen Perspektive. Aus dem Aspekt Was ergibt sich für die Empfänger das Gestaltungsfeld (Information-)Degree, welches den Umfang der ausgetauschten Information über die ge-

wünschte Tätigkeit beschreibt. Der Aspekt Wie gliedert sich in die zwei Gestaltungsfelder (Information-)Design und (Information-)Device, die klassifizieren, in welcher Weise die Informationen präsentiert werden und womit die Informationspräsentation umgesetzt wird.

Systemadministratoren sind an dem Informationsaustausch nur insofern beteiligt, als dass sie das Informationssystem für den Austausch zur Verfügung stellen. Häufig werden Workerinformationssysteme jedoch aus reiner Empfängersicht betrachtet, wofür ein vereinfachtes Modell aus Degree, Design und Device verwendet werden kann. (vgl. [25])

Zur näheren Systembeschreibung dient der morphologische Kasten aus Abbildung 2.8 und Abbildung 2.9, der auf den Gestaltungsfeldern aus Abbildung 2.7 aufbaut. Die Gestaltungsparameter und Ausprägungen wurden innerhalb des Forschungsprojekts „Individuelle, dynamische Workerinformation“ mit dem Anwendungspartner MAN Truck & Bus AG und basierend auf einer Literaturrecherche erarbeitet. Konstituierende Ausprägungen sind fett und deren Unterkategorien/-parameter kursiv und in hellblau markiert. Mit dem morphologischen Kasten lassen sich alle Varianten einer systematischen und expliziten Workerinformation erfassen und klassifizieren.

FELD	Parameter	Ausprägungen			
		simultane Bearbeitungsunterstützung	Arbeitskontrolle, Nachschlagewerk	Lernsystem zum Training vorab	Auswertung der Tätigkeiten
WÄRUM SCOPE	Funktion	gesetzlich vorgeschrieben	firmenintern vorgeschrieben	freiwillig	
	Nutzungs-verpflichtung				
WEM CONSUMER	Anwender-gruppe	namentlich bekannter MA	Arbeitsplatz	Arbeitsstation	Produktions-einheit Werk
	Benutzerdaten	Arbeitsjahre/ Alter	Fähigkeiten/ Fertigkeiten	Wissen/ Kentnisse	Interessen/ Vorlieben Keine
WAS CORE DATA	Bezugsquelle	Technische Zeichnung	CAD Dateien	Produktions-/ Prozessdaten	SAP Weitere
	Auslesung	automatisch	unterstützt	manuell	
WIE COMPOSITION	Granularität	Tätigkeit	Prozessschritt	Teilprozess	Hauptprozess
	Gültigkeit	kurzfristig	mittelfristig	langfristig	
	Layout	genormt, standardisiert	Leitlinien, Empfehlungen	beliebig	
	Erstellung	automatisiert	geführt	unterstützt	manuell
	Pflege	automatisiert	geführt	unterstützt	manuell keine
	Generierungs-Tool	MS Excel	MS Word	MS Power Point	eigene Software

Abbildung 2.8: Morphologischer Kasten zu Gestaltungsparametern und Ausprägungen eines Workerinformationssystems – Ersteller-Seite

Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016

FELD		Parameter					Ausprägungen				
WO, WANN SETTING	Ort der Info-Bereitstellung	Bauteil, Produkt	Werker	Arbeitsplatz	Arbeitsstation	stations-übergreifend					
	Zeitpunkt der Bereitstellung	zu Beginn der Tätigkeit	schrittweise während der Tätigkeit	kontinuierlich während der Tätigkeit	nach der Tätigkeit (Checkliste)						
	Wiederholung der Bereitstellung	einmalig	täglich	bei jedem Auftrag							
	Auslöser der Bereitstellung	manuell auf Nachfrage - adaptierbar	automatisch - adaptiv								
WAS DEGREE	Informationsart	produkt-bezogen Stücklisten oder Sachnummern des zu montierenden Teils	tätigkeits-/prozessbezogen Reihenfolge der zu montierenden Teile, Hinweise zur Verwendung der Betriebsmittel	auftragsbezogen Stückzahlen, Kunde, Fälligkeitstermine	ablauf-bezogen innerbetriebliche Materialflussregelung zur Anlieferung der zu montierenden Teile an die Arbeitsstation	qualitäts-bezogen Prüfanweisungen zur Kontrolle der Montage					
	Informationsmenge	hoch (Erklärung)	mittel (Zusammenfsg.)	gering (Hinweis)							
WIE DESIGN	Wahrnehmung (Sinnesbezeichnung - Organ)	Vision (Sehen) - Augen					Audition (Hören) - Ohren				
	Modus	Text	Bild	Bewegtes Bild (Video)			Signalton	Stimme			
	Stil (Text)	Unterschiedliche Sprache	Einfacher Text (Worte, Satz, Aufsatz)	Fachsprache	Tabellen						
	Stil (Bild)	Piktogramm, Skizze	Zeichnung, Diagramme	Fotografie	"Augmented Reality" Foto						
	Stil (Video)	Animation, Simulation	Video	"Augmented Reality" Video							
	Stil (Signalton)	Hinweiston (Erfolgsmeldung, Fehlermeldung)	Warnton	Alarmton							
	Stil (Stimme)	Sprachnachricht Stichwörter	Sprachnachricht Ganze Sätze								
	Intensität (Vision)	Größe	Farbe								
	Intensität (Audition)	Lautstärke	Tonhöhe								
WOMIT DEVICE	Übermittlungsform	mündlich (Mitarbeiter)	papier-gebunden	IT-basiert							
	Übermittlungsmedium (IT-basiert) (Vision)	Ortsfest/Stationary (PC + Monitor/Projektor)	Beweglich/Portabel (Laptop)	Handgerät/Handheld (Smartphone, Tablet)	Tragbar/Wearable (Smartwatch, Datenbrille)	Implantat					
	Übermittlungsmedium (IT-basiert) (Audition)	Kopfhörer	Lautsprecher								
	Eingabeinteraktion	nicht vorhanden	visuell - Geste	akustisch - Sprache	mechanisch (taktile, haptische) - Berührung, Druck						

Abbildung 2.9: Morphologischer Kasten zu Gestaltungsparametern und Ausprägungen eines Werkerinformationssystems – Empfänger-Seite (vgl. auch [25])

3 Diskussion

Wie in den vorangegangenen Kapiteln schon hergeleitet, bietet eine Individualisierung und Dynamisierung der Werkerinformation Potenzial für eine flexible, variantenreiche sowie effiziente Produktion (Mit der Grundvoraussetzung einer informationsergonomisch optimalen Darstellung befasst sich die Softwareergonomie für die digitalen Lösungen, was nicht im Fokus dieses Forschungsprojektes steht.).

Nach der Vorstellung des Stands der Forschung kann resümiert werden, dass sich bereits einige Forschungsprojekte mit dem Themengebiet der Werkerinformation auseinandersetzen, was die Bedeutung dieser Thematik unterstreicht. Darüber hinaus werden vereinzelt die Themenfelder der individuellen und dynamischen Information behandelt.

Ein ganzheitliches Konzept, um sowohl dem Mitarbeiter als auch dem dynamischen Produktionsumfeld gerecht zu werden und gleichzeitig fließmontagetauglich zu sein, steht jedoch noch aus.

Des Weiteren gilt es, bei der individuellen Information bereits vorhandene Ansätze zur groben Mitarbeiterklassifizierung (bspw. anhand des Kompetenzlevels: Amateur erhält Video, Profi erhält Bild) weiter zu entwickeln. Eine feinere Mitarbeitertypologie, ähnlich wie im Fußball, wo im Profibereich zwischen erster und zweiter Bundesliga sowie Nationalmannschaft unterschieden werden kann, ist für eine noch passgenauere Informationsbereitstellung notwendig. Informationen aus dem dynamischen Produktionsumfeld wie Produkt- und Prozessänderungen oder häufige Montagefehler werden derzeit zumeist in Qualitätsregelterminen besprochen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf zu Integrationsmöglichkeiten dieser Informationen direkt in die Werkerinformation am Arbeitsplatz.

Die Entwicklung eines entsprechenden individuellen und dynamischen Werkerinformationssystems wird im gleichnamigen Forschungsprojekt zwischen der MAN Truck & Bus AG und dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der TU München vorangetrieben.

Grundlegend dafür sind die in diesem Beitrag vorgestellte Einordnung, Definition sowie das Beschreibungsmodell für Werkerinformationssysteme, die durch ihre Maßanpassung an die Werkerinformation und den Detailgrad einen Neuheitswert aufweisen.

Vor allem die Erkenntnisse aus Abbildung 2.4 helfen bei der strukturierten Informationsanalyse für Werker an ihrem Arbeitsplatz. Das Beschreibungsmodell dient der Charakterisierung unterschiedlichster Informationssysteme, die im Produktionsbetrieb zum Einsatz kommen können. Jedes Werkerinformationssystem kann auf diese Weise mit einem Pfad durch den morphologischen Kasten strukturiert erfasst werden. Auch bei der Entwicklung von neuen Systemen gibt der morphologische Kasten einen Rahmen für die Umsetzungsmöglichkeiten. Bei der MAN Truck & Bus AG ist basiert auf dem morphologischen Kasten bereits ein tabletbasiertes Werkerinformationssystem zur Unterstützung neuer, unerfahrener Mitarbeiter entwickelt worden (vgl. auch [25]).

Indem die Ausprägung ausgewählter Gestaltungsparameter variabel gestaltet wird, kann eine Individualisierung des Systems erzeugt sowie eine dynamische Information ermöglicht werden. Je mehr Parameter beispielsweise eine Anpassung zulassen, desto individueller lässt sich das Gesamtsystem nutzen. Ein einfacher Fall wäre die Anpassung der Schriftgröße (Gestaltungsparameter Intensität(Vision)). Umfangreicher wäre hingegen eine Variabilität des Übermittlungsmediums, sodass der Werker zwischen einem ortsfesten Monitor oder einem Smartphone je nach persönlichen Vorlieben wählen kann. Forschungsbedarf besteht nun darin, herauszufinden, welche Parameter sich am besten eignen und auf Basis welcher Einflussfaktoren die Individualisierung und Dynamisierung eingestellt werden.

Des Weiteren sollte das Gestaltungsfeld (Information-)Degree tiefergehend analysiert werden, um den Informationsart und –menge passgenauer an eine feinere Mitarbeitertypologie anzupassen und dynamische Informationen besser integrieren zu können.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im ersten Kapitel wurde einleitend der Forschungsbedarf für individuelle und dynamische Werkerinformationssysteme aufbauend auf den aktuellen Herausforderungen produzierender Unternehmen hergeleitet.

Die Grundlage für die Definition des Begriffs Werkerinformationssystem stellt die Einordnung solcher Systeme in den übergeordneten Themenkomplex der Assistenzsysteme dar. Daher wurden Werkerinformationssysteme anhand der menschlichen Informationsverarbeitung und Handlungsregulation sowie eines Interaktionsmodells als kognitive Assistenzsysteme klassifiziert. Sie stellen Mitarbeitern mit direkter Produktionsaufgabe Informationen für die effiziente Ausführung ihrer Tätigkeiten zur Verfügung. Zudem lassen sie sich als explizit und regelbasiert beziehungsweise systematisch beschreiben, um von anderen Arten der Informationsbereitstellung klar abgegrenzt werden zu können.

Im Anschluss an die Definition individueller und dynamischer Werkerinformationssysteme wurde im Stand der Forschung aufgezeigt, dass derzeit noch keine ganzheitlichen Systeme entwickelt sind.

Für deren Entwicklung wurde im nächsten Schritt ein Beschreibungsmodell vorgestellt. Hierbei wird ausgehend vom Sender-Empfänger-Konzept ein Modell für die systematische und explizite Werkerinformation entwickelt, welches auf acht Gestaltungsfeldern basiert. Auf der Ersteller-/Sender-Seite sind dies Scope, Consumer, Core Data und Composition, während die vier Gestaltungsfelder der Empfänger-Seite Setting, (Information-)Degree, (Information-)Design und (Information-)Device lauten. Jedes Feld verfügt über mehrere Parameter mit unterschiedlichen Ausprägungen, die in einem morphologischen Kasten zusammengestellt wurden.

5 Literatur

- [1] G. Reinhart, M. F. Zäh: Assistenzsysteme in der Produktion. *wt Werkstattstechnik online* 104 9, S. 516, 2014.
- [2] A. Schließmann: iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory. In: T. Bauernhansl et al. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer-Vieweg, S. 451-480. ISBN: 978-3-658-04682-8, 2014.
- [3] K. Feldmann, S. Lang: Multimediale Informationssysteme an manuellen Arbeitsplätzen. Prozesssicherheit und Effizienzsteigerung durch Bereitstellung und Rückmeldung richtiger sowie aktueller Informationen. *Industrie Management* 21 1, S. 25-28, 2005.
- [4] K.-F. Kraiss: Benutzeroberfläche Automatisierung - Grundlagen und Realisierungskonzepte. *at - Automatisierungstechnik* 46 10, S. 457-467, 1998.
- [5] U. Dombrowski, S. Wesemann, G. H. Korn: Werkerinformationssystem. Effiziente Information für die mitarbeiterorientierte Produktion. *ZWF* 105 4, S. 282-287, 2010.
- [6] U. Dombrowski, C. Riechel, M. Evers: Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. In: W. Kersten et al. (Hrsg.): Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. Berlin: Gito, S. 129-153. ISBN: 978-3-95545-083-0, 2014.
- [7] Duden: Wörterbuch. <http://www.duden.de>. Aufgerufen: 26.06.2014.
- [8] R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg: Technik, die die Menschen wollen – Unterstützungssysteme für Beruf und Alltag – Definition, Konzept und Einordnung. In: R.

- Weidner et al. (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme. Berlin: Springer, S. 12–18. ISBN: 978-3-662-48382-4, 2015.
- [9] K. Bengler, C. Lock, S. Teubner, G. Reinhart: Mensch in der Produktion von Morgen – Grundlegende Konzepte und Modelle. In: G. Reinhart (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. 1. Auflage. München: Hanser 2017 im Druck.
- [10] A. Karafillidis, R. Weidner: Grundlagen einer Theorie und Klassifikation technischer Unterstützung. In: R. Weidner et al. (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme. Berlin: Springer, S. 66–89. ISBN: 978-3-662-48382-4, 2015.
- [11] T. Sheridan: Telerobotics automation and human supervisory control. 1992.
- [12] W. Gerke: Technische Assistenzsysteme. Vom Industrieroboter zum Roboterassistenten. Berlin: de Gruyter Oldenbourg. ISBN: 978-3-11-034371-7, 2015.
- [13] S. Lang: Durchgängige Mitarbeiterinformation zur Steigerung von Effizienz und Prozesssicherheit in der Produktion. 1 Aufl. Bamberg: Meisenbach. ISBN: 978-3-87525-257-6, 2007.
- [14] M. Lušić, C. Fischer, J. Bönig, R. Hornfeck, J. Franke: Worker information systems: state of the art and guideline for selection under consideration of company specific boundary conditions. In: CIRP (Hrsg.): Conference on Manufacturing Systems (CMS), 48th CIRP - Conference on Manufacturing Systems (CMS). Neapel, 24.-26.06.2015. 1 Aufl. 2015, S. 1113–1118.
- [15] I. Nonaka, H. Takeuchi, F. Mader: Die Organisation des Wissens. Frankfurt/Main: Campus. ISBN: 3-59335-643-0, 1997.
- [16] K. North: Wissensorientierte Unternehmensführung. Wertschöpfung durch Wissen. Wiesbaden: Gabler. ISBN: 978-3-8349-2538-1, 2011.
- [17] C. E. Shannon, W. Weaver: Mathematische Grundlagen der Informationstheorie. München: Oldenbourg. ISBN: 3-48639-851-2, 1976.
- [18] H. Bubb, J. Breuninger, S. Popova-Dlugosch: Ergonomische Produktgestaltung. In: U. Lindemann (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. Hanser Verlag, München. ISBN: 978-3-446-44518-5, 2016.
- [19] A. Bannat: Ein Assistenzsystem zur digitalen Werker-Unterstützung in der industriellen Produktion. (Dissertation), 2014.
- [20] M. Wiesbeck: Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung. 1. Aufl. München: Utz. ISBN: 978-3-8316-4369-1. (IWB Forschungsberichte 285), 2014.
- [21] C. Ullrich, M. Aust, R. Blach, M. Dietrich, C. Igel, N. Kreggenfeld, D. Kahl, C. Prinz, S. Schwantzer: Assistenz- und Wissensdienste für den Shopfloor. In: S. Rathmayer et al. (Hrsg.): Proceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2015), S. 47–55, 2015.
- [22] F. Kerber, P. Lessel: Adaptive und gamifizierte Werkerassistenz in der (semi-)manuelen Industrie 4.0-Montage. In: S. Rathmayer et al. (Hrsg.): Proceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2015), S. 28–35, 2015.
- [23] J. P. Zachmann: The Zachman Framework Evolution. <https://www.zachman.com/ea-articlesreference/54-the-zachman-framework-evolution>. Aufgerufen: 11.05.2016.

- [24] H. Kremar: Informationsmanagement. Berlin: Springer Gabler. ISBN: 978-3-662-45862-4, 2015.
- [25] S. Teubner, K. Bengler, G. Reinhart, C. Rimpau, C. Intra: Mensch in der Produktion von Morgen – Individuelle, dynamische Workerinformationssysteme. In: G. Reinhart (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. 1. Auflage. München: Hanser 2017 im Druck.

Literatur – Übersicht Stand der Forschung (Abbildung 2.6)

- ADAMI ET AL. 2008: W. Adami, C. Lang, S. Pfeiffer, F. Rehberg (Hrsg.): Montage braucht Erfahrung. Erfahrungsbasierte Wissensarbeit in der Montage. München: Hampp. ISBN: 978-3-8618-274-5, 2008.
- AEHNELT & BADER 2014: M. Aehnelt, S. Bader: Mobile Informationsassistenz für die Montage. In: R. Weidner et al. (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg, 15.-16.12.2014, 2014.
- BANNAT 2014: A. Bannat: Ein Assistenzsystem zur digitalen Worker-Unterstützung in der industriellen Produktion. (Dissertation), 2014.
- DOMBROWSKI ET AL. 2010: U. Dombrowski, S. Wesemann, G. H. Korn: Workerinformationssystem. Effiziente Information für die mitarbeiterorientierte Produktion. ZWF 105 4, S. 282-287, 2010.
- DUAN ET AL. 2008: F. Duan, M. Morioka, J. T. Tan, Y. Zhang, K. Watanabe, N. Pongthanya: Multimedia based Assembly Supporting System for Cell Production. In: CIRP (Hrsg.): Conference on Manufacturing Systems (CMS), 41st CIRP - Conference on Manufacturing Systems (CMS). 1. Aufl., S. 213-216. (Procedia CIRP), 2008.
- EGBERS 2013: J. Egbers: Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsge-wandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses. (Dissertation). iwb - Insti-tut für Werkzeugwissenschaften und Montagetechnik, Technische Universität Mün-chen. München (20.02.2013).
- FRANKE & RISCH 2009: J. Franke, F. Risch: Effiziente Erstellung, Distribution und Rück-meldung von Workerinformation in der Montage. ZWF 104 10, S. 822-826, 2009.
- KERBER & LESSEL 2015: F. Kerber, P. Lessel: Adaptive und gamifizierte Workerassistenz in der (semi-)manuellen Industrie 4.0-Montage. In: S. Rathmayer et al. (Hrsg.): Pro-ceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2015), S. 28-35, 2015.
- KORN 2014: O. Korn: Context-Aware Assistive Systems for Augmented Work. A Frame-work Using Gamification and Projection. (Dissertation), 2014.
- LANG 2007: S. Lang: Durchgängige Mitarbeiterinformation zur Steigerung von Effizienz und Prozesssicherheit in der Produktion. 1 Aufl. Bamberg: Meisenbach 2007. ISBN: 978-3-87525-257-6. (Fertigungstechnik Erlangen 181), 2007.
- LUCKE ET AL. 2008: D. Lucke, C. Constantinescu, E. Westkämper: Kontextbezogene An-wendungen in der Produktion. Smart Factory – Gestern, heute und in der Zukunft. wt Werkstattstechnik online 98 3, S. 138-142, 2008.
- NEUSCHWINGER 2003: A. Neuschwinger: Multimediales, informationsmodellbasiertes Arbeitsplatz-Kommunikationssystem. (Dissertation). Aachen: Shaker. ISBN: 3-83221-898-X. (Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme 2), 2003.
- RADOW 1999: W. R. Radow: Informationsmanagement in der manuellen Montage. Düssel-dorf: VDI. ISBN: 3-18-351402-8. (IFA 514), 1999.

- SYBERFELDT ET AL. 2015: A. Syberfeldt, O. Danielsson, M. Holm, L. Wang: Dynamic operator instructions based on augmented reality and rule-based expert systems. In: CIRP (Hrsg.): Conference on Manufacturing Systems (CMS), 48th CIRP - Conference on Manufacturing Systems (CMS). Neapel, 24.-26.06.2015. 1 Aufl., S. 346-351. (Procedia CIRP), 2015.
- TJAHJONO 2009: B. Tjahjono: Supporting shop floor workers with a multimedia task-oriented information system. Computers in Industry 60, S. 257-265, 2009.
- ULLRICH ET AL. 2015: C. Ullrich, M. Aust, R. Blach, M. Dietrich, C. Igel, N. Kreggenfeld, D. Kahl, C. Prinz, S. Schwantzer: Assistenz- und Wissensdienste für den Shopfloor. In: S. Rathmayer et al. (Hrsg.): Proceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2015), S. 47-55, 2015.
- WIESBECK 2014: M. Wiesbeck: Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung. 1. Aufl. München: Utz. ISBN: 978-3-8316-4369-1. (IWB Forschungsberichte 285), 2014.

Human Enhancement Technology

Unterstützung und Erweiterung der menschlichen Informationsverarbeitung an Beispielen aus Beruf und Alltag

R. Weidner¹, F. Steinicke²

¹Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg
Robert.Weidner@hsu-hh.de

²Universität Hamburg, Mensch-Computer Interaktion
Vogt-Kölln-Str. 30, 22527 Hamburg
steinicke@informatik.uni-hamburg.de

Kurzzusammenfassung

Ausgehend von Prozessen der menschlichen Informationsverarbeitung werden in diesem Beitrag Strategien des Enhancements eingeführt und Arten der Unterstützung abgeleitet. Möglichkeiten der Unterstützung inklusive der unterschiedlichen Wahrnehmung sowie der Potenziale und Risiken werden in Abhängigkeit von den einzelnen Phasen der menschlichen Informationsverarbeitung – Perzeption, Kognition und Motorik – aufgezeigt und diskutiert.

Abstract

“Human Enhancement Technology – Support and expansion of human information processing using examples from work and everyday life“

In this paper, based on the initial situation and the human information processing strategies for enhancement and levels of support are introduced. Opportunities for support including the perception, and potential risks are depending on the individual phases of human information processing, perception, cognition and motoric demonstrated and discussed.

Keywords: Human Enhancement Technology, Unterstützung, Perzeption, Kognition, Motorik

1 Einleitung

Nach wie vor nimmt der Mensch eine essentielle Rolle im Rahmen von Geschäftsmodellen, Wertschöpfungsketten und Organisationsstrukturen ein und wird auch in der Zukunft in diesen Szenarien unerlässlich bleiben. Dies ist insbesondere in der evolutionären Entwicklung von Sinnesorganen und Gehirnfunktionen des Menschen begründet. Diese Entwicklung hat zu enormen Fähigkeiten und Fertigkeiten der menschlichen Perzeption, Kognition und Motorik geführt, die in vielen Bereichen automatisierten Lösungen immer noch überlegen ist, z.B. Wahrnehmung von Objektgruppen nach Gestalttheorie. Auf der anderen Seite gibt es natürlich Bereiche, in denen Maschinen und automatisierte Lösungen dem Menschen deutlich überlegen sind, z.B. Rechenoperationen oder Speicherkapazität, z.B. mit dem Fokus auf wiederholbaren, zuverlässigen, und identischen Abruf von Daten. Des Weiteren muss insbesondere vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und der Produkt-Individualisierung über eine Unterstützung bzw. Assistenz ergonomisch-kritischer oder qualitätskritischer manueller Tätigkeiten

nachgedacht werden. Diese Tätigkeiten stellen Ansatzpunkte für Kollaboration und Ko-Operation von Mensch und Technik dar, wobei der Mensch in unserer Perspektive stets im Fokus der Betrachtung steht.

Zur Unterstützung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Beruf existieren bereits unterschiedliche Ansätze und Systemlösungen, die zu unterschiedlichen Formen der Unterstützung führen und teilweise die menschliche Aktivität ersetzen [2]. Der Einsatz von solchen unterstützenden Arten der Technik kann verschieden motiviert sein. Zentrale Treiber sind Organisationen und Mitarbeiter. Häufige Motive sind beispielsweise der Wunsch nach einer besseren Qualität oder Produktivität, die Verringerung der Mitarbeiterbelastung oder die Kompensation der unterschiedlichen Voraussetzungen der Belegschaft. Der Technikeinsatz ist also nicht eindeutig determiniert. Er ist vielmehr kontextabhängig. Das heißt, dass es nicht nur eine klar bestimmbar Zielgröße gibt, dass Technik je nach Blickwinkel unterschiedlich wahrgenommen wird und dass sie je nach Anwendung und Zusammenhang auch verschieden wirkt. Der Einsatz von Technik kann also für die Ausführung von Aufgaben, bspw. in der industriellen Produktion, erforderlich sein und wird oftmals auf diese Weise legitimiert. Er kann aber selbstverständlich auch reiner Selbstzweck sein, mit dem Ziel, die eigene Leistungsfähigkeit über das Normale hinweg zu steigern. Letztere Technologien werden mit dem Begriff Human Enhancement Technology (HET) bezeichnet [3].

Im Fokus dieses Beitrags stehen körpergetragene unterstützende Systeme. Aufbauend auf der menschlichen Informationsverarbeitung werden Strategien zur Unterstützung bis hin zum Human Enhancement beschrieben. Darüber hinaus werden Ansätze für die Unterstützung der einzelnen Phasen der menschlichen Informationsverarbeitung aufgezeigt (wobei diese Phasen empirisch nicht so leicht separiert werden können wie das Modell suggeriert) sowie deren Chancen und Risiken diskutiert.

2 Betrachtungseinheit

Für die nachfolgenden Ausführungen wird angenommen, dass alle Aktivitäten wie bspw. „Loch bohren“ oder „Niet setzen“ durch den Menschen ausgeführt werden und dieser dabei durch technische Systeme unterstützt wird. Für die Ausführung der Tätigkeiten können auch Werkzeuge zur Anwendung kommen. Sie werden nachfolgend nicht näher betrachtet, obwohl sie durchaus mit den Systemen in Interaktion stehen können.

3 Menschliche Informationsverarbeitung

Der Mensch nimmt in den von uns betrachteten Fällen die zentrale Rolle ein. Daher ist es notwendig, seine Operationsweise genauer aufzuschlüsseln, um Ansatzpunkte für Unterstützung genauer identifizieren zu können. Menschen sind in der Lage Informationen zu suchen, aufzunehmen und zu verarbeiten. Dieser Prozess lässt sich in die Stufen perzeptuelle Informationsaufnahme (Wahrnehmung), kognitive Verarbeitung, d.h. Informationstransformation (Denken, Entscheiden) sowie Informationsspeicherung (Gedächtnis, Lernen) und Informationsausgabe (Motorik) unterteilen [3]. Die menschliche Informationsverarbeitung beginnt mit der Aufnahme eines äußeren oder inneren Reizes. Im perzeptuellen Prozessor wird dieser Stimulus in einem für die zentrale Informationsverarbeitung geeigneten Code unter Berücksichtigung des vorhandenen Wissens im Langzeitgedächtnis (z.B. Bedeutung, Muster) transformiert, vgl. Abbildung 3.1. Die zentrale Verarbeitungseinheit besteht aus einem kognitiven Prozessor und einer Speicherkomponente in Form eines Arbeits- und Kurzzeitgedächtnisses. Die aufbereiteten

Informationen werden im kognitiven Prozessor durch Such-, Vergleichs- und Klassifikationsprozesse unter Zuhilfenahme des Langzeitgedächtnisses zum Handlungsziel hin transformiert. Hieraus werden die Handlungen als Vorgaben für den motorischen Prozessor abgeleitet, die über die Effektoren in die beabsichtigten Reaktionen überführt werden (Ausgabe von Stimuli in Form von Sprache, Handlungen etc., die anderen Akteuren und Maschinen als Information dienen können). Ausgeführte Reaktionen können als Verhalten beobachtet werden und dienen folglich zur Handlungskontrolle.

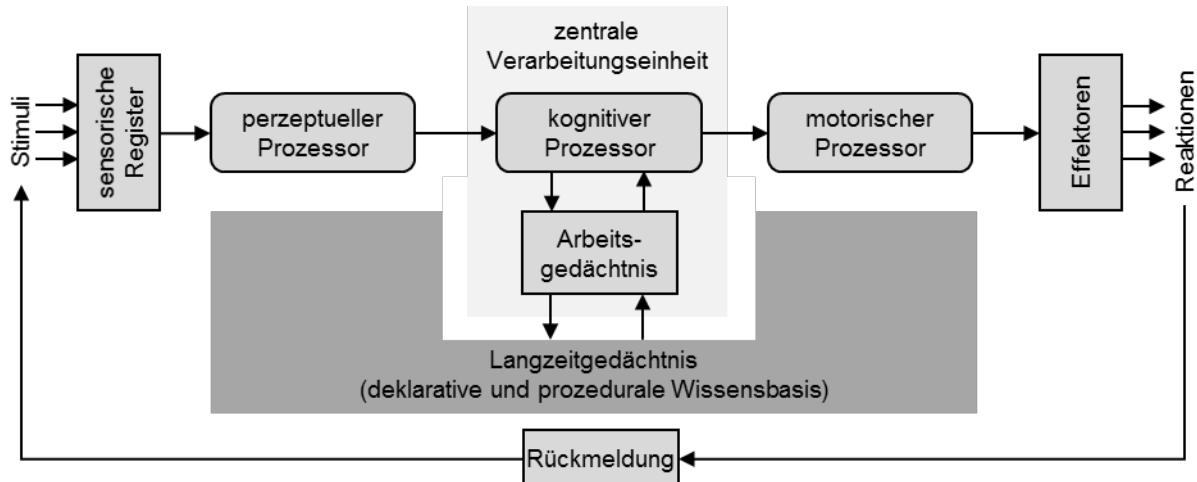


Abbildung 3.1: Modell der menschlichen Informationsverarbeitung [5]
(Darstellung in Anlehnung an [6, 4])

Die Kapazität des Gehirns ist enorm. Die Anzahl der möglichen Verbindungen, die unsere ca. eine Billion Gehirnzellen bilden können, ist größer als die Zahl der Atome im Universum. Trotzdem erreicht nur ein Bruchteil der auf uns einfließenden Stimuli (als potentielle Informationsmenge) das Bewusstsein. Schätzungen gehen von einem effektiven Durchsatz von gerade einmal ca. 100 Bits/Sek. aus, und zwar bei einer gesamten Informationsmenge von ca. 1 Mrd. Bits/Sek.

Somit wird deutlich, dass zum einen bei der Perzeption Informationen gefiltert werden und zum anderen bei der Kognition nur selektierte Informationen (z.B. durch Aufmerksamkeit) weiterverarbeitet werden.

4 Strategien der Unterstützung bzw. des Human Enhancements

Wie bereits beschrieben kann der Einsatz eines technischen Unterstützungssystems unterschiedlich motiviert sein. Er kann die Ausführung von Tätigkeiten vereinfachen und auch die körperliche, emotionale und kognitive Leistungsfähigkeit von Menschen steigern – was in der Literatur als Human Enhancement diskutiert wird. Nach [7] versteht man darunter medizinische und biotechnische Interventionen, deren Zielsetzung nicht primär therapeutischer oder präventiver Art ist, sondern darin besteht, Menschen in ihren Fähigkeiten und ihrer Gestalt derart zu verändern, dass ihre Leistung in ihren jeweiligen sozio-kulturellen Kontexten als verbessert wahrgenommen wird. Folglich ist nur dann von Enhancement zu sprechen, wenn nicht „nur“ die Fähigkeiten des Durchschnitts einer Population, sondern darüber hinaus gehende Fähigkeiten erzeugt werden sollen.

Zur Leistungssteigerung können unterschiedliche Techniken eingesetzt werden. Eine ausführliche Auflistung ist in [7] zu finden – von der Stammzellenbehandlung über (künstliche) Implantate bis hin zu körperlichem und mentalem Training oder pharmakologischen Behandlungen. Kaum adressiert werden in diesem Zusammenhang anziehbare unterstützende Systeme wie Exoskelette oder Systeme, die die Realität virtuell erweitern. Auch diese Technologien können die Leistungsfähigkeit erhöhen. Sie weisen aber eine andere Form der Kopplung mit dem Nutzer sowie der Struktur der Unterstützung auf.

Die technische Unterstützung kann in Bezug auf die Phase der Informationsverarbeitung (Perzeption, Kognition und Motorik), der Zeit der Unterstützung (präventiv, operativ) oder auch hinsichtlich der Art und Weise der Unterstützung bzw. des Enhancements differenziert werden. Vermöglichkeit kleine technische Änderungen und veränderte Sichtweisen können dazu führen, dass die Technik verschieden wahrgenommen wird. Ausgehend von diesen Überlegungen werden bestimmte Fälle der Unterstützung vorgestellt, die in Abbildung 4.1 zusammengefasst sind: Ausgleich bzw. Kompensation von Funktionseinbußen, Ausgleich bzw. Kompensation der Heterogenität der Belegschaft sowie Erweiterung von Fähigkeiten und Fertigkeiten. Je nach Fall kann man von verschiedenen großen Eingriffen in die Leistungsfähigkeit des Menschen und somit von einer Unterstützung oder einem Enhancement sprechen. Um Therapie im Sinne von [7] handelt es sich im Kontext der Produktion i.d.R. nicht. Dennoch sind gerade die aufgezeigten Fälle 1 und 2 der Unterstützung vergleichbar. Beim dritten Fall kann von einer Leistungssteigerung gesprochen werden – aber auch das bleibt kontext- und beobachterabhängig. Diese Leistungssteigerung kann durch den Nutzer oder bspw. durch die produzierende Organisation motiviert sein, da sie für die Ausführung von z.B. qualitätskritischen oder belastungsoptimierbaren Tätigkeiten erforderlich ist.

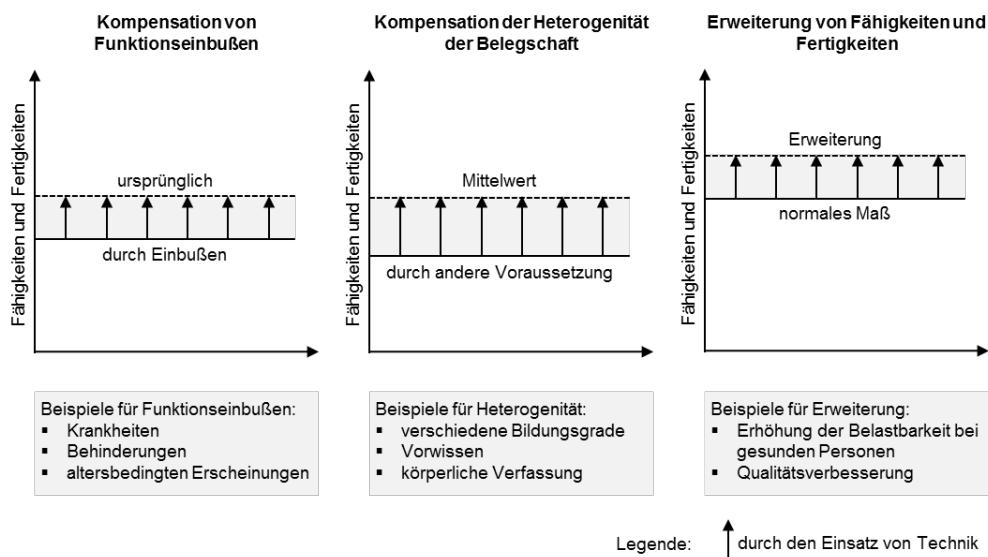


Abbildung 4.1: Arten der Unterstützung

5 Fallbeispiele

Im folgenden Abschnitt werden verschiedene Methoden und Ansätze zur Unterstützung in Abhängigkeit der einzelnen Phasen der Informationsverarbeitung inklusive deren Wirkungsweise aufgezeigt – wenngleich die Unterstützung von Perzeption, Kognition und Motorik mehr oder

weniger stark ausgeprägt sein kann. Darüber hinaus bleibt zu berücksichtigen, dass diese Phasen nicht komplett voneinander separiert operieren, auch wenn hier analytisch davon ausgegangen wird, um technische Ansatzpunkte deutlicher herausarbeiten zu können.

5.1 Unterstützung für Perzeption-Enhancement

Von den fünf bekannten menschlichen Sinnen Sehen, Hören, Schmecken, Riechen und Berühren gilt der Sehsinn i.d.R. in unserer Zeit und Kultur als dominierend. Forscher schätzen, dass Menschen etwa 80% aller Informationen visuell aufnehmen [8]. Allerdings sind die Fähigkeiten des Menschen in dieser Hinsicht beschränkt. Zum Beispiel ist der visuelle Sinn bei der Wahrnehmung im Dunklen sehr begrenzt. Selbst bei Tageslicht bemisst sich das wahrnehmbare visuelle Spektrum eines Erwachsenen nur auf einen Bereich zwischen 400 nm und 700 nm [9]. In seinem Artikel argumentiert Goma [10], dass aktuelle Technologien aus dem Bereich Augmented Reality und Virtual Reality es Menschen ermöglichen, ihren visuellen Sinn derart zu verbessern, dass es zu körperlichen Anpassungen kommt, durch die zukünftige Generationen dann komplexere Probleme lösen können. Goma bezeichnet diese Art des Perzeption-Enhancement als nächsten Evolutionsschritt. Darüber hinaus könnten solche Technologien verwendet werden, um den geschwächten Sinn z.B. bei Menschen die unter Sehstörungen oder Blindheit leiden [11, 12] durch einen anderen Sinn zu kompensieren. Abbildung 5.1 zeigt zwei Beispiele für solche Ansätze von Perzeption-Enhancement. Die linke Abbildung zeigt die Kompensation des Hörsinns durch visuelle Darstellung von Sound-Quellen und die rechte Abbildung die Erweiterung des visuellen Sinns durch Darstellung von Wärme im visuellen Kanal.



Abbildung 5.1: Zwei Beispiele für Perzeptions-Enhancement: Visuelle Darstellung von Sound-Quellen (links) und Heat-Vision (rechts)

5.2 Unterstützung für Kognition-Enhancement

Mitte des letzten Jahrhunderts hat Vannevar Bush das Konzept des Memex (Memory Extender) vorgestellt [13]. Das ist ein fiktiv einfaches Wissensfindungs- und Verwertungssystem, mit dem Menschen insbesondere ihr Gedächtnis erweitern und somit Wissen externalisieren können. Auch Douglas C. Engelbart beschrieb in seinem Bericht „Augmenting Human Intellect“ bereits 1962 einen konzeptionellen Ansatz zur Erweiterung der menschlichen Kognition [14]. Sechs Jahre später stellte er gemeinsam mit Bill English die Maus als Eingabegerät sowie ein kollaboratives Textverarbeitungssystem vor, die die Grundlage für heutige grafische Benutzerschnittstellen bilden. Seitdem finden sich viele Ansätze zur Verbesserung bzw. Erweiterung der

menschlichen Kognition, die dem Menschen zusätzliches externes Wissen für komplexe Aufgaben zur Verfügung stellen. Abbildung 5.2 zeigt ein Beispiel einer AR-Trainingsanwendung für den Golf-Sport. Die in der Augmented Reality dargestellten Linien unterstützen Spieler bei der Identifikation der idealen Puttlinie und helfen Anwender so bei der kognitiven Raumaufgabe, das Gefälle korrekt zu interpretieren.



Abbildung 5.2: Beispiel einer AR-Trainingsanwendung für den Golf-Sport

5.3 Unterstützung für Motorik-Enhancement

Der Bereich des Motorik-Enhancement bzw. Unterstützung befasst sich mit verschiedenen passiven und aktiven technischen Systemen zur Unterstützung unterschiedlicher Körperteile. Diese können zum einen Systeme wie Orthesen und Schienen z.B. für untere und obere Extremitäten sowie zum anderen Systeme wie Exoskelette für untere und obere Extremitäten sein. Diese Systeme können Bewegungen gezielt einschränken, leiten oder hinsichtlich der Kraft unterstützen. Hierbei kann es verschiedene Ansätze zur Kraftunterstützung geben – von der Kompensation von Teilen der Gewichtskraft bspw. einer Extremität oder eines Werkzeuges [15, 16] bis hin zur deutlichen Kraftverstärkung zum Tragen schwerer Lasten etc. (z.B. [17]).

Zwei beispielhafte Systeme, die sich zumindest auf die Motorik des Menschen auswirken können, sind in Abbildung 5.3 dargestellt. Beim ersten System handelt es sich um ein Unterstützungssystem für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe im industriellen Produktionsumfeld. Das System ist als Art Rucksack gestaltet. Über eine Armkinematik, die mit einem Aktuator angetrieben wird, wird das Hochhalten des menschlichen Arms unterstützt. Die Unterstützung erfolgt hier jedoch nur entgegen der Erdanziehungskraft. Die Unterstützungsleistung ist derzeit manuell und stufenlos anpassbar. Die Bewegung des Menschen wird bei optimaler Kraftinstellung, das bedeutet bei einer angepassten Unterstützungsleistung in Bezug auf menschliche Muskelkraft und Arbeitsaufgabe, nicht verändert. Nicht die „normale und gute“ Belastung, sondern Überlast soll durch das System vermieden werden, um das Risiko für eine vorzeitige Erkrankung des Muskelskelett-Systems zu reduzieren. Als Erweiterung kann eine Sensorik integriert werden, um z.B. Belastungsdaten zur Anpassung des Unterstützungsgrades zu verwenden.

Der Handarbeitstisch unterstützt die Ausführung qualitätskritischer Aufgaben. Zum einen kann durch die Vorrichtung die Präzision erhöht werden und zum anderen können durch integrierte Funktionalität während der Ausführung von Tätigkeiten mit vorgeschriebener Reihenfolge Kraftkorridore vorgegeben werden, ohne die Hoheit auf die Technik zu übertragen. Das System besteht aus einem aktiven Kinematischelement (Seilzugroboter igus® Robolink®), einer Mensch-Technik-Schnittstelle mit Kraftsensoren (die neben den im Robolink® integrierten

Winkelgeber zur Sollwertberechnung verwendet werden), einer Bedienoberfläche, einem Kamerasystem zur Überprüfung des Erzeugnisses und einer integrierten Funktionalität zur „Vorgabe“ von Bewegungskorridoren. Der Bewegungskorridor assistiert den Nutzer während der Ausführung der Aufgabe, indem er auf eventuelle Abweichungen von einer hinterlegten Trajektorie mit Korridor durch ein haptisches Feedback hingewiesen wird [18].

Unterstützungssystem für Tätigkeiten Handarbeitstisch mit unterstützenden Funktionalitäten in und über Kopfhöhe [15]

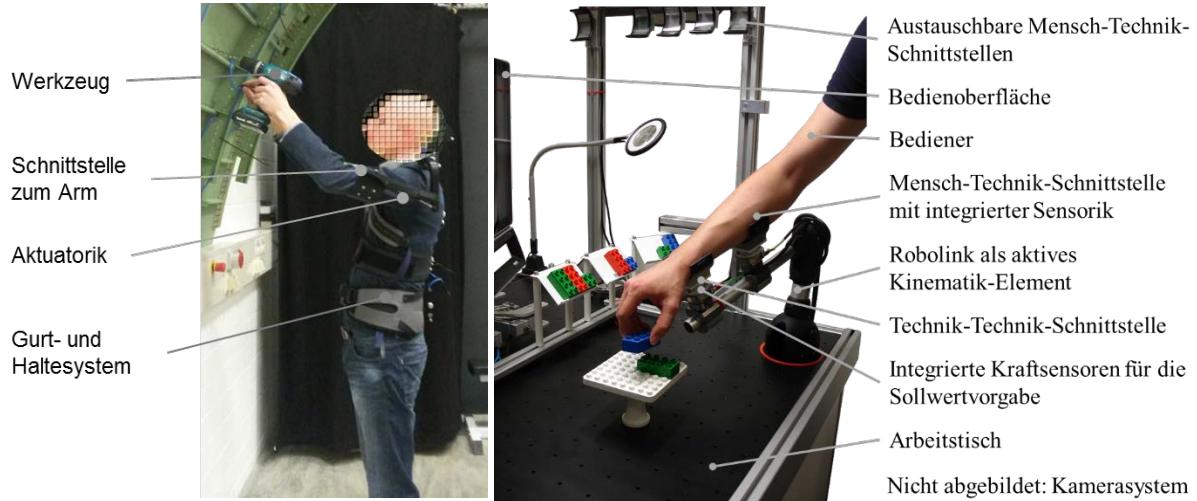


Abbildung 5.3: Beispiele für die physische Unterstützung

6 Diskussion

Im abschließenden Abschnitt werden die beschriebenen Fallbeispiele abschließend hinsichtlich ihrer Wahrnehmung betrachtet sowie Potentiale und Risiken des resultierenden Technikeinsatzes diskutiert.

Wahrnehmung

Wie sich im Rahmen der Entwicklung entsprechender Systeme zeigt, kann die Wahrnehmung der Systeme beim Nutzer divergieren. Dies kann auf verschiedene Faktoren wie unterschiedliche Voraussetzungen, schlechte Erfahrungen mit Technik und Angst um den eigenen Arbeitsplatz zurückzuführen sein. Dies zeigt deutlich, dass technische Systeme nicht partout durch den Nutzer akzeptiert und genutzt werden. Darauf muss in der Entwicklung geachtet gelegt werden. Die Nutzerintegration stellt hier einen Ansatz dar, um Folgen kleiner Änderungen frühzeitig zurückkoppeln zu können.

Potentiale

Anwendungspotentiale der gezeigten unterstützenden Systeme liegen insbesondere dort, wo Menschen qualitäts- und ergonomisch-kritische Tätigkeiten ausführen müssen, um Funktioneinbußen und ungleiche Voraussetzungen innerhalb einer Belegschaft zu kompensieren oder um Fähigkeiten und Fertigkeiten zu erweitern. Entsprechende technische Systeme können den Menschen in unterschiedlichen Kontexten unterstützen ohne ihn durch technische Systeme wie automatisierte Lösungen zu ersetzen. Die Unterstützung ist schon heute in unterschiedlichen Richtungen – von der Unterstützung der Perzeption bis zur Motorik – möglich und wird sich weiterentwickeln. Systeme für die gleichzeitige Unterstützung mehrerer Phasen der Informationsverarbeitung zeichnen sich ab. Somit lässt sich der Mensch als häufig limitierender Faktor

ergonomisch nachhaltig mit seinem enormen Know-How in Wertschöpfungsketten integrieren. Auch eine Vernetzung innerhalb von Produktionsstätten im Sinne des Ansatzes der Industrie 4.0 ist ein logischer nächster Schritt. Aus Sicht produzierender Unternehmen, oder Organisationen im Allgemeinen, können entsprechende unterstützende Systeme ein Mittel zur Steigerung der Produktivität und dem nachhaltigen Personaleinsatz oder zur Bewältigung des Fachkräftemangels sein.

Risiken

Wie medikamentöse Leistungssteigerung im Spitzensport und Amateursport können entsprechende Systeme zur Assistenz und Unterstützung auch missbräuchlich eingesetzt werden, und zwar unabhängig davon, ob die Entwickler das Ziel hatten, Menschen zu unterstützen, um die Ausführung einer Tätigkeit zu ermöglichen bzw. zu erleichtern (je nach Ausgangssituation). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, durch eine zu hohe Unterstützung menschliche Funktionalitäten abzubauen. Ein Beispiel, das alle kennen, ist die Fähigkeit zur räumlichen Orientierung durch physikalische Karten- oder Kompass-basierte Navigation, die durch den Einsatz von elektronischen Navigationssystemen signifikant reduziert wird. Dennoch werden hierdurch Kapazitäten für andere Bereiche frei. Bei der physischen Unterstützung sollte z.B. viel eher über die Vermeidung von Überlast als über die komplette Abnahme von Belastung nachgedacht werden – mit anderen Worten: Belastung ist gut, aber Überlastung führt zu einem vorzeitigen Verschleiß.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Der Mensch wird auch in Zukunft für die Ausführung zahlreicher Aufgaben unverzichtbar sein. Seine Aktivitäten lassen sich durch technische Systeme unterstützen, um zum einen Funktioneinbußen und unterschiedliche Voraussetzungen innerhalb einer Gruppe oder Belegschaft zu kompensieren und zum anderen, um menschliche Fähigkeiten zu erweitern. Der Einsatz von Technik kann somit zur Leistungssteigerung führen, sodass man von Human Enhancement – und andernfalls von Unterstützung – sprechen kann. Für die zentralen Phasen der menschlichen Informationsverarbeitung, der Perzeption, Kognition und Motorik, wurden in dem vorliegenden Beitrag Systemlösungen zur Unterstützung und zu einem möglichen Enhancement aufgezeigt sowie diskutiert.

8 Danksagung

Die dargestellte Forschung wurde teilweise durch Projekte der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und durch das Projekt „smart ASSIST – Smart, Adjustable, Soft and Intelligent Support Technologies“ (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau im Schwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion vor dem Hintergrund des demographischen Wandels“) gefördert. Die alleinige Verantwortung für den Inhalt des Beitrags liegt bei den Autoren.

9 Literatur

- [1] E. B. Goldstein, M. Ritter, G. Herbst: Wahrnehmungspsychologie. Vol. 2. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2002.
- [2] R. Weidner, A. Karafillidis: Three General Determinants of Support-Systems. In: Applied Mechanics and Materials Vol. 794 (2015), S. 555-562, Trans Tech Publications, Schweiz, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.794.555, 2015.

- [3] C. Coenen: Human enhancement und die Zukunft des menschlichen Körpers. In: R. Popp, U. Garstenauer, U. Reinhardt, D. Rosenlechner-Urbaneck (Hrsg.): Zukunft. Lebensqualität. Lebenslang. Münster: LIT 2013, S. 87-95, Schriftenreihe Zukunft: Lebensqualität, Bd. 6.
- [4] A. Butz, A. Krüger: Mensch-Maschine-Interaktion. ISBN: 978-3-486-71621-4, De Gruyter Oldenbourg, 2014.
- [5] S. Card, T. P. Moran, A. Newell: The Psychology of Human Computer Interaction. Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- [6] E. Eberleh, W. Korffmacher, N. A. Streitz: Denken oder Handeln: Zur Wirkung von Dialogkomplexität und Handlungsspielraum auf die mentale Belastung. In: Software-Ergonomie 1987, Nützen Informationssysteme dem Benutzer?, S. 317-326, B.G.Teu-bner, Stuttgart, 1987.
- [7] A. Eckhardt, A. Bachmann, M. Marti, B. Rütsche, H. Telser: Human Enhancement. TA-SWISS 56, vdf Hochschulverlag ETH Zürich; 2011.
- [8] M. D. Bowan: Integrating vision with the other senses. Website, 2012.
- [9] C. Starr, C. Evers, L. Starr: Biology: concepts and applications without physiology. Cengage Learning, 2010.
- [10] S. E. Goma. Next gen perception and cognition: augmenting perception and enhancing cognition through mobile technologies. SPIE/IS&T Electronic Imaging, 10:493940I–93940I, March 2015.
- [11] S. J. Kim, A. K. Dey: Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '09, S. 133-142. Citeseer, ACM, 2009.
- [12] B. F. G. Katz, S. Kammoun, G. Parseihian, O. Gutierrez, A. Brilhault, M. Auvray, P. Truillet, M. Denis, S. Thorpe, C. Jouffrais: Navig: augmented reality guidance system for the visually impaired. Virtual Reality, 16(4): 253-269, 2012.
- [13] As We May Think, Atlantic Monthly, Juli 1945, S. 101 ff.
- [14] D. C. Engelbart: Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework. SRI Summary Report AFOSR-3223, 1962.
- [15] R. Weidner, A. Argubi-Wollesen, C. Berger, B. Otten, Z. Yao, J. P. Wulfsberg: Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe. Für: 62.-GfA-Frühjahrskongress – Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!, S. 1-6, 2016.
- [16] R. Weidner: Physische und mentale Entlastung – Unterstützung des Mitarbeiters in der Produktion. In: Handling online, Ausgabe März, 2016.
- [17] G. Slocumbe: Military exoskeletons: Heavier loads, faster and for longer, Asia-Pacific Defence Reporter (2002), Vol. 41, No. 7, Sep 2015: 34-35.
- [18] D. Akoulov, R. Weidner, J. P. Wulfsberg: Programmieren von produktionstechnischen Unterstützungssystemen durch Vormachen. In: Band zur ersten Transdisziplinären Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“, S. 89-99, 2014.
- [19] R. Weidner, J. P. Wulfsberg: Aufbau und Implementierung eines aktiven Gelenkarms für Human Hybrid Robots (HHR). In: wt Werkstattstechnik online 104 (2014) Nr. 3, S. 174-179, Düsseldorf, Springer-VDI-Verlag, 2014.

Kooperative Störungsdiagnose durch Bediener und Assistenzsystem für Verarbeitungsanlagen

L. Oehm¹, T. Müller¹, R. Müller², A. Schult³, J. Ziegler⁴, J.-P. Majschak^{1,3}, L. Urbas⁴

¹Technische Universität Dresden, Institut für Naturstofftechnik
Bergstr. 120, 01069 Dresden

lukas.oehm@tu-dresden.de, tobias.mueller1@tu-dresden.de,
jens-peter.majschak@tu-dresden.de

²Technische Universität Dresden, Institut für Arbeits-, Organisations- und Sozialpsychologie
Zellescher Weg 17, 01069 Dresden
romy.mueller@tu-dresden.de

³Fraunhofer IVV, Außenstelle für Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik Dresden
Heidelberger Straße 20, 01189 Dresden
andre.schult@ivv-dresden.fraunhofer.de

⁴Technische Universität Dresden, Institut für Automatisierungstechnik
Georg-Schumann-Str. 11, 01187 Dresden
jens.ziegler@tu-dresden.de, leon.urbas@tu-dresden.de

Kurzzusammenfassung

Das Betriebsverhalten von Verarbeitungsanlagen ist geprägt von häufig auftretenden Störungen, die von Bedienern manuell beseitigt werden müssen und deren Arbeitsaufgabe dominieren. Technische Systeme zur Bedienerunterstützung sind für diese Anlagen bisher nicht etabliert. Davon ausgehend wird ein Modell für die kooperative Störungsdiagnose durch Bediener und Assistenzsystem vorgestellt. Durch die Kombination von Bedienerwissen und Prozessdaten wird damit eine gemeinsame Zustandsrepräsentation erstellt, die zu einer zielgenauen Fallerkennung führt und so Bediener bei der Fehlerbeseitigung unterstützt. Als Grundlage für die Entwicklung des Assistenzsystems werden erste Untersuchungen zum Einfluss der Präsentationsform von Lösungsvorschlägen auf die Lösungszeit, die Fehlerraten und die Häufigkeit des Heranziehens von Zusatzinformationen präsentiert.

Abstract

“Assistance system for cooperative fault diagnosis for processing plants“

The performance of processing plants is characterized by frequent disturbances that must be removed manually by the operator. Technical systems for operator support for these plants have not yet been established. Thus, a model for cooperative fault diagnosis by operator and assistance system is presented. By combining operator knowledge and process data a common ground is established, which leads to a targeted case detection and supports operators in troubleshooting. For the development of the assistance system first studies on the influence of the form of presentation of proposed solutions on solution time, error rates and the request of supplementary information are presented.

Keywords: Assistenzsystem, Bedienerassistenz, Erfahrungswissen, fallbasiertes Schließen

1 Einleitung

Bei Verarbeitungsanlagen handelt es sich um verkettete Hochleistungsmaschinen zum Herstellen und Verpacken von Massenbedarfsgütern wie Lebensmitteln, Pharmazeutika oder Getränken [1]. Die verarbeitende Industrie stellt extrem hohe Anforderungen an Ausbringung, Sicherheit und Effizienz dieser Anlagen. Trotz hohem Automatisierungsgrad ist das Betriebsverhalten dieser Anlagen geprägt von Störungen, welche eine manuelle Beseitigung erfordern und das Tätigkeitsprofil der Anlagenbediener dominieren. Effektivitätsanalysen an Verarbeitungsanlagen ergaben, dass im Durchschnitt etwa nach 4,5 min eine Störung im Produktionsprozess auftritt, die zum Stillstand der Anlage führt [2]. 70 % der aufgetretenen Störungen konnten in weniger als zwei Minuten Dauer behoben werden und werden daher als Mikrostörungen bezeichnet. Ein Anteil an ungeplanten Anlagenstillständen von ca. 35 % ist somit nicht unüblich, senkt jedoch gemeinsam mit geplanten Stillstandszeiten von 20 % für Umrüsten und Reinigung den Zeitanteil, in dem qualitätsgerechte Produkte erzeugt werden, auf etwa 45 %. Einerseits führt dies zu direkten finanziellen Verlusten für den Verarbeitungsbetrieb und zu einem Verlust der bereits an das Produkt gebundenen Ressourcen. Andererseits geraten die Bediener in diesen Störungssituationen angesichts einer zunehmenden Zahl an gleichzeitig oder hochfrequent anfallenden Informationen aus der eigenen Prozessbeobachtung und aus Meldungen des Automatisierungssystems zunehmend unter Stress [3]. Oftmals ist draus resultierend eine effektive Maschinenbedienung nicht mehr möglich, da für die Fehleridentifikation, -diagnose und -behebung die Komplexität der Anlagen zu hoch und die zur Verfügung stehende Zeit zu kurz ist. Verarbeitungsanlagen bedienerlos zu betreiben ist aufgrund mangelnder oder nicht möglicher sensorischer Erfassung aller notwendigen Material- und Prozesseigenschaften aktuell und in absehbarer Zukunft nicht realistisch. Vielmehr wird die Komplexität der Anlagen weiter steigen, insbesondere durch Anforderungen der Industrie 4.0 hinsichtlich kleiner Losgrößen, damit einhergehender kürzerer Produktionszeiten, mehr Produktwechsel und nicht zuletzt einer höheren Komplexität der Produkte. Die Beherrschbarkeit der maschinellen Prozesse durch den Bediener ist jedoch gerade wegen ihrer inhärenten Unberechenbarkeiten begrenzt [4]. Für die Bedienerqualifikation bedeutet dies einen steigenden Bedarf an Überblickswissen im Produktionsprozess [5]. Allerdings besteht insbesondere in der Lebensmittelindustrie ein Widerspruch zwischen dem Anspruch an Bedienerqualifikation und -erfahrung und den tatsächlich zur Verfügung stehenden häufig kurzfristig angelernten Saisonkräften.

Zur Erhöhung der Effektivität der Anlagen durch Reduktion geplanter Stillstandszeiten sowie zur Steigerung der Arbeitssicherheit wird durch die Maschinenhersteller das Maschinen- und Anlagendesign stetig weiterentwickelt [6]. Den Bedienern hingegen werden in der Lebensmittel- und Pharma industrie bisher kaum unterstützende Werkzeuge zur Anlagenbedienung und Prozesssteuerung an die Hand gegeben. Sind Assistenzsysteme zur Bedienerunterstützung in der Montage oder in der Instandhaltung in anderer Branchen bereits Stand der Technik, so fehlen entsprechende Werkzeuge in der Verarbeitungsindustrie [7]. Das Ziel muss es daher sein, adaptive, lernende Assistenzsysteme zur Bedienerunterstützung für Verarbeitungsanlagen zu entwickeln und in der Branche zu etablieren [8].

2 Assistenz in Verarbeitungsprozessen

Ausgehend von der geschilderten Branchenspezifität ist Unterstützung des Bedienpersonals beim Betrieb von Verarbeitungsanlagen wie folgt denkbar:

- Behebung von Störungen im Anlagenbetrieb durch das Anbieten von Lösungsvarianten (Hinweise auf Fehlerursachen und Hilfestellung bei der Fehlerlokalisierung),
- Unterstützung bei der Steuerung der Anlage durch strukturierte Darstellungen relevanter Prozessparameter und Indikatoren zur Überschreitungen von Grenzwerten (z.B. bei Anzeichen für drohenden Produktivitätsverlust),
- Der Bedienerqualifikation entsprechende Informationsstrukturierung und Prozessveranschaulichung sowie
- Qualifikation und Weiterbildung des Bedieners während des Bedienprozesses in geeigneten Szenarien und Bediensituationen.

Der überwiegende Teil der auftretenden Störungen ist in der Theorie nicht vorhersehbar und findet daher weder bei der Maschinen- und Anlagenentwicklung noch in Betriebsanleitungen oder Bedienerschulungen Berücksichtigung. Im Produktionsbetrieb spielt bei der Maschinenbedienung und der Störungsdiagnose und -beseitigung somit das Erfahrungswissen der Bediener eine zentrale Rolle. Die Weitergabe dieses spezifischen Wissens zu Maschinenparametern zum optimalen Anlagenbetrieb oder zu Störungsursachen und -lösungen zwischen verschiedenen Bereichen findet nur unzureichend statt. Besonders im Schichtbetrieb tritt oftmals Informationsverlust beim Schichtwechsel auf. Zudem geht den Unternehmen das oft langwierig akkumulierte Wissen aufgrund des demografischen Wandels, der Bedienerfluktuation infolge von Saisonarbeit und anderen Einflüssen verloren. Entsprechend groß ist der Bedarf für Lösungen, die Bedienerwissen langfristig verfügbar machen.

Das ideale Assistenzsystem in Verarbeitungsanlagen bietet daher neben der kognitiven, qualifikationsabhängigen Bedienerunterstützung die Möglichkeit der Erfassung und des Transfers von Erfahrungswissen der Bediener. Neben dem unmittelbaren Nutzen für die Bediener, den Verarbeitungsprozess gezielter steuern und Störungen schneller und nachhaltiger beseitigen zu können, bietet es die Möglichkeit des bereichsübergreifenden Wissenstransfers. So erhalten Instandhalter durch die Auswertung der in den vorangegangenen Schichten aufgetretenen Störungen Hinweise auf notwendige Wartungen oder Reparaturen. Es ist zudem denkbar, die mit der Zeit akkumulierten Störungen und deren Beseitigungsstrategie in die Ausbildung und Einarbeitung neuer Maschinenbediener einfließen zu lassen. Der unternehmensübergreifende Wissenstausch zwischen Konstrukteuren des Maschinenbauunternehmens und den Maschinenbedienern des Anlagenbetreibers ist ebenfalls denkbar und wünschenswert. So könnten etwa im Produktionsbetrieb häufig auftretende Störungen und das Wissen über deren Beseitigung schon bei der Entwicklung und Auslegung der nächsten Maschinengeneration Berücksichtigung finden.

3 Kooperative Störungsdiagnose für Verarbeitungsanlagen

3.1 Modell der Kooperation von Mensch und Assistenzsystem

Die Funktion der Fehleridentifikation und -behebung wurde durch den transdisziplinären Arbeitskreis „Assistenzsysteme stationärer Arbeitsmaschinen“ der Technischen Universität Dresden, u.a. bestehend aus den Professuren Verarbeitungsmaschinen/ Verarbeitungstechnik, Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung sowie Prozessleittechnik, als erster Schritt zur Entwicklung eines Assistenzsystems für Verarbeitungsanlagen herausgegriffen und auf Basis fallbasierter Assistenzsysteme konzeptioniert. Fallbasierte Assistenzsysteme (*case-based reasoning (CBR)* [9]) speichern nutzergenerierte Information über Störungen (z.B. Symptome und Maßnahmen) und verwenden diese, um in ähnlichen Situationen Empfehlungen

abzuleiten [10]. Problematisch ist dabei, dass Bediener die Fallbeschreibung selbst eingeben, wodurch rekurrerende Situationen algorithmisch kaum identifizierbar sind. Obwohl sich Situationen durch musterbasierte Algorithmen automatisiert beschreiben und wiedererkennen lassen, bleiben anlagengenerierte (Prozess-)Daten zur Anreicherung der Fallbeschreibung bisher ungenutzt und finden bei der Fehleridentifikation kaum Berücksichtigung. Durch die Kombination von Bedienerwissen (Erfahrungswissen und Beobachtung) und Prozessdaten (Anlagenzustand) kann eine gemeinsame Lagerepräsentation herausgebildet werden, die zu einer zielgenauen Fallerkennung führt. Dazu soll ein lernendes, dialogfähiges Assistenzsystem zum fallbasierten Schließen für die kooperative Störungsdiagnose nach dem in Abbildung 3.1 dargestellten Modell entwickelt werden.

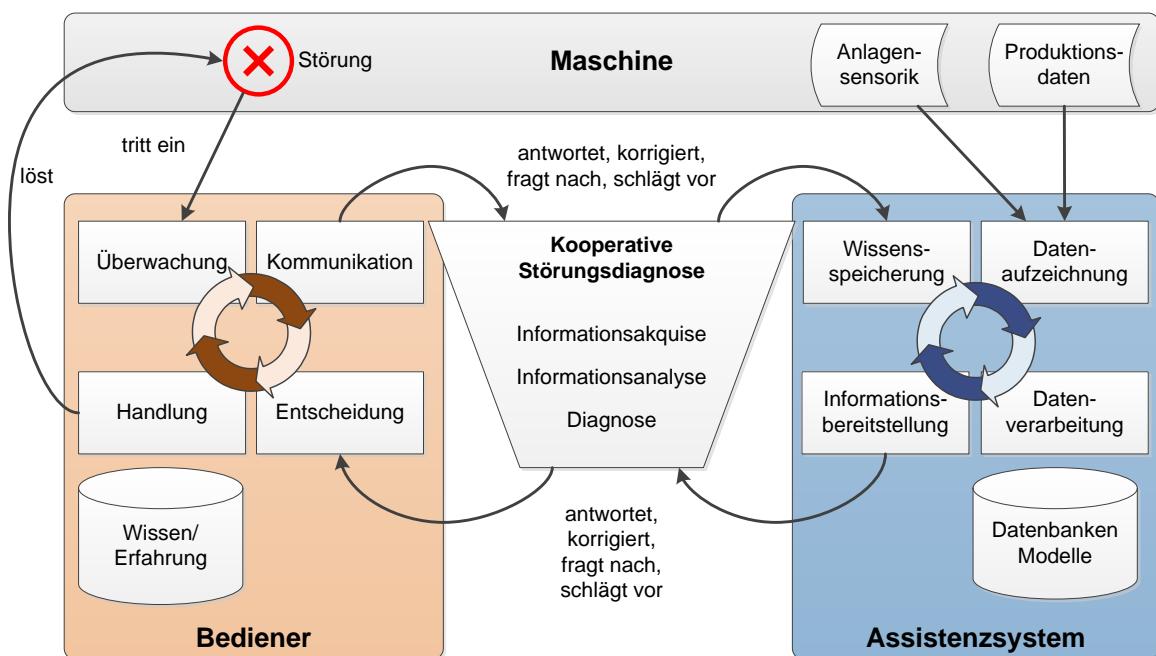


Abbildung 3.1: Modell der kooperativen Störungsdiagnose durch Bediener und Assistenzsystem für Verarbeitungsanlagen

Im Fall einer auftretenden Störung im Produktionsprozess der Verarbeitungsanlage erfragt das Assistenzsystem schrittweise das Wissen des Bedieners und kombiniert es mit dem sensorisch erfassten Anlagenzustand. Anhand vergangener Störszenarien leitet das Assistenzsystem durch Auswertung von charakteristischen Sensorschaltmustern der internen Anlagensorik einen ersten Diagnosevorschlag ab. Dem Bediener wird dieser Vorschlag zur Prüfung angezeigt und kann durch zusätzliches Wissen zur technischen Störung ergänzt oder ggf. korrigiert werden. Mit den neuen Informationen wird der Diagnosevorschlag durch das Assistenzsystem konkretisiert und dem Bediener erneut zur Prüfung angezeigt. Der Informationsgehalt wird im Verlauf des Dialoges immer spezifischer und mündet in einer der Situation entsprechenden Störungsdiagnose. Über die Zeit lernt das Assistenzsystem aus den Dialog-Episoden, setzt sie in Bezug zum Anlagenzustand und entwickelt seine Fähigkeit zum Erkennen und Kommunizieren möglicher Störungsursachen kontinuierlich weiter.

Die Umsetzung des Lösungsvorschlags erfolgt ausschließlich durch den Bediener. Das Assistenzsystem greift während des gesamten Dialogverlaufs nicht in den Verarbeitungsprozess ein. Ein Zugriff auf die Anlagensteuerung ist lediglich zum Auslesen der Sensordaten erforderlich.

Die Interaktion mit dem Assistenzsystem erfolgt über verschiedene Endgeräte. Auch die Einbindung von Datenbrillen zur Informationsvisualisierung oder die Berücksichtigung von Spracheingaben über Headsets ist denkbar, wobei deren Eignung von den spezifischen Gegebenheiten wie zum Beispiel der Geräuschkulisse in den Produktionshallen abhängig ist.

Das skizzierte Modell erfordert die Kombination von dialogbasierten Assistenzsystemen, fallbasiertem Schließen in semantischen Informationsräumen und der (automatisierten) Mustererkennung in Prozessdatensätzen. Die Verbindung dieser drei Bereiche ist derzeit jedoch weder erforscht noch in einer Applikation umgesetzt. Wesentliche Herausforderungen und Fragestellungen werden daher aktuell im Arbeitskreis „Assistenzsysteme für stationäre Arbeitsmaschinen“ untersucht. Soll der Mensch in einem dialogbasierten System als entscheidungsfähiger Kooperationspartner verstanden werden, so erfordert die Gestaltung des Assistenzsystems fundiertes Wissen darüber, wie Bediener automatisierte Entscheidungshilfen nutzen. Daher fokussieren erste Untersuchungen auf die Auswirkungen der Gestaltung des Assistenzsystems auf das Entscheidungsverhalten von Bedienern.

3.2 Erste Ergebnisse zum fallbasierten Schließen

Das zu entwickelnde Assistenzsystem zur kooperativen Störungsdiagnose an Verarbeitungsmaschinen nach Abbildung 3.1 soll dem Bediener in seinen Entscheidungen unterstützen, indem es ihn auf eine große Basis an Erfahrungswissen zurückzugreifen lässt. Besonders bei sehr zuverlässigen automatisierten Systemen besteht jedoch immer die Gefahr, dass sich Bediener zu stark auf das System verlassen und damit auch unangemessene Vorschläge unkritisch übernehmen. Dieses Problem tritt besonders dann auf, wenn die Systeme selbständig Entscheidungen treffen oder Lösungsvorschläge unterbreiten, anstatt zum Beispiel nur Information zu präsentieren [11]. In der Literatur wird diese Tendenz als *automation bias* bezeichnet [12]. Auch bei fallbasierten Assistenzsystemen liegt die zentrale Herausforderung für den Nutzer in einer kritischen Evaluation der Lösungsvorschläge [9]. Dennoch ist bisher unklar, inwiefern Befunde zu den Bedingungen und Konsequenzen eines übersteigerten Vertrauens in Entscheidungsunterstützungssysteme (für eine Übersicht siehe [13]) auf das Verhalten bei der Nutzung fallbasierter Assistenzsysteme übertragen werden können. Würden Bediener aufhören, die Vorschläge eines Assistenzsystems zu überprüfen, wenn sie in der Vergangenheit gelernt haben, dass das System stets gute Lösungen liefert? Welche Gestaltungsmerkmale erhöhen das Risiko für ein derartiges Verhalten?

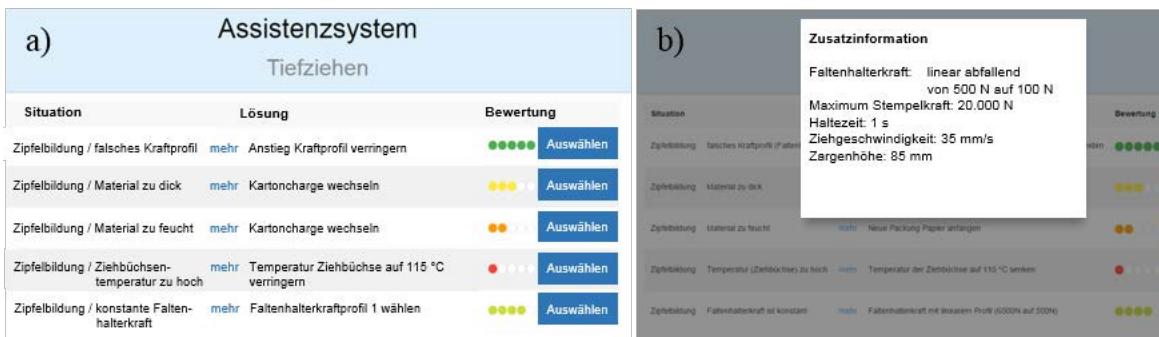
In einer experimentellen Studie wurde untersucht, ob die Präsentationsform der Lösungsvorschläge in einem fallbasierten Assistenzsystem dazu beiträgt, dass Bediener Lösungen übernehmen, ohne sie kritisch zu prüfen. Die Annahme bestand darin, dass eine salient präsentierte positive Bewertung von Fällen (ähnlich 5 Sterne bei Online-Versandhändlern) dazu führen würde, dass Bediener sie eher auswählen und weniger Zeit und Aufwand in eine sorgfältige Analyse der Situation investieren. Dies sollte in einer effizienteren Aufgabenbearbeitung resultieren, wenn der positiv bewertete Fall auch tatsächlich eine geeignete Lösung für das aktuelle Problem darstellt. Im Gegensatz dazu sollte ein vorschnelles Annehmen zu Fehldiagnosen führen, wenn der positiv bewertete Fall ungeeignet ist, zum Beispiel weil er aus einer Situation stammt, die mit der aktuellen Problemsituation nicht vergleichbar ist. Es wurde also angenommen, dass saliente Bewertungen ein zweischneidiges Schwert sind, weil sie zu Effizienzsteigerung in Standardsituationen führen, aber Kosten in Ausnahmesituationen erzeugen, die eine sorgfältige Situationsanalyse erfordern.

Um diese Hypothese zu prüfen, führten 40 studentische Versuchspersonen Aufgaben zur Störungsdiagnose an einer Kartontiefziehmaschine durch (Abbildung 3.2 a). Zur Herstellung von Bechern aus Karton (Abbildung 3.2 b) wird ein ebener Kartonzuschnitt in einer mittels eines Ziehstempels in eine Ziehbüchse gezogen. Dabei legt sich das eingezogene Material in Falten, welche im Ziehpalt zwischen Ziehbüchse und Ziehstempel verpresst werden. Der Prozess hängt von zahlreichen Einflussparametern ab und bietet eine Vielzahl von Fehlermöglichkeiten und Fehlerbildern (Abbildung 3.2 c-e), die für einen unerfahrenen Bediener ohne Assistenzsystem oftmals nicht eindeutig identifizierbar sind.



Abbildung 3.2: a) Kartontiefziehversuchsstand und
b) einwandfreie sowie c) - e) fehlerhafte Ziehteile

In zehn aufeinanderfolgenden Durchgängen wurde den Versuchspersonen ein fehlerhaftes Ziehteil präsentiert. Ihre Aufgabe bestand darin, eine geeignete Maßnahme zur Behebung der Störung auszuwählen. Dazu wurden ihnen durch ein prototypisches fallbasiertes Assistenzsystem jeweils fünf verschiedene Fälle angeboten und sie wurden instruiert, dass diese Fälle Lösungen repräsentierten, die andere Bediener für ähnliche Fehlerbilder angewendet hätten (Abbildung 3.3). Jeder Fall setzte sich zusammen aus einer Beschreibung der Situation, einer Lösung und einer Bewertung dieser Lösung, die angeblich durch den früheren Bediener vorgenommen worden war [14]. Die kritische experimentelle Manipulation bestand darin, dass die Bewertung für die Hälfte der Versuchspersonen grafisch präsentiert wurde und damit sehr salient und direkt wahrnehmbar war (Abbildung 3.3), wohingegen die andere Hälfte der Versuchspersonen verbale Bewertung der Lösungsqualität erhielten. Es wurde untersucht, wie sich dieser Unterschied in der Präsentationsform auf das Verhalten der Versuchspersonen in Standardsituationen und in Situationen mit Kontraindikation auswirkte, wobei in letzteren ein anderer als der bestbewertete Fall zur korrekten Lösung führte.



a) Assistenzsystem		
Tiefziehen		
Situation	Lösung	Bewertung
Zipfelbildung / falsches Kraftprofil	mehr Anstieg Kraftprofil verringern	★★★★ Auswählen
Zipfelbildung / Material zu dick	mehr Kartoncharge wechseln	★★★ Auswählen
Zipfelbildung / Material zu feucht	mehr Kartoncharge wechseln	★★ Auswählen
Zipfelbildung / Ziehbüchsen-temperatur zu hoch	mehr Temperatur Ziehbüchse auf 115 °C verringern	● ● ● Auswählen
Zipfelbildung / konstante Faltenhalterkraft	mehr Faltenhalterkraftprofil 1 wählen	★★★★ Auswählen

b)

Zusatzinformation

Faltenhalterkraft: linear abfallend von 600 N auf 100 N
Maximum Stempelkraft: 20.000 N
Haltezeit: 1 s
Ziehgeschwindigkeit: 35 mm/s
Zärgenhöhe: 85 mm

Situation: Zipfelbildung falsches Kraftprofil/Palten

Situation: Zipfelbildung Material zu dick

Situation: Zipfelbildung Material zu feucht

Neu! Neuer Packungspapier anfangen

Situation: Temperatur (Ziehbüchse) zu hoch - mehr Temperatur der Ziehbüchse auf 115 °C senken!

Situation: Faltenhalterkraft ist konstant - mehr Faltenhalterkraft mit kleinstem Profil (600N) auf 500N

Abbildung 3.3: Prototypisches fallbasiertes Assistenzsystem mit Situationsbeschreibung, Lösung und Bewertung für fünf Fälle zum Fehlerbild „Zipfelbildung“ (links) sowie zusätzliche Information zu den Maschinenparametern für einen der Fälle (rechts)

Vor dem Experiment durchliefen die Versuchspersonen eine etwa 40-minütige Instruktion, in der sie mit der Funktionsweise der Maschine vertraut gemacht wurden. Während des Experiments beobachten die Versuchspersonen in jedem von zehn Durchgängen die Herstellung eines fehlerhaften Ziehteils, wobei ihnen nachfolgend der Fehler vom Versuchsleiter benannt wurde. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, diesen Fehler in das Assistenzsystem einzugeben und aus den daraufhöfen präsentierten fünf Fällen eine Lösung auszuwählen. Da jeder im Experiment erzeugte Fehler genau eine eindeutige Ursache besaß, war in jedem Durchgang nur einer der fünf Lösungsvorschläge (Fälle) korrekt. Zusätzlich zum Assistenzsystem stand den Versuchspersonen der Kontrollbildschirm der Maschine zur Verfügung, auf dem die aktuell eingestellten Maschinenparameter abgelesen werden konnten. Zur Lösungsfindung konnte für jeden im Assistenzsystem präsentierten Fall zusätzliche Information über die damals eingestellten Maschinenparameter angefordert werden. Somit war es möglich zu überprüfen, inwiefern die aktuelle Situation mit der Fallbeschreibung übereinstimmte und ob die Lösung demnach übertragbar war. In acht der zehn Durchgänge war die Lösung korrekt, die im Assistenzsystem mit der höchsten Bewertung (5 Punkte) gekennzeichnet war. In Durchgang 6 und 9 dagegen musste eine weniger gut bewertete Lösung ausgewählt werden (4 Punkte), weil eine Abweichung in den Maschinenparametern die Übertragung der bestbewerteten Lösung verbot. In Abhängigkeit von Präsentationsform (grafisch, verbal) und Situation (Standard, Kontraindikation) wurden die Lösungsgeschwindigkeiten, die Fehlerraten, die Häufigkeit des Hinzuziehens von zusätzlicher Information zur Situationsanalyse, die Strategien zur Problemlösung und die subjektiven Bewertungen des Assistenzsystems analysiert.

Entgegen der Hypothesen konnte kein Unterschied der Präsentationsform von Fallbewertungen gefunden werden (für eine Übersicht der Mittelwerte und statistischen Kennzahlen siehe Tabelle 3.1). Grafische Bewertungen führten also nicht dazu, dass die Versuchspersonen schneller eine Lösung auswählten, deren Anwendbarkeit in der aktuellen Situation weniger kritisch prüften und damit in Situationen mit Kontraindikationen inkorrekte Lösungen auswählten.

Allerdings ergaben die Befunde eines post-experimentellen Interviews, dass sich die Versuchspersonen deutlich in ihren Strategien bei der Verwendung des Assistenzsystems unterschieden und diese Unterschiede durchaus mit der Lösungszeit und Lösungsqualität zusammenhingen. Erstens verfolgten die meisten Versuchspersonen eine von zwei unterscheidbaren Strategien: Entweder begannen sie die Lösungssuche im Assistenzsystem oder nutzten dieses eher zur Bestätigung. Erstere Gruppe betrachtete die vorhandenen Fälle und wählte denjenigen aus, der am

Tabelle 3.1: Übersicht der Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der Präsentation der Bewertungen auf die Lösungszeiten, die Fehlerrate und das Heranziehen von Zusatzinformationen

Abhängige Variable	Unabhängige Variable	Statistische Analyse	Faktorstufen	Mittelwert
Lösungszeit pro Durchgang	Präsentation	$F < 1, p > .7$	Grafisch: Verbal: Standard: Kontraindikation:	75.3 s 72.8 s 79.3 s 68.8 s
	Situation	$F(1,38) = 9.12, p = .004$		
Fehlerrate	Präsentation x Situation	$F < 1, p > .9$		
	Präsentation	$F < 1, p > .6$	Grafisch: Verbal: Standard: Kontraindikation:	14.4 % 16.3 % 19.4 % 11.3 %
Häufigkeit Zusatz-information	Situation	$F(1,38) = 2.71, p = .108$		
	Präsentation x Situation	$F(1,38) = 1.30, p = .262$		
Präsentation		$t(38) = .18, p = .861$	Grafisch: Verbal:	15.0 x 14.4 x

besten zur aktuellen Situation passte. Die zweite Gruppe versuchte mithilfe des Kontrollbildschirms zunächst selbstständig die Fehlerursache zu finden und griff erst dann auf das Assistenzsystem zu, um zu prüfen, ob die gefundene Ursache als Fall vorhanden war. Die Lösungszeiten in der ersten Gruppe waren mehr als 20 % kürzer ($F(1,36) = 5.71, p = .021$), was darauf hinweist, dass das Assistenzsystem durchaus hilfreich war. Zweitens gab etwa die Hälfte der Personen an, die Bewertungen im Assistenzsystem aktiv zur Lösungsfindung genutzt zu haben, also nur die am besten bewerteten Fälle in Betracht gezogen zu haben. Die Anzahl dieser Personen unterschied sich nicht zwischen den Gruppen mit grafischen und verbalen Bewertungen (13 vs. 10). Allerdings prüften Personen, die angaben sich stärker auf das Assistenzsystem zu verlassen, signifikant seltener das Vorhandensein von zusätzlicher Information ($F(1,36) = 4.18, p = .048$). Dieser Befund legt nahe, dass Bewertungsinformation in einem fallbasierten Assistenzsystem durchaus zu einer weniger gründlichen Analyse der Situation führen kann – auch wenn die im Experiment gewählten Präsentationsformen sich nicht darin unterschieden, wie stark sie ein solches Verhalten begünstigen.

Dennoch wäre es voreilig zu schlussfolgern, dass die Bewertungspräsentation prinzipiell keinen Einfluss auf das Verhalten von Bedienern hat. Eine Anzahl von Eigenschaften der Untersuchung erschwert die Interpretation der Ergebnisse. Zum einen war die Versuchsdauer auf zehn Durchgänge begrenzt und die Versuchspersonen hatten nur eine einzige Aufgabe zu erledigen. Studien zeigen jedoch, dass die Probleme eines unkritischen Verlassens auf automatisierte Systemen vor allem dann auftreten, wenn Bediener bereits über lange Zeit hinweg erlebt haben, dass die Vorschläge des Systems stets korrekt sind, während sie gleichzeitig unter hohem Zeitdruck stehen und mehrere parallele Aufgaben zu erledigen haben (z.B. [15]). Außerdem war im aktuellen Experiment in den Durchgängen mit Kontraindikation der am zweitbesten bewertete Fall korrekt, was insofern problematisch ist, dass einige Versuchspersonen nicht zwischen der besten und zweitbesten Bewertung unterschieden sondern stets beide prüften (und nur die schlechter bewerteten Fälle vernachlässigten). Probleme der experimentellen Aufgabe selbst

zeigten sich darin, dass die meisten Durchgänge Fehlerraten von unter 10 % aufwiesen und damit zu leicht waren. Daher wird aktuell eine Nachfolgeuntersuchung vorbereitet, in der einige der ebengenannten Faktoren verändert werden. Beispielsweise werden die Versuchspersonen durch eine Doppelaufgabe unter Zeitdruck stehen, in Fällen mit Kontraindikation wird eine deutlich schlechter bewertete Lösung zu wählen sein und die Schwierigkeit der Aufgaben wird erhöht werden. Sollte unter diesen Bedingungen ein Unterschied zwischen grafischen und verbalen Bewertungen zu finden sein, so kann angenommen werden, dass die Präsentationsform von Bewertungen in einem fallbasierten Assistenzsystem beeinflussen kann, wie kritisch sich Personen mit den präsentierten Fällen auseinandersetzen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein Modell zur kooperativen Störungsdiagnose durch Bediener und Assistenzsystem für die Bedienerunterstützung bei der Ursachendetektion und Beseitigung von Störungen im Verarbeitungsprozess vorgestellt. Durch die Kombination von Bedienerwissen und Prozessdaten wird damit eine gemeinsame Lagerepräsentation erstellt, die zu einer zielgenauen Fallerkennung führt.

Erste Untersuchungen zur Gestaltung des Assistenzsystems in Bezug auf die zugrundeliegende Methode des fallbasierten Schließens wurden durchgeführt. Es wurde untersucht, ob die Präsentationsform von Lösungsvorschlägen die Lösungszeit, die Fehlerraten und die Häufigkeit des Heranziehens von Zusatzinformationen beeinflusst. Entgegen der Hypothesen konnte kein Unterschied der Präsentationsform von Fallbewertungen gefunden werden. Dennoch kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Bewertungspräsentation prinzipiell keinen Einfluss auf das Verhalten von Bedienern hat. Die Auswertung von post-experimentellen Interviews wirft die Vermutung auf, dass die Rahmenbedingungen der Untersuchungen zu praxisfern waren und das Ergebnis beeinflusst haben könnten. Daher werden Nachfolgeuntersuchungen mit praxisnahen Randbedingungen wie Doppelaufgaben sowie komplexeren und damit schwierigeren Fehlerszenarien durchgeführt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Entwicklung und Erprobung des skizzierten Assistenzsystems zur kooperativen Störungsdiagnose ein.

5 Literatur

- [1] G. Bleisch, J.-P. Majschat, U. Weiß: Verpackungstechnische Prozesse. Lebensmittel-, Pharma- und Chemieindustrie. Hamburg: Behr, 2011.
- [2] A. Schult, E. Beck, J.-P. Majschat: Steigerung der Effizienz von Verarbeitungs- und Verpackungsanlagen durch Wirkungsgradanalysen. Pharma + Food, Vol. 18, S. 66-68, 2015.
- [3] K. Joiko, B. Illmann, J. Krüger, M. Schmauder, I. Weinhold: Mentale Modelle von Bedienern und Konstrukteuren aus Sicht der Fehlervermeidung am Beispiel Verpackungsmaschinen. Presented at the VVD 2012. Tagung Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik, Dresden, 2012.
- [4] H. Hirsch-Kreinsen: Wandel von Produktionsarbeit - "Industrie 4.0". Dortmund, 2014.
- [5] H. Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, 2013.
- [6] M. Schmauder: FuturePack 20 - Perspektivgeneration Endverpackungsmaschinen. Available: <http://forschungsinfo.tu-dresden.de/detail/forschungsprojekt/13850>, 2014.

- [7] A. Richter, A.-K. Lang, J. Denner, M. Wifling: Industrie 4.0: Der Mensch im Mittelpunkt der Produktion von morgen - Wissensmanagement für mobile Instandhalter bei der ThyssenKrupp Steel Europe AG. Presented at the 17. Kongress für Wissensmanagement, Social Collaboration und Industrie 4.0. Smart & Social - Wissensaktivierung im digitalen Zeitalter, Hanau, 2015.
- [8] D. Gorecky, M. Schmitt, M. Loskyll: Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung Technologien Migration, T. Bauernhansl, M. ten Hompel, B. Vogel-Heuser, Eds., ed Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 525-542, 2014.
- [9] J. L. Kolodner: Case-based reasoning. 2. ed. San Mateo: Kaufmann, 1997.
- [10] M. Obst, F. Doherr, L. Urbas: Wissensbasiertes Assistenzsystem für modulares Engineering. at - Automatisierungstechnik Methoden und Anwendungen der Steuerungs-, Regelungs- und Informationstechnik, Vol. 61, S. 103-108, 2013.
- [11] L. Onnasch, C. D. Wickens, H. Li, D. Manzey: Human Performance Consequences of Stages and Levels of Automation. An Integrated Meta-Analysis. Human Factors, Vol. 56, S. 476-488, 2014.
- [12] R. Parasuraman, D. H. Manzey: Complacency and Bias in Human Use of Automation: An Attentional Integration. Human Factors, Vol. 52, S. 381-410, 2010.
- [13] H. Atoyan, J. R. Duquet, J. M. Robert: Trust in new decision aid systems. Presented at the 18th International conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine, Montreal, 2006.
- [14] C. Gonzalez, J. F. Lerch, C. Lebiere: Instance-based learning in dynamic decision making. Cognitive Science, Vol. 27, S. 591-635, 2003.
- [15] R. Molly, R. Parasuraman: Monitoring an Automated System for a Single Failure: Vigilance and Task Complexity Effects. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Vol. 38, S. 311-322, 1996.

Mobile akustische Gang- und Laufanalyse

N. Schaffert¹, I. Goetze¹, K. Mattes¹, T. Knieling², K.-M. Stephan³

¹Universität Hamburg, Institut für Bewegungswissenschaft

Mollerstraße 2, 20148 Hamburg

nina.schaffert@uni-hamburg.de, irena.goetze@uni-hamburg.de,
klaus.mattes@uni-hamburg.de

²Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie,

Fraunhoferstraße 1, 25524 Itzehoe

thomas.knieling@isit.fraunhofer.de

³Neurologische Abteilung, SRH Gesundheitszentrum Bad Wimpfen,

Bei Der Alten Saline 2, 74206 Bad Wimpfen

klausmartin.stephan@gbw.srh.de

Kurzzusammenfassung

Im Beitrag wird die Entwicklung eines mobilen Feedbacksystem (zwei Messsohlen à 19 Drucksensoren und einem Bewegungssensor) zur Analyse des Abrollverhaltens der Gang-/Laufbewegung beschrieben. Der plantare Druck-Zeit-Verlauf beim Gehen/Laufen wird sonifiziert (vertont) und online über Kopfhörer rückgemeldet. Die zugehörige Software berechnet relevante Gangparameter unter Berücksichtigung der Belastungszonen von Vor-, Mittel-, Rückfuß und Gewichtsverlagerung (lateral, medial). Die Analyse erfolgt über Zeitpunkte im Gang-/Laufzyklus (Bodenkontaktzeit, Flugphase) zur Darstellung charakteristischer Parameter. Die Auswertung ermöglicht einen Links-rechts-Vergleich und liefert Informationen zu Schonverhalten und Fehlbelastungen. Das System eröffnet neue Möglichkeiten zur Ansteuerung der Gangbewegung in Rehabilitation/Training, die wesentlich zum Therapieerfolg und -optimierung beitragen können.

Abstract

“Mobile acoustic gait and running analysis“

A mobile feedback system consisting of two measuring insoles and one motion sensor was developed for analyzing the foot roll-over during walking/running. The plantar pressure-time curves were sonified (made audible) and provided as feedback online via earplugs. Relevant gait parameters were calculated (software) considering different loading zones (rear-, mid-, forefoot) and weight shift (medial, lateral). The analysis is realized through time points within the gait cycle (ground contact time, flight phase). Evaluation allows a right/left comparison and gives information about incorrect loading. The system opens new possibilities to control gait in rehabilitation/training that can contribute to therapeutic optimization.

Keywords: Sonifikation, Gehen, Bewegungsanalyse, Rehabilitation, Sport

1 Einleitung

Im Medizin-, Sport- und Gesundheitsbereich stellt die apparative Gang- und Laufanalyse in Ergänzung zur äußereren Bewegungsbeobachtung ein wichtiges Beurteilungskriterium für die

Charakterisierung und objektive Einschätzung des Gang- und Abrollverhaltens dar. Neben altersbedingten Verschleißerscheinungen wie Arthrose (Hüfte, Knie, Sprunggelenk) sowie verschiedenen Erkrankungen (Diabetes, etc.), können Beschwerden durch sportliche Aktivität (Sportunfälle durch falsche Belastung und/oder Überbelastung) aber auch Bewegungsmangel und dessen Folgen (Übergewicht, etc.) zur Beeinträchtigung des menschlichen Ganges und damit zu einem Verlust an Lebensqualität führen. Der zeitweilige Verlust der Gehfähigkeit infolge Krankheit oder Unfall erfordert eine sachgerechte Rehabilitationsbehandlung zur vollständigen Wiederherstellung des Bewegungssystems und der Mobilität (Neu-/Wiedererlernen des Gehens), zur Beseitigung eines fehlerhaften Bewegungsablaufs (Gangstörung) sowie von Schongang, der aufgrund von Schmerzen vom Betroffenen entwickelt wurde. Aus präventiver Sicht kann bei entsprechender Fußform oder Skelettausrichtung (Beinlängendifferenz) mit langfristigen Folgen für die Wirbelsäule beispielsweise eine Schuh- und Einlagenversorgung sinnvoll sein. Die Analyse des Ganges in Echtzeit (online) zur Abschätzung von Fehlbelastungen ist daher wichtig für die Diagnostik und Begleitung der sportmedizinischen Maßnahme (u.a. [1], [2]). Daneben ist sie unterstützend für die Arbeit in Orthopädie, Chirurgie, Neurologie, für die Arbeits-, Unfall- und Sportmedizin sowie für weitere angrenzende Bereiche.

1.1 Stand der Technik

Die eingesetzten Messeinrichtungen bei der Analyse des Gangbilds sind in der Lage, die auf den Fuß einwirkende Vertikalkomponente der Bodenreaktionskraft zeitlich und örtlich aufzulösen und einzelnen Fußregionen oder Skelettstrukturen zuzuordnen. Zur Erfassung der Belastungscharakteristik unter der Fußsohle (plantare Druckverteilung) gibt es verschiedene Systeme, wobei prinzipiell zwischen zwei Kategorien unterschieden werden kann: stationäre Kraftmessplattformen (z.B. Laufband) und mobile Drucksolen (sog. In-Shoe Systeme) (für eine Übersicht [3]).

Bei den Drucksensoren wird zwischen kapazitiven (z.B. emed® Plattform System und Pedar® In-Shoe System von Novel, Deutschland), resistiven (z.B. MatScan® Plattform System und F-Scan® In-Shoe System von Tekscan, USA), piezoelektrischen (z.B. Kistler Instrumente GmbH, Deutschland, Measurement Specialties, USA und PCB Piezotronics, Inc., USA) und piezoresistiven (z.B. FlexiForce® von Tekscan, ParoTec von Paromed, Deutschland und Kistler Instrumente GmbH) Sensoren unterschieden. Die Sensoren liefern ein elektrisches Signal das proportional zum gemessenen Druck ist.

Die erfassten Daten werden visualisiert und zur Einschätzung von Fehlbelastungen des Fußes und Bewegungsapparates herangezogen [4]. Zur Erfassung und Beurteilung des natürlichen Gangs sind die stationären Systeme (Laufband, Kraftmessplattform) ungeeignet, da sie ortsgebunden sind und das Gangverhalten beeinflussen (unsicherer Gang). Die meisten am Markt verfügbaren mobilen Systeme (Drucksolen) sind aber entweder noch kompliziert kabelgebunden (ungünstige Kabellänge und einschränkend für die Bewegungsausführung sowie anfällig gegenüber mechanischen Belastungen) bzw. verfügen über wenige großflächige Sensoren (4-8) oder sie sind schlicht zu teuer, weil für den Einsatz in der Wissenschaft und Klinik entwickelt. Weitere Nachteile liegen in der visuellen Darstellung der Daten, die eine spezielle Hinwendung zum Bildschirm oder Display erfordert, um die Informationen aufnehmen zu können. Dadurch kann eine kognitive Überlastung entstehen. Zudem sind die meisten mobilen Systeme nicht echtzeitfähig bei der Datendarstellung (wahrnehmbare Verzögerung >1 s). Eine zeitliche

Verzögerung der Informationsübertragung erschwert die Zuordnung der Information (dargestellte gemessene Druckverteilung) mit dem sensorisch selbst erlebten Gefühl während der Bewegungsausführung [5]. Das hat Konsequenzen für die Steuerung und Anpassung der motorischen Ausführung durch eine fehlerhafte Verrechnung im zentralen Nervensystem zwischen den empfundenen Folgen der eigenen Bewegung und der wahrgenommenen Information (Reafferenzprinzip [6]).

Akustische Feedbacksysteme dagegen haben den Vorteil, dass die Messdaten zeitsynchron zur Bewegungsausführung akustisch abgebildet (sonifiziert) und in Ergänzung zur bestehenden visuellen Darstellung oder allein präsentiert werden können ohne eine besondere visuelle Zuwendung zu verlangen. Die Vorteile dabei liegen gerade in der zuverlässigen Steuerung des Aufmerksamkeitsfokus über den auditiven Sinneskanal mit der Möglichkeit, mehrere Informationsströme gleichzeitig aufzunehmen und verarbeiten zu können [7]. Die Einbeziehung des menschlichen Gehörs für die Steuerung der Bewegungsausführung erlaubt aufgrund der engen Kopplung zwischen akustischem und motorischem System und der unbewussten Signalwahrnehmung eine direkte und intuitive Anpassung der Bewegungsausführung an den Klang [8]. Ein weiterer Vorteil ist die inhärente Zeitstruktur. Bewegungsbegleitende Geräusche, wie der hörbare Fußaufsatz, sind die akustischen Konsequenzen des kinetischen Events und liefern damit präzise Information zum Timing der Bewegungsausführung [9]. Der Einsatz akustischer Reize zur Unterstützung der Gangbewegung zeigte bei neurologischen Patienten bereits positive Ergebnisse (u.a. [10], [11]). Die Wirksamkeit der datenbasierten Verklanglichung (Sonifikation) zur Unterstützung der Ausführung menschlicher Bewegungen im weitesten Sinne konnte bereits in zahlreichen Studien nachgewiesen werden (u.a. [12], [13], für einen Überblick [14]).

1.2 Zielsetzung

Das Ziel ist die Entwicklung eines mobilen Systems, das dem Nutzer (Sportler oder Patient) mittels Sonifikation (Vertonung) der Daten akustisches Feedback über die Gang-/Laufcharakteristik auf den PC in Echtzeit (online) liefert, um das Wiedererlernen oder die Optimierung des Abrollverhaltens in Prävention und Rehabilitation zu unterstützen. Mit dem neuen Mess- und Feedbacksystem ließen sich die Verletzungsrisiken durch eine feedbackgesteuerte Gangschulung reduzieren sowie die Mobilität der Sportler und Patienten wiederherstellen und durch den selbstständigen Einsatz des Systems langfristig und nachhaltig gewährleisten. Damit kann das System wesentlich zum Therapieerfolg oder zur Trainingsoptimierung beitragen, da einerseits die Arbeit des Therapeuten oder Trainers wissenschaftlich-technologisch unterstützt wird, andererseits werden die Patienten oder Sportler effektiv und kostengünstig selbstständig zu Hause das Training mit akustischem Feedback weiterführen können. Zudem eignet sich das System für weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen.

2 Methodik

Bei der Entwicklung eines mobilen, echtzeitfähigen akustischen Feedback- und Analysesystems und dessen Einsatz im Sportbereich (Prävention) und der Therapie (Rehabilitation) müssen bestimmte Anforderungen für den Einsatz in der Praxis berücksichtigt werden.

2.1 Voraussetzungen für ein mobiles Fußdruckmesssystem

Die mobile Echtzeit-Messung der Gangparameter mittels Drucksensoren im Schuh stellt an das Gesamtsystem mindestens die folgenden Bedingungen:

- (1) Das Messsystem sollte idealerweise flexibel und leicht (<300 g), gleichzeitig aber robust gegenüber äußeren Einflüssen wie Torsion, Temperatur, Schweißfluss, etc. sein;
- (2) Minimale Verkabelung, um ein störungsfreies und komfortables sowie sicheres und natürliches Gangverhalten zu gewährleisten;
- (3) Sensorplatzierung: Einteilung in Fußzonen (Vor-, Mittel- und Rückfuß/Ferse) sowie zur Erfassung der Gewichtsverlagerung (lateral, medial);
- (4) Geringer Energieverbrauch: gleichzeitig muss die Erfassung und Aufzeichnung der Daten gewährleistet sein;
- (5) Low Cost: das Messsystem sollte erschwinglich sein, um einen breiten Einsatz/ Anwendung zu gewährleisten.

Im Folgenden wird das mobile System zur akustischen Gang- und Laufanalyse beschrieben. Dabei befinden sich Teilbereiche des Gesamtsystems noch in der Entwicklung.

2.2 Entwicklung der Hardware (Sohlen)

Die Sohlen für den linken und rechten Fuß verfügen über jeweils 19 resistive Foliensensoren (FSR 400 der Firma Interlink Electronics) mit einem Durchmesser der aktiven Sensorfläche von 5 mm und einer Dicke von ~ 0,3 mm. Aufgrund positiver Erfahrung mit den resistiven Sensoren wurden diese den kapazitiven Sensoren vorgezogen. Mit 19 Sensoren konnte die Belastungsfläche optimal abgedeckt werden. Der Messbereich der Kraft liegt zwischen 0,1 - 10 N, was einem Druckbereich von 0,5 - 50 N/cm² entspricht. Die Platzierung orientiert sich an den Belastungszonen und der Unterteilung in Vor-, Mittel- und Rückfuß. Abbildung 1 links stellt die Sohle mit Elektronik dar. In Abbildung 2.1 rechts ist die Anordnung der Sensoren und verlegten Leiterbahnen auf der Sohle dargestellt.



Abbildung 2.1: Schuheinlage mit gedruckten Folien-Kraftsensoren, Inertialsensor und Elektronik (links); Sensorverteilung und Leiterbahnen (rechts)

Um eine zuverlässige und nachvollziehbare Messung der Druckverteilung zu gewährleisten, wurden die Sensoren nach dem Einbau einzeln mit Hilfe eines auf die Sensorfläche angepassten Metallstempels auf einer weichen, dem menschlichen Fußgewebe nachempfundenen Unterlage kalibriert. Die Kalibrierung fand an einer mechanischen Test- und Messapparatur (Zwick-Zugprüfstand) mit einer geeichten Kraftmessdose (Messbereich – 500 N bis + 500 N) statt. Die Druckkräfte auf den Sensor wurden jeweils durch Herablassen des Stempels auf den Sensor mit 0,5 mm/s sukzessive erhöht und parallel dazu der elektrische Widerstand des Sensors gemessen.

Die erhaltene Messkurve dient als Grundlage für die Sensorkalibrierung und somit der Datenberechnung. Relevante Rauscheffekte wurden während der Messungen nicht beobachtet.

Am lateralen Rand der Sohle auf Höhe des Knöchels laufen die Leiterbahnen der Sensoren zusammen und enden in einem Stecksystem, das die Verbindung zur Elektronik ist, die sich in einem externen Gehäuse befindet. Unter jeder Sohle ist jeweils ein Inertialsensor (Typ IMU MPU-9250 der Firma Invensense) befestigt, die separat mit der Elektronik verbunden sind. Die von der Sohle erfassten Daten werden mit 100 Hz erfasst und via Bluetooth von der Elektronik an den PC gesendet und in der Software dargestellt. Der Datenstrom erfolgt, sobald die Sohlen mit der Software verbunden sind und das System „online“ geschaltet wurde.

2.3 Entwicklung der Software

Die zugehörige Software „GA“ speichert und kalibriert die erfassten Daten und berechnet relevante Gangparameter. Mit der Software kann die Länge der Aufnahme manuell eingestellt, die Messung aber auch vorzeitig über die Software gestoppt werden. Im „Online“-Modus können die ankommenden Daten der Sohle in Echtzeit in der Software verfolgt werden. In der Hauptansicht wird die Aktivität der Sensoren beider Sohlen mit einer Farbkodierung für die Druckstärke angezeigt. Darunter werden die Druck-Zeitverläufe für links und rechts dargestellt (Abbildung 2.2). Vor der Aufnahme können einzelne Sensoren zu neuen Zonen gruppiert werden. Zudem können alte Aufnahmen importiert und mit der Software neu bearbeitet werden (Anwendung von Filterfunktionen). Die Software erstellt die absoluten und Mittelwerte für die einzelnen Sensoren sowie die Werte für die definierten Fußzonen. Weitere Gangparameter, wie Schrittzahl, -weite, Schwung- und Standphase, Doppelschrittzeit und -länge, sowie Fußwinkel und -rotation sollen berechnet und automatisch ausgegeben werden.

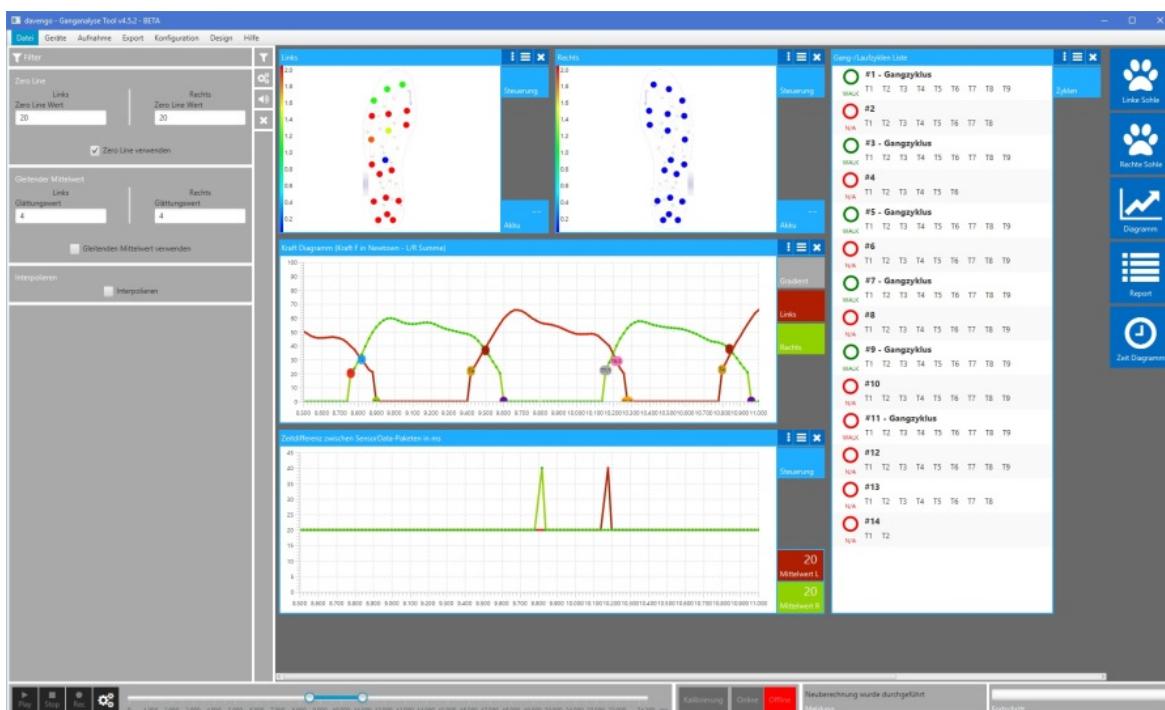


Abbildung 2.2: Ansicht der Datendarstellung in der Software

2.4 Datenexport und -auswertung

Die Messdaten werden in zwei csv.-Dateien exportiert. In der ersten Datei befinden sich die Rohdaten mit den jeweiligen Zeitstempeln getrennt für die linke und rechte Sohle und für jeden Sensor einzeln. In der zweiten Datei befinden sich die vorher gefilterten Mittelwerte für jeden Sensor einzeln sowie die Summe aller Sensoren. Zusätzlich werden die Mittelwerte für die Fußzonen Rück-, Mittel- und Vorfuß und laterale und mediale Gewichtsverlagerung separat ausgegeben. Die Analyse soll über die Zeitpunkte des Gang- und Laufzyklus in Bodenkontaktzeit und Flugphase für den linken und rechten Fuß über die Darstellung der charakteristischen Parameter Geschwindigkeit, Schrittänge, -weite, -frequenz-, Schwung- und Standphase, Doppelschrittzeit und -länge, Fußaufsatzwinkel und -rotation erfolgen. Weitere Parameter zur Ganglinie sowie die Druck- und Kraftkurven werden ausgegeben. Die Auswertung ermöglicht einen Soll-Ist-Vergleich und liefert notwendige Informationen zu Ausweichbewegungen (Schonverhalten) und der Wirkungsanalyse des Trainings/Therapie.

2.5 Sonifikation und Klangdesign

Die Sonifikation (Vertonung) des Kraft- oder Druck-Zeit-Verlaufs beim Gehen und Laufen erfolgt tonhöhenreguliert mittels algorithmischer Transformation (FM-Synthese). Zur Anwendung kommt das Sonifikationsverfahren Parameter-Mapping [15], d.h. die Zuordnung der Messwerte zum Klang erfolgt mathematisch. Über einen MIDI-Sequenzer (Musical Instruments Digital Interface) werden die Messwerte bestimmten Tönen auf der MIDI-Skala zugeordnet. Die MIDI-Skala entspricht der Klavierskala und ist erweiterbar auf dezimale MIDI-Werte (Notennummern). Durch Zuordnung ganzer Zahlen zu bestimmten Halbtönen im MIDI-System steuert die Notennummer die Tonhöhe, die i.d.R. pro Notennummer um einen Halbton erhöht wird. Die Abbildung der Druckverteilungsmesswerte in "Töne" erfolgt unter Verwendung o.g. dezimaler MIDI-Nummern. Die Einheit der Druckverteilungsmesswerte ist 1 N/cm^2 . Hierfür werden die Messwerte mittels mathematisch definierten Faktor k multipliziert (Spreizung) und mit einer Konstanten h auf der MIDI-Skala verschoben (Tonlage).

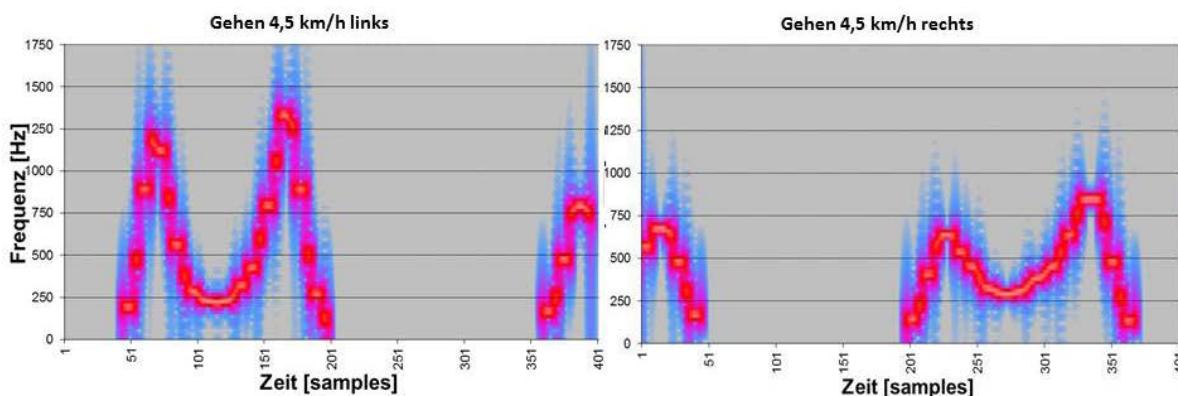


Abbildung 2.3: Spektrogramme des Kraft-Zeit-Verlaufs beim Gehen für links (linker Graph) und rechts (rechter Graph) beim Gehen mit 4,5 km/h

Damit wird dem additiven Intervall-Empfinden des auditiven Sinnessystems beim Tonhöhenvergleich entsprochen, da es sich um eine logarithmische Steuerung handelt, d.h. eine Addition von zwölf Halbtönen führt immer zu einer Verdopplung der Grundfrequenz. Einfach gesagt ändert sich die Tonhöhe als Funktion der gemessenen Druckverteilungswerte (zeitabhängige

bewegungsdefinierte Klangsequenzen). Veränderungen einzelner kinematischer Schrittparameter zwischen linkem und rechtem Fuß werden in der Schrittfolge sowie zwischen einzelnen Schritten unmittelbar hörbar (ansteigender/ abfallender Ton).

Die in Abbildung 2.3 dargestellten Spektrogramme veranschaulichen das Frequenzspektrum des akustischen Resultats des Kraft-Zeit-Verlaufs beim Gehen mit 4,5 km/h für den linken und rechten Fuß. Dabei spiegelt sich der charakteristische Verlauf aus den Messdaten wider.

3 Diskussion und Fazit

Das vorgestellte mobile akustische Feedbacksystem ermöglicht die Analyse des Abrollverhaltens der Gang- und Laufbewegung auf Grundlage relevanter Parameter unter Berücksichtigung der Belastungszonen Vor-, Mittel-, Rückfuß und Gewichtsverlagerung (lateral, medial). Nach Fertigstellung des Gesamtsystems liefert die Analyse wichtige Informationen zu charakteristischen Parametern wie Geschwindigkeit, Schrittlänge, -weite, -frequenz-, Schwung- und Standphase, Doppelschrittzeit und -länge, Fußaufsatzwinkel und -rotation. Neben weiteren ausgegebenen Parametern (Ganglinie sowie die Druck- und Kraftkurven), ermöglicht die Auswertung einen Links-rechts-Vergleich und liefert notwendige Informationen zu Belastung und möglichen Ausweichbewegungen (Schonverhalten) sowie zu Fehlbelastungen.

Neben der visuellen Darstellung der plantaren Druckverteilung auf dem Bildschirm wird das Abrollverhalten im Unterschied zu anderen Systemen in Echtzeit während des Gehens oder Laufens sonifiziert und präsentiert. Die akustische Rückmeldung vermeidet eine kognitive Reizüberbelastung des Nutzers, da sie während der Bewegungsausführung wahrgenommen werden kann. Als Repräsentant zeitlich-dynamischer Aspekte des Bewegungsablaufs vermittelt das akustische Feedback auch dessen Rhythmus und kann so zur Unterstützung der Bewegungsregulation und des motorischen Lernprozesses beitragen, da das angestrebte Bewegungsverhalten durch die Zeitstruktur des akustischen Feedbacks vorgegeben ist [9, 16]. Die direkte Kopplung von Tonhöhe an Änderungen in der Druckverteilung macht die Informationsinhalte der Vertonung für die Nutzer intuitiv verständlich und direkt umsetzbar [17, 18]. Die Töne führen zu charakteristischen Mustern, die über die zyklische Wiederholung der Merkmale im Gangzyklus ein ereignistypisches Klangbild entstehen lassen. Durch das Training mit der Sonifikation entwickeln die Nutzer eine auditive Sensitivität für diesen typischen Klang. Die Ausführung der Gang- oder Laufbewegung erfolgt dann direkt als Passung auf den Klang [19]. Aufgrund der besonderen Wahrnehmungscharakteristik des Gehörs mit seiner präzisen zeitlichen Auflösungs- und differenzierten Integrationsfähigkeit wird die Ansteuerung der Motorik und das Timing in der Bewegungsausführung bereits subkortikal unterstützt [9].

Damit eröffnet das mobile System neue Möglichkeiten zur Ansteuerung der Gangbewegung in der Rehabilitation oder im sportlichen Training, die wesentlich zum Therapieerfolg oder zur Trainingsoptimierung beitragen können. Einerseits wird die Arbeit des Therapeuten oder Trainers wissenschaftlich-technologisch unterstützt, andererseits können die Patienten oder Sportler effektiv und kostengünstig selbstständig zu Hause das Training mit akustischem Feedback weiterführen. Zudem eignet sich das System für wissenschaftliche Untersuchungen.

In Studien soll die Wirkung der Sonifikation auf die Gangparameter von Sportlern und Senioren trainingswissenschaftlich überprüft werden. Weitere Untersuchungen sollen die Wirkung des akustischen Feedbacks auf Patienten mit neurologischen Erkrankungen nach Schlaganfall oder mit Parkinson in der klinischen Praxis evaluieren. Ergebnisse von Studien bei gesunden Pro-

banden sind nicht ohne weiteres auf Patienten mit Schädigungen des Nervensystems übertragbar, da Hirnschädigungen die Wahrnehmung von Informationen und Integration von Informationen verändern können [20].

Während die Wirksamkeit rhythmischer Töne auf das Gehen bereits systematisch bei Schlaganfallpatienten und Parkinsonpatienten untersucht wurde [21], gibt es bisher nur wenige Studien zum Einsatz von Sonifikation bei Schlaganfall [22]. Zudem bestehen über die Wirksamkeit längerer Tonsequenzen zwar bereits klinische Beobachtungen, aber keine größeren systematischen Studien. Zudem fehlen auch noch Langzeit-Erfahrungen über die Wirksamkeit der rhythmischen Töne auf das Gehen. Insbesondere ist nicht bekannt, in welchem Zeitabstand die akustischen Vorgaben beim Gehen wiederholt werden sollten, um die angestrebten Veränderungen der Gangparameter auch über längere Zeit (Monate) zu erhalten.

Limitierungen des Systems betreffen den bisherigen einfach gehaltenen Aufbau der verwendeten Foliensensoren (z.B. ist keine Temperaturkompensation integriert). Daher unterscheiden sich die Charakteristiken der einzelnen Sensoren untereinander, was die Kalibration jedes einzelnen Sensors notwendig gemacht hat. Zurzeit laufen Arbeiten zur Herstellung kapazitiver komplett gedruckter Sensoren für deren Kalibrierung dann eine Kalibrierkurve für alle Sensoren verwendet werden kann [23].

4 Danksagung

Das FuE-Projekt “Akustische Ganganalyse” wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Förderkennzeichen: VP2543603WM3).

5 Literatur

- [1] D. Beckers, J. Deckers: *Ganganalyse und Gangschulung: Therapeutische Strategien für die Praxis*. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 1997.
- [2] V. Güth, D. Klein, D. Rosenbaum: *Ganganalyse*. In: V. Stein, B. Greitemann (Hrsg.): *Rehabilitation in Orthopädie und Unfallchirurgie. Methoden, Therapiestrategien, Behandlungsempfehlungen*. Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2005.
- [3] I. A. Kramers-de Quervain, E. Stüssi, A. Stacoff: *Ganganalyse beim Gehen und Laufen*. In *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 56 (2), S. 35-42, 2008.
- [4] G. Hegewald: *Ganganalytische Bestimmung und Bewertung der Druckverteilung unterm Fuß und von Gelenkwinkelverläufen*. Dissertation Humboldt Universität zu Berlin, 2000.
- [5] F. Menzer, A. Brooks, P. Halje, C. Faller, M. Vetterli, O. Blanke: *Feeling in control of your footsteps: conscious gait monitoring and the auditory consequences of footsteps*. *Cognitive neuroscience*, 1(3), S. 184-192, 2010.
- [6] E. Holst, H. Mittelstaedt: *Das Reafferenzprinzip*. *Naturwissenschaften*, 37(20), S. 464-476, 1950.
- [7] O. Höner, T. Hermann, C. Grunow: *Sonifikation - Ein Hilfsmittel zur Taktikanalyse im Sportspiel?* In: H. Gabler, U. Göhner, F. Schiebl (Hrsg.): *Zur Vernetzung von Forschung und Lehre in Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft*. Hamburg: Czwalina, S. 226-230, 2005.

- [8] M. H. Thaut: Rhythm, Music and the Brain: Scientific Foundations and Clinical Applications. New York: Routledge Chapman & Hall, 2008.
- [9] G. P. Kenyon, M. H. Thaut: Rhythmic-driven Optimization of Motor Control. In M. H. Thaut (Eds.): Rhythm, Music and the Brain: Scientific Foundations and Clinical Applications. New York: Routledge Chapman & Hall, S. 85-112, 2008.
- [10] M. H. Thaut, G. C. McIntosh, R. R. Rice: Rhythmic facilitation of gait training in hemiparetic stroke rehabilitation. *Journal of the Neurological Sciences*. 151(5), S. 207-212, 1997.
- [11] W. R. Young, M. W. Rodger, C. M. Craig: Auditory observation of stepping actions can cue both spatial and temporal components of gait in Parkinson's disease patients. *Neuropsychologia* 57, S. 140-153, 2014.
- [12] A. O. Effenberg: Movement sonification: Effects on perception and action. Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Multimedia, Special Issue on Interactive Sonification, 12(2), S. 53-59, 2005.
- [13] N. Schaffert, K. Mattes: Testing immediate and retention effects of acoustic feedback on the boat motion in high-performance rowing. *Journal of Human Sport & Exercise* 9(2), S. 616-628, 2014.
- [14] <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/49750> (last time accessed on 24 August 2016).
- [15] F. Grond, J. Berger: Parameter mapping sonification. *The Sonification Handbook*. Logos Verlag Berlin, S. 363-397, 2011.
- [16] A. C. MacPherson, D. Collins, S. S. Obhi: The importance of temporal structure and rhythm for the optimum performance of motor skills: A new focus for practitioners of sport psychology. *Journal of Applied Sport Psychology*, 21(S1), S. 48-61, 2009.
- [17] R. I. Schubotz, A. D. Friederici, D. Y. von Cramon: Time perception and motor timing: A common cortical and subcortical basis revealed by fMRI. *NeuroImage*; 11, S. 1-12, 2000.
- [18] J. A. Grahn, M. Brett: Rhythm and beat perception in motor areas of the brain. *J Cogn Neurosci*; 19, S. 893-906, 2007.
- [19] E. Kohler, C. Keysers, M. A. Umiltà, L. Fogassi, V. Gallese, G. Rizzolatti: Hearing sounds, understanding actions: Action representation in mirror neurons. *Science*, 297, S. 846-848, 2002.
- [20] G. C. McIntosh, S. H. Brown, R. R. Rice, M. H. Thaut: Rhythmic auditory-motor facilitation of gait patterns in patients with Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 62(1), S. 22-26, 1997.
- [21] M. H. Thaut, A. K. Leins, R. R. Rice, H. Argstatter, G. P. Kenyon, G. C. McIntosh, H. V. Bolay, M. Fetter: Rhythmic auditory stimulation improves gait more than NDT/Bobath training in near-ambulatory patients early poststroke: a single-blind, randomized trial. *Neurorehabil Neural Repair*; 21(5), S. 455-459, 2007.
- [22] D. S. Scholz, S. Rhode, M. Großbach, J. Rollnik, E. Altenmüller: Moving with music for stroke rehabilitation: a sonification feasibility study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), S. 69-76, 2015.
- [23] T. Knieling, A. Kurylo, F. Beeck, V. Sethumadhavan: Different Force Sensor Approaches for Flexible Shoe Inlays in Acoustic Gait Analysis. Proc. MikroSystemTechnik Kongress 2015, VDE-Verlag, 2016.

Explorative Co-Design-Werkzeuge zum Entwerfen von Smart Connected Things am Beispiel eines Workshops mit Blinden und Sehbehinderten

A. Kurze, K. Lefevre, M. Storz, A. Bischof, S. Totzauer, A. Berger

Technische Universität Chemnitz, Professur Medieninformatik
09107 Chemnitz

albrecht.kurze@informatik.tu-chemnitz.de, kevin.lefeuvre@informatik.tu-chemnitz.de,
michael.storz@informatik.tu-chemnitz.de, andreas.bischof@informatik.tu-chemnitz.de,
soeren.totzauer@informatik.tu-chemnitz.de, arne.berger@informatik.tu-chemnitz.de

Kurzzusammenfassung

In diesem Beitrag wird das Co-Design-Werkzeug Loaded Dice vorgestellt, welches aus zwei Arduino-basierten, 3D-gedruckten interaktiven Würfel besteht, die drahtlos miteinander kommunizieren können. Der erste Würfel verfügt auf jeder Seite über einen von sechs unterschiedlichen Sensoren, der andere über ebenso viele unterschiedliche Aktuatoren. Als Werkzeug zum Entwerfen dienen die Würfel zur Erforschung des Design Space von Smart Connected Things mit Co-Designern, also Anwenderinnen zukünftiger Produkte. Die Würfel unterstützen Co-Design-Aktivitäten wie z. B. Workshops oder Feldstudien mit dem Ziel, Szenarien für Anwendung und Gebrauch vernetzter smarter Technologien zu entwickeln. Beispielhaft wird ein solcher Co-Design-Workshop mit blinden und sehbehinderten Co-Designern vorgestellt.

Abstract:

“Explorative Co-Design Tools for Designing Smart Connected Things”

This paper proposes Loaded Dice, two wireless connected Arduino based, 3D-printed cubes consisting of various sensors in one cube and various actuators in the other. It is an interactive tool intended to support co-design activities with future users within the design space of smart connected devices. The proposed interactive tool and supporting co-design activities proved to be empowering and engaging to imagine and ideate future technologies based around the Internet of Things (IoT) together with blind and visually impaired people.

Keywords: co-design, design methods, participatory design, research through design, haptic technology

1 Einleitung

Wir stellen im Folgenden zwei interaktive Würfel vor, die als Werkzeug zum Entwerfen dazu dienen, gemeinsam mit Co-Designern den Design Space von Smart Connected Things zu erforschen. Die Würfel sind als Forschungswerkzeuge konzipiert, um so Co-Design Aktivitäten wie Workshops oder Feldstudien zu unterstützen. Dazu werden zunächst erst sehr kurz der Begriff Smart Connected Things und nachfolgend Partizipation im Kontext von Research Through Design eingeführt, bevor die interaktiven Würfel und ein Workshop, in dem sie verwendet wurden, vorgestellt werden.

2 Co-Design und Smart Connected Things

Smart Connected Things für das Internet of Things (IoT), wie sie für Smart Home, Quantified Self oder Ambient Assisted Living aktuell entwickelt, erforscht und vermarktet werden, sind von ihren Entwicklerinnen festgeschriebene Kombinationen von Sensoren und Aktuatoren in Regelkreisen. Durch die Messung physikalischer Größen in der Umwelt durch Sensoren und Rückwirkungen in die Welt physikalischer Größen durch Aktuatoren ergeben sich Produkte mit innovativen Verwendungsmöglichkeiten, wie smarte Heizungsregelungen, Fitnessarmbänder oder Sturzsensoren. Ziel solcher Entwicklungen ist es, die Leben der Anwenderinnen bequemer, gesünder oder sicherer zu gestalten.

Wir sehen hier in mehreren Richtungen Verbesserungspotential. Einerseits in geeigneten partizipativen Methoden und Entwurfswerkzeugen, solche Artefakte gemeinsam mit zukünftigen Verwenderinnen (Co-Designer) zu entwerfen und andererseits im Entwurf solcher Artefakte für Anwenderinnen mit psychischen oder physischen Einschränkungen. Gerade für beeinträchtigte Anwenderinnen bieten Smart Connected Things neben den Möglichkeiten, bequemer, gesünder oder sicherer zu leben, auch die Chance unabhängiger, selbstbestimmter oder weniger stigmatisiert zu leben.

Werkzeuge zum gemeinsamen Entwerfen von Smart Connected Smart Connected Things, wie die modulare Elektronikplattform Arduino ermöglichen nicht nur Designerinnen und Informatikerinnen, effektiv und effizient elektronische Produkte zu entwerfen. Arduino ist zwar leicht zu erlernen, benötigt aber in den allermeisten Fällen zumindest rudimentäre Programmierkenntnisse, aber immer zusätzliche Prototyping-Werkzeuge für die Umsetzung von Gehäusen für die Verwendung in konkreten Nutzungszusammenhängen. Werkzeuge wie littleBits [1] setzen an einem dieser Kritikpunkte an und erlauben es, smarte Artefakte schnell und ohne Programmierkenntnisse zu entwerfen. Einen Fokus auf das Erlernen der Funktionsweise von Regelkreisen vernetzter Sensoren und Aktuatoren legt beispielsweise Cube-In [2]. Das Modular Robotics Studio [3] ermöglicht es Anwenderinnen spielerisch Roboter zu bauen, ohne dabei über Programmierkenntnisse verfügen zu müssen. Beide Werkzeuge verzichten zudem auf das „rohe“, elektronische Look and Feel der littleBits; sowohl für Cube-In als auch für das Modular Robotics Studio haben die Entwerferinnen platonische Körper (Würfel) als Gehäuse eingesetzt. Frauenberger [4] haben schließlich gezeigt, dass gemeinsam mit Betroffenen entworfene Smart Things dazu geeignet sind, an deren Erleben anzuschließen und gemeinsam nützliche Lösungszusammenhänge zu entwickeln. All diesen Werkzeugen ist gemein, dass sie an unterschiedlichen Stellen im Designprozess eingesetzt werden können, um gemeinsam Anwendungsszenarien und Prototypen für das Internet of Things zu entwerfen.

Aufbauend auf der Prämissen, gemeinsam mit Anwenderinnen, die über keine Kenntnisse in Programmierung oder Modellbau verfügen, Szenarien für die Verwendung von Smart Connected Things zu entwerfen, haben wir Loaded Dice entwickelt [5]. Eben dort beschreiben wir auch im Detail, an welcher Stelle im Designprozess Loaded Dice zum Einsatz kommen können. Als Werkzeug zum Entwerfen sind sie damit ein Zwischenschritt, um den Design Space zu explorieren, Szenarien für die Verwendung zu skizzieren und um schließlich im nächsten Schritt nützliche smarte Dinge zu entwerfen.

3 Co-Design und Research Through Design

Um im Bereich von Smart Connected Things gemeinsam mit potentiellen Verwendern entwickeln zu können, bedarf es methodischer und technischer Hilfsmittel. Mit interaktiven ping-

Werkzeuge, welche die Möglichkeiten und Grenzen und Möglichkeiten von IoT-Technologie inkorporieren, können Verwender spielerisch Funktionalitäten explorieren [6]. Der Einsatz solcher Werkzeuge zum Entwerfen dient in diesem Setting nicht dem Messen von Akzeptanzwerten fertiger Produkte. Die Entwurfswerkzeuge sind dabei vielmehr methodische Katalysatoren, welche die möglichen Funktionalitäten zukünftiger Produkte verkörpern. In parallel entwickelten Co-Design-Workshops setzen wir diese Objekte ein, um eine kontinuierliche transdisziplinäre Anwenderintegration und eine übergreifende interdisziplinäre Forschungskultur zu ermöglichen [7].

Diese Arbeit orientiert sich dabei an Ansätzen zu Co-Design Support Tools für kognitiv benachteiligte Anwenderinnen wie eTextile Weaving [8] und anderen Ansätzen [9, 10]. Werkzeuge zum Entwerfen, wie in der hier beschriebenen Case Study, ermöglichen Workshops, mit denen Verwender eigene Funktionen, Nützlichkeiten und Nutzungszusammenhänge aus ihren sozialen Kontexten heraus entwickeln können. Die Teilnehmer werden nicht mit vorgegebenen Szenarien konfrontiert, sondern selbst zu Entwerfern eigener Anwendungen. Durch die übergreifende Methodologie des Research Through Design [11] werden diese Entwürfe und ihre Iterationen als integrierter Entwicklungsprozess verstanden. Somit lässt sich eine umfassende Beteiligung der Verwenderinnen im Entwerfen von Smart Connected Things im IoT methodisch integriert bearbeiten. Die Erkenntnisse aus diesen Prozessen dienen schließlich als Wissensbasis, Inspiration und methodisch fundierter Ausgangspunkt für den Entwurf zukünftig gewünschter, Inklusion-fördernder Produkte.

4 Case Study: Interaktive Würfel

Um gemeinsam mit Co-Designern Probleme und Lösungen ihrer Erlebenswirklichkeit offen zu explorieren und gemeinsam sinnvolle Anwendungen für Smart Connected Things zu entwickeln, wurde ein vernetztes Würfelpaar entworfen und gebaut (Abbildung 4.1).



Abbildung 4.1: Interaktive Werkzeuge – Loaded Dice;
links Aktuatorwürfel, rechts Sensorwürfel

Dieses Würfelpaar besteht aus einem Sensorwürfel und einem Aktuatorwürfel mit jeweils einem Sensor bzw. Aktuator auf jeder der sechs Seiten. Im Inneren der Würfel sind selbstentworfene Arduino-Platinen mit daran angeschlossenen Sensoren bzw. Aktuatoren. Im Sensorwürfel können dazu sechs Sensoren (Temperatur, Licht, Bewegung, Distanz, Schall, Drehregler) und

im Aktuatorwürfel sechs Aktuatoren (LED-Bargraph, Peltier-Thermofläche, Power-LED, Lautsprecher, Ventilator, Vibrationsmotor) genutzt werden (Abbildung 4.2).



Abbildung 4.2: Alle Seiten des Sensorwürfels (oben) und des Aktuatorwürfels (unten)

Darüber hinaus verfügt jeder der Würfel über einen eingebauten Akku zur Stromversorgung, einen USB Anschluss zum Laden des Akkus, einen Ein-Aus-Schalter und einen Umschalter für den Verwendungsmodus. In beiden Würfel stehen zwei Verwendungsmodi zur Verfügung. Im Orientierungsmodus ist die jeweils nach oben zeigende Seitenfläche aktiv, im manuellen Auswahlmodus kann die aktive Seitenfläche per Touch-Button in einer kleinen Mulde auf der jeweiligen Würfelseite ausgewählt werden.

Erst durch die Kommunikation zwischen den Würfeln werden diese wirklich „smart“. Beide Würfel sind dazu mit XBee-Modulen ausgestattet, so dass eine drahtlose Verbindung über wohnungsbüliche Entfernung möglich ist. Die Würfel sind nach dem Einschalten unmittelbar verbunden. Dabei wird die vom aktiven Sensor im Sensorwürfel aufgezeichnete Umweltveränderung normalisiert drahtlos an den Aktuatorwürfel übermittelt, dort reagiert der aktive Aktuator entsprechend.

Es können beliebige Sensor-Aktuator-Kombinationen schnell und flexibel gewählt und ausprobiert werden. Dies ermöglicht sowohl Co-Design Aktivitäten von Forscher und Partizipanten, als auch die Zusammenarbeit mehrerer Nutzer und eine räumliche Verteilung, in der Sensor- und Aktuatorwürfel voneinander getrennt sind. Wählt eine Anwendern beispielsweise den Bewegungssensor und die Peltier-Thermofläche als Aktuator, wird diese warm, wenn vor dem Bewegungssensor eine Bewegung registriert wird. Ebenso können sich Anwenderinnen auch über Distanz anpusten (Schallsensor & Ventilator) oder Hitze (Wärmesensor) in Licht (Power-LED) umwandeln (Abbildung 4.3).

Eine Besonderheit der Gestaltung der einzelnen Aktuatoren und Sensoren liegt in der haptischen Semiotik. So war es ein Ziel, die Funktionen der einzelnen Sensoren und Aktuatoren *begreifbar* zu machen, indem die jeweiligen Funktionen regelrecht *fühlbar* werden und damit den Anforderungen von blinden und sehbehinderten Co-Designerinnen in Workshops gerecht werden. Da die Form auf die elementare Funktion hinweist und kein unmittelbar festgeschriebener Verwendungszusammenhang von einem Sensor und einem Aktuator vorgegeben wird, können technische Aspekte „vergessen“ werden. Co-Designer werden so bei der freien Assoziation und einem auf technischen Möglichkeiten (anstelle von Notwendigkeiten) basierenden Denkprozess unterstützt. Durch die haptische Semiotik lassen sich zudem sprachliche Erklärungen durch die Leiterinnen in Workshops minimieren.



Abbildung 4.3: „Hitze wird in Licht umgewandelt“ – Ein Wärmesensor im Sensorwürfel reagiert auf das entzündete Streichholz, kommuniziert dies drahtlos zum Aktuatorwürfel und die Power-LED leuchtet

Bei der Verbindung eines Sensor mit einem Aktuator werden auf explorative Art und Weise Anwendungsszenarien für Lösungen von alltäglichen Problemen der im Workshop involvierten Anwender konzipiert, erwogen und simuliert. Dafür haben wir ein Workshop-Konzept entwickelt und erprobt.

5 Workshops

Unsere Erprobung des interaktiven Würfelpaars mit blinden und sehbehinderten Schülern [5] hat gezeigt, dass dieses Werkzeug als Methode zum Co-Design mit diesen Nutzergruppen sehr tauglich ist. Die Teilnehmenden waren in der Lage, die Funktionen des Würfelpaars selbstständig zu explorieren und zu erkennen. Darüber hinaus hat die methodische Kombination aus Gruppendiskussion, freier Exploration und moderierter Ideenbildung gezeigt, dass sie selbstläufige Interpretationen und Bedeutungszuschreibungen der Verwender hervorbringt. Es wurde deutlich, dass die interaktiven Entwurfswerkzeuge assoziative Explorationsmodi ermöglichen, die am spezifischen sensorischen Erleben der Teilnehmer ansetzen. Insbesondere spielerische Explorationsformen führten zu einer größeren Bandbreite sensorischer Assoziationen und damit zu ganz eigenen Kombinationen von IoT-Sensoren und –Aktuatoren, z. B. modulierter Vogelgesang als Interaktionsmuster für eine sensorbasierte Wetteranwendung für blinde Nutzer. Dies kann nun als Basis für Inklusion, vor allem aber für möglichst wenig stigmatisierende Smart Connected Things dienen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass partizipative Gestaltungsmethoden mit eingeschränkt sehenden Teilnehmern von unserem Entwurfswerkzeug enorm profitieren. Die semiotisch angereicherte und vor allem modulare Repräsentation von IoT-Funktionen hat das Erleben, Verstehen und Gestalten solcher Funktionalitäten auch im Vergleich mit anderen Tools erhöht. Mit den Loaded Dice lassen sich Nutzergruppen wie Blinde und Sehbehinderte und ihre Lebenswelten besser in partizipative Entwicklungsprozesse integrieren.

6 Fazit

Wir haben gezeigt, dass das Internet of Things eine besondere Herausforderung für das gemeinsame Entwerfen mit Anwenderinnen und Anwendern darstellt. Der Design Space umfasst multimodale, non-textuelle, non-visuelle und non-verbale Arten der Interaktion, die über klassische Interaktionsparadigmen hinausgehen und daher angemessene Co-Design Werkzeuge erfordern.

Wir haben diese Herausforderungen und das neuartige Co-Design Werkzeug Loaded Dice vorgestellt. Dieses Werkzeug besteht aus einem Sensor-Würfel und einem Aktuator-Würfel, die drahtlos miteinander kommunizieren können. Loaded Dice ermöglicht damit das gemeinsame Entwerfen von Prototypen und Design Fiction für das Internet of Things. Beispielsweise wurde ein Co-Design-Workshop mit blinden und sehbehinderten Co-Designern vorgestellt. Dieser beweist, dass unser interaktives Co-Design Werkzeug Loaded Dice dazu geeignet ist, gemeinsam mit Anwenderinnen und Anwendern reichhaltige, nützliche und neuartige Anwendungsszenarien für das Internet of Things zu entwickeln.

7 Danksagung

Herzlicher Dank an die Schülerinnen und Schüler, ihre Lehrerinnen und den Direktor der Landesschule für Blinde und Sehbehinderte Förderzentrum Chemnitz für ihre freundliche Unterstützung. Die vorliegende Publikation wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16SV7116 gefördert.

8 Literatur

- [1] A. Bdeir: Electronics as material: littleBits. In Proc. of TEI 2009. S. 397-400, 2009.
- [2] H. Oh, M. D. Gross: Cube-in: A Learning Kit for Physical Computing Basics. In Proc. of TEI 2015. S. 383-386, 2015.
- [3] E. Schweikardt: Modular robotics studio. In Proc. of TEI 2011. S. 353-356, 2011.
- [4] C. Frauenberger, J. Makhaeva, K. Spiel: Designing Smart Objects with Autistic Children: Four Design Exposés. In Proc. of CHI 2016. ACM, New York, NY, USA, S. 130-139, 2016.
- [5] K. Lefevre, A. Bischof, S. Totzauer, A. Kurze, M. Storz, L. Ullmann, A. Berger: Loaded Dice: Exploring the Design Space of Connected Devices with Blind and Visually Impaired People. In Proc. of NordiCHI 2016. ACM Press, 2016.
- [6] A. Berger, M. Heidt, M. Eibl: Conduplicated Symmetries: Renegotiating the Material Basis of Prototype Research. In Proc. of ICoRD 2015. Springer. S. 71-78, 2015.
- [7] A. Berger, M. Heidt: Exploring Prototypes in Interaction Design Qualitative Analysis & Playful Design Method. IASDR2015 INTERPLAY. Brisbane, Australia, S. 2487-2494, 2015.
- [8] E. Giles, J. van der Linden: Imagining Future Technologies: eTextile Weaving Workshops with Blind and Visually Impaired People. In Proc. of Creativity and Cognition. ACM Press, 2015.
- [9] J. McElligott, L. van Leeuwen: Designing Sound Tools and Toys for Blind and Visually Impaired Children. In Proc. of IDC 2004. ACM Press. S. 65-72, 2004.
- [10] M. Twyman, J. Mullenbach, C. Shultz, J. E. Colgate, A. M. Piper: Designing Wearable Haptic Information Displays for People with Vision Impairments. In Proc. of TEI 2015, ACM S. 341-349, 2015.
- [11] W. Gaver: What should we expect from research through design?. In Proc. Of CHI 2012. S. 937-946. ACM, 2012.

Systematische Risikobewertung für eine additiv gefertigte, kosteneffiziente Handprothese

I. S. Yoo, M. Peipp, J. Franke

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS)
Egerlandstr. 7-9, 91058 Erlangen
In.Seong.Yoo@faps.fau.de, Mat.Peipp@fau.de, Joerg.Franke@faps.fau.de

Kurzzusammenfassung

Bei der Entwicklung von Medizinprodukten ist ein durchgängiges Qualitäts- sowie Risikomanagement entlang der gesamten Wertschöpfungskette unentbehrlich, um die Funktionalität sowie die Sicherheit des Produkts zu gewährleisten. Aktuell gibt es eine Vielzahl von mechanischen Handprothesen, deren Bauteile in einem preiswerten 3D-Drucker additiv gefertigt werden. Der Lösungsansatz zur kosteneffizienten Fertigung von Handprothesen ist insbesondere für den Einsatz in Entwicklungsländern von großer Bedeutung. Allerdings sind die einfachen Prothesen noch nicht für den alltäglichen Gebrauch geeignet, sondern stellen lediglich eine prototypische Entwicklung dar. Dieser Beitrag befasst sich mit einer systematischen Risikobewertung für eine solche Handprothese mit dem Ziel, die Patientensicherheit und die Funktionalität zu verbessern.

Abstract

“Systematic risk analysis for a 3D-printed low-cost hand prosthesis“

A continuous quality and risk management system along the value-added chain is essential for development and production of medical products. At present a large number of 3D-printed, cost-efficient mechanical hand prostheses are being developed with intention for use in developing countries. However, many of them are still far from being a medical product suitable for daily use, mainly because of remaining risk potentials that can cause malfunction of the prosthetic system and injury of the patient. This article presents a systematic analysis and evaluation of risk potentials and failure causes for a simple mechanical 3D-printed hand prosthesis.

Keywords: Medical devices, risk management, FMEA, affordable hand prosthesis, 3D-printing

1 Einleitung

Aktuell gibt es eine Vielzahl von mechanischen Handprothesen, deren Bauteile wie etwa die Fingerglieder in einem preiswerten Desktop-3D-Drucker additiv gefertigt werden [1]. Diese Projekte verfolgen das Ziel, eine bewusst einfach gehaltene und trotzdem nutzenbringende Alternative zur Wiederherstellung der Greiffunktion mit geringen Kosten aufzuzeigen. Der Lösungsansatz zur kosteneffizienten Herstellung der Handprothese ist insbesondere für den Einsatz in Entwicklungsländern von großer Bedeutung, in denen eine stabile Infrastruktur zur medizinischen bzw. prothetischen Versorgung der Amputation nicht ausreichend vorhanden ist. [1, 2]

Mit Hilfe der additiven Fertigung ist es möglich, je nach anatomischen Gegebenheiten individuell angepasste Produkte über eine kürzere, digitalisierte Prozesskette flexibel herzustellen.

Dies ist gerade bei Prothesen, die in geringerer Stückzahl und bei hoher Varianz angefertigt werden, von großem Vorteil. Die zugrunde liegende Fertigungstechnologie FLM (Fused Layer Modeling) ist vergleichsweise einfach, verständlich und damit schnell erlernbar. Des Weiteren erfordert die Fertigungsanlage keine kostenintensive Infrastruktur – wie für die Materialhandhabung bei pulverbasierten Verfahren und die Nachbearbeitung. Die bewusst einfach gehaltenen und intuitiv bedienbaren Prothesensysteme sind mit einem erschwinglichen Kostenaufwand herzustellen und somit in der Lage, die Lebensqualität des Benutzers effizient und effektiv zu verbessern. So erfüllt die Handprothese besonders in technologisch-ökonomischem Aspekt die Voraussetzungen für ein akzeptiertes technisches Unterstützungs-system für den Menschen. [1, 2]

Bei der Entwicklung medizintechnischer Produkte ist ein durchgängiges Qualitäts- sowie Risikomanagement entlang der gesamten Wertschöpfungskette unentbehrlich, um die Funktionalität sowie die Sicherheit der Produkte zu gewährleisten und die regulatorischen Rahmenbedingungen zu erfüllen. Die additiv gefertigten, kostenminimierten Handprothesen sind jedoch noch nicht für den alltäglichen Gebrauch geeignet, sondern stellen vielmehr eine prototypische Entwicklung dar. Der Optimierungsbedarf besteht unter anderem hinsichtlich der Sicherheit und der Gebrauchstauglichkeit des medizintechnischen Produkts. Der Zweck der Handprothese als ein technisches Unterstützungssystem ist nur dann erfüllt, wenn die Funktionalität sicher und zuverlässig erreicht wird.

Der vorliegende Beitrag befasst sich deshalb mit einer systematischen Risikobewertung für eine additiv gefertigte, kosteneffiziente Handprothese. Im Anschluss an eine kurze Darlegung der relevanten Grundlagen des Qualitäts- und Risikomanagements wird anhand einer prototypischen Handprothese eine systematische Fehlermöglichkeits- und Fehlereinflussanalyse (FMEA) durchgeführt. Die Ergebnisse sind eine Risikomatrix sowie ein umfangreiches FMEA-Formblatt. Nach einer fundierten Auswertung der Ergebnisse werden Handlungsempfehlungen zur Risikominimierung generiert und auf deren Umsetzbarkeit bewertet. Die Optimierungsvorschläge begrenzen sich nicht auf technische Lösungen für die Konstruktion, die Werkstoffauswahl und die Fertigung der Prothese, sondern schließen Hilfsmaßnahmen während der Nutzung durch den Patienten ein, wie zum Beispiel die Einführung von Wartungsmaßnahmen sowie die Entwicklung verständlicher Anleitungen.

2 Risikomanagement bei der Herstellung von Medizinprodukten

2.1 Qualitäts- und Risikomanagement in der Medizintechnik

Nach der Norm DIN EN ISO 9000:2015 ist der Begriff „Qualität“ eines Produkts oder einer Dienstleistung definiert als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“ [3]. Ein hohes Maß an Erfüllung gestellter Anforderungen ergibt sich aus allen relevanten Prozessen im Unternehmen, die durch ein Qualitätsmanagement systematisch geplant und gesteuert werden. Die Gestaltung und Steuerung der Prozesse, die zur Herstellung und Bereitstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung nötig sind, erfolgt in einem Qualitätsmanagementsystem. [4, 5]

Bei der Herstellung medizintechnischer Produkte ist ein durchgängiges Qualitäts- sowie Risikomanagement entlang der gesamten Wertschöpfungskette besonders wichtig, um die besonders hohen Qualitäts- sowie Sicherheitsanforderungen zu erfüllen und die Konformität mit regulatorischen Rahmenbedingungen zu gewährleisten. Mangelnde Qualität eines Medizinprodukts stellt ein unmittelbares Risikopotenzial dar, welches zum Funktionsausfall führen und die

Gesundheit des Benutzers gefährden kann. Das Qualitäts- und Risikomanagement für Medizinprodukte muss deshalb ein wesentlicher Bestandteil eines gesamten Qualitätsmanagementsystems sein [5]. Die Integration von Qualitäts- sowie Risikomanagement in der Medizintechnik wird in der einschlägigen Norm DIN EN ISO 13485 gefordert [6, 7].

Das Risikomanagement in der Herstellung von Medizinprodukten wird in der Norm DIN EN ISO 14971 systematisch definiert und umfasst die Bewertung von Produkten und Prozessen im Hinblick auf ihre Risiken sowie die Ableitung von Maßnahmen zur Kontrolle, Minimierung und Vorbeugung der identifizierten Risiken. Die Risikoanalyse, -bewertung sowie -beherrschung stellen die zentralen Aufgaben im Risikomanagement dar. [7, 8]

2.2 Systematische Methoden zur Risikobewertung

Zur systematischen Risikobewertung von Medizinprodukten stehen im Anhang G der DIN EN ISO 14971 zahlreiche unterschiedliche Ansätze und Methoden zur Auswahl. Das Total Quality Management (TQM) betrachtet nach einem ganzheitlichen Ansatz alle relevanten Prozesse und Bereiche in einem Unternehmen und bietet eine Sammlung von Methoden und Werkzeuge für die Qualitätssteigerung, sowie ebenfalls für die Erkennung, Analyse und Minimierung der Risiken [4]. Das Ursache-Wirkungs-Diagramm eignet sich insbesondere dafür, Ursachen einer bestimmten Fehlerfolge effizient und übersichtlich zu identifizieren. Durch die graphische Aufbereitung der Fehlerursachen und deren Wirkungen in Form eines sogenannten Fischgrätendiagramms wird schnell ersichtlich, in welchen Bereichen Handlungsbedarf besteht. Die Fehlerbaumanalyse (Fault Tree Analysis, FTA) ist eine weitere graphische Methode zur Identifizierung von Risiken [7]. Dabei werden Ursachen eines Fehlers schrittweise ermittelt und durch logische Verknüpfungen systematisch in Zusammenhang gebracht.

Für eine wirksame Behebung der ermittelten Ursachen für Fehlerfolgen bietet sich der Einsatz einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) an. Ein wesentlicher Vorteil der FMEA besteht darin, dass die Methode bereits in der Entwicklungsphase eines Produktes einsetzbar ist. So ist es möglich, potenzielle Fehlerursachen möglichst früh zu erkennen und die Fehler durch geeignete Präventionsmaßnahmen zu verhindern. Des Weiteren erlaubt die FMEA nach DIN EN 60812 eine ganzheitliche Betrachtung eines Zielsystems, sodass nicht nur einzelne Komponenten sondern auch die Zusammenwirkung der Systemkomponenten analysiert und bewertet werden [9]. Darüber hinaus ist es mit Hilfe der FMEA möglich, nach der Erkennung und Bewertung von Risiken geeignete Maßnahmen zur Risikominimierung zu entwerfen und gegebenenfalls die Risiken erneut zu bewerten.

Somit ist die Produkt-FMEA die am besten geeignete Methode zur Risikobewertung für eine kostenminimierte, additiv gefertigte Handprothese, die sich noch in der Entwicklung befindet. Im Folgenden werden die Vorgehensweise und die Ergebnisse der an einer prototypischen Handprothese durchgeführten Risikobewertung im Detail erläutert.

3 Produkt-FMEA für eine prototypische Handprothese

Die systematische Risikobewertung wird für eine einfache, rein mechanischen Handprothese für den Einsatz in Entwicklungsländern angewendet, deren Bauteile zum großen Teil in einem preiswerten Desktop-3D-Drucker hergestellt werden (Abbildung 3.1). Die auf Basis einer Open-Source Lösung eigens gebaute Ersatzhand mit fünf Fingergliedern wird bei Patienten mit

einer transcarpalen Amputation eingesetzt und setzt durch einen einfachen Seilzugmechanismus die Beugung des intakten Handgelenks in eine Greifbewegung um. Der Aufbau und die Funktionsweise der Handprothese sind in eigenen Vorarbeiten eingehend beschrieben [1, 2].

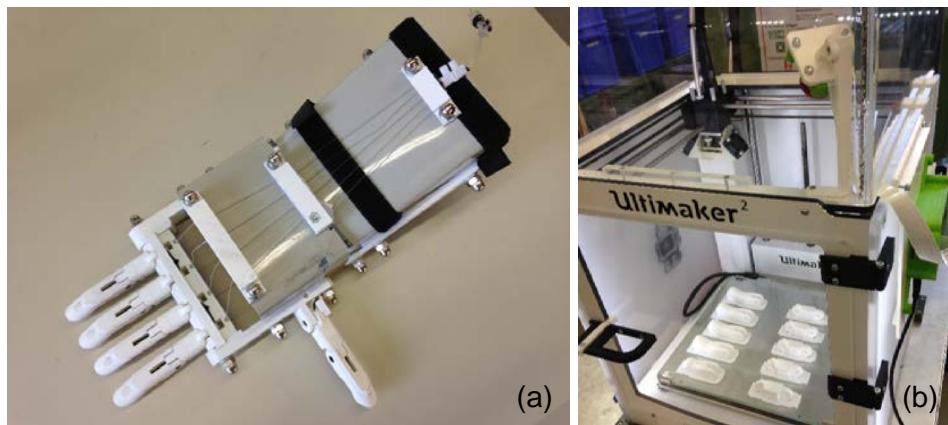


Abbildung 3.1: Kostenminierte Handprothese (a) und der Desktop-3D-Drucker (b)

Eine Produkt-FMEA besteht in der Regel aus fünf Arbeitsschritten zur Bestimmung, Beurteilung, Bewertung sowie Minimierung von möglichen Risiken. Der typische Ablauf einer Produkt-FMEA für die Handprothese ist in Abbildung 3.2 schematisch dargestellt.



Abbildung 3.2: Arbeitsschritte einer Produkt-FMEA [7, 10, 11]

3.1 Systembeschreibung und Bestimmung von Risiken

Die Risikoursachen können sich sowohl im Gesamtsystem, in den Subsystemen als auch in den einzelnen Komponenten verbergen. Zu Beginn der FMEA wird als erstes die Handprothese in einzelnen Systemelementen analysiert und anhand einer Systemstruktur beschrieben (Abbildung 3.3). Die Gliederung der Subsysteme basiert auf der Stückliste für den vorangegangenen Prototyp, welche in [1] zu finden ist.

Da die Subsysteme oft miteinander zusammen agieren, um eine Gesamtfunktion auszuführen, wird ggf. eine Funktionsstruktur zusätzlich zur Systemstruktur benötigt, welche die jeweiligen Funktionen der Subsysteme sowie deren funktionelle Zusammenhänge beschreibt [11]. Für eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise der mechanischen Handprothese wird ebenfalls auf [1] verwiesen. Die System- und Funktionsanalysen liefern einen Überblick über die einzelnen Systemkomponenten der Handprothese sowie deren Funktionen und stellen eine wichtige Grundlage für die Bestimmung der Risiken im nächsten Schritt dar.

Als nächstes folgt eine systematische Analyse, um mögliche Risiken und Ursachen zu bestimmen. Hierfür bedarf es zunächst einer umfangreichen Ermittlung aller potenziellen Fehlerfolgen, zum Beispiel mittels einer Brainstorming-Methode. Folgende Hauptfehlerquellen werden dabei identifiziert:

- Der Patient verletzt sich oder erkrankt bei der Benutzung der Handprothese.
- Die Handprothese besitzt keine Stabilität während der Greifbewegung.

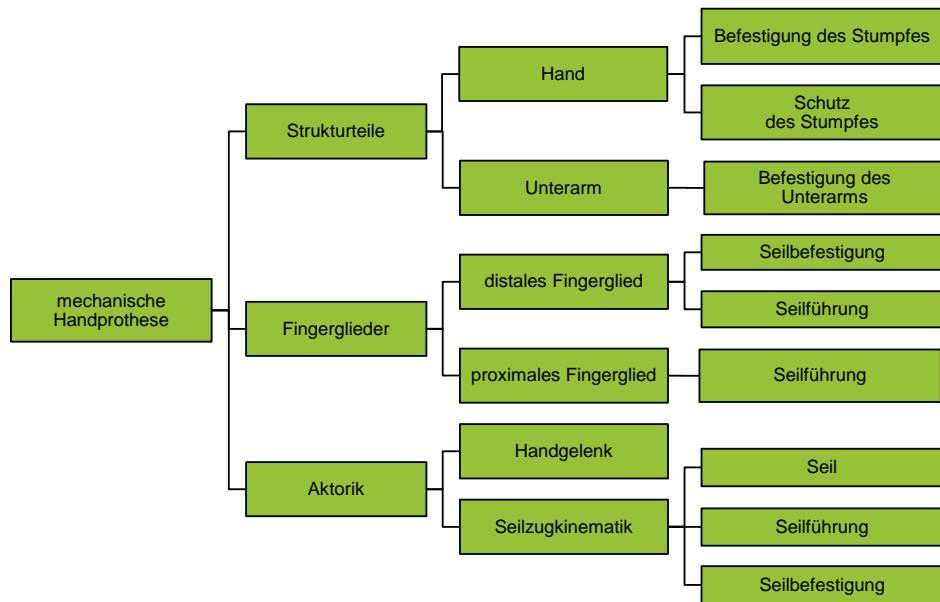


Abbildung 3.3: Systemstruktur der additiv gefertigten Handprothese

- Ein Objekt kann nicht festgehalten werden.
- Die Handprothese bricht.
- Die Handprothese verliert die Funktionalität vollständig.

Auf Basis der ermittelten Hauptfehlerfolgen werden nun die Fehlerursachen bestimmt. Hierfür wird zusätzlich die Methode der Fehlerbaumanalyse angewendet, um die Wirkungszusammenhänge zwischen Folgen und Ursachen übersichtlich darzustellen. Am Ende eines Fehlerbaums befinden sich alle Einzelursachen, die zum jeweiligen Fehler führen können. Abbildung 3.4 zeigt beispielhaft den Fehlerbaum für einen möglichen Fehler „Ein Objekt kann nicht festgehalten werden“. Als nächstes werden die identifizierten Fehlerursachen in ein FMEA-Formblatt eingetragen. Das FMEA-Formblatt beinhaltet die möglichen Hauptfehlerfolgen, die betroffenen Systemkomponenten und die ursprünglichen Fehlerursachen sowie die Fehlerarten.

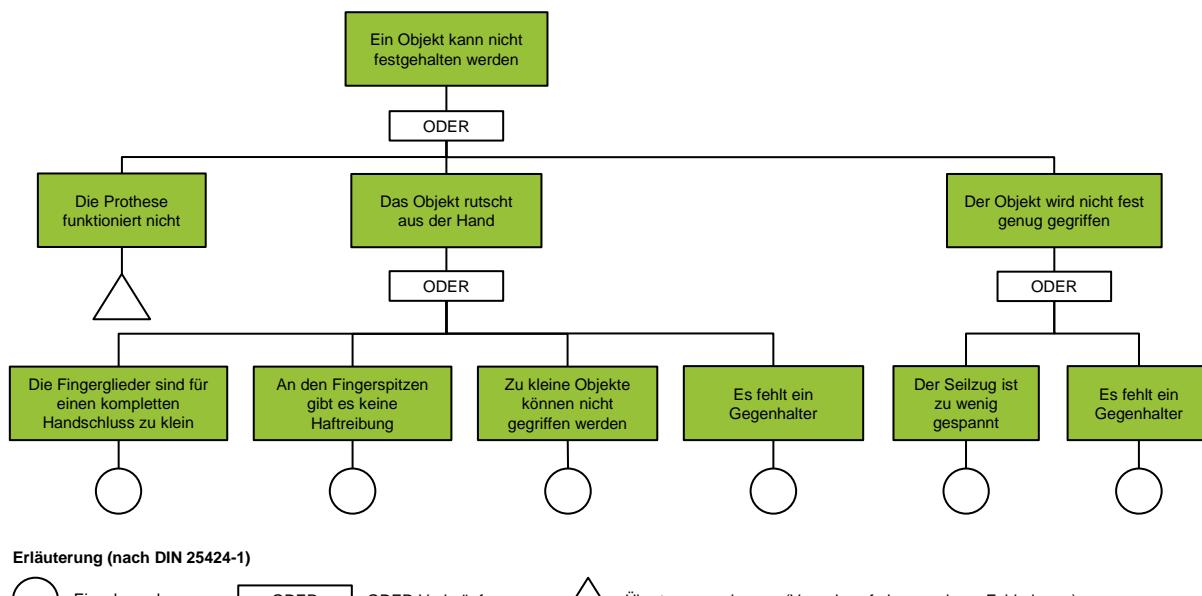


Abbildung 3.4: Fehlerbaum „Ein Objekt kann nicht festgehalten werden“

3.2 Quantitative Bewertung von Risiken

Bei der Risikobeurteilung nach der FMEA-Methode werden die Risiken nach ihrer Bedeutung (B), Auftrittswahrscheinlichkeit (A) sowie Entdeckungswahrscheinlichkeit (E) beurteilt. Die Ermittlung der Ausprägung der jeweiligen Kriterien erfolgt auf Basis von eigens erstellten Bewertungstabellen (Tabelle 3.2 bis 3.4), die auf bestehenden Vorlagen aus der gängigen Praxis der FMEA beruhen [7, 8, 10, 11].

Die Bedeutung der Risiken gibt an, in welchem Ausmaß sich der Benutzer der Handprothese durch einen Fehler verletzen kann und inwiefern sich der Fehler auf die Funktion der Handprothese auswirkt (Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: Bewertungstabelle für die Bedeutung (B) der Risiken

Wert	Ausprägung
1	Der Fehler hat sehr geringe Auswirkungen auf das Gesamtsystem und die Funktion der Handprothese; es ist unwahrscheinlich, dass der Benutzer den Fehler bemerken wird.
2 bis 3	Der Fehler hat geringe Auswirkungen auf das Gesamtsystem und die Funktion der Handprothese, die dazu führen können, dass der Benutzer eine Beeinträchtigung spürt.
4 bis 6	Der Fehler hat mäßige Auswirkungen; die Funktionsfähigkeit ist eingeschränkt; der Benutzer wird die Beeinträchtigung merken.
7 bis 8	Die Auswirkungen sind schwer , sodass die Funktionen der Handprothese stark eingeschränkt sind oder ganz ausfallen.
9 bis 10	Der Fehler hat äußerst schwerwiegende Auswirkungen auf das Gesamtsystem, die dazu führen, dass die Sicherheit des Benutzers erheblich gefährdet wird.

Mit der Ermittlung der Auftrittswahrscheinlichkeit lässt sich einschätzen, wie häufig einer der identifizierten Fehler während der Benutzung der Handprothese vorkommt. Als Grundlage zur quantitativen Bewertung der Auftrittswahrscheinlichkeit dient Tabelle 3.2.

Tabelle 3.2: Bewertungstabelle für die Auftrittswahrscheinlichkeit (A) der Risiken

Wert	Ausprägung
1	Es ist sehr unwahrscheinlich , dass ein Fehler auftritt (Auftrittswahrscheinlichkeit ~ 1:20.000).
2 bis 3	Es ist unwahrscheinlich , dass ein Fehler auftritt (Auftrittswahrscheinlichkeit ~ 1:5.000-1.000).
4 bis 6	Die Wahrscheinlichkeit, dass der Fehler auftritt, ist mäßig (Auftrittswahrscheinlichkeit ~ 1:500-100).
7 bis 8	Der Fehler tritt häufig auf (Auftrittswahrscheinlichkeit ~ 1:50-20).
9 bis 10	Der Fehler tritt ständig auf (Auftrittswahrscheinlichkeit ~ 1:10-5).

Das letzte Bewertungskriterium in der FMEA ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit (E). Diese gibt an, wie schnell ein Fehler durch den Benutzer selbstständig entdeckt werden kann (Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3: Bewertungstabelle für die Entdeckungswahrscheinlichkeit (E) der Risiken

Wert	Ausprägung
1	Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist sehr hoch einzuschätzen; der Fehler fällt dem Benutzer bereits beim Betrachten der Handprothese auf.
2 bis 3	Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist hoch einzuschätzen; der Fehler fällt dem Patienten bei der Benutzung der Handprothese auf.
4 bis 6	Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist mäßig ; der Fehler fällt dem Benutzer nur unter bestimmten Umständen auf.
7 bis 8	Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist gering ; der Fehler fällt dem Benutzer selbst wahrscheinlich nicht auf; nur durch Untersuchung eines fachkundigen Personals wird der Fehler erkannt.
9 bis 10	Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist sehr gering ; der Fehler fällt dem Benutzer nicht auf; nur durch Untersuchung eines fachkundigen Personals wird der Fehler erkannt.

Diese Werte werden sowohl vor als auch nach der Implementierung von Maßnahmen zur Risikominimierung ermittelt, sodass eine Übersicht über die Auswirkungen der eingesetzten Maßnahmen möglich ist. Die einzelnen Bewertungen der Fehler werden ebenfalls in das FMEA-Formblatt übertragen, damit der systematische Prozess der Risikominimierung nachvollziehbar veranschaulicht wird.

3.3 Beurteilung von Risiken mit Risikoprioritätszahlen

Nachdem die Ausprägung der einzelnen Fehlerursachen quantitativ bewertet wurde, erfolgt die Berechnung der Risikoprioritätszahl (RPZ) anhand der zuvor ermittelten Werte. Die RPZ ergibt sich durch die Multiplikation der drei zuvor beschriebenen Werte [10, 11]:

$$\begin{aligned}
 \text{RPZ} &= B \times A \times E \\
 \text{Bedeutung } 1 \leq B \leq 10 \\
 \text{Auftrittswahrscheinlichkeit } 1 \leq A \leq 10 \\
 \text{Entdeckungswahrscheinlichkeit } 1 \leq E \leq 10
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Der Wert der berechneten RPZ liegt zwischen 1 und 1000, wobei 1 das geringste und 1000 das höchste Risiko bedeutet. Dadurch ist es möglich, eine Rangordnung der Fehlerursachen zu ermitteln, um die Prioritäten bei der Risikominimierung festzulegen. Die ermittelten RPZ werden in das FMEA-Formblatt Tabelle 3.4 eingetragen.

Tabelle 3.4: Beispielhafter Auszug aus dem FMEA-Formblatt für die Handprothese

Fehlerfolge	Ein Objekt kann nicht festgehalten werden
Systemkomponente	Fingerglieder
Fehlerart	Objekt rutscht aus dem Griff heraus
Bedeutung (B)	6
Mögliche Fehlerursachen	Die Haftreibung an den Fingerkuppen ist dafür nicht ausreichend, das Gewicht des Objekts standzuhalten
Auftrittswahrscheinlichkeit (A)	8
Entdeckungswahrscheinlichkeit (E)	4
Risikoprioritätszahl (RPZ)	192

Die RPZ ist jedoch der absolute Wert einer Bewertungskombination, der Handlungsbedarf suggeriert. So ist es je nach Kombination möglich, dass bei einer gleichen RPZ, wie zum Beispiel RPZ = 100, die Entwicklung einer Präventionsmaßnahme nicht unbedingt erforderlich ist, falls die Auftrittswahrscheinlichkeit mit 1 bewertet wird ($A = 1$). Deshalb ist eine Betrachtung der einzelnen Bewertungswerte zielführend, um die Notwendigkeit der mit Kostenaufwand verbundenen Maßnahmen vorher zu überprüfen. Dies erfolgt mit Hilfe einer Risikomatrix in Abbildung 3.5. Die Zahlen in den Zellen der Risikomatrix bedeuten die Anzahl der Fehlerursachen, die in den Risikobereich fallen. Insgesamt wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit 34 Fehlerfolgen und deren Ursachen untersucht.

Die Risikomatrix für die additiv gefertigte Handprothese zeigt, dass alle identifizierten Fehlerfolgen in den mittleren und hohen Risikobereichen in Abbildung 3.5 liegen, d. h. mindestens ein mittelschweres Risikopotenzial aufweisen. Ziel der Maßnahmen ist es, die Anzahl der Fehlerfolgen mit mittlerem bzw. hohem Risiko zu reduzieren, indem man die Bedeutung der Fehlerfolgen für den Benutzer minimiert, die Auftrittswahrscheinlichkeit herabsetzt oder die Entdeckungswahrscheinlichkeit erhöht.

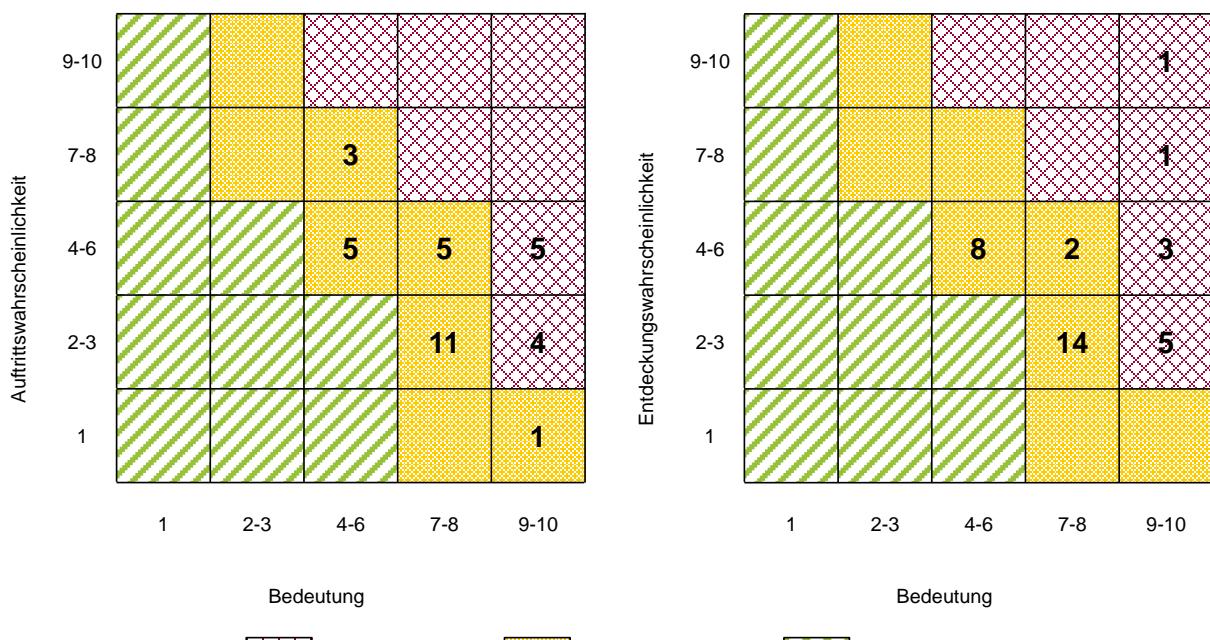


Abbildung 3.5: Risikomatrix in Relation zur Auftritts- sowie Entdeckungswahrscheinlichkeit

3.4 Maßnahmen zur Risikominimierung

Aus der oben durchgeführten Risikobewertung mittels der FMEA geht hervor, dass die kostenminimierte Handprothese zum jetzigen Entwicklungsstand ein noch großes Optimierungspotenzial in sich trägt. Der Handlungsbedarf betrifft im Wesentlichen die Sicherheit, Funktionsfähigkeit, Fertigungsqualität sowie die Benutzerfreundlichkeit des medizintechnischen Ersatzsystems. Die konzipierten Maßnahmen zur Risikominimierung lassen sich in fünf Kategorien unterteilen:

- Konstruktive Maßnahmen,
- Maßnahmen im Fertigungsprozess,
- Maßnahmen bei der Materialauswahl,
- Einführung von standardisierten Wartungsmaßnahmen sowie
- Entwicklung von Anleitungen zur Fertigung, Montage und Nutzung.

Die meisten Risikominimierungsmaßnahmen beziehen sich auf eine konstruktive Verbesserung der Handprothese. In erster Linie müssen die geometrischen Merkmale der Bauteile wie zum Beispiel scharfe Ecken und Kanten, welche ein hohes Sicherheitsrisiko darstellen, durch Rundungen ersetzt werden, um die Verletzungsgefahr zu reduzieren und somit die Sicherheit bei der Benutzung der Handprothese zu gewährleisten. Gleiches gilt auch für die Öffnungen im Bauteil, wie den Gelenkspalten zwischen den Fingergliedern und dem derzeit offen zugängigen Seilzugmechanismus.

Um die Funktionalität der Handprothese zu erhöhen, d. h. ein sicheres Greifen von Objekten zu ermöglichen, ist es zielführend, zum Beispiel die Fingerkuppen mit einer rutschfesten Oberfläche aus elastischem Material zu versehen und ein zusätzliches Bauteil anzubringen, welches die Funktion der Handfläche beim Greifen übernimmt. Darüber hinaus ist die Konstruktion eines neuartigen Daumengelenks mit zusätzlichen Freiheitsgraden sinnvoll, um eine Opposition der Finger und dadurch zusätzliche Greifformen wie Spitzgriff oder Zylindergriff zu ermöglichen.

Eine weitere wirksame Maßnahme ist die flexible und individualisierte Anpassung der Größe und Form durch die parametrische Produktgestaltung. Zusammen mit der additiven Fertigung der digital erzeugten Bauteile ist es möglich, ein der individuellen Geometrie des Amputationsstumpfes genau angepasstes System mit reduzierten Kosten- und Ressourcenaufwand herzustellen und damit die Benutzerfreundlichkeit der Handprothese zu erhöhen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Viele der additiv gefertigten Handprothesen auf dem Markt sind noch weit davon entfernt, als ein medizinisches Produkt im Alltag eingesetzt werden zu können. Sie weisen viele technische Mängel u. a. in Hinsicht auf die Konstruktion auf, welche gegebenenfalls zum Funktionsausfall sowie zur Verletzung des Benutzers führen können. Die Einführung eines systematischen Qualitäts- und Risikomanagementsystems aus der Praxis der Medizintechnik bietet sich als eine Lösung zur Risikominimierung an. Im vorliegenden Beitrag wurde mit der methodischen Vorgehensweise der FMEA gezeigt, wie die Risikopotenziale und die Fehlerursachen entdeckt und die Gegenmaßnahmen entwickelt werden können.

Durch die effektive Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen ist es möglich, den Fehlerursachen bereits in der Entwicklungsphase entgegenzuwirken und die Risiken für das System und den Patienten zu minimieren. Dabei ist ebenfalls zu überprüfen, ob die Maßnahmen einem vertretbaren Kostenaufwand realisierbar und nutzenbringend sind. Eine Kosten-Nutzen-Analyse ist erforderlich, um abzuwägen, ob die bei der Umsetzung der Maßnahmen anfallenden Mehrkosten den Nutzen für den Benutzer rechtfertigen oder zu Einbußen der Kosteneffizienz führen.

5 Literatur

- [1] I. S. Yoo, F. Hawelka, S. Reitelshöfer, J. Franke: Kostenminimierte, additiv gefertigte Handprothese für den Einsatz in Entwicklungsländern. In: . Weidner, T. Redlich (Hrsg.): Erste Transdisziplinäre Konferenz zum Thema "Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen". Hamburg, S. 410-419, 2014.
- [2] I. S. Yoo, S. Reitelshöfer, J. Franke: Additiv gefertigte Handprothese. In: R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme. Heidelberg: Springer Vieweg, S. 192-193, 2015.

- [3] DIN EN ISO 9000:2015-11, Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2015); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 9000:2015.
- [4] H. Brüggemann, P. Bremer: Grundlagen Qualitätsmanagement: Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [5] K. Rudolf: Qualitätsmanagement in der Medizintechnik: Ziele, Elemente und Strukturen. In: R. Kramme (Hrsg.): Medizintechnik: Verfahren - Systeme - Informationsverarbeitung. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 73-81, 2007.
- [6] DIN EN ISO 13485:2016-08, Medizinprodukte - Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen für regulatorische Zwecke (ISO 13485:2016); Deutsche Fassung EN ISO 13485:2016.
- [7] J. Harer: Anforderungen an Medizinprodukte: Praxisleitfaden für Hersteller und Zulieferer. München: Carl Hanser, 2012.
- [8] DIN EN ISO 14971:2013-04, Medizinprodukte - Anwendung des Risikomanagements auf Medizinprodukte (ISO 14971:2007, korrigierte Fassung 2007-10-01); Deutsche Fassung EN ISO 14971:2012.
- [9] DIN EN 60812:2006-11, Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen - Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) (IEC 60812:2006); Deutsche Fassung EN 60812:2006
- [10] G. Linß: Qualitätsmanagement für Ingenieure. 3., aktualisierte und erw. Aufl. München: Hanser, 2011.
- [11] H.-J. Pfeuffer: FMEA – Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse. München: Hanser, 2015 (Pocket Power 64).

Adaptive Assistenzsysteme in der Textilindustrie

Zusammenspiel sozialer und technischer Innovationen

M. Löhrer¹, N. Ziesen², J. Lemm², M. Saggiomo¹, Y.-S. Gloy¹

¹Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University
Otto-Blumenthal-Str. 1, 52074 Aachen

mario.loehrer@ita.rwth-aachen.de, marco.saggiomo@ita.rwth-aachen.de,
yves.gloy@ita.rwth-aachen.de

²Institut für Soziologie (IfS) der RWTH Aachen University
Eilfschornsteinstraße 7, 52062 Aachen

nziesen@soziologie.rwth-aachen.de, jlemm@soziologie.rwth-aachen.de

Kurzzusammenfassung

Durch den technischen und demografischen Wandel werden heterogener werdende Belegschaften in der Textilindustrie mit immer avancierterer Produktionstechnik und zunehmend komplexer werdenden Arbeitsinhalten konfrontiert. Damit sich die Mitarbeiter/innen die benötigten neuen und erweiterten Kompetenzen aneignen können, entwickelt SozioTex adaptive Assistenzsysteme, die auf die Bedürfnisse der Belegschaft eingehen. Um eine Akzeptanz dieser Assistenzsysteme zu gewährleisten, werden nicht nur technische Innovationen, sondern auch soziale Innovationen gezielt gestaltet.

Abstract

“Adaptive Assistance Systems in the textile industry. Interplay between social and technical Innovation”

Due to technological and demographic transition, the progressively heterogeneous staff in the textile industry is facing increasingly advanced production technologies as well as more and more complex work contents. SozioTex develops adaptive assistance systems that meet the employees' requirements in order to help them gain the new and extended skills they need. To increase acceptance of the assistance system, not only the technical innovation but also social innovations are specifically designed.

Keywords: Adaptive Assistenzsysteme, Textilindustrie, heterogene Belegschaft, soziale und technische Innovationen, Akzeptanz

1 Einleitung

In Deutschland können zwei zentrale Tendenzen gesellschaftlichen Wandels konstatiert werden: Zum einen der demografische Wandel, der sich in der langfristigen Umkehrung der klassischen Bevölkerungspyramide ausdrückt. Dies macht sich auf dem Arbeitsmarkt durch eine höhere Diversität, insbesondere in Bezug auf das Alter, und einen zunehmend diagnostizierten Fachkräftemangel bemerkbar. Zum anderen wird, auch im Zuge der Zukunftsinitiative „Industrie 4.0“ der Bundesregierung, eine *Revolution* der Arbeitsprozesse durch die Digitalisierung industrieller Wertschöpfungsprozesse vorangetrieben. Die Interaktion mit *intelligenten* Systemen an Maschinen sowie die zunehmende Automation verändern Prozesse, Arbeitsstrukturen

und Aufgaben der Mitarbeiter/innen auf allen Ebenen. Die Arbeitsinhalte werden komplexer, erweiterte und veränderte Kompetenzen werden notwendig.

Mobile Endgeräte, wie Tablets oder Smartphones, halten immer mehr Einzug in die Arbeitswelt. Jüngere Mitarbeiter/innen, die bereits mit den neuen Medien aufgewachsen sind („digital natives“), haben in der Bedienung moderner Technologien oft einen Vorteil gegenüber ihren älteren Kollegen/innen („digital immigrants“). Es gilt daher, Systeme zu konzipieren, die die jüngeren und älteren Beschäftigten gleichermaßen bei ihrer Kompetenzentwicklung mit den neuen, automatisierten Produktionsverfahren in der digitalen Arbeitswelt fördern.

Die Einführung einer neuen Technik – gemeint sind sowohl intelligente Industrie-4.0-Systeme als auch Komplexitätsmindernde und kompetenzfördernde technische Assistenzsysteme – in ein Unternehmen stellt einen betrieblichen Innovationsprozess dar. Damit solche Innovationsprozesse erfolgreich verlaufen, ist es notwendig, im Innovationsprojekt nicht nur technische Innovationen, sondern auch soziale Innovationen zu fördern und somit Innovationshemmnissen, besonders unter den Mitarbeitern/innen, entgegenzuwirken.

Die Nachwuchsforschungsgruppe SozioTex verfolgt den Ansatz, technische Innovationen mit sozialen Innovationen zu verknüpfen, indem die einzuführenden Assistenzsysteme durch Einbezug der heterogenen Mitarbeiter/innen im Innovationsprozess partizipativ gestaltet werden. Der Schwerpunkt liegt dabei in der adressatenorientierten Konzeption und Entwicklung mit entsprechenden Konzepten zum Kompetenzaufbau der Mitarbeiter/innen, unter Einbezug beispielsweise ethischer und rechtlicher Aspekte.

Hierzu werden in einem spezifischen Anwendungsraum, der Textilbranche, Assistenzsysteme für Webmaschinen-Arbeitsplätze konzeptioniert und entwickelt. Um der Adressatenorientierung und der Akzeptanz der späteren Nutzer/innen gerecht zu werden, stehen die Mitarbeiter/innen mit ihren individuellen Bedürfnissen im Analysefokus bei der Gestaltung von Kommunikations- und lernförderlichen Systemkomponenten sowie bei der Bewertung der Ergonomie am Arbeitsplatz. Nur wenn der Einsatz der neu entwickelten Assistenzsysteme von den Mitarbeitern/innen akzeptiert wird, können diese erfolgreich sein.

2 Der Innovationsbegriff

Die wirtschaftsbezogene Berichterstattung braucht oft keine anderen Faktoren, um die Erfolgssichten eines Unternehmens zu bestimmen, außer die Betrachtung von unternehmerischen *Innovationen*. Nicht nur die gegenseitigen Unterlassungsklagen der IT-Giganten, die häufig ihre Patente als Waffen gegen Wettbewerber im vielzitierten „Patentkrieg“ [1] positionieren, sondern vor allem bahnbrechende Neuerscheinungen bestätigen, dass Innovationen führender Unternehmen Triebfedern ganzer Branchen darstellen können. Innovationen entstehen jedoch nicht nur als *Produkt- und Alltagstechnik* für Konsumenten/innen [2], sondern sind auch ein wichtiger Faktor innerhalb von Unternehmen.

Unternehmensbezogen kann eine Innovation wie folgt verstanden werden:

„Innovation nach einem ganzheitlichen Verständnis ist die Realisierung einer für das Unternehmen neuen Idee in Bezug auf Produkte, Dienstleistungen, Herstellverfahren und Organisationsformen oder eine Kombination daraus, die darauf abzielt, Markt vorteile zu verschaffen und damit den wirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens zu steigern“ [3].

Ausgangspunkt einer jeden Innovation ist der Mensch, der über seine Ideen neue Prozesse erst ermöglicht. So gelten qualifizierte und kompetente Mitarbeiter/innen als „Nährboden für die nachhaltige Entwicklung von Innovationen“ [3].

Neben der Bestimmung des unternehmenbezogenen Innovationsbegriffes ist es im Zusammenhang dieser Arbeit ebenso relevant, den Begriff der *sozialen* Innovation in den Blick zu nehmen: „Soziale Innovationen sind neue Wege, Ziele zu erreichen, insbesondere neue Organisationsformen, neue Regulierungen, neue Lebensstile, die die Richtung des sozialen Wandels verändern, Probleme besser lösen als frühere Praktiken, und die deshalb wert sind, nachgeahmt und institutionalisiert zu werden“ [4].

Mit dieser Definition grenzt Wolfgang Zapf soziale Innovationen von technischen Innovationen ab, obwohl er ebenso betont, dass soziale wie technische Innovationen sowohl auf wissenschaftlichem Fortschritt als auch auf praktischer Erfahrung bzw. auf Alltagsexperimenten und auf dem „Wissen, Geschick und der Zähigkeit von Praktikern“ beruhen [4]. Katrin Gillwald definiert, in Anlehnung an Zapf, soziale Innovationen als „gesellschaftlich folgenreiche, vom vorher gewohnten Schema abweichende Regelungen von Tätigkeiten und Vorgehensweisen“, die in allen gesellschaftlichen Systemen möglich, nicht gleich mit technischen Innovationen, aber mit diesen verwandt sind [5].

Zur Unterscheidung von technischen und sozialen Innovationen merkt Zapf an, dass soziale Innovationen auf der Mobilisierung der menschlichen Kreativität sowie auf symbolischen Ressourcen beruhen, während technische Innovationen auf Materialität und auf der Manipulation physikalischer Energien basieren, wobei soziale Innovationen auch als Voraussetzungen, Begleit- oder Folgeerscheinungen von technischen Innovationen auftreten können [4]. Soziale Innovationen beziehen sich vor allem auf eine von Akteuren oder bestimmten Akteurskonstellationen intentionale, zielgerichtete Neukonfiguration sozialer Praktiken, um eine bessere bzw. sozial erwünschtere Problemlösung, als durch die bisher etablierten Handlungsweisen, zu erzielen [6]. Da mit dem Innovationsbegriff meist technischer Fortschritt, radikale Reorganisationsmaßnahmen oder neue Produktlinien assoziiert werden, geraten die mit diesen einhergehenden sozialen Voraussetzungen und sozialen Praktiken aus dem Blick, die man auch als *Innovation vor der Innovation* bezeichnen könnte.

Neben einem verschärften Innovationswettbewerb ändert sich auch das Innovationsverständnis, aufgrund der zunehmenden Produkt- und Leistungskomplexität sowie durch die wachsende Verknüpfung von technischen und sozialen Innovationen, sodass erst durch einen ganzheitlichen, systematischen Blick auf Innovationen die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen organisationalen, technologischen und gesellschaftlichen Veränderungen sichtbar und damit gestaltbar werden [7]. Erfolgreiche Innovationen hängen besonders von der Einbettung neuer Produkte oder Dienstleistungen in organisationale oder gesellschaftliche Zusammenhänge bzw. von einer Verknüpfung *harter* mit scheinbar *weichen* Innovationsfaktoren ab [8]. Dabei können Innovationen Arbeits-, Beschäftigungs- und Einkommensbedingungen verbessern, wenn technische mit sozialen Innovationen sowie mit erweiterter Mitbestimmung und einer Beteiligung der Beschäftigten verbunden werden [9].

Innovationen sind insgesamt nicht per se mit einer Entwicklung „zum Besseren“ identisch, sondern als ein ambivalentes Phänomen hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten sowie der daraus resultierenden Konsequenzen zu betrachten, wobei dies sowohl für technische als auch für soziale Innovationen bzw. für die unter sozialen Innovationen häufig subsumierten *organisationalen* Innovationen in Unternehmen gilt [10]. Der Innovationen häufig anhaftende Mangel an Erwartungssicherheit, aufgrund ihrer Ergebnisoffenheit, besteht auch im unternehmerischen Kontext für Geschäftsführer/innen, Betriebsräte und Beschäftigte, sodass Veränderungen für die Beteiligten meist eine latente Bedrohung der sicherheitsstiftenden, bestehenden Prozesse

bedeuten und Akteure dadurch eher zu einem Festhalten an Routinen neigen [10]. So können Innovationen aus Unsicherheit auch blockiert werden. Dies verdeutlicht, dass das Individuum und dessen Tätigkeiten am Ausgangspunkt von Innovationen stehen, was nicht nur von den meisten Ansätzen der Innovationsforschung unberücksichtigt bleibt, sondern auch die Innovationsschwäche von Unternehmen erklärt, die das Individuum und dessen Arbeitsbedingungen nicht in den Innovationsprozess integrieren [10]. Eine größere unternehmerische Innovationsfähigkeit, als Notwendigkeit angesichts der sich wandelnden Arbeitsgesellschaft, hängt somit also auch mit Veränderungen der Arbeitsbedingungen der Individuen, mit dem betriebsrätlichen Handlungsfeld und insgesamt mit dem Aspekt humaner „guter Arbeit“ zusammen [10]. Hinsichtlich der komplexen, dynamischen und vernetzten Arbeitswelt gilt es also, die psychischen und physischen Eigenschaften der Mitarbeiter/innen, aber auch die nachhaltige Gestaltung der Arbeitssysteme und eine effiziente sowie sichere Arbeitsplanung ohne allzu große Belastungen für die Mitarbeiter/innen zu berücksichtigen [11].

Dennoch werden die vorhandenen Ressourcen der Beschäftigten sowie die betriebliche Sozialordnung zu selten in den Unternehmensstrategien bedacht, obwohl eine betriebliche Innovationspolitik kompetente, strategisch handelnde Promotoren aufseiten des Managements, der Beschäftigten sowie aufseiten der betrieblichen Interessenvertretung gleichermaßen benötigt [12]. Denn Innovationen sind entscheidend mit einzelnen Menschen sowie mit dem sozialen, kulturellen und organisationalen Kontext verbunden, die neben technischen und produktbezogenen Aspekten die Innovationsfähigkeit eines Unternehmens bestimmen [13]. Somit sind für eine innovationsförderliche Unternehmenskultur Investitionen in das Engagement und die Kreativität der Mitarbeiter/innen unumgänglich, sodass nicht nur innovative Tools und Werkzeuge, sondern auch die Sichtweisen und Einstellungen der Unternehmensmitglieder innovationsrelevant sind [13]. Wachstumserfolge erfordern Innovationen, die wiederum den frühstmöglichen Einbezug sowie die Partizipation aller Beteiligten verlangen.

Da das kreative Handeln der Subjekte die Grundlage aller Innovationen in Organisationen bildet und damit der Innovationsprozess auf kreative Ideen und die motivierte, bereitwillige Informationsweitergabe der Beschäftigten angewiesen ist, müssen die Interessenlagen der Beschäftigten auch im Innovationsprozess eine angemessene Berücksichtigung finden [14]. Dabei kann auch die betriebliche Interessenvertretung in Form eines Betriebsrates als Innovationstreiber betrachtet werden, da dieser eine Partizipation und Mitbestimmung ermöglicht und damit zu Innovationen beiträgt [9].

Die Entstehung von Innovationen hängt maßgeblich von dem Informationszusammenfluss aus den unterschiedlichen Abteilungen und Hierarchieebenen über Probleme sowie veränderte Rahmenbedingungen und damit von der Überwindung von Informationsbarrieren ab, wobei die praktische Umsetzung innovativer Veränderungen vor allem von den Beschäftigten mitgetragen werden sollte [14]. Insgesamt lässt sich festhalten, dass Partizipation, Mitbestimmung und die Einbringung von Mitarbeitern/innen bzw. von deren Wissen und praktischen Erfahrungen die Innovationsfähigkeit eines Unternehmens ausmachen und auch erhöhen können [8, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21]. So hat auch eine Untersuchung der Universität Kassel im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung gezeigt, dass eine partizipative Arbeitsgestaltung sowie ein beteiligungsorientiertes *Wissensmanagement* die Produkt- und Prozessinnovationen intensivieren und sich ein indirekter positiver Effekt von der Existenz eines Betriebsrates, der partizipative Arbeitsformen unterstützt, auf die Innovationsfähigkeit von Betrieben ergibt [21].

Wie soziale Innovationen, in Form neuer sozialer Praktiken und unter partizipativer Mitwirkung von Mitarbeitern/innen, im Zusammenspiel mit technischen Innovationen gestaltet werden können, soll im Folgenden am Beispiel der Textilbranche aufgezeigt werden.

3 Der Anwendungsraum

Die deutsche Textil- und Bekleidungsindustrie besteht aus etwa 1.200 Betrieben, davon sind circa 95 % kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit weniger als 250 Mitarbeitern/innen. Insgesamt stellt dieser Industriezweig allein in Deutschland 120.000 Arbeitsplätze und ist somit die zweitstärkste Konsumindustrie (mit geschätzten 29 Milliarden Euro Umsatz im Jahre 2009 in Deutschland) [22]. Von der Textil- und Bekleidungsindustrie hängen direkt und indirekt Arbeitsplätze in anderen Industriezweigen ab. Die Textil- und Bekleidungsindustrie ist Zulieferer für die Pharma-, Fahrzeug- und Bauindustrie sowie für den Medizin- und Schutzkleidungsbereich und nimmt auch ihrerseits Leistungen anderer Industriezweige in Anspruch, z.B. der Maschinenbauindustrie oder der Chemischen Industrie. Neben den klassischen Produkten der Bekleidungs- und Textilindustrie haben in den vergangenen Jahrzehnten vor allem innovative High-Tech-Produkte an Bedeutung gewonnen und stehen für die Zukunftsfähigkeit der Branche.

Die bereits angesprochene Alterung, im Kontext des demografischen Wandels, zeigt sich besonders stark in der Textilindustrie, da der Anteil an über 50-Jährigen in der Belegschaft, verglichen mit anderen Industriezweigen, überdurchschnittlich hoch ist, während der Anteil an Mitarbeitern/innen im jungen und mittleren Alter bis 50 unter dem Durchschnitt liegt (Abbildung 3.1) [23]. Die Mehrdimensionalität – von einem diagnostizierten Fachkräftemangel und dem damit verbundenen Anstieg an Arbeitsaufkommen und Leistungsdruck, dem steigenden Durchschnittsalter der Beschäftigten und der Zunahme an technischer Komplexität – sorgt für eine spürbare Intensivierung der subjektiven Arbeitsbelastungen innerhalb der Belegschaft der Textilbranche.

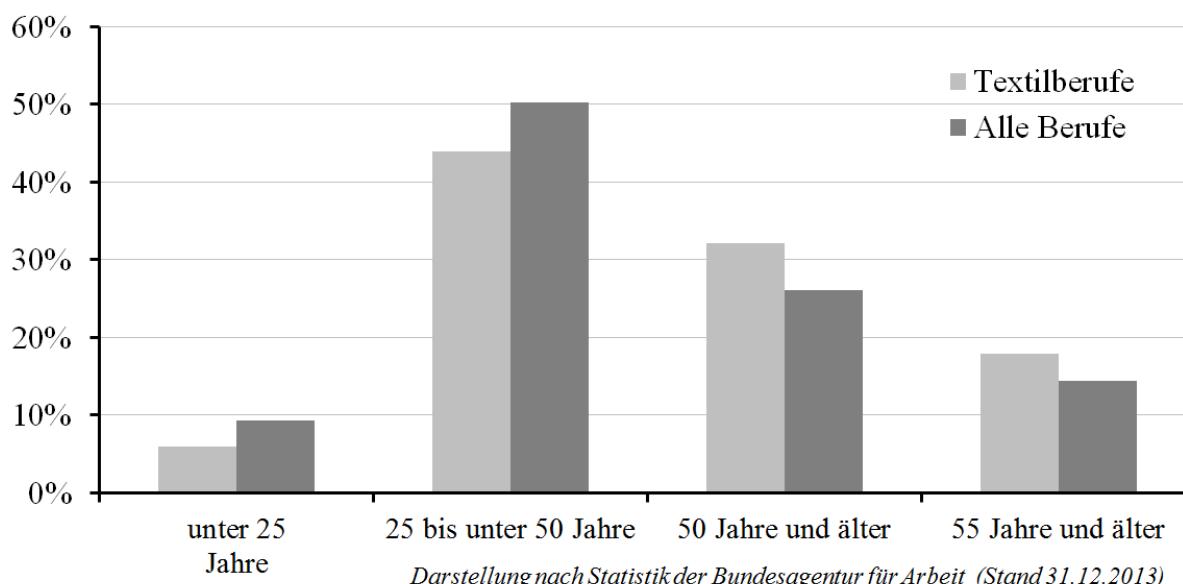


Abbildung 3.1: Altersstruktur der Textilberufe verglichen mit anderen Berufen [23]

4 Herangehensweise von SozioTex

Um bei der Gestaltung lernförderlicher Assistenzsysteme durch eine inhärente Adaptivität auf die Heterogenität der Beschäftigten eingehen und somit für breite Akzeptanz in der Belegschaft

sorgen zu können, ist SozioTex interdisziplinär aufgestellt: die Nachwuchsforschungsgruppe vereint ingenieurwissenschaftliche, soziologische und bildungswissenschaftliche Kompetenzen. Entsprechend werden bei der Konzeptionalisierung der Komponenten des Assistenzsystems technische (ingenieurwissenschaftliche) und soziale (nutzer/innen-orientierte und lernförderliche) Aspekte gleichermaßen berücksichtigt und aufeinander abgestimmt, im Sinne eines ganzheitlichen, soziotechnischen Konzeptdesigns mit entsprechenden Qualifizierungselementen.

Der erste Schritt in Richtung Entwicklung des Assistenzsystems war eine Anforderungsermittlung. Dazu wurden ein Literature-Review-Verfahren, Betriebsbesichtigungen sowie Experten/innen-Interviews durchgeführt und die Ergebnisse durch SozioTex in den jeweiligen Disziplinen ausgewertet [23, 24]. So entstand ein Anforderungskatalog, der technische, organisationale, personenzentrierte und rechtliche Anforderungen enthält. Auf diese Anforderungen aufbauend konnten erste Demonstratoren entwickelt werden (Abbildung 4.1).

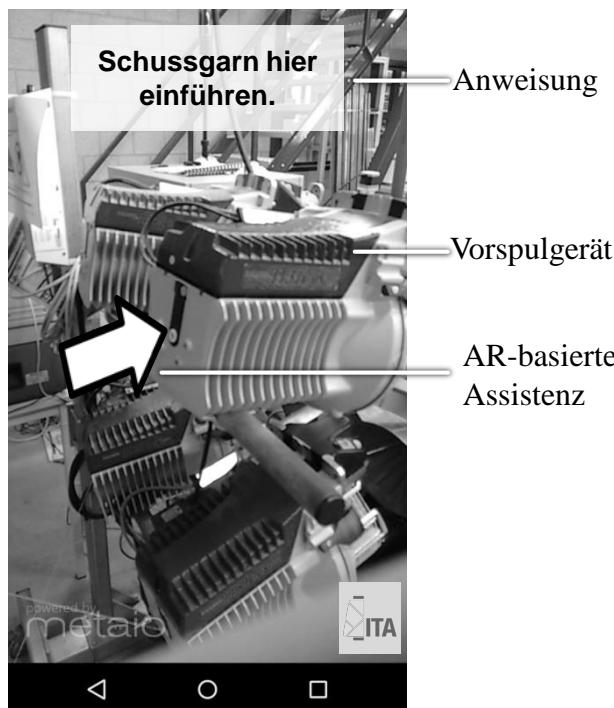


Abbildung 4.1: Screenshot einer Assistenz-App für Tablets und Datenbrillen

Diese Demonstratoren wurden Usability-Tests und Simulationen unterzogen und die Ergebnisse dieser Tests sowie die Anforderungen in einen Systementwurf übertragen, der die Grundlage für die weitere Gestaltung des Assistenzsystems darstellt.

Im weiteren Verlauf des Projekts werden weitere Prototypen entwickelt und mithilfe iterativer und partizipatorischer Verfahren auf die heterogene Belegschaft zugeschnitten. Dabei steht jedoch nicht nur die Gestaltung der Technik im Vordergrund, sondern auch die Gestaltung der Arbeitsorganisation und der sozialen Praktiken, um die Akzeptanz der technischen Innovation auf Basis von sozialen Innovationen zu fördern. So werden während des gesamten Entwicklungsprozesses potentielle technische Systemkomponenten in der sozialen Praxis erprobt und Nutzer/innen-Vorschläge stetig in das System integriert. Die zukünftigen App-Prototypen werden adaptiv implementiert. Je nach Profil des Anwenders (z.B. Qualifikation) wird sowohl die graphische Benutzeroberfläche (GUI) als auch der gezeigte Inhalt angepasst. In technischer

Hinsicht basiert die Adaptivität auf einer flexiblen Nutzerverwaltung. Per Login-Funktion teilt der Anwender der App mit, welches Qualifikationsniveau vorliegt (z.B. Auszubildender, Maschinenbediener, Meister, etc.). In dem Java-basierten Programmcode ist festgelegt, welche Activity in der Android-Routine aufgerufen werden soll. Für jede Qualifikationsstufe ist eine eigene Activity implementiert.

5 Diskussion, Zusammenfassung und Ausblick

Sowohl der demografische als auch der technische Wandel stellen die Textilindustrie vor neue Herausforderungen. SozioTex begegnet diesen Herausforderungen durch den Einsatz adaptiver lernförderlicher Assistenzsysteme, die als technische Innovationen von sozialen Innovationen getragen und begleitet werden. Damit diese Innovationen auf Akzeptanz in der zunehmend heterogenen Belegschaft treffen, ist eine partizipative Gestaltung notwendig. Zentral ist die ständige Rückbindung technischer Systemkomponenten an den/die Nutzer/in, durch entsprechende Tests und Anwendungsüberprüfungen, was dann wiederum in die technische Gestaltung eingebunden wird. Der iterative Prozess beinhaltet dabei beispielsweise Simulationen des Systems in spezifischen Arbeitsplatzsituationen. Entsprechend sieht der hier forcierte Ansatz vor, umfangreiche Labor- und Anwender/innen-Tests einer Erprobung in Unternehmen vorzuschalten, um etwaige Fehlkonstruktionen zu beheben und Verbesserungen durchzuführen. Dabei ist die ständige Partizipation der Anwender/innen grundlegend, um während des gesamten Entwicklungsprozesses Bedürfnisse oder Belastungssituationen aufzugreifen.

Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass reale Arbeitssituationen weitere Spezifika aufweisen als Labortests und entworfene Anwendungsszenarien. Dieser Problematik wird u.a. mit Betriebsbeobachtungen entgegengewirkt, sodass die real gegebenen Arbeitssituationen in dem Konzeptdesign Berücksichtigung finden. Darüber hinaus sind entsprechende Ausbildungs- und Qualifizierungskonzepte zu entwickeln, die typische Handlungssituationen und Bedienstrategien, aber auch Diversity-Aspekte beinhalten. Nur so kann berücksichtigt werden, was als Ausgangspunkt jeder Innovation steht: Der Mensch mit entsprechenden Qualifizierungen und Kompetenzen. Dies entspricht einem Verständnis von sozialen Innovationen als neue soziale Praktiken, im Zusammenspiel mit neuen technischen Anwendungen und einer digitalen Unterstützung. Durch die Usability-Tests wird zum einen das Soziale, wie die menschliche Kreativität und Praxis, und zum anderen die technische Materialität eingebunden und ganzheitlich betrachtet, wobei diese Verknüpfung zwischen sozialen und technischen Innovationen zu neuartigen Problemlösungen statt etablierter Handlungsweisen führen kann. Indem Anwender/innen während des gesamten Entwicklungsprozesses partizipativ eingebunden werden, kann die unternehmerische Innovationsfähigkeit, vor allem im Anwendungsfall der Textilbranche, gesteigert und ein Beitrag zu humanen (körperlich entlastenden) Arbeitspraktiken geleistet werden.

6 Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung der Forschungsgruppe "Neue soziotechnische Systeme in der Textilbranche (SozioTex)" (FKZ: 16SV7113), sowie dem Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH für die Unterstützung bei Beantragung und Durchführung des Projektes.

7 Literatur

- [1] V. Briegleb: Patentkrieg um Smartphones: c't – Magazin für Computertechnik 17, S. 52-53, 2011.

- [2] O. Renn: Technikakzeptanz: Lehren und Rückschlüsse der Akzeptanzforschung für die Bewältigung des technischen Wandels: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 14, S. 29-38, 2005.
- [3] R. Cywinski: Partizipation als Voraussetzung für die Gestaltung selbstgesteuerter Lernprozesse zur Initiierung von Innovationsstrategien in kleinen und mittelständischen Unternehmen. Rahmenbedingungen für Innovationsstrategien in kleinen und mittelständischen Unternehmen: Abschlussdokumentation, Hrsg.: GIB Bottrop, S. 37-55, 2011.
- [4] W. Zapf: Über soziale Innovationen: Soziale Welt 40, S. 170-183, 1989.
- [5] K. Gillwald: Konzepte sozialer Innovation: WZB paper: Querschnittsgruppe Arbeit und Ökologie, 2000.
- [6] J. Howaldt, M. Schwarz: Fit für Innovation – AK1 Innovationsprozesse managen. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2011.
- [7] T. Eggers, C. Zettel: Soziale Innovation« im Fokus, Skizze eines gesellschaftstheoretisch inspirierten Forschungskonzepts. Bielefeld: transcript Verlag, 2000.
- [8] B. Knospe, J. Warschat, A. Slama, A. Spitzley (Hrsg.): Fit für Innovation, Arbeitskreis 1 – Innovationsprozesse managen. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2011.
- [9] I. Korflür, W. Nettelstroth: 3. Industriopolitisches Memorandum – Projekt „Kompetenz und Innovation“. Düsseldorf: IG Metall NRW, 2011.
- [10] C. Thieme: 3. Beschäftigte als Innovatoren: Anspruch und Wirklichkeit humankapitalorientierter Innovationsansätze. Innovation durch Kompetenz und "gute Arbeit". Management, Betriebsrat und Beschäftigte als Akteure moderner Innovationsstrategien, Hrsg.: W. Anlauf, H.-D. Hartwich, I. Singe, C. Thieme; Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 2012.
- [11] GFA Frühjahrskongress 2012: Wege zur Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme. Im Internet unter: <http://pt-ad.pt-dlr.de/de/1422.php>, 2012.
- [12] M. Ehrlich: Personalwachstum als ein unterschätzter Risikofaktor für die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit von KMU. Innovation durch Kompetenz und "gute Arbeit". Management, Betriebsrat und Beschäftigte als Akteure moderner Innovationsstrategien, Hrsg.: W. Anlauf, H.-D. Hartwich, I. Singe, C. Thieme; Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 2012.
- [13] G. Wirner: Innovationscoaching: zur Gestaltung der sozialkommunikativen Grundlagen der Innovation. Innovation durch Kompetenz und "gute Arbeit". Management, Betriebsrat und Beschäftigte als Akteure moderner Innovationsstrategien, Hrsg.: W. Anlauf, H.-D. Hartwich, I. Singe, C. Thieme; Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 2012.
- [14] M. Schwarz-Kocher: Innovationspolitik als Interessenpolitik. Innovation durch Kompetenz und "gute Arbeit". Management, Betriebsrat und Beschäftigte als Akteure moderner Innovationsstrategien, Hrsg.: W. Anlauf, H.-D. Hartwich, I. Singe, C. Thieme; Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 2012.
- [15] E. Kirner, U. Weißfloch, A. Jäger: Beteiligungsorientierte Organisation und Innovation. WSI-Mitteilungen 2/2010. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung, 2010.
- [16] L. Kamp: Gruppenarbeit – Analyse und Handlungsempfehlungen. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung, 1998.
- [17] U. Jirjahn: Arbeitspapier 186: Ökonomische Wirkungen der Mitbestimmung in Deutschland: Ein Update. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung, 2010.

- [18] F. Gerlach, A. Ziegler: Das deutsche Modell auf dem Prüfstand – Innovationen in der Krise, WSI Mitteilungen 2/2010. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung, 2010.
- [19] J. Rabe v. Pappenheim, D. Kremer, A. Koren: Fit für Innovation – Arbeitskreis 3 – Innovationskompetenzen entwickeln. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2011.
- [20] K. Spitzley, W. Ganz, S. Martinetz: Fit für Innovation – Arbeitskreis 2 - Innovationskultur stärken. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2011.
- [21] L. Blume, W. Gerstlberger: Determinanten betrieblicher Innovation: Partizipation von Beschäftigten als vernachlässigter Einflussfaktor. Industrielle Beziehungen 14, S. 223-244, 2007.
- [22] Statistisches Bundesamt: Zahlen zur Textil- und Bekleidungsbranche, Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie e.V.: Berlin, 02/2011: S. 12, 2011.
- [23] M. Löhrer, J. Lemm; D. Kerpen, M. Saggiomo, Y.-S. Gloy: Soziotechnische Assistenzsysteme für die Produktionsarbeit in der Textilbranche. In: S. Wischmann, E. A. Hartmann (Hrsg) Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Verlag (im Erscheinen), 2016.
- [24] M. Saggiomo, M. Löhrer, J. Lemm, D. Kerpen, Y.-S. Gloy, T. Gries: Influence of Human Factors on Cognitive Textile Production. In: M. Blaga (Ed.): Proceedings / 15th AUTEX World Textile Conference 2015, June 10-12, 2015, Bukarest, Romania. - Bukarest: “Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, Romania, Faculty of Textiles, Leather and Industrial Management, 2015.

Gamification im Anlernprozess am Industriearbeitsplatz – ein inklusiver Ansatz

Studie zur Entwicklung eines Anlernutorials für ein gestengesteuertes teilautomatisiertes Assistenzsystem

S. Haug¹, L. Glashauser¹, B. Großmann², C. Pohlt², T. Schlegl², A. Wackerbarth¹, K. Weber¹

¹Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST)

²Regensburg Robotics Research Unit (RRRU)

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Regensburg,
93053 Regensburg

{sonja.haug, thomas.schlegl}@oth-regensburg.de

Kurzzusammenfassung

Um die Lebensqualität und Einsatzfähigkeit von Menschen mit Behinderung oder älteren Menschen zu verbessern, wurde untersucht, inwiefern Gamification-Anwendungen beim Anlernen einer Gestensteuerung geeignet sind. Grundlage des Experiments stellt ein intelligenter Arbeitsplatz (Smart Workbench, SWoB) dar, der Personen bei manuellen Handhabungsaufgaben unterstützt sowie bestimmte Produktionsprozesse teilautomatisiert ausführt. Um die Anlage bedienen zu können, muss im Vorfeld eine Einweisung erfolgen, welche von Menschen oder durch ein Lerntutorial mit Gamification-Elementen zur Motivationssteigerung durchgeführt werden kann. In der Studie wurde untersucht, welche Form des Anleitens aus welchen Gründen von unterschiedlichen Personen eher akzeptiert oder abgelehnt wird.

Abstract

“Gamification of education in industrial settings – an inclusive approach? An evaluation of an education tutorial for a semiautomatic assistance system piloted by gestures”

To improve handicapped or older persons' quality of life and capacity to work it was examined how far gamification applications for training are suitable. An intelligent workplace (Smart Workbench, kurz SWoB) represents the basis of the experiment. Piloted by gestures, SWoB supports workers in manual manipulation tasks and implements certain production processes semiautomatically. Training can be executed by a human instructor or a technical tutorial which includes gamification elements to increase motivation. In the experimental study it was tested which form of education for which reasons is accepted or rejected by different subjects.

Keywords: kollaborative Robotik, MMI, Usability, Akzeptanz, Inklusion

1 Einleitung

Der Beitrag behandelt eine Einsatzmöglichkeit von kollaborativer Robotik und Gamification bei einer Robotersteuerung unter inklusiven Gesichtspunkten. Welchen Beitrag Gamification im Anlernprozess in der industriellen Arbeitswelt spielen und wie diese Technologie unter Einbeziehung der Anwender verbessert werden kann, wurde mithilfe einer experimentellen Studie

untersucht [1]. Grundlage war ein von der RRRU und der Abteilung für Test- & Handlingautomation (THA) der Infineon Technologies AG entwickelter intelligenter Arbeitsplatz (Smart Workbench, SWoB), der Personen bei manuellen Handhabungsaufgaben unterstützt sowie bestimmte Produktionsprozesse teilautomatisiert ausführt [2, 3]. Die Einweisung in die Bedienung erfolgte in der experimentellen Studie durch ein Lerntutorial mit spieltypischen Elementen (Gamification) oder zum Vergleich mit menschlicher Anleitung. Forschungsleitend war, dass beim spielerischen Lernen Feedback wie bspw. der Punktestand bei einem Wissensquiz motivierend wirken kann (Kap. 2). Ziel war herauszufinden, welche Form des Anleitens aus welchen Gründen eher akzeptiert oder abgelehnt wird und wie das Anlerntutorial verbessert werden kann, um den Anforderungen und Bedürfnissen der Anwender bestmöglich gerecht zu werden (partizipative Technikentwicklung). Neben Bedienungsfehlern und Geschwindigkeit wird mit einem Fragebogen das subjektive Erleben erhoben. Durch Einbeziehung von Jugendlichen mit Behinderung, von Menschen mit Migrationshintergrund und älteren Erwachsenen im Rahmen eines experimentellen Forschungsdesigns (Kapitel 4) wird ein Erkenntnisfortschritt bei der Frage erwartet, welche Vor- oder Nachteile ein technisches System unter dem Inklusionsgesichtspunkt gegenüber einer menschlichen Anleitung hat.

2 Gamification und Inklusion

2.1 Gamification und Lernmotivation

Der Kerngedanke von Gamification besteht darin, Elemente eines Spieles in einer Umgebung einzusetzen, die spielfremd ist [4]. Durch spielerische Elemente sollen Menschen dazu motiviert werden, Aufgaben zu lösen, sich intensiver und länger mit einer Tätigkeit auseinanderzusetzen und so ihre Produktivität zu steigern [5]. Blohm und Leimeister bezeichnen Gamification daher auch als „persuasive technology“, also als eine überzeugende bzw. überredende Technologie, die bei den Adressaten durch das Einsetzen von Spiel-Elementen bestimmte Handlungsmotive anspricht, was dann zum gewünschten Verhalten führt [6]. Spieltypische Mechanismen und Elemente sind bspw. sichtbarer Status und sozialer Wettbewerb (z.B. Pokale, so genannte „Badges“), einsehbare Ranglisten und Level, Resultattransparenz, konstruktive Rückmeldung und Fortschrittsanzeige [5]. Deren Anwendung ist zunehmend auch im Lernbereich zu finden, indem beispielsweise Motivation durch Belohnungen in Form von Punktesystemen oder Badges erzeugt wird [7].

2.2 Zielgruppen für inklusive assistierende Technologien am Arbeitsplatz

Neue assistierende Technologien in der Industrieproduktion können im Rahmen eines inklusiven Ansatzes drei Zielgruppen von Erwerbstätigen erschließen: (1) In Deutschland leben ca. 10,2 Mio. Menschen mit einer anerkannten Behinderung, für die die Arbeitslosenquote bei knapp 14% im Jahr 2015 lag. Drei Viertel aller Menschen mit geistiger Behinderung haben einen Arbeitsplatz in Werkstätten für behinderte Menschen [8]; dort arbeiten zudem Menschen mit körperlichen Beeinträchtigungen. Eine dritte Gruppe sind Menschen mit zumindest phasenweise stark verminderter Lernleistung; viele finden nach der Schule keinen Ausbildungsort [9]. (2) Eine weitere wichtige Zielgruppe für die Inklusion im Arbeitsmarkt stellen Menschen mit Migrationshintergrund dar, die, mit steigenden Zahlen [10], in Deutschland ca. 20% der Bevölkerung ausmachen. Inklusionsbarrieren bestehen häufig in geringen Deutschkenntnissen oder niedrigem Schul- und Ausbildungsniveau. (3) Der demographische Wandel wird

dazu führen, dass Menschen länger in der Arbeitswelt verbleiben. Der Anteil der über 50-Jährigen in den Belegschaften wird sich auch aufgrund des Mangels an Nachwuchskräften stetig erhöhen. Für ältere Menschen bedeutet dies, sich Kompetenz für neue Lerninhalte, Technologien und Medien anzueignen. Diese Gruppe stellt damit eine weitere Zielgruppe für assistierende Technologien dar.

3 Stand der Technik und Realisierung

3.1 Stand der Technik

Im industriellen Umfeld existieren zahlreiche assistierende Technologien, welche unterschiedliche Arten an Unterstützung anbieten. Ein auf Augmented Reality basierendes System wird von Korn et al. in [11] beschrieben. Das Framework des kontextsensitiven Systems besteht aus Bewegungserkennungssensor, bildgebender Sensorik, Projektor und Touch-Display. Der auf diesem Framework basierende Prototyp wird durch eine Studie mit Menschen mit Behinderung evaluiert. Die Studie zeigt tendenziell eine Verbesserung der Aufgabenausführgeschwindigkeit, jedoch kann aufgrund der großen Ergebnisvarianz zwischen den einzelnen Probanden keine statistische Signifikanz für die Gesamtheit der Probanden festgestellt werden. Funk et al. zeigen in [12] einen technischen Aufbau der zu unserem ähnlich ist (siehe Kapitel 3.2). Der Fokus des Beitrags liegt auf der Verwendung von Alltagsgegenständen als Steuerungselemente. So soll beispielsweise eine auf dem Tisch abgestellte Flasche als Lautstärkeregler verwendet werden können. Die Anbindung von Werkzeugen an einen intelligenten Arbeitsplatz wird in [13] gezeigt. Der intelligente Arbeitsplatz kann werkzeugspezifische Informationen anzeigen und erlaubt dem Nutzer die Werkzeuge anzusteuern. Gemäß Brea et al. [14] ist es ein wichtiges Ziel die Produktivität zu erhöhen, aber gleichzeitig die Produktion modularer und flexibler zu gestalten. Um dies zu erreichen können interaktive Robotersysteme eingesetzt werden, um den Menschen angepasst an die Erfordernisse, auch bei kleinen Stückzahlen, optimal zu unterstützen. Dies erfordert neue Methoden zur Roboterprogrammierung und Mensch-Roboter-Interaktion, welche durch verschiedene Modalitäten erfolgen können. In [15] werden vier Modalitäten (Touch, Geste, Sprache, 3D-Tracking) hinsichtlich der Nutzbarkeit und Intuitivität am Beispiel der Programmierung eines Roboters gegenübergestellt. Das hier durchgeführte Wizard-of-Oz Experiment zeigt, dass die meisten Nutzer ein Touch oder Gesteninterface bevorzugen und eine Spracheingabe mehrheitlich abgelehnt wird. Die Studie stützt die These, dass eine intuitive Bedienung nur durch multimodale Eingabemöglichkeiten realisiert werden kann.

3.2 Technischer Aufbau der Smart Workbench (SWoB)

Im Projekt Smart Workbench werden Methoden der Mensch-Maschine-Interaktion erforscht. Der innerhalb des Projekts entwickelte Demonstrator besteht aus einem technisch aufgerüsteten Handarbeitsplatz und einem kollaborationsfähigen Leichtbauroboter (Abbildung 3.1). Ein in den Arbeitstisch eingelassener Monitor, ein Zusatzmonitor sowie zwei Projektoren werden verwendet, um dem Bediener bspw. Rückmeldung über das Roboterverhalten, Informationen über den Arbeitsfortschritt und kontextspezifische Arbeitshilfen anzuzeigen. Es werden die individuellen Stärken des kollaborierenden Roboters (Kraft, Präzision und Ausdauer) und des Menschen (Flexibilität und Intelligenz) gebündelt. Ziel ist die kooperative Ausführung von Prozessschritten. Dies wird vor allem durch ein modulares Anlagendesign und durch den Einsatz von maschinellem Lernen gewährleistet. Hierbei soll eine nonverbale Kommunikation zwischen Mensch und Roboter ermöglicht werden. Zur Wahrnehmung der menschlichen Absicht sind

mehrere hochauflösende Intensitäts- und 3D-Sensoren integriert. Das Verstehen der übertragenen Nachricht wird dabei durch eine nachvollziehbare und robuste Roboterreaktion angezeigt.

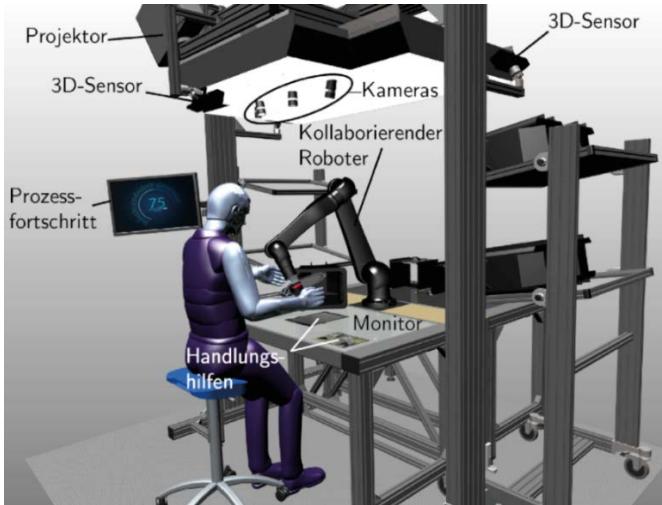


Abbildung 3.1: Demonstrator: Smart Workbench (SWoB)

3.3 Gamifiziertes Anlerntutorial

Das Tutorial besteht aus einer Mischung aus Videos und Anleitungen, die durch Bilder gestützt werden. Das gesamte Tutorial wurde durch eine Sprecherstimme vertont, wodurch sowohl der Seh- als auch der Hörsinn angesprochen werden. Diese Stimme gibt der lernenden Person Informationen und erklärt sämtliche Sachverhalte. Ziel ist das Lehren von Gesten zur Steuerung des Systems der SWoB und des dazugehörigen Roboterarms in vier Stufen: (1) Vorbereitung des Auszubildenden, (2) Vormachen der Arbeitshandlung und Erklären, (3) Nachmachen durch den Auszubildenden, (4) den Auszubildenden selbstständig weiterarbeiten und üben lassen [16].



Abbildung 3.2: Tutorial und Testreihe (Foto: Alena Wackerbarth)

Im ersten Schritt werden grundlegende Informationen über SWoB gegeben, Funktionen erläutert und erklärt, wie die Gestensteuerung funktioniert und erkannt wird. Zweitens werden die Grundlagen der Gestensteuerung und die einzelnen Gesten erklärt und im Rahmen von verschiedenen Videos nacheinander vorgemacht. Im dritten Schritt folgt ein kleines Quiz, um erlerntes Wissen spielerisch zu überprüfen, wonach es dann viertens ans eigene Üben der Gesten durch den Auszubildenden geht. Die Gamification-Komponente des Tutorials besteht aus dem Quiz (vier Fragen) sowie eines kleinen Serious Game mit der Aufgabe, einen Turm zu bauen. Es wird jeweils visuelles und verbales Feedback durch eine Sprecherstimme geben, begleitet

durch eine visuelle Fortschrittsanzeige sowie einem Badge bei erfolgreichem Abschluss (Abbildung 3.2).

4 Methodik der empirischen Studie

Im Rahmen der empirischen Studie wurden Usability und Akzeptanz von SWoB und gamifiziertem Tutorial durch Versuchspersonen (VPn) anhand eines teilstandardisierten Fragebogens bewertet und die für Aufgaben benötigte Zeit gemessen. Die VPn wurden auf Basis eines Quotenplans rekrutiert und in der Hauptstudie per Zufallsverfahren in Untersuchungs- und Kontrollgruppe eingeteilt.

4.1 Vorstudie

Die Vorstudie wurde als Pretest zum eigentlichen Test des Anlernutorials konzipiert. Die Untersuchungsgruppe bestand aus 30 jungen Frauen und Männern, die an der OTH oder Universität Regensburg studieren oder arbeiten [1]. Davon weisen zehn VPn einen Migrationshintergrund auf. Im Rahmen eines experimentellen Forschungsdesigns wurden die 15 männlichen und 15 weiblichen VPn, darunter jeweils fünf mit Migrationshintergrund, in zwei Versuchsgruppen eingeteilt. Jeweils sieben bzw. acht testeten ein Anlernutorial auf Basis einer Bilderanleitung oder einer Videoanleitung.

4.2 Hauptstudie

Für die Überprüfung von inklusiven Aspekten bei der Techniknutzung wurden in einer experimentellen Testreihe [1] drei Untersuchungsgruppen unterschieden: VPn im Alter von maximal 30 Jahren als Beispielgruppe für (im Normalfall) inkludierte und technikerfahrene Nutzer (U30, N=11) sowie als Vertreter von Gruppen mit geringerer Arbeitsmarktinklusion VPn mit Beeinträchtigung (MmB, N=9) und VPn über 50 Jahre (Ü50, N=9). Jeweils die Hälfte aus jeder Untersuchungsgruppe (6 bzw. 5 Probanden) erhielten eine Anleitung durch das Tutorial, die andere Hälfte (5 bzw. 4) wurden durch eine menschliche Anleiterin in die Funktionsweise der SWoB eingeführt. Bei allen Tests wurde die Gesamtzeit der Durchführung des Anlernprozesses sowie zur Bewältigung der Abschlussaufgabe bzw. des Minigames gemessen und die Anzahl der benötigten Korrekturen dokumentiert. Die Erhebung erfolgte mithilfe eines teilstandardisierten schriftlichen Fragebogens zum Selbstausfüllen. In Teil 1 wurden u.a. Angaben zum Alter, zur Behinderung und zur Techniknutzung im Alltag erhoben. Teil 2 beinhaltete 23 Aussagen, zu denen mit 5-stufigen Antwortskalen Stellung genommen werden sollte. Um Antworttendenzen zu vermeiden, variierte die Item-kodierung. Beispiele: „Ich habe die Anleitung immer gut verstanden“. Oder „Die Zusammenarbeit mit einem Roboter war für mich unangenehm.“ Antwortvorgaben: trifft gar nicht zu (1), trifft eher nicht zu (2), teils-teils (3), trifft eher zu (4), trifft voll und ganz zu (5). Teil 3 ermöglichte Bemerkungen in offenen Antwortfeldern abzugeben. Die Fragebögen wurden anonym behandelt. Anhand der Ergebnisse wurden Vergleiche zwischen den drei Untersuchungsgruppen und zwei Versuchsbedingungen (menschliche Anleitung und Tutorial) vorgenommen und sechs Hypothesen getestet.

5 Ergebnisse

5.1 Vorstudie

Es lassen sich keine signifikanten Unterschiede im Lernerfolg festmachen, beide Methoden sind für die Vermittlung von Wissen gut geeignet. Allerdings liegt die Videoanleitung mit einem leicht besseren Lernergebnis vor der Bilderanleitung. Auch die Vermittlung der Inhalte

funktioniert mit beiden Methoden sehr gut, wobei auch hier die Methode einer Videoanleitung tendenziell bessere Ergebnisse erzielen konnte. Lediglich beim Lerntempo liegen hier schwächeren Ergebnisse vor. Betrachtet man die genannten möglichen Verbesserungen erneut, wird deutlich, dass viele Testpersonen eine Videoanleitung als eine geeigneter Methode ansehen würden, um Wissen zu vermitteln. Die Videos dauerten jedoch etwas länger, was als Nachteil gesehen werden kann. Im Hinblick auf sprachliche Barrieren für Menschen mit Migrationshintergrund zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Menschen mit bzw. ohne Migrationshintergrund. Dennoch können Videos, da sie mit weniger geschriebenem Text auskommen, inklusiver als Bilderanleitungen wirken. Dieser Aspekt ist ebenso wichtig für Menschen mit kognitiven Schwächen wie auch für Analphabeten. Ein Tutorial in Form einer Videoanleitung ist somit zu bevorzugen.

5.2 Hauptstudie

(1) Menschen mit Beeinträchtigung fühlen sich in einer Lernumgebung ohne Überwachung durch einen menschlichen Anleiter wohler. Zentral ist die Aussage „Ich habe mich in der Lernumgebung wohl gefühlt.“. In der Gruppe MmB liegt der Mittelwert beim Tutorial mit 4,2 (SD=1,1) höher als bei der menschlichen Anleitung mit 3,8 (SD=0,5, Unterschied nicht signifikant bei t-Test). Allgemein hat sich die vorliegende Testgruppe im Lernszenario ohne einen menschlichen Anleiter wohler gefühlt, d. h. die Annahme bestätigt sich. In der Versuchsgruppe des Gamification Tutorials fanden die VPn es sehr angenehm, dass die Anleitung *nicht* durch einen Menschen erfolgte (MW=4,3, SD=1,5). Zwar empfanden MmB mit einer menschlichen Anleitung diese ebenfalls sehr angenehm (MW=4,5, SD=0,6) und sie gaben etwas seltener an, beim Üben und Ausführen unter Druck zu stehen. Ein Test in einer realistischeren Lernumgebung, z.B. mit einem ungeduldigen oder unfreundlicheren Anleiter, könnte durch einen höheren Lerndruck jedoch anders ausfallen.

(2) Menschen, die vermehrt Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), so z.B. Smartphones sowie PCs, im Alltag nutzen, kommen mit einer technischen Anleitung und der Bedienung besser zurecht. Für die Analyse der Techniknutzung wurde ein Index erstellt. Generell nehmen vor allem Smartphone und PC einen hohen Stellenwert im Alltag ein, da sich alle Gruppen damit täglich mindestens bis zu einer Stunde beschäftigen. Auffallend ist, dass die IKT-Nutzung bei Testpersonen in der Altersgruppe über 50 Jahre zwar durchaus verbreitet ist, die tägliche Nutzung jedoch im Durchschnitt fast bei allen Medien unter den Werten der anderen beiden Testgruppen liegt. Die Mediennutzung ist bei MmB zeitlich gesehen am stärksten ausgeprägt. Vergleicht man die Mittelwerte bzgl. der Bewertung von SWob und Anleertutorial, lässt sich ein klares Muster erkennen, das die These stützt: Personen, die häufiger IKT im Alltag nutzen, können mit der Technik besser umgehen [1].

(3) Ein automatisches Tutorial mit spielerischen Elementen kann einen inkludierenden Charakter haben. Die Anleitung war für alle drei Testgruppen gut verständlich. Sie war für die Gruppe U30 allerdings teils-teils bis eher zu ausführlich, für die Gruppe Ü50 war sie tendenziell teils-teils zu ausführlich, für die Gruppe der Menschen mit Beeinträchtigung trifft das eher nicht zu. Dies spiegelt sich auch darin wider, dass die der 30-Jährigen stärker beim Lernen gelangweilt war. Hieraus lässt sich schließen, dass die Anleitungen zwar für alle verständlich waren, das Lernniveau für die Gruppe der 30-Jährigen allerdings zu niedrig war. Die Testpersonen fühlten sich alle gleichermaßen wenig unter Druck gesetzt oder überfordert. In diesem Punkt scheint das Gamification Tutorial also durchaus inklusiv gestaltet zu sein. Die Gruppe

der Menschen mit Beeinträchtigung hat bei der Messung der Zeit insgesamt und beim Mini-game deutlich am längsten gebraucht. Bemerkenswert ist allerdings, dass die Zahl der benötigten Korrekturen in allen Gruppen recht ähnlich ist. So haben die Gruppen der über 50-Jährigen und der Menschen mit Beeinträchtigung zwar länger gebraucht, dabei allerdings nicht mehr Fehler gemacht. Dass der Block des Lernens und Übens ohne Zeitdruck erfolgte, kann also einen inklusionsfördernden Aspekt darstellen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das getestete Gamification-Tutorial inkludierende Charakterzüge mit sich bringt, welche allerdings noch ausbaufähig sind. Dies betrifft insbesondere ein passendes Lernniveau und -tempo für alle Zielgruppen.

(4) Gamification ist förderlich für die Lernmotivation und für ein positives Lernklima. Dass Gamification positiv zur Lernmotivation und zum Lernklima beiträgt, konnte in der vorliegenden Testreihe nicht direkt bestätigt werden. Ob dieser Effekt durch ein zu niedriges Lernniveau gebremst wurde, konnte nicht beantwortet werden. Zu beachten ist lediglich, dass das Gamification-Tutorial für die MmB positivere Effekte auf Lernumgebung und -klima hervorgerufen hat, als für die anderen beiden Testgruppen: bei nahezu jeder der hier betrachteten Aussagen nähert sich der Mittelwert in der Testgruppe Tutorial dem etwas höheren Mittelwert der menschlichen Anleitung an. Am wenigsten Spaß am Lernen mit dem Gamification-Tutorial hatte die Gruppe der über 50 Jährigen (2,8); auch die technische Anleitung hat ihnen am wenigsten gefallen. Doch auch hier bleibt offen, ob es am ungünstigen Lernniveau der Anleitung, an den technischen Gegebenheiten (Tischhöhe, spiegelnder Tisch etc.), die oft in den offenen Fragen erwähnt wurden, oder tatsächlich an den Gamification-Elementen lag.

(5) Ein automatisches Tutorial kann die motorischen Lerninhalte mindestens genauso gut wie ein menschlicher Anleiter vermitteln. Das Tutorial führt zu einem besseren Verständnis, auch wenn die Anleitung für einige Testpersonen zu ausführlich war (Tabelle 5.1). Wenige VPn denken, dass eine Anleitung durch Menschen besser klappen würde. Dass das Tutorial mehr Zeit in Anspruch genommen hat ist zum Teil auf die ausführlichere Anleitung zurückzuführen (14 min vs. 6,2 min). Die maschinelle Anleitung wurde signifikant häufiger als zu ausführlich bewertet. Da in einem automatisierten Tutorial keine Fragen gestellt werden können, wurden möglichst umfassende Informationen gegeben. In einer menschlichen Anleitung hingegen gibt es die Möglichkeit, die Anleitung auf die Fragen und Bedürfnisse der lernenden Person anzupassen. So kam es bei einigen Testpersonen aus allen Untersuchungsgruppen bei menschlicher Anleitung vor, dass die Gesten mehrmals vorgeführt und geübt werden mussten. Insgesamt war die Zahl der Korrekturen bei menschlicher Anleitung mit 4,8 deutlich höher als beim Tutorial (3,3).

Tabelle 5.1 Vergleich Menschliche Anleitung und Tutorial in Bezug auf Lernerfolg. (5 = trifft voll und ganz zu. Mittelwert (Standardabweichung), Signifikanz t-Test ** p < 0,01)

Aussage	Tutorial (Maschine)	Ausbilder (Mensch)
Ich habe die Anleitung immer gut verstanden.	4,6 (0,6) n.s.	4,5 (0,8)
Die Anleitungen waren mir zu schnell.	1,7 (0,9) n.s.	1,3 (0,9)
Die Anleitung war zu ausführlich.	2,9 (1,2) **	1,5 (1,2)
Ich denke, ich könnte Robert jetzt mit meinen Gesten steuern.	4,3 (0,9) n.s.	4,6 (0,8)

Die Gefahr, die sich auch in diesem Test bestätigt hat, ist dabei, dass das Lernniveau dadurch zu niedrig ausfällt und kognitiv fitte Menschen schneller gelangweilt werden. Abschließend lässt sich zu dieser These zusammenfassen, dass bei einer menschlichen Anleitung generell das Lernniveau besser an die lernende Person angepasst werden kann. Dies ist bei einem automatisierten und standardisierten Tutorial nur schwer möglich. Bezogen auf die Abschlussaufgabe, also des Bauens des Turms mithilfe der gelernten Gesten, können beide Anlernmethoden ähnliche Ergebnisse aufweisen. Jedoch wurden beim Anlernen mit dem Gamification-Tutorial weniger Korrekturen benötigt, d.h. die Informationen wurden scheinbar so übermittelt, dass weniger Fehler entstanden.

(6) SWoB kann als Arbeitsplatz gesehen werden, der einen inklusiven Beitrag leistet. Generell können sich alle VPn vorstellen, in der Zukunft mit einem Roboter zusammenzuarbeiten (Tabelle 5.2). Die Menschen mit Beeinträchtigung stimmen der Aussage in höherem Maße zu (MW 4,4). Das Ergebnis mag mit der Lebensphase der eher jüngeren Probanden und der höheren IKT-Nutzung in dieser Gruppe zu tun haben, zeigt aber auch die Aufgeschlossenheit gegenüber der Technik an einem potenziellen Arbeitsplatz.

Tabelle 5.2 Vergleich Untersuchungsgruppen in Bezug auf Usability und Akzeptanz.

5 = trifft voll und ganz zu. Angaben: Mittelwert (Standardabweichung), Signifikanz t-Test

Aussage	MmB	Ü50	U30
Die Zusammenarbeit mit einem Roboter war für mich unangenehm.	1,6 (1,1) n.s.	1,9 (1,5) n.s.	1,5 (0,7)
Die Zusammenarbeit mit einem Roboter kann ich mir auch für die Zukunft vorstellen.	4,4 (0,9) n.s.	3,6 (1,4) n.s.	3,5 (1,5)
Es fällt mir leicht, die Gesten auszuführen.	4,4 (0,7) n.s.	4,4 (0,9) n.s.	4,7 (0,5)
Ich denke, dass jeder mit dieser Technik arbeiten könnte	3,8 (1,1) n.s.	4,2 (0,8) n.s.	4,1 (0,8)

Gleichzeitig waren MmB eher der Ansicht, dass nicht jeder die Technik nutzen kann. So gibt es Einschränkungen bei der Bedienung für einzelne Behinderungen (z.B. Sehschwäche). Das Arbeitssystem SWoB ist also noch nicht vollständig inklusiv und kann es auch nur schwer werden. Von sechs VPn mit einer körperlichen Beeinträchtigung könnten allerdings fünf Personen mit entsprechenden Anpassungen (Tischhöhe/Rampe, evtl. kleinerer Arbeitsbereich) ohne größere Probleme mit SWoB arbeiten. Ebenso können Menschen im höheren Alter gut mit dem System arbeiten, wie die gezeigten Leistungen in der Testreihe bestätigten. Es zeigen sich keine signifikanten Mittelwertunterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen MmB und Ü50 und der Vergleichsgruppe U30.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Sinne der partizipativen Technikentwicklung wurde für einen gestengesteuerten Arbeitsplatz ein videobasiertes gamifiziertes Anlerntutorial entworfen und experimentell untersucht: Ist ein videobasiertes Anlerntutorial verständlich für Menschen mit Migrationshintergrund? Kann es gleichwertig oder besser als eine menschliche Anleitung sein? Welche Rolle spielt Erfahrung mit IKT? Ist der Umgang mit dem Anlerntutorial für jüngere oder ältere Menschen oder Menschen mit Behinderung unterschiedlich? Kann ein Tutorial zur Inklusion am Arbeitsplatz beitragen? Auch ohne Vertrautheit mit der Technik ist die Bedienung des Roboterarms

für alle Untersuchungsgruppen einfach zu erlernen. Zwar funktioniert die menschliche Anleitung generell sehr gut. Das inklusive Potenzial der Technik zeigt sich jedoch besonders bei jungen Menschen mit Behinderung, die bereits im Alltag IKT intensiv nutzen. Technikaffine Gruppen zeigen eine höhere Akzeptanz. Bzgl. Gamification lässt sich schlussfolgern, dass spielerisches Lernen dem Lernerfolg zuträglich ist. Auch ist eine für alle Bedürfnisse passende Balance von Überforderung und Langeweile mit dem getesteten Tutorial noch nicht gefunden. An das individuelle Lernniveau angepasste Varianten könnten eine Lösung sein.

7 Danksagung

Die Autoren danken dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie für die Förderung der vorliegenden Arbeit innerhalb des Förderprogramms Informations- und Kommunikationstechnik Bayern sowie den Probandinnen und Probanden.

8 Literatur

- [1] L. Glashäuser: Gamification im Anlernbereich. Entwicklung und Evaluation eines gamifizierten Anlerntutorials der Gestensteuerung unter Beachtung inklusiver Aspekte. Masterarbeit, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, 2016.
- [2] J. Höcherl, T. Schlegl, T. Berlehner, H. Kuhn, B. Wrede: Smart Workbench: Toward Adaptive and Transparent User Assistance in Industrial Human-Robot Applications. In: Proceedings of 47th International Symposium on Robotics (ISR 2016). Munich, Germany, S. 271-278, 2016.
- [3] S. Niedersteiner, C. Pohlt, T. Schlegl, T. Berlehner: Smart Workbench: A Multimodal and Bidirectional Assistance System for Industrial Application. In: Proceedings of Industrial Electronics Society, IECON 2015. IEEE, S. 2938-2943, 2015.
- [4] S. Deterding, R. Khaled, L. Nacke, D. Dixon: Gamification: Toward a Definition. In: CHI 2011 Workshop Gamification. Vancouver, Canada, <http://gamification-research.org/wp-content/uploads/2011/04/02-Deterding-Khaled-Nacke-Dixon.pdf>, 2011.
- [5] M. Koch, S. Oertelt, F. Ott: Gamification von Business Software – Steigerung von Motivation und Partizipation. München: Forschungsgruppe Kooperationssysteme, Univ. der Bundeswehr München <http://www.sozio.tech.org/schriften/band3/>, 2013.
- [6] I. Blohm, J. M. Leimeister: Gamification: Gestaltung IT-basierter Zusatzdienstleistungen zur Motivationsunterstützung und Verhaltensänderung. In: Wirtschaftsinformatik, 55(4), S. 275-278, 2013.
- [7] K. M. Kapp: The gamification of learning and instruction fieldbook. Ideas into practice. San Francisco: Wiley, 2014.
- [8] Aktion Mensch: Zahlen und Fakten. Der Arbeitsmarkt in Deutschland. <https://www.aktion-mensch.de/themen-informieren-und-diskutieren/arbeit/zahlen-und-fakten.html>, 2016.
- [9] R. Enggruber, J. Rützel: Berufsausbildung junger Menschen mit Behinderung: Eine repräsentative Befragung von Betrieben. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung. http://www.bertelsmann-stiftung.de/cps/rde/xbc/SID-651204EA-282D079B/bst/xcms_bst_dms_39898_39899_2.pdf, 2014.
- [10] S. Haug: Migration. In: S. Mau, N. M. Schöneck (Hrsg.): Handwörterbuch zur Gesellschaft Deutschlands. Bonn: bpb, grundl. übera. Aufl., S. 593-607, 2014.

- [11] O. Korn, M. Funk, S. Abele, T. Hörz, A. Schmidt: Context-aware assistive systems at the workplace. In: F. Makedon, M. Clements, C. Pelachaud, Vana Kalogeraki und Ilias G. Maglogiannis (Hg.): Proceedings of PETRA 2014. The 7th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments, 2014, Rhodes, Greece (PETRA '14). 7th International Conference. Rhodes, Greece. New York: ACM (ICPS), S. 1-8, 2014.
- [12] M. Funk, O. Korn, A. Schmidt: An augmented workplace for enabling user-defined tangibles. In: M. Jones, P. Palanque, A. Schmidt, T. Grossman (Hg.): The extended abstracts of the 32nd annual ACM conference. Toronto, Ontario, Canada, S. 1285-1290, 2014.
- [13] J. Knibbe, T. Grossman, G. Fitzmaurice: Smart Makerspace. In: Nuno Nunes, E. Costanza, P. Olivier, J. Schöning (Hg.): ITS'15. Proceedings of the 2015 ACM International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces: November 15-18, 2015, Madeira, Portugal. The 2015 International Conference. Madeira, Portugal. New York: Association for Computing Machinery, S. 83-92, 2015.
- [14] E. Brea, P. Kambouris, A. Elfes, E. Duff, M. Bick, A. Bonchis, A. Tews, L. Lopes: An initiative to enhance SME productivity through fit for purpose Information and Robotic technologies: The value of Lightweight Assistive Manufacturing Solutions – whitepaper, 2013.
- [15] S. Profanter, A. Perzylo, N. Somani, M. Rickert, A. Knoll: Analysis and semantic modeling of modality preferences in industrial human-robot interaction. In: 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Hamburg, Germany, S. 1812-1818, 2015.
- [16] A. Juch: Erwerbstätigkeit im Alter. Personalwirtschaftliche Gestaltungsmöglichkeiten angesichts älterer Belegschaften. Frankfurt/Main: Lang, 2008.

Configuration of smart embedded devices in the field using NFC

J. Haase¹, D. Meyer²

¹Universität Lübeck, Institut f. Technische Informatik
Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck
haase@iti.uni-luebeck.de

²Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Fakultät Elektrotechnik
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg
dmeyer@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Im Bereich der Gebäudeautomatisierung werden viele kleine Sensoren und Aktoren eingesetzt. Sensoren sammeln Informationen über die Umgebung und Aktoren interagieren mit der Umgebung. Eine zentrale Einheit steuert diese Geräte, daher muss jedes Gerät zur Unterscheidung zumindest eine systemweit eindeutige Kennung haben. Außerdem werden in vielen Fällen noch weitere Konfigurationsdaten oder auch Authentifizierungsinformationen benötigt. Neue oder ersetzte Geräte müssen bei der zentralen Steuereinheit registriert werden, damit sie korrekt eingebunden sind.

Die Aufgabe des Hausmeisters oder Elektrikers ist daher, neue Geräte vor dem Einbau im System zu registrieren, als zumindest die eindeutige Kennung einzutragen, bevor über das Netzwerk darauf zugegriffen werden kann. Diese Aufgabe kann sich als aufwändig oder schwierig entpuppen, insbesondere für Nicht-Fachleute.

In diesem Papier wird vorgeschlagen, derartige eingebettete Systeme für die Gebäudeautomatisierung um ein Modul für Near Field Communication (NFC) zu erweitern. Diese erweiterten Geräte können dann vor Ort unter Verwendung eines herkömmlichen Smartphones mit einer entsprechenden App konfiguriert werden. Die Vorkonfiguration der Geräte mit einem speziellen Programmiergerät entfällt, und die notwendige Expertise beschränkt sich auf die Verwendung eines Smartphones.

Abstract

In the area of building automation, many sensor or actuator devices are tiny embedded systems which are installed throughout the building. Sensors gather information about the current environment and actuators interact with the environment. A central unit controls these devices, therefore all devices need at least a unique id throughout the system, and in many cases some more configuration or authentication data. New or replaced devices have to be registered with the central unit in order to enable correct control.

Thus, the workman installing a new device has to prepare it in terms of at least setting an id before it can be connected to the network. This can be tedious work, especially for untrained workers.

The paper proposes adding a module using Near Field Communication (NFC) as an enhancement to standard devices. The devices can then be configured on site using a standard smart

phone running an appropriate (Android) app. This eliminates the need to pre-configure devices using a programmer tool. The skills needed are thereby limited to using a smart phone app.

Keywords: Smart embedded devices, Configuration, Near Field Communication, Building Automation, Building Maintenance

1 Introduction

Today more and more devices in buildings are connected and can be controlled from a central unit. Typical controlled devices are sensors (collecting information about the environment) or actuators (directly interacting with the environment) [1].

In the context of building automation, sensors can be temperature sensors, movement sensors, light sensors, humidity sensors, light barriers, pressure sensors, etc. Actuators can be lights, locks on doors or windows, small motors actually opening doors or windows (like in the case of a fire, in order to act as a smoke outlet), thermostats (lowering or increasing room temperature), etc. The devices usually consist of a micro-controller, a communication unit (like a transceiver or a network connection), some memory, a power management unit, and, depending on its purpose, some sensor or actuator unit.

The devices then communicate wirelessly (e.g., using a low-power protocol like ZigBee, KNX, WirelessHART, or EnOcean [2]) or wiredly (e.g., using power line communication (PLC) or even dedicated cables) with a central control unit. This unit mainly takes input data from the sensor devices and sends commands to the actuator devices. If the location of a sensor device is known then the received sensor value can be put into a greater context; e.g., the current temperatures of all rooms in a whole building can be collected and the current state be used to make decisions on whether some actuators (like thermostats or window-openers) should be put into action. For this, of course the location of those actuators has to be known, too, and the actuators be individually approached.

Therefore, a broadcast structure will not suffice for such a setup. For communication, at least a unique id for each device is required so it can be accessed individually.

1.1 The Problem

If a building is to be equipped with lots of sensors or actuators, a problem arises in terms of configuring all these devices. The devices need at least a unique id, and in many cases it is important to take note of the location of the device (like the room number or even an exact position). In order to avoid tampering with wirelessly connected devices it is advisable to use some kind of secure communication, usually by use of cryptographic keys and algorithms.

The configuration use case occurs throughout the whole life cycle of a sensor or actuator device:

- deploy, when a device is installed for the first time
- repairs, when a device is being replaced and a new device has to take over the same id and configuration
- reconfiguration, when a device is being moved to a new location
- deactivation, when a device is being taken down and unregistered

In all these situations except the very first installation a secure communication is required to ensure authorized access only.

Albeit the embedded devices do have a way of communication (usually a transceiver for wireless devices or a cable connection for others), this cannot be used for initial configuration. One of the reasons is the fact that the new device would not be reachable due to a yet unknown or

even undefined id. Another reason is that most such communication is performed securely, i.e., based on cryptographic algorithms and keys; without being given the keys the device would therefore not be able to participate in secure communication, and of course it would be out of the question to allow insecure initial communication.

The configuration of a micro-controller on an embedded device is usually done by using an eeprom programmer. If more than one device is being installed or replaced at the same time, the devices should then be marked in order to avoid transposition errors. These would lead to inconsistencies between the actual location of the devices and the devices' assumed position in the central control unit.

An automatic configuration schema would be the easiest way to configure all these devices. Automatic configuration schemes already exist, such as the Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) in IPv4 or IPv6 based networks. But sensors often use unidirectional communication and only transmit measurement results to the network. They are not able to request a unique network address or their connected features, or update their current location. In some networks even a central authority providing these information is missing. Exchanging cryptographic keys through a network is no problem because key exchange protocols like Diffie-Hellman [3] provide a secure exchange. But these protocols require much calculation power, which is not always available on small devices.

Because of these difficulties of automatic configuration a manual approach is sometimes preferred. Manual approaches require physical access to the sensor or actuator devices. Many different ways to configure devices manually exist, such as using a very small display and keypad connected to each device to input the required information, or using small switches, or connect the device to a hand-held computer through a cable and flash the configuration data into the device. The main problem with these manual approaches is that the time required to configure each device is high. Small displays, keypads and switches lead to possible configuration errors because the construction workers or maintenance men often wear gloves for protection. Connecting the device to a hand-held computer is a better idea, but requires an especially equipped computer and the plugs for the cable are often very small, making it hard to connect the computer quickly (with gloved hands).

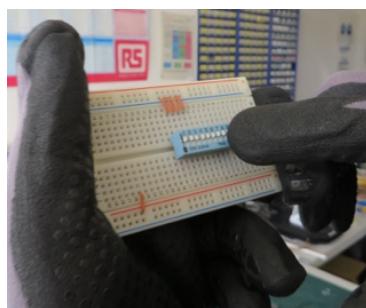


Figure 1.1: Working small dip (dual inline package) switches with gloved hands is nearly impossible

1.2 Main Idea

This paper proposes a new manual configuration schema for sensor and actuator devices. Instead of using small displays, keypads, switches or cables for configuration, we propose using Near Field Communication (NFC). NFC is a short range wireless protocol supported by many different devices today, including smart phones. NFCchips are cheap because of their

wide distribution. Therefore, sensors and actuators can be extended with a NFC chip without increasing the production costs much. These extended devices can be configured using any NFC writer, including many smart phones (see Figure 1.2). An application on the smart phone then manages the different sensors and actuators and their configuration, making a specific portable configuration device unnecessary.

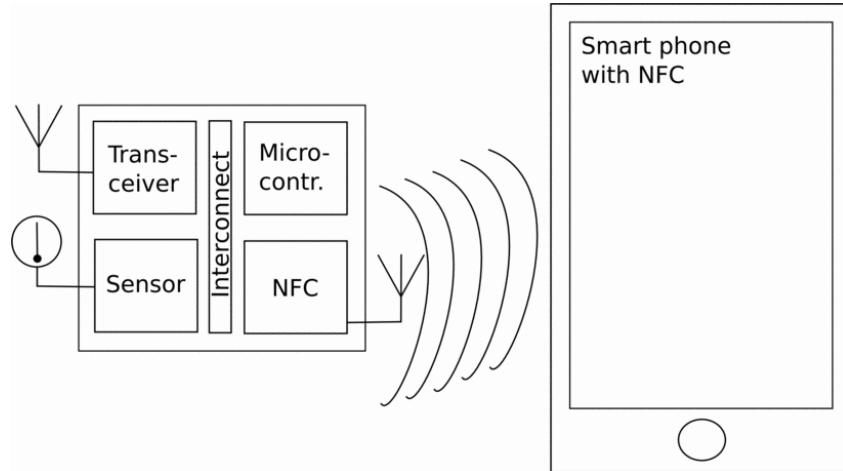


Figure 1.2: A smart phone connecting to a sensor device via NFC

Furthermore, the same smart phone can be used to extract data from the devices, e.g., if a device's configuration is to be duplicated onto another device. This could be the case if a device is to be replaced or if a new device is to be configured very similarly (i.e., except its id) to another device for facilitation.

The security aspect can be covered using an AES key for all communication except the very first. This key has to be stored in the device and compared at all times.

Furthermore, the exact location of a specific device might be determined very precisely (or confirmed) using the smart phone's capabilities: GPS for outside sensors, gyroscopes, etc. Due to the limited range of NFC, the NFC device to be configured can be selected very accurately, even if several devices are located very near to each other (like several light bulbs next to each other). And the use of a “selfie stick” for smart phone in order to reach devices sitting at a high wall or a room ceiling might even make this approach more straightforward for the mentioned maintenance man.

1.3 Related Work

The approach of NFC or RFID tags being used for configuring sensor network devices is not yet that common.

However, Perret et al. [4] and Shresta et al. [5] use chipless RFID tags instead of full embedded systems as sensing units. Serfass and Yoshigoe propose to use NFC as a transmission method for wireless sensor networks [6]. Matos et al. explored the idea to use NFC for configuration and encryption key download onto wireless devices when connecting to previously unknown public Wi-Fi hotspots [7].

(PCINT14/RESET) PC6	1	28	□ PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	2	27	□ PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	3	26	□ PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	4	25	□ PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	□ PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	□ PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	□ GND
GND	8	21	□ AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	□ AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	□ PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	□ PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	□ PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	□ PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLK0/ICP1) PB0	14	15	□ PB1 (OC1A/PCINT1)

Figure 1.3: Pin layout of an Atmel ATmega 328P micro-controller

2 The Prototype

The prototype system was already described in detail in [8] and consists of two parts:

- a Smarthomatic sensor device which is expanded by adding an NFC chip and
- an NFC application for Android smart phones (see Section II-D).

The first part is implemented using an environment sensor from the Smarthomatic house automation system, the NFC chip M24SR02-Y from STMicroelectronics and an Android mobile phone application. The environment sensor and the NFC chip are described in the next two sections, followed by the prototype description and the application overview.

2.1 Smarthomatic

Smarthomatic [9] is an open-source house automation system developed by Uwe Freese. The design goals for the project are:

- keep it simple (complexity only when necessary),
- make it similar (differences only when necessary),
- make it easy to build up and
- make it cheap.

A basic Smarthomatic system consists of a base station connected to a host computer through RS232, and some sensor and actuator devices. The base station receives and transmits Advanced Encryption Standard (AES) encrypted radio packets from and to the sensors/actuators. The PCBs and the firmwares for the base station and all Smarthomatic devices are freely available under the General Public License (GPL). At the moment the following sensors/actuators are available:

- environment sensor for measuring light, temperature, pressure, and humidity,
- a power switch actuator for switching 230V devices,
- a RGB dimmer for three Light Emitting Diodes (LEDs) as well as
- a Soil Moisture Meter.

All Smarthomatic devices are powered by an ATmega 328P micro-controller from Atmel [10] running at 20MHz. Figure 1.3 displays the pin layout of this kind of micro-controller. The interesting pins are PDO, PD1 for RS232 communication and PC4, PC5 for I2C communication. RS232 is used for debugging during development and different kinds of sensor ICs can be connected to the I2C bus. The ATmega 328P features 32kb of program memory, 1kb EEPROM, and 2kb internal SRAM. The EEPROM is used for the configuration data for each device. Table

2.1 shows the different configuration data sizes for three Smarthomatic devices. Configuration data for these devices consist among others of:

- a unique identifier for radio communication,
- an 256bit AES key,
- the device type and
- wakeup time for acquiring sensor data and transmitting it.

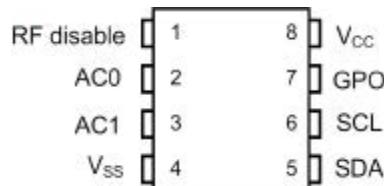


Figure 2.1: Pin layout of a M24SR02-Y NFC chip from ST Microelectronics

Table 2.1: Configuration data sized for three Smarthomatic devices

Device Type	Size
Base station	578 Bytes
Environment sensor	286 Bytes
Power switch	93 Bytes

The devices are configured by flashing the configuration data into the EEPROM using an In System Programmer (ISP), an external device connected to a host computer and the microcontroller.

2.2 NFC

Near Field Communication (NFC) is a radio standard for communicating between devices in a close proximity based on Radio-Frequency Identification (RFID). The distance between devices using NFC is in general only a few centimeters and the maximum transfer rate is 424 kbit/s. NFC uses the 13.56 MHz frequency range. Common applications for NFC are:

- cashless payment systems,
- electronic tickets,
- access control and
- two factor authentication.

NFC devices can be divided into active and passive devices. The active devices are actively powered by a connected power source and can read or write from/to passive devices. The passive devices are also called tags. They are powered from the active devices at the moment data is transferred between them using induction. Tags have an embedded memory chip, which can hold anything from a simple id up to some kilobytes of data. A more thorough introduction to NFC is given by Coskun, Ok and Ozdenizci [11].

For the prototype system the M24SR02-Y NFC chip from STMicroelectronics [12] is selected. It implements a NFC/RFID tag with 2Kbit EEPROM. In addition to the radio interface the M24SR02-Y features an I2C interface working at up to 1MHz transmission clock. It is compatible to the I2C interface of the ATmega 328P. The tag supports NFC Forum Type 4 tag operations [13] based on the ISO/IEC 14443 [14] standard. The 2kbit memory on the M24SR02-Y can be read/written from the radio interface, but also from the I2C interface. It can be used as a

bridge between NFC and the micro-controller firmware. The 2kbit memory size is a small limitation because the configuration data size of the Smarthomatic environment sensor does not fit into it completely. But this is no problem for the prototype system because we can limit the configuration data, which should be configurable through NFC. A later prototype can use multiple NFC messages to overcome the size limitation. Figure 2.1 displays the pin-layout of the M24SR02-Y. In addition to the I2C and radio-frequency interface it also supports a General Purpose Input Output (GPIO) pin, which indicates newly received data and a pin for disabling the radio-frequency interface.

2.3 The Prototypical Sensor Device

At a first step the prototype is implemented on a pinboard.

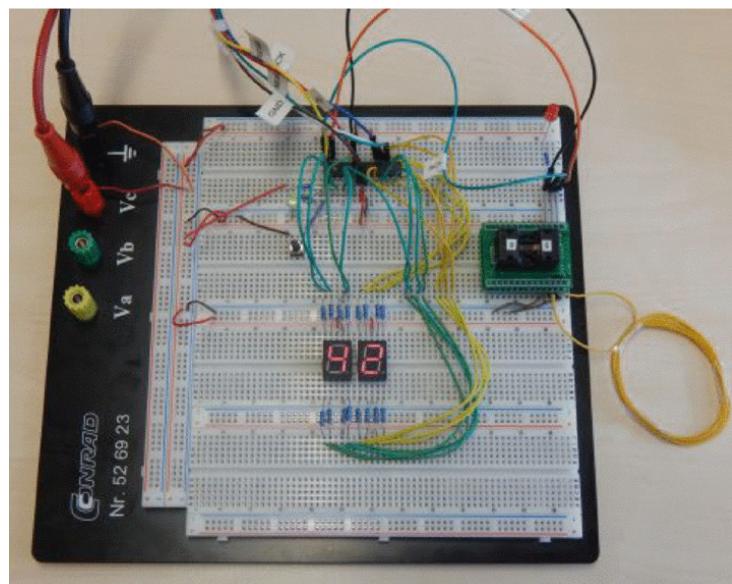


Figure 2.2: Prototype system on a pinboard. The yellow wire on the far right side is the NFC antenna. The two seven segment displays show the currently configured sensor id (in this case 42).

Figure 2.2 shows this pinboard. The ATmega 328P is placed at the top of it. The ATmega runs the extended firmware of an Smarthomatic environment sensor. The larger structure on the right is the M24SR02-Y in an SMD package adapter. The NFC antenna is the yellow cable on the right side of the M24SR02-Y. The two seven segment displays show the currently configured network id of the environment sensor. It changes every time a new id is configured through the NFC tag.



Figure 2.3: Prototype NFC board. The red wire on the left is the antenna.

2.4 The Android Application

The mobile phone application for configuring the Smarthomatic sensors through NFC is written for the Android Operating System (OS). Android and Apples IOS, are the most widely spread smart phone OSs today. Java is the programming language for most Android applications and a lot of support material is available on the Internet. Because of the low barrier for application development, Android is chosen as the OS for the prototype application.

The application itself is clearly structured. The main activity is displayed at the start of the application. It presents no real information, but through selecting the typical Android application menu the user can choose between showing all sensor/actuator devices stored in the database and adding a device. Figure 2.4 shows the activity to add a device.

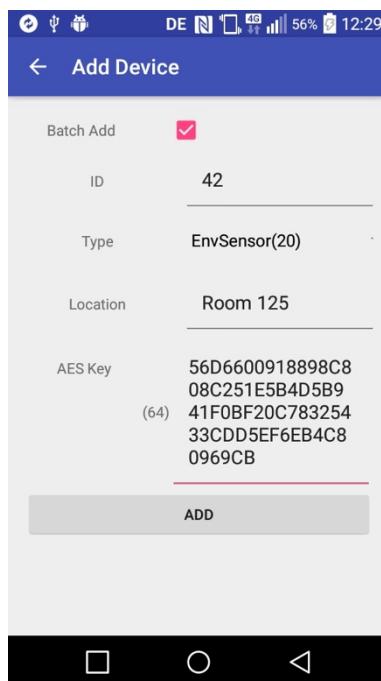


Figure 2.4: The Android application sensor add activity. An environment sensor with id 45 and a 128bit AES key is about to be added.

Table 2.2: Exported list of configured devices. Sensors are distributed throughout three rooms, are environmental sensors (type 20) and all have the same AES key

ID	Type	Location	AES Key
10	20	Room 1	2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF
20	20	Room 1	2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF
30	20	Room 2	2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF
40	20	Room 2	2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF
50	20	Room 3	2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF
60	20	Room 3	2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF
70	20	Room 3	2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF2ABC345CF64A23FD65BC298643FD56EF

At the moment configuring the wireless network id, the type of the device, its location, and a 128/256 bit key can be stored into the application database. After storing the data it can be transferred to the sensor/actuator by just holding the phone directly above it. The information about the configured devices can be exported into a CSV file. An example file is displayed in Table 2.2. All the configured information can be exported and for example important in a central database.

3 Analysis

The prototype implements the proposed NFC configuration interface. It is able to configure the environmental sensor and reread the configuration. But a remaining interesting question is: is the communication fast enough to be usable in a day by day scenario?

Measurements were conducted in order to evaluate this. They show that the communication time is in the tens of milliseconds and thus short enough for a human being to configure a sensor/actuator device even standing on a ladder holding the smart-phone in one hand.

The measurement setup consists of the prototype and an Android smart-phone with the described application. The measurement is done the moment the Android phone recognizes the NFC chip and starts the transfer until the ATmega 328P has read all the data from the chip by I2C.

Table 3.1: Latency measurement for writing 246 bytes in a single command within the prototype setup

Nr.	I ² C (50kHz)	I ² C (400kHz)
1	159.86ms	19.76ms
2	159.78ms	19.75ms
3	159.71ms	19.74ms
4	159.73ms	19.74ms
5	159.78ms	19.73ms

Table 3.1 shows the first 5 measurement rounds using 50kHz and 400 kHz I2C clock. The 50 kHz clock is the standard clock used by the Smarthomatic system while 400 kHz is the maximum possible clock speed for the ATmega if running at 20 MHz. 246 bytes of data are transferred in one NFC message. The average measured communication latency for a 50 kHz clock is 159.77 ms with an average data rate of 12.4 kbit/s. For a 400 kHz clock the average measured communication latency is 19.74 ms with an average data rate of 100.1 kbit/s.

At a later development stage it can become important to transfer all the configuration attributes to the device by NFC. Looking at the configuration data sizes in Table 2.1 and the maximum transfer size of 246 bytes within one NFC message it becomes obvious that in some cases at least two messages are required.

Table 3.2: Latency measurement for writing 250 bytes in two commands within the prototype setup

Nr.	I ² C (50kHz)	I ² C (400kHz)
1	265.09ms	32.67ms
2	265.54ms	32.52ms
3	265.19ms	32.75ms
4	265.57ms	32.78ms
5	265.48ms	32.75ms

The results of the measurement of that scenario are displayed in Table 3.2. For transferring 250 bytes payload with two NFC messages using a I2C clock of 50 kHz the average communication latency is 265.37 ms and the average data rate is 7.5kbit/s. For a 400 kHz clock the average measured communication latency is 32.69 ms with an average data rate of 61.2 kbit/s. Even, if there are only transferred 250 bytes payload, two full sized NFC messages are transmitted. So the data rate will improve if more payload is transferred.

A first evaluation of this solution in the field showed that a handyman wearing gloves was able to easily reconfigure embedded devices augmented with the proposed NFC part.

The only obvious restraint is the maximum tolerated distance to initiate the process, which is about 10 centimeters. If this crucial distance is exceeded, the connection is not established and thus no configuration accomplished.

The reconfiguration process was quicker than the movement of the hand, i.e., it was not possible to induce configuration errors by quickly pulling the hand holding the smartphone away as the configuration process was already finished before leaving the 10 cm range. The prototypical Android app was usable due to its simplicity on the configuration screen. Data is automatically entered so the user has only to press the “add” button (see Fig. 7).

4 Conclusion

This paper proposes to use common smart phones and their NFC functionality to configure sensor and actuator devices in the field. Due to the popularity of smart phones even untrained personnel can use a simple app to set an id and possibly an AES key in order to secure the wireless connection of the device. For demonstration purposes, such an app was developed as well as a prototypical Smarthomatic sensor board extended by an NFC chip. First measurements show that this solution is usable in the field.

5 References

- [1] J. Haase, G. Zucker, M. Alahmad: Energy efficient building automation: a survey paper on approaches and technologies for optimized building operation. In: Industrial Electronics Society, IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE, pp. 5350-5356. DOI: 10.1109/IECON.2014.7049317, 2014.
- [2] K. Gravogl, J. Haase, C. Grimm: Choosing the best wireless protocol for typical applications. 24th International Conference on Architecture of Computing Systems (ARCS), 2011.
- [3] W. Diffie, M. E. Hellman: New directions in cryptography. Vol. 22, no. 6, pp. 644-654, 1976.
- [4] E. Perret, R. Nair, E. Bel Kamel, A. Vena, S. Tedjini: Chipless rfid tags for passive wireless sensor grids. General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), XXXIth URSI, pp. 1-4, 2014.
- [5] S. Shrestha, M. Balachandran, M. Agarwal, V. Phoha, K. Varahramyan: A chipless rfid sensor system for cyber centric monitoring applications. Vol. 57, no. 5, pp. 1303-1309, May, 2009.
- [6] D. Serfass, K. Yoshigoe: Wireless sensor networks using android virtual devices and near field communication peer-to-peer emulation. In: Southeastcon, 2012 Proceedings of IEEE, Mar. 2012, pp. 1-6. DOI: 10.1109/SECon.6196980, 2012.
- [7] A. Matos, D. Romao, P. Trezentos: Secure hotspot authentication through a near field communication side-channel. In: Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2012 IEEE 8th International Conference on, Oct. 2012, pp. 807-814. DOI: 10.1109/WiMOB.2012.6379169, 2012.

- [8] J. Haase, D. Meyer, M. Eckert, B. Klauer: Wireless sensor/actuator device configuration by NFC. 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Taipei, pp. 1336-1340, doi: 10.1109/ICIT.2016.7474950, 2016.
- [9] U. Freese, Smarthomatic, [online]
<http://www.smarthomatic.org>/21.06.2015.
- [10] Atmel, Data sheet atmega48pa/88pa/168pa/328p, [online]
<http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>.
- [11] V. Coskun, K. Ok, B. Ozdenizci: Near Field Communication (NFC): From Theory to Practice, John Wiley & Sons, 2011.
- [12] STMicroelectronics, Data sheet dynamic nfc/rfid tag ic m24sr02-y, 09, [online]
<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00097458.pdf>, 2015.
- [13] N. F. Forum, Type 4 tag operation specification: technical specification, 09, [online] Available: http://apps4android.org/nfc-specifications/NFCForum-TS-Type-4-Tag_2.0.pdf, 2015.
- [14] Bitmanufaktur GmbH, Iso14443 - openpcd, 09, [online] <http://www.openpcd.org/ISO14443>, 2014.

Zur Wirkungsweise partizipativer Verfahren in technischen Entwicklungsprozessen

S. Buchmüller, S. Maaß, C. Schirmer

Universität Bremen, Fachbereich 3 Mathematik/Informatik,
Bibliothekstraße 1, 28359 Bremen
sandra8uchmueller@gmail.com, maass@informatik.uni-bremen.de,
schirmer@informatik.uni-bremen.de

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird nachvollzogen, wie der Einsatz von Verfahren der partizipativen Softwareentwicklung – Cultural Probes, Interviews, Personas, Szenarien und Prototyping – eine allmähliche Veränderung des ursprünglichen Gestaltungsziels herbeigeführt hat. Diese Beobachtung resultiert aus dem Project ParTec, in dem die benannten Methoden daraufhin untersucht und bewertet wurden, inwiefern sie geeignet sind, in Kooperation mit älteren Menschen Gestaltungslösungen nach ihren Vorstellungen zu entwickeln. Als exemplarischer Anwendungsfall wurde der Entwurf einer Nachbarschaftshilfeplattform gewählt, dessen ursprüngliche Ausrichtung sich im Laufe des Projektes unerwartet veränderte.

Abstract

“Effects of Participatory Techniques in Software Development“

This contribution describes how the use of participatory design techniques – Cultural Probes, Interviews, Personas, Scenarios, and Prototyping – has led to a subtle change in the goals the technology should be suited for. This is a result of the Project ParTec that explored the suitability of these techniques for design with elderly people. The development of a neighborhood platform was chosen as an example. In the course of the design process the design goals for the neighborhood platform were partly changed through the participants' influence.

Keywords: participatory design, software development, senior citizens, diversity, neighborhood platform

1 Technikentwicklung für Ältere

Im Zuge des demografischen Wandels nimmt die HCI-Forschung zunehmend ältere Menschen als Techniknutzende in den Blick [1, 2]. Im Bereich technischer Assistenzsysteme orientiert sich die Entwicklung meist an negativen Vorstellungen vom Altern, stellt kognitive und physische Defizite in den Vordergrund und setzt Alter mit Hilfsbedürftigkeit gleich. Viele Entwicklungsprojekte folgen einer technikgetriebenen Perspektive. Das führt häufig dazu, dass die Produkte von der Zielgruppe nicht akzeptiert werden. Diejenigen, die mit einer Technikentwicklung für Ältere erreicht werden sollen, fühlen sich gar nicht angesprochen. Sie empfinden sich selbst nicht als alt oder grenzen sich bewusst von den negativen Gesellschaftsbildern des Altseins ab [3].

Um zu zielgruppen- und bedarfsgerechten Lösungen zu kommen, bemühen sich Projekte zunehmend um eine direkte Beteiligung von älteren Nutzer_innen am Technikentwicklungsprozess [4] und stellen ihre Wünsche, Fähigkeiten und Ressourcen in den Mittelpunkt [5, 6]. Das erfordert auch den Einsatz besonderer Methoden und ihre Anpassung an die jeweiligen

Nutzer_innen, damit diese ihre Anforderungen den Entwickler_innen gegenüber zugänglich und verständlich machen können. Es gibt zahlreiche Verfahren zum Nutzer_inneneinbezug, doch findet eine detaillierte Reflexion ihrer Wirkungsweise im technischen Gestaltungsprozess kaum statt.

Unter diesem Gesichtspunkt betrachten wir das hier vorgestellte Projekt „ParTec: Partizipatives Vorgehen bei der Entwicklung von Technologien für den demografischen Wandel“¹. Im Projekt ging es um die Untersuchung und Bewertung von Verfahren der partizipativen Softwareentwicklung im Hinblick auf ihre Eignung für eine Verständigung und gleichberechtigte Zusammenarbeit mit älteren Menschen.

Die Auswahl und Anwendung der Verfahren sollte folgendes leisten:

- die Bedarfe von älteren Menschen ermitteln und verstehen lernen,
- sie für ihre eigene Situation und für technische Möglichkeiten sensibilisieren,
- Anforderungen gemeinsam bestimmen,
- Ideen für die Gestaltung generieren sowie
- die ermittelten Anforderungen und Ideen angemessen umsetzen.

Die folgende Abbildung 1.1 gibt eine Übersicht über die während der Entwicklungsphasen eingesetzten Methoden.

Kooperationsschritte mit den Teilnehmenden und angewendete Verfahren	
Alltags- und Anforderungsanalyse	Selbstaufschreibung mit Cultural Probes, anschließend Interviews
	Werkstatt 1: Personas und Szenarien („Ruhestandsgeschichten“)
	Werkstatt 2: Metaphors Spiel
Gestaltung und Evaluation	Werkstatt 3: Papierprototyping mit Szenarien („Portalgeschichten“)
	Werkstatt 4: Geführter Spaziergang durch den digitalen Prototyp (Demonstrator)

Abbildung 1.1: Der partizipative Technikentwicklungsprozess

Ausgehend von der Einschätzung, dass soziale Netze beginnend mit dem Ruhestand brüchig werden, ältere Menschen zunehmend Unterstützung benötigen, in vielen Bereichen aber auch selbst Hilfe leisten können und wollen, wurde als exemplarischer Anwendungsfall eine digitale Nachbarschaftshilfeplattform gewählt. Das Projekt kooperierte mit sogenannten „jungen Älteren“, die den Übergang in die neue Lebenslage gerade erlebt hatten. 15 Personen (11 Frauen und 4 Männer) im Alter zwischen 57 und 79 Jahren nahmen teil.

Der Plattform lag zu Projektbeginn die Idee zugrunde, dass sich Hilfsbedürftige und Hilfswillige entsprechend ihren Fähigkeiten und Interessen miteinander vernetzen sollten. Dabei sollte es um die wechselseitige Unterstützung im Alltag, z.B. beim Einkaufen, im Haushalt, bei der Kinderbetreuung oder bei Behördengängen gehen. Im Hinblick auf die Unterstützung von „digitalen“ Tätigkeiten wie Informationssuche im Internet, Kontaktpflege mittels digitalen Medien, Abwickeln von Vorgängen über den PC oder mobile Endgeräte wurde insbesondere an eine Vernetzung zwischen der jüngeren und älteren Generation gedacht. Durch die

¹ Das Projekt wurde durch das BMBF unter der Nummer 16SV7186 gefördert.

Zusammenarbeit mit den Teilnehmer_innen veränderte sich jedoch – wie im Folgenden berichtet werden soll – die Ausrichtung der Plattform. Nicht mehr die Idee der intergenerationalen Vernetzung zur wechselseitigen Unterstützung im Alltag stand im Vordergrund, sondern das Interesse, sich seiner eigenen Lebenslage bewusst zu werden sowie sich über den Austausch mit Gleichgesinnten – anderen Menschen in derselben Lebenslage – für die aktive Gestaltung des Ruhestands inspirieren zu lassen.

Vor diesem Hintergrund werden die in ParTec erprobten partizipativen Verfahren und ihre spezifische Umsetzung daraufhin untersucht, wie sie dazu beigetragen haben herauszufinden, was Menschen im Ruhestand von einer Nachbarschaftsplattform wirklich wollen und wie diese dafür gestaltet werden muss. Dabei spielt die Art und Weise der Beteiligung, die das jeweilige Verfahren ermöglicht.

2 Partizipative Softwareentwicklung für bedarfs- und zielgruppengerechte Gestaltung

Der Ansatz der partizipativen Softwareentwicklung geht – neben seiner ursprünglichen Ausrichtung auf eine Demokratisierung der Arbeitsgestaltung – davon aus, dass es notwendig ist, mit den späteren Nutzer_innen zu kooperieren, um zielgruppen- und bedarfsgerechte Produkte zu gestalten [7]. Der Ansatz basiert auf der Überzeugung, dass Menschen Expert_innen ihres jeweiligen (Arbeits-)Alltags sind und somit zum Entwicklungsprozess beitragen können. Partizipative Verfahren wurden ursprünglich für Arbeitskontakte entwickelt. Ihre Übertragung auf die wesentlich weniger klar strukturierten Handlungskontexte und –abläufe im Alltag stellt eine besondere Herausforderung dar.

Routinierte Handlungen, egal ob sie sich am Arbeitsplatz oder im privaten Alltag vollziehen, laufen automatisch ab. Das ihnen zugrundeliegende Wissen ist mit den alltäglichen Handlungspraxen verwoben. Sanders spricht in diesem Zusammenhang von „*tacit knowledge*“ [8], das durch reine Befragungen nicht zu Tage tritt. Um herauszufinden, welche Unterstützung Menschen wirklich brauchen, bedarf es wirkungsvoller Verfahren, die dieses Wissen sowie die verborgenen Wünsche zugänglich machen. Erst auf dieser Grundlage können mit ihnen gemeinsam Vorstellungen von zukünftigen Möglichkeiten entwickelt werden.

Brandt et al. [9] plädieren für eine Kombination verschiedener Verfahren, um einen gemeinsamen Handlungsräum – bei Muller & Druin [10] „*Third Space*“ genannt – für alle Beteiligten zu schaffen: das Erzählen von Geschichten (*tell*), das Herstellen von Dingen (*make*) und das Ausagieren bzw. spielerische Explorieren zukünftiger Möglichkeiten (*enact*). Implizites Alltagswissen und latente Wünsche werden dadurch zugänglich und für alle Beteiligten sichtbar und verhandelbar. Die Akteure können sich über verschiedene Wissensdomänen und Disziplinen hinweg austauschen und neue Sichtweisen auf Bekanntes einnehmen. Die Entwicklung von Ideen und zukünftigen Möglichkeiten wird gefördert und ihre Effekte werden antizipiert, sodass sie gemeinsam bewertet werden können und darüber entschieden werden kann.

Im Folgenden beziehen wir uns auf die analytische Kategorisierung der Beteiligungsformen als „*tell, make, enact*“ [9], um die Wirkungsweise der im ParTec Projekt eingesetzten Methoden darzustellen. Damit wird beschrieben, wie gemeinsam ein Verständnis der Anforderungen an eine Nachbarschaftsplattform erarbeitet und sukzessiv ein gestalterischer Richtungswechsel im Projekt eingeleitet wurde.

3 Partizipation in ParTec und ihre Auswirkungen auf die Gestaltung

Zu Beginn des Entwicklungsprozesses ergab die Auswertung sozialwissenschaftlicher Literatur und zweier Interviews mit Expertinnen für Vorsorgemaßnahmen im Alter und für Nachbarschaftshilfe, dass der abnehmenden sozialen Vernetzung im Alter frühzeitig entgegengewirkt werden sollte. Die weiteren Schritte im ParTec Prozess (Abbildung 1.1) halfen, die Bedarfe und Wünsche von Menschen im Ruhestand zu entdecken, gemeinsam mit ihnen Vorstellungen von zukünftigen Möglichkeiten zu entwickeln und diese bei der Gestaltung einer Nachbarschaftsplattform umzusetzen.

3.1 Cultural Probes mit Interviews: Ruhestand erzählen und verstehen

Als erster Schritt in der Anforderungserhebung eignen sich ethnografische Verfahren zur Beobachtung und Befragung. Cultural Probes sind individuelle Selbstbeobachtungswerkzeuge: Materialien, die durch Aufgaben und Fragen dazu anregen, die eigene Situation und Verhaltensweisen zu betrachten und zu dokumentieren. Gaver et al. [11] führten Cultural Probes ursprünglich zur Inspiration im Design ein. In der HCI-Forschung werden sie inzwischen primär als Kommunikations- und Erhebungswerkzeug eingesetzt, um die Alltagswelt von Menschen zu erschließen, die nicht unmittelbar beobachtet werden kann [12, 13]. Sie eröffnen neue Sichtweisen auf Bekanntes und führen auf diese Weise zu einer Sensibilisierung der sich selbst beobachtenden Personen.

Die Selbstbeobachtungsaufgaben, die im Projekt ParTec auf der Grundlage zuvor definierter Forschungsfragen entwickelt wurden, leiteten die Alltags- und damit auch die Anforderungsanalyse ein. Sie regten die Teilnehmenden zwei Wochen lang dazu an, über ihren Ruhestandsalltag nachzudenken und ihn zu dokumentieren (tell). Bei den anschließenden ein- bis zweistündigen Einzelinterviews dienten die Cultural Probes als Gesprächsgrundlage, um uns mit den Teilnehmenden über ihre aktuelle Lebenssituation zu verständigen. Dabei ging es um Lebenswege, Einstellungen zum Ruhestand, Tagesaktivitäten, soziale Kontakte, Stärken und Schwächen, Techniknutzung im Alltag, Wünsche für die Zukunft und das Verhältnis zur jüngeren Generation.

Die Ergebnisse zeigten, dass die beteiligten Ruheständler_innen sozial engagiert, kulturell interessiert und sportlich aktiv sind. Sie verfügen über Computer und betrachten technische Entwicklungen – meistens wurden Computer, Unterhaltungs- und Haushaltselektronik genannt – grundsätzlich als Erleichterungen im Alltag. Digitalen sozialen Netzwerken standen jedoch alle skeptisch gegenüber.

Die Bearbeitung der Cultural Probes führte bei den Teilnehmenden zu überraschenden Selbsterkennissen: Einigen wurde bewusst, wie ausgefüllt ihr Alltag ist und wie viele soziale Kontakte sie haben, während anderen deutlich wurde, wie mühsam es ist, Kontakte aufrechtzuerhalten, neue Bekanntschaften zu machen oder auch eine sinn- und identitätsstiftende Beschäftigung und Tagesstruktur nach dem Ende der Berufstätigkeit zu finden. Entgegen unserer anfänglichen Annahme, dass eine Vernetzung zwischen älteren und jüngeren Menschen notwendig sei, kristallisierte sich an dieser Stelle bereits heraus, dass sich die Teilnehmer_innen vor allem mehr Kontakt und Austausch mit Gleichaltrigen wünschten.

3.2 Personas: Verschiedene Perspektiven einnehmen

Personas werden in Softwareentwicklungsprojekten genutzt, um sich über die jeweilige Zielgruppe zu verständigen [14]. Ihr Einsatz dient häufig dazu, die Mitwirkung realer Nutzer_innen

zu ersetzen; in partizipativen Projekten können sie als Kommunikationsmittel zwischen Nutzer_innen und Entwickler_innen verwendet werden. Ihre Modellierung sollte auf empirischen Daten basieren.

Im ParTec Projekt wurden vier Ruhestands-Personas entwickelt, die sich im Hinblick auf ihre soziale Vernetzung, finanzielle Ressourcen, körperliche Verfassung, technische Ausstattung und Zufriedenheit mit ihrer Lebenssituation unterschieden. Dabei wurden die aus den Cultural Probes und Interviews erhobenen Wünsche, Einstellungen und Ziele von den jeweiligen Teilnehmenden abgelöst und neu zusammengesetzt sowie um Aspekte aus Studien zum Altern [15, 16] ergänzt. Auf diese Weise konnten auch Gender- und Diversity-Aspekte in den Blick gerückt werden, die in der Gruppe der Teilnehmer_innen nicht vertreten waren. In einer Persona wurde z.B. der Aspekt der Altersarmut berücksichtigt, die besonders Frauen im Ruhestand betrifft. In einer anderen Persona wurden eine geringe Techniknutzungskompetenz bzw. fehlende Ausstattung mit Technik abgebildet sowie körperliche Einschränkungen berücksichtigt, die die Mobilität und soziale Vernetzung erheblich beeinträchtigen. Die Personas wiesen somit eine höhere Heterogenität auf als unsere Teilnehmer_innen, wodurch auch marginalisierte Lebenslagen sichtbar und verhandelbar wurden.

In Werkstatt 1 dienten die Personas den Teilnehmer_innen als Identifikationsfolie [17] und im Austausch mit uns als Kommunikationsmittel. Die Teilnehmer_innen konnten die Perspektive der Personas einnehmen, ihre eigenen Wünsche oder Gefühle auf sie projizieren oder sich von Verhaltensweisen und Charakterzügen distanzieren, ohne sich im Gespräch persönlich in den Mittelpunkt zu stellen. Auf diese Weise konnten verschiedene Rollen und Sichtweisen eingenommen (enact), erprobt und diskutiert werden. Die Darstellung der Personas als Zeichnungen betonte ihre Funktion als Schablonen, die im Gespräch übernommen oder modifiziert werden konnten.

3.3 Szenarien: Geschichten erzählen und durchleben

Szenarien sind alltagssprachliche Geschichten, als Akteure werden häufig Personas genutzt. Sie dienen als Ist- oder Soll-Szenarien der Beschreibung existierender oder zukünftiger Abläufe [18]. Szenarien schildern Nutzer_innen, ihre Ziele und ihr Verhalten in bestimmten Kontexten und Situationen. Anders als stark formalisierte Use Cases oder User Stories greifen Szenarien die Sprache und Vorstellungswelt von Nutzer_innen auf und erleichtern so die Verständigung mit ihnen.

Im ParTec Projekt wurden als Ist-Szenarien sog. Ruhestandsgeschichten formuliert und als Storyboards präsentiert (Abbildung 3.1). Darin wurden die Alltagsthemen und -probleme verarbeitet, die aus den Cultural Probes und Interviews hervorgegangen waren. In jeder Geschichte stößt eine Persona auf ein Problem, das eine Vernetzung mit anderen erforderlich macht. In Werkstatt 1 vollzogen die Teilnehmer_innen in kleinen Gruppen die Geschichte nach und diskutierten, wie die „Lücke“ in der Geschichte zu füllen sei. Die visualisierten Geschichten eröffneten einen Raum, in dem alle Position beziehen, sich ausdrücken (tell) und Lösungsszenarien durchspielen konnten (make, enact). Dabei entstanden sowohl analoge als auch digital unterstützte Lösungswege.

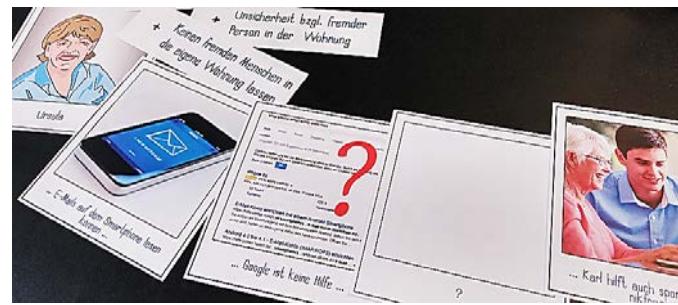


Abbildung 3.1: Wie findet Ursula jemanden, der hilft?

Bei der Verdichtung der Ergebnisse aus der Selbstbeobachtungsphase und Werkstatt ergab sich erwartungsgemäß der Wunsch nach Geben und Nehmen; ansonsten dominierten die Themen Selbstreflexion, Ruhestand und Älterwerden, Kontakte knüpfen und pflegen, sich unterhalten und inspirieren lassen (Abbildung 3.2). Diese Ergebnisse wurden in Werkstatt 2 mit Hilfe des Kreativverfahrens „Metaphors“ [19] abgesichert und erweitert und bildeten die Basis für die anschließende Gestaltungsphase.



Abbildung 3.2: Wünsche der Teilnehmer_innen

3.4 Papierprototyping mit Szenarien: Plattformkonzepte erleben und weiterdenken

Papierprototypen führen die grafische Oberfläche einer Software und den Umgang damit skizzenhaft vor Augen. Relevante Funktionalitäten werden angedeutet, dynamisch im Zuge einer Interaktion aufgerufene Informationen werden durch weitere Skizzen dargestellt. So lässt sich bereits in einem frühen Entwicklungsstadium das angedachte Design und die Interaktionsgestaltung mit potentiellen Nutzer_innen besprechen [20].

In ParTec wurden für die Werkstatt 3 Papierprototypen entwickelt. Ihre Nutzung wurde eingebettet in Portalgeschichten als Soll-Szenarien, die die bekannten Ruhestandsgeschichten neu erzählten: Nun nutzten die Personas eine Nachbarschaftsplattform. Gegenstand der Portalgeschichten und Papierprototypen waren die zuvor ermittelten Themenschwerpunkte. Sie zeigten, wie eine Plattform dazu beitragen kann, die eigenen Fähigkeiten und Interessen besser kennenzulernen, sich von anderen inspirieren zu lassen, Neues zu entdecken, mit anderen in Kontakt zu treten sowie Inhalte in Form von Angeboten oder Gesuchen einzustellen.

Zu zweit oder zu dritt wurden die Teilnehmenden durch die Geschichten geführt und zugleich anhand der Papierprototypen mit den Konzepten der Plattform bekannt gemacht. An vorher festgelegten Stellen wurden sie zur weiteren Gestaltung befragt: Welche weiteren Informationskategorien könnten sie sich vorstellen? Was würden sie anderen Personen im Portal von sich zeigen wollen? Welche Kommunikationsform würden sie wählen, um sich im Portal mit anderen zu verbinden? Der Portalgeschichte folgend schlüpften die Teilnehmenden in die Rollen verschiedener Personas (enact) und erlebten dadurch die Konsequenzen der eigenen Designvorschläge aus verschiedenen Perspektiven. Dadurch konnten sie genauer benennen (tell), was sie wollten und was nicht.

Der unterschiedliche Detailgrad der drei Papierprototypen wirkte sich auf die Beteiligung aus. Während sehr offene Fragen nach Gestaltungsvorschlägen zu abstrakten Diskussionen statt zu konkreten Lösungen führten, hemmte eine zu detaillierte Ausgestaltung offenbar, eigene Ideen zu entwickeln. Trotz der Bereitstellung von Papier, Schere und Stiften beteiligten sich die meisten Teilnehmer_innen eher durch sprachliche Kommentare an der Gestaltung (make), die wir als Forscher_innen stellvertretend aufgriffen, bildlich skizzierten oder auch notierten.

Die Diskussionen, die in Werkstatt 3 zur Gestaltung geführt wurden, bezogen sich primär auf die Themen Vertrauen sowie Kontrolle und selbstbestimmter Umgang mit den eigenen Daten (Abbildung 3.3). Anhand von Gestaltungsvorschlägen, die die Kontaktaufnahme zu unbekannten Mitgliedern der Plattform betrafen, stellte sich z.B. heraus, dass die Teilnehmer_innen großen Wert darauf legten, differenziert zu bestimmen, wem gegenüber sie welche Informationen über sich selbst preisgeben. Es wurde erneut deutlich, dass sie sich wünschten, dass die anderen Nutzer_innen der Plattform Menschen in einer ähnlichen Lebenslage wie sie selbst wären.

A hand-drawn paper prototype of a user profile form. At the top left is a small portrait of a woman. To the right are fields for 'Vorname' (Christiane) and 'Nachname' (Neumann), both with checked boxes. Below that is a 'Beschreibung' section containing three text boxes with German text: 'Ich möchte, dass Young, viele Infos im Leben und Werken mehrere nach Werten sprechen.', 'Ich möchte im Rahmen und habe eine Kreise.', and 'Ich möchte, dass es keine Angaben gibt, ob ich eine Frau bin.' Underneath these are sections for 'Adresse' (Braunschweiger Str. 124), 'Interessen' (Young, Kino, Reisen, Natur, Kulisse, Fahrradfahrer), and 'Kontaktmöglichkeiten' (Chat, Email). At the bottom left is a field 'Mit wem teilen?' with the name 'Petra' written in it, and at the bottom right is a button labeled 'Teilen'.

Abbildung 3.3: Papierprototyp: Sichtbarkeit eigener Daten

3.5 Digitaler Prototyp: Interaktive Plattform erleben

Digitale interaktive Prototypen werden in der Softwareentwicklung vorwiegend dazu eingesetzt, die Benutzungsfreundlichkeit eines in Realisierung befindlichen Systems mit Nutzer_innen zu testen. Im Unterschied dazu wurde der digitale Prototyp im ParTec Projekt als Demonstrator entwickelt, um zu überprüfen, inwieweit die partizipativen Verfahren dem Projektteam ein gutes Verständnis der Wünsche der Teilnehmer_innen ermöglicht hatten und die Gestaltung ihren Anforderungen entsprach.

Der Demonstrator wurde auf der Basis der Ergebnisse von Werkstatt 3 als datenbankgestützte Webapplikation programmiert. Die bekannten Personas existierten auch in der Plattform und hatten Einträge hinterlassen. Die Inhalte entsprachen den Interessen der Teilnehmer_innen.

Auch die große Bedeutung der Selbstbestimmung über die eigenen Daten schlug sich im Prototyp nieder: Abbildung 3.4 zeigt Möglichkeiten zur individuellen Einstellung der Sichtbarkeit von persönlichen Daten.

The screenshot shows a user interface for managing personal data visibility. At the top, there is a note: "Sie können Ihre Angaben für andere Nachbarn des Netzwerks sichtbar machen. Wählen Sie dazu die Person aus und klicken Sie dann auf das Auge rechts neben der Angabe." Below this, a dropdown menu says "Wie sieht mein Profil aus für:" followed by "Kontakte" and "Christiane".

Informationen über mich

Profile picture placeholder: @ Partec
Text input field: Erzähle etwas über dich...

Fields with visibility icons:

- Vorname: Peter (eye icon)
- Nachname: Müller (eye icon)
- Straße: Seestraße (eye icon)
- Nr.: 5 (eye icon)
- PLZ: 28777 (eye icon)

Meine Kontaktmöglichkeiten

E-Mail: peter@mueller.com (eye icon)
Telefon: 123343154 (eye icon)

Buttons at the bottom: Abbrechen (grey), Speichern (red).

Legend at the bottom left: = sichtbar für andere = unsichtbar für andere

Abbildung 3.4: Sichtbarkeit individuell einstellbar

In Werkstatt 4 wurden die Teilnehmer_innen bei einem „Spaziergang“ durch die Plattform angeleitet, in der Rolle einer Persona Aufgaben auf der Plattform zu erfüllen oder selbst als Nutzer_in zu agieren (enact) und dabei laut zu denken. Jeweils zwei Personen teilten sich Tastatur und Maus und mussten sich dabei absprechen. Die Moderator_in befragte sie, inwieweit sie ihre im partizipativen Prozess entwickelten Vorstellungen realisiert sahen und sich somit im Sinne einer „Ownership“ [21] mit der Gestaltung identifizieren konnten.

Die Teilnehmer_innen waren mit dem Ergebnis des gemeinsamen Analyse- und Gestaltungsprozesses sehr zufrieden. Sie fühlten sich verstanden und sahen ihre Ideen im digitalen Prototyp umgesetzt. Anhand des Demonstrators konnten sie sich nun konkret vorstellen, was eine digitale soziale Plattform für sie leisten könnte. Im Vergleich zu Werkstatt 3 fielen ihre kritischen Stellungnahmen und Verbesserungsvorschläge zu den präsentierten Gestaltungslösungen deutlich selbstbewusster aus – ein Indiz dafür, dass die Beteiligten die Rolle von Mitgestaltenden angenommen hatten.

4 Fazit

Die im Projekt ParTec ausgewählten partizipativen Verfahren haben in ihrer Kombination und Ausgestaltung unterschiedliche Beteiligungsformen für die Teilnehmer_innen geboten. Im Wechsel zwischen gemeinsamer Arbeit und Phasen der Auswertung und verdichtenden Aufbereitung im Projektteam konnten wir uns über den Ruhestandsalltag verstündigen, die Wünsche

und Bedarfe der Teilnehmer_innen zu Tage fördern und gemeinsam Anforderungen und Gestaltungskonzepte herausarbeiten, die zu einem Ergebnis nach ihren Vorstellungen führten.

Das Erzählen von Geschichten (tell) auf der Grundlage der Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Selbstbeobachtung versetzte die Teilnehmer_innen in die Lage, ihre eigene Rolle zu betrachten, sich in andere einzufühlen, Lösungsmöglichkeiten zu entwickeln (make) und deren mögliche Folgen im Rahmen einer digitalen sozialen Plattform zu explorieren (enact).

Der Übergang von der Analyse- zur Gestaltungsphase, der durch die Übersetzung der Ruhestandsgeschichten in Portalgeschichten und Papierprototypen markiert wurde, war für die Teilnehmer_innen am schwierigsten nachzuvollziehen. Dass der Transfer gelang, führen wir darauf zurück, dass durch die Personas und ihre Geschichten eine dauerhafte Verbindung zwischen den Werkstätten und Entwicklungsschritten hergestellt wurde und der Bezug zur Lebensrealität der Teilnehmenden bis hin zu den Inhalten im Demonstrator sichtbar blieb. Die anfangs ermittelten Bedarfe wurden damit zur Grundlage für die gemeinsame Erarbeitung von Gestaltungslösungen, die in veranschaulicher Form (Prototypen) hinsichtlich ihrer Folgen im digitalen Raum beurteilt und entsprechend verändert werden konnten.

Hatten die Teilnehmer_innen anfangs daran gezweifelt, etwas zu einem Technikentwicklungsprojekt beitragen zu können, haben sie im Zuge der verschiedenen Verfahren erfahren, dass sie das Projekt und die digitale Plattform aktiv mitgestalten konnten. Der durchgehend partizipative Prozess hat sie, beginnend mit der Selbstbeobachtungsphase, für ihre eigenen Wünsche sensibilisiert. Abweichend von der ursprünglichen Idee einer Nachbarschaftshilfoplattform zur inter-generationalen Vernetzung stellte sich heraus, „was sie wirklich wollten“: eine digitale Plattform für Gleichgesinnte, um sich über den Ruhestand auszutauschen und sich gegenseitig für die aktive Gestaltung dieser Lebensphase zu inspirieren.

5 Literatur

- [1] A. Dickinson, J. Arnott, S. Prior: Methods for human - computer interaction research with older people. *Behaviour & Information Technology*, 26(4), S. 343-352, 2007.
- [2] A. D. Fisk, W. A. Rogers, N. Charness, S. J. Czaja, J. Sharit: Designing for older adults: Principles and creative human factors approaches. Boca Raton: CRC press, 2009.
- [3] E. Brandt, T. Binder, L. Malmborg, T. Sokoler: Communities of everyday practice and situated elderliness as an approach to co-design for senior interaction. *Proceedings OZCHI*, S. 400-403, 2010.
- [4] S. Lindsay, D. Jackson, G. Schofield, P. Olivier: Engaging older people using participatory design. *Proc. CHI*, S. 1199-1208, 2012.
- [5] Y. Rogers, J. Paay, M. Brereton, K. L. Vaisutis, G. Marsden, F. Vetere: Never Too Old: Engaging Retired People Inventing the Future with MaKey MaKey. *Proc. CHI*, S. 3913-3922, 2014.
- [6] J. L. Davidson, C. Jensen: Participatory design with older adults: an analysis of creativity in the design of mobile healthcare applications. *Proc. Creativity & Cognition*, S. 114-123, 2013.
- [7] J. Simonsen, T. Robertson (Eds.): *Routledge International Handbook of Participatory Design*, London & New York: Routledge, 2012.
- [8] E. B.-N. Sanders: From User-Centered to Participatory Design Approaches. In: J. Frascara (Ed.), *Design and the Social Sciences*. Taylor & Francis, S. 1-7, 2002.

- [9] E. Brandt, T. Binder, E. Sanders: Tools and techniques: ways to engage telling, making and enacting. In: [7], S. 145-181.
- [10] M. J. Muller, A. Druin: Participatory Design: The Third Space. In: J. Jacko (Ed.). Human Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications. Erlbaum, S. 1125-1153, 2012.
- [11] W. Gaver, T. Dunne, T. Pacenti: Cultural Probes. *Interactions*, 6 (1), S. 21-29, 1999.
- [12] K. Boehner, J. Vertesi, P. Sengers, P. Dourish: How HCI Interprets the Probes. Proc. CHI, S. 1077-1086, 2007.
- [13] C. Graham, C. Rouncefield, M. Gibbs, F. Vetere, K. Cheverst: How Probes Work. Proc. OzCHI, S. 29-37, 2007.
- [14] J. Grudin, J. Pruitt: Personas, Participatory Design and Product Development: An Infrastructure for Engagement. Proc. PDC, S. 144-152, 2002.
- [15] Generali Altersstudie. Wie ältere Menschen leben, denken und sich engagieren. Frankfurt: Fischer, 2013.
- [16] T. Denninger, S. van Dyk, S. Lessenich, A. Richter: Leben im Ruhestand. Zur Neuverhandlung des Alters in der Aktivgesellschaft. Bielefeld: transcript, 2014.
- [17] G. Triantafyllakos, G. Palaigeorgiou, I. A. Tsoukalas: Fictional characters in participatory design sessions: Introducing the “design alter egos” technique. *Interacting with Computers*, 22, S. 165-175, 2010.
- [18] M. B. Rosson, J. M. Carroll: Scenario Based Design. In: J. Jacko (Ed.). The human-computer interaction handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications. Erlbaum, S. 1105-1124, 2012.
- [19] D. M. Wildman, E. L. White, M. J. Muller: Participatory Design Through Games and Other Techniques. Tutorial Notes, InterCHI, 1993.
- [20] C. Snyder: Paper Prototyping. The Fast and Easy Way to Design and Refine User Interfaces. Elsevier, San Francisco, 2003.
- [21] P. Wright, J. McCarthy: The Politics and Aesthetics of Participatory HCI. *Interactions*, 12(6), S. 26-31, 2015.

Nutzerstudie im Projekt LISA² Habitec

Assistenzsysteme für ein selbstbestimmtes und selbstständiges Leben im häuslichen Umfeld

A. Engler, E. Schulze

Berliner Institut für Sozialforschung GmbH
Brandenburgische Straße 16, 10707 Berlin
a.engler@bis-berlin.de

Kurzzusammenfassung

Im Projekt LISA² Habitec wurde an der TU München eine Modellwohnung entwickelt, in die verschiedene Assistenzsysteme integriert wurden, die es älteren Menschen ermöglichen können, länger selbstbestimmt und selbstständig in ihrem Wohnumfeld zu bleiben. Zur Evaluation wurde im April 2016 eine Nutzerstudie mit neun älteren Personen durchgeführt. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die Probanden einen überwiegend positiven Eindruck von der Modellwohnung haben. Die meisten könnten sich vorstellen, Teile der getesteten Technik in ihre Privatwohnung einzubauen oder in eine Pflegeeinrichtung mit einer entsprechenden technischen Ausstattung zu ziehen. Allerdings sollte die Möglichkeit bestehen, sich die Technik modularhaft, nach Bedarf einzubauen zu lassen. Als hilfreichste Funktion wurde die Sturzmeldung im Badezimmer genannt, die man sich auch für die gesamte Wohnung wünschte. Am wenigstens hilfreich dagegen wurde die automatisierte Fiebermessung erachtet. Insgesamt wurden sehr konstruktive Vorschläge für die Weiterentwicklung eingebracht.

Abstract

“Usability testing in the project LISA² Habitec – Ambient assistant living for an independent and self-determined life at home”

In the project LISA² Habitec a model apartment has been developed at the Technical University of Munich. Several assistance systems have been integrated which allow older people to stay longer autonomously and independently in their living environment. For evaluation, a user study was conducted with nine elderly in April 2016. The main results are that the test persons have a generally positive impression of the model apartment. Most of them could imagine to incorporate parts of the tested technology in their private apartment or to move to a nursing facility with a corresponding technical equipment. However, there should be the possibility to install the technical equipment as required. The most helpful technology for the test persons was the falling detection that they would like to have for the entire apartment. As the least helpful technology the automatically fever measurement was named. All in all, a lot of constructive proposals for further development were tabled.

Keywords: Assistenzsysteme, Wohnen, Nutzereinbindung, Modularität, Usability

1 Einleitung

Der Wunsch älterer Menschen möglichst lange selbstbestimmt im eigenen Heim zu leben, erfordert in Zeiten der Auflösung des klassischen Familienverbundes und steigenden Flexibilitäts- und Mobilitätsanforderungen an Erwerbstätige der jüngeren Generation neue Konzepte

sowie Unterstützungsangebote für ältere Menschen. Es liegt daher nahe, technische Assistenzsysteme, Informations- und Kommunikationstechnologien für den Wohn- und Lebensbereich älterer Menschen zu entwickeln und nutzbar zu machen. Neben technischen Innovationen werden auch neue Wohnkonzeptionen erforderlich, die der Nachfrage und Bedarfssituation der strukturell älter werdenden Bevölkerung gerecht werden. Wissenschaftliches Ziel des Projekts LISA HABITEC (*Living Independently in Alto-Adige through an Integration of Habitat, Assistance, Bits and Technology by a value System based on local Resources*) ist daher die Entwicklung von Produkten und Geschäftsmodellen zur Sicherung eines selbstbestimmten Wohnens in Einheit von technischen Lösungen und Dienstleistungen. Von der Technischen Universität München am Lehrstuhl für Baurealisierung und Baurobotik in Kooperation mit MM Design GmbH, Pfeifer Planung GmbH, Elektro A. Haller, Tischlerei Kofler Alois & Co.KG, 3C. I. Srl., der Stiftung St. Elisabeth/ Seniorencentrum im Grieser Hof und dem Landesverband der Handwerker Südtirol Bozen wurde eine Modellwohnung entworfen, in der es verschiedene technische und wohnraum-integrierte Assistenzsysteme gibt, die es älter werdenden Menschen ermöglichen soll, länger selbstbestimmt und selbstständig in ihrem bestehenden Lebensumfeld zu bleiben.

Wesentlich bei der Entwicklung der Modellwohnung war die Einbindung potenzieller Nutzer von Beginn an. Als erster Schritt im Projekt wurde im August 2014 ein Workshop mit älteren Menschen zur Bedarfsanalyse und Vorbereitung der zu entwickelnden Produkte durchgeführt. Ergebnis dessen war eine Funktionsmatrix, d.h. eine detaillierte Beschreibung der möglichen technischen Funktionen der Wohnung. In einem zweiten Arbeitsschritt wurden im Oktober 2014 vier Fokusgruppen mit älteren Menschen durchgeführt, in denen die erarbeitete Funktionsmatrix bewertet und Verbesserungsvorschläge erarbeitet wurden. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden nun in einem dritten Arbeitspaket im April 2016 die bis dahin entwickelten technischen Produkte und Dienstleistungen unter Einbeziehung von Endnutzern auf ihre Nutzerfreundlichkeit evaluiert.

2 Stand der Technik

Die Verbreitung technischer Geräte ist in den letzten Jahrzehnten in Haushalten von Senioren stark gestiegen ist. Inzwischen verfügen nahezu alle Privathaushalte älterer Menschen über technische Standardgeräte. Auch im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik sind inzwischen immer mehr Seniorenhäushalte mit Standardgeräten (Computer, Handy, Internet) ausgestattet. Allerdings nutzen Ältere diese Geräte deutlich seltener als jüngere Menschen [1, 2]. Aber nicht nur die Haushaltstechnik ist in Seniorenhäushalten zunehmend verbreitet, auch technische Unterstützungsmöglichkeiten für ein langes, selbstbestimmtes Leben in den eigenen vier Wänden, erfahren eine zunehmende Akzeptanz. [3] Wie die Ergebnisse der DFG-Forschungsgruppe „Seniorengerechte Technik im häuslichen Alltag – sentha“ [2], eine der ersten Studien zu dem Thema, und andere Studien [5] verdeutlichen, ist es die Priorität älterer Menschen, möglichst lange im eigenen Haushalt wohnen bleiben zu können, selbst dann, wenn sie sich in der eigenen Wohnung nicht mehr eigenständig versorgen können [6]. Es gibt eine Vielzahl von Forschungsprojekten im Ambient Assisted Living (AAL)-Bereich, in denen technische Assistenzsysteme von Einzeltechniken bis hin zu komplexen technischen Assistenzsystemen in Form von Hausautomations-, Gesundheits-, Kommunikations- und Informationstechnik für das selbständige Wohnen im Alter entwickelt und getestet werden [7, 8, 9]. Die meisten Evaluationen erfolgen in Laboratorien, Forschungshäusern oder Modellwohnungen und auch

die Einbindung von potentiellen Nutzern in die Entwicklung fand bis vor einigen Jahren kaum statt. Die Nutzereinbindung erfolgt oftmals erst spät im Entwicklungsprozess in Form von Nutzertests, die meist sowohl zeitlich beschränkt als auch mit einer relativ geringen Anzahl an Probanden aus der Zielgruppe durchgeführt werden. So erscheint es nicht verwunderlich, dass es nur wenige Technologien zur kommerziellen Markteinführung in Deutschland geschafft haben [8]. Die entwickelten und erforschten Technologien sind sehr unterschiedlich und vielfältig. Die eingesetzten Techniken reichen von Gesundheitstechniken (z.B. Blutdruckmessgerät) über Geräte aus dem Multimediacbereich und Aktoren und Sensoren (z.B. Bewegungsmelder, Sensormatten, Sensoren in Lichtschaltern) werden verwendet. Als vernetztes System können sie die Haustechnik steuern (z.B. Rollläden, Fenster, Steckdosen), die Kontaktaufnahme zu Personen oder Dienstleistern ermöglichen, den Gesundheitszustand kontrollieren (z.B. „Wearables“) oder Notsituationen erkennen [7, 8, 10]. AAL-Technologien ermöglichen es auch, mittels Sensoren und Aktoren Informationen über Personen/Bewohner zu sammeln und so Verhaltensmuster und Aktivitätsprofile zu ermitteln und im Bedarfsfall Hilfeleistungen anzubieten (bspw. könnte ein Rückgang der Bewegungsdauer auf eine Verschlechterung des Gesundheitszustands hindeuten) [8]. Auch das Telemonitoring oder die Telemedizin gehört in den Bereich der AAL-Technologien, bei denen medizinische Daten zwischen Patienten und Gesundheitsdiensten übertragen werden, aber auch ein direkter Austausch mit Gesundheitsakteuren erfolgen kann, sodass medizinische Dienste von zu Hause in Anspruch genommen werden können [8, 10].

3 Ziel der Nutzerstudie

In Kooperation mit der TU München wurde vom Berliner Institut für Sozialforschung GmbH (BIS) im April 2016 eine Nutzerstudie im Projekt LISA durchgeführt. Diese hatte zum Ziel, den jetzigen Entwicklungsstand der technischen Entwicklungen in der Modellwohnung in Hinblick auf ihre Nutzerfreundlichkeit zu evaluieren sowie Kritik und Verbesserungsvorschläge einzuholen. Weiterhin sollen die Funktionen auf Grundlage der Ergebnisse gezielt weiterentwickelt und an die Bedürfnisse und Wünsche der Zielgruppe angepasst werden.

4 Beschreibung der Modellwohnung

Die Modellwohnung besteht aus vier Zimmern: Schlafzimmer, Badezimmer, Küche und Garderobe/Eingangsbereich (siehe Abbildung 4.1). Jedes Zimmer hat drei unterschiedliche technische Funktionen eingebaut. Das Besondere ist, dass die einzelnen Funktionen in Möbelmodule eingebaut wurden und flexibel einsetzbar sind. Im Schlafzimmer wurde am Bett eine Aufrichtefunktion integriert, mit deren automatisch herauffahrbaren Stange man sich in die sitzende Position ziehen lassen kann. Durch einen weiteren Haltegriff, der seitlich am Bett befestigt ist, hat man gleichzeitig die Möglichkeit, sich von der sitzenden Position in den Stand zu ziehen. Weiterhin ist am Bett eine fahrbare Tischkonstruktion konstruiert, die zum Essen, Lesen oder Arbeiten genutzt werden kann. Im Badezimmer gibt es einen Sturzdetektor, der im Falle eines Sturzes an ein vorab definiertes Ziel (z.B. Nachbarn, Notruf) nach einer bestimmten Zeit ein akustisches oder optisches Signal abgibt. Eine weitere Funktion ist die Höhenverstellbarkeit des Waschbeckens und ein Regalaufzugssystem am Schrank. Mit diesen Funktionen können ohne größere Mühen alle Schubladen erreicht werden. Auch eine automatisierte Fiebermessung ist im Badezimmer integriert, die die gemessenen Werte anzeigen und an ein gewünschtes Ziel (z.B. Pflegedienst, Hausarzt) verschicken kann.

In der Küche der Wohnung gibt es einen Roboter „Lynx“, der am Küchentisch andocken kann und ein Tablett mit Essen bringt. Eine integrierte Wärmefunktion im Tisch erlaubt es dem Nutzer, sich beim Essen Zeit zu lassen. Die Speisen kühlen nicht aus. Weiterhin gibt es in der Küche eine in den Stuhl integrierte EKG-Funktion. Durch das Auflegen der Arme auf die Lehnen wird das EKG gemessen, das der Nutzer über einen Display ablesen kann. Auch hierbei besteht die Möglichkeit, dieses an ein gewünschtes Ziel zu senden (z.B. an den Hausarzt). In der Garderobe der Modellwohnung gibt es ein Schuh-Modul, das beim Anziehen der Schuhe behilflich ist. Die integrierte Aufstehhilfe unterstützt den Nutzer, indem sie diesen in eine bessere/höhere Ausgangsposition für das Aufstehen bringt. Die Jackenziehhilfe „Mike“ unterstützt den Nutzer eine Jacke problemlos anzuziehen.

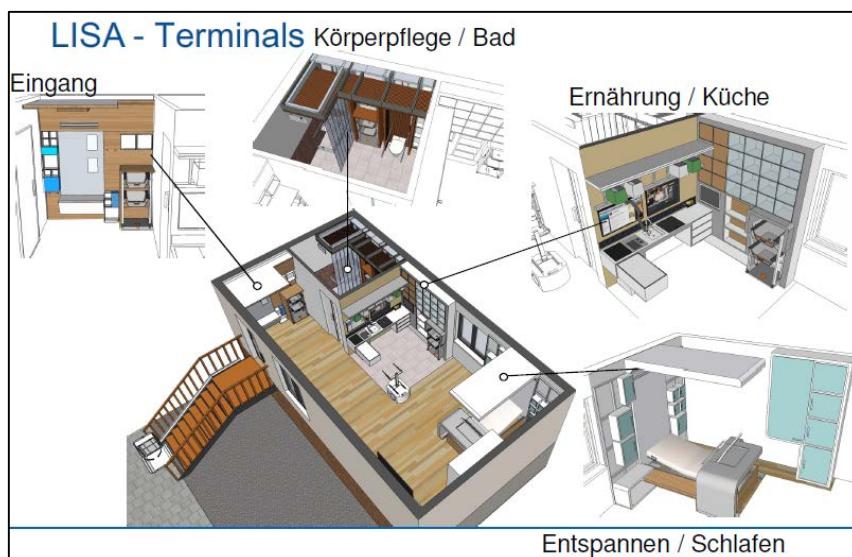


Abbildung 4.1: LISA-Modellwohnung

5 Methodik

An der Nutzerstudie nahmen neun Teilnehmer und Teilnehmerinnen (60+) teil, die teilweise bereits in einer Pflegeeinrichtung wohnen, teilweise noch in der häuslichen Umgebung. Rekrutiert wurden die Probanden über einen bereits bestehenden Probandenpool des BIS sowie über eine Informationsveranstaltung in einem nahe der TU München gelegenen Pflegeheim. Die Aufgabe der Probanden war es, die Modellwohnung mit den unterschiedlichen technischen Funktionen zu testen und zu beurteilen. Zur bestmöglichen Evaluation wurde eine Kombination aus quantitativen und qualitativen Methoden gewählt. Dieser Ansatz hat zum einen den Vorteil, dass durch die standardisierte Befragung mittels Fragebögen Vergleiche zwischen den einzelnen Modulen gezogen werden können. Das qualitative Vorgehen hat den Vorteil, dass die Teilnehmer „aus sich herausgehen können“ und auch durch das Gespräch auf neue Ideen kommen. Der Test dauerte pro Proband etwa zwei Stunden.

5.1 Quantitatives Vorgehen

Für die Bewertung der Modellwohnung wurde ein Fragebogen konstruiert, der nach den vier Zimmern (Schlafzimmer, Badezimmer, Küche und Garderobe/Eingangsbereich) untergliedert, jedoch für alle Zimmer gleich aufgebaut ist. Die Teilnehmer sollten mithilfe einer fünfstufigen Likert-Skala („wichtig“ bis „unwichtig“) die Wichtigkeit einer jeden Funktion des jeweiligen Raums einschätzen. Weiterhin folgte zu jeder Funktion eine Smiley-Skala. Die Aufgabe bei

diesem Instrument besteht darin, das Smiley spontan anzukreuzen, das am ehesten dem persönlichen Eindruck zur technischen Funktion entspricht. Die Smiley-Skala hat den Vorteil, dass sie die spontane Meinung erfasst. Es folgten Fragen zu möglichen Wohnumgebungen, in denen einzelne Funktionen vorstellbar wären. Bei der EKG- und Fiebermessfunktion wurde zusätzlich gefragt, wie und wo die gemessenen Werte dargestellt werden sollen, was nach der Ermittlung von abweichenden Werten geschehen soll und wer in einem solchen Fall benachrichtigt werden sollte. Am Ende des jeweiligen Abschnitts zu einem der Zimmer hatten die Befragten die Möglichkeit, weitere Anmerkungen in einem Feld niederzuschreiben.

In einem allgemeinen Fragebogen wurden die Probanden gebeten, mittels der Smiley-Skala ihren persönlichen Eindruck zur Wohnung einzuschätzen und die drei Funktionen anzukreuzen, die ihnen am besten gefallen haben.

Weiterhin wurden die Probanden zur Ausprägung ihrer Technikakzeptanz und zu ihren sozio-demografischen Daten befragt.

5.2 Qualitatives Vorgehen

Trotz vorher festgelegter Fragen stellt das Leitfadeninterview eine Befragungsmethode dar, die ein offenes Gesprächsklima vermittelt. Der Leitfaden dient lediglich als Gedankenstütze und Anhaltspunkt, um alle wichtigen Themenbereiche abzudecken. Der befragten Person werden keine Antwortmöglichkeiten vorgegeben, sie kann also frei berichten. Aufgrund der Tatsache, dass der Interviewende dennoch konkrete Fragen stellt, besteht die Möglichkeit, das Interview zu lenken, auch durch das Weglassen oder Hinzufügen von Fragen. Letzteres ermöglicht das Abdecken von Themenbereichen, die zuvor nicht als wichtig angesehen wurden. Im Interview wurden die Probanden u.a. gefragt, wie ihr genereller Eindruck von der Modellwohnung war, ob sie sich vorstellen könnten, diese technischen Entwicklungen in ihrer Privatwohnung zu nutzen, ob sie eine Pflegeeinrichtung, die diese technischen Innovationen umgesetzt hat, bevorzugten würden, welche zusätzlichen Funktionen sie sich vorstellen könnten und ob sie Probleme hinsichtlich Datenschutz, Überwachung oder Privatsphäre sehen. Die Interviews wurden auf Tonband aufgenommen und ausgewertet.

Weiterhin wurde während der Testung eine teilnehmende Beobachtung durchgeführt und Beobachtungen sowie Aussagen der Probanden in einem Protokoll notiert.

6 Ergebnisse

Im folgenden Teil werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt. Aufgrund der geringen Anzahl an Probanden ($n=9$) werden die Antworthäufigkeiten als absolute Zahlen präsentiert. Die erhobenen quantitativen und qualitativen Daten werden zusammengefasst dargestellt.

6.1 Beschreibung der Stichprobe

An der Studie nahmen neun Probanden teil, ein Proband sagte die Testung kurzfristig ab. Fünf Probanden waren weiblich, vier männlich. Das durchschnittliche Alter der Probanden lag bei 74,1 Jahre, die Spanne reichte von 63 bis 92 Jahre. Alle Probanden bis auf einen haben das Abitur als höchsten Schulabschluss. Sieben Teilnehmer waren verrentet bzw. pensioniert, je ein Proband war teilzeit- bzw. geringfügig beschäftigt. Vier der neun Probanden leben bereits in einer Pflegeeinrichtung.

Techniknutzung

Fünf Probanden gaben an einen Computer, acht ein Handy und drei ein Tablet zu besitzen. Alle fünf Probanden, die über einen Computer verfügen, nutzen diesen auch ständig. Das Handy wird von fünf Probanden öfter oder ständig genutzt, drei nutzen es eher selten. Das Tablet wird lediglich von zwei Personen oft oder ständig genutzt.

Technikakzeptanz

Die Probanden wurden zu ihrer Einstellung gegenüber Technik befragt (siehe Abbildung 6.2). Hierbei stimmten alle Teilnehmer den Aussagen zu, dass Technik sehr nützlich sei, das Leben erleichtere und sich damit viele Alltagsprobleme lösen lassen. Nur zwei Probanden haben wenig Verständnis für technische Geräte, aber auch nur zwei bekannten sich als Technikfan. Über die Hälfte der Befragten hat Spaß an den Möglichkeiten vieler neuer technischer Geräte und zwei Drittel reicht es hingegen, wenn sie grundlegende Funktionen von technischen Geräten bedienen können. Die Technikakzeptanz der Stichprobe ist diesen Ergebnissen zufolge recht unterschiedlich. Wohingegen sich die einen sehr für Technik interessieren und Spaß am Umgang damit haben, wollen sich die anderen damit möglichst nur grundlegend befassen.

6.2 Ergebnisse

Die Probanden haben eine überwiegend positive Meinung zur Wohnung. Einige Probanden gaben an, dass sie die eingebaute Technik generell positiv fanden, jedoch die Technik eher nach Bedarf modular aufgebaut werden sollte.

Auf die Frage nach den drei Funktionen, die den Probanden am besten gefallen haben, wurde der Sturzmelder im Badezimmer mit acht Stimmen am häufigsten genannt, gefolgt von der Aufrichthilfe im Bett mit fünf Stimmen und der seitlichen Aufstehunterstützung im Bett mit vier Stimmen. Die automatisierte Fiebermessung im Badezimmer und das Schuhregal in der Garderobe erachteten die Probanden als am wenigsten sinnvoll.

Einige Probanden würden die Technik nicht in ihre eigene Wohnung einbauen lassen. Dies sei ihnen zu technisch und somit zu ungemütlich. Andere denken, dass die Technik gut verdeckt sein muss, damit es noch wohnlich wirkt. Trotzdem geben die meisten Teilnehmer an, dass sie eine Pflegeeinrichtung mit entsprechender technischer Ausstattung einer Pflegeeinrichtung ohne Technik vorziehen würden. Alle Teilnehmer würden eine solche Einrichtung zu mindestens nicht ablehnen. Einige Befragten sprachen sich sogar klar dafür aus. Es wird davon ausgegangen, dass eine zunehmende Technisierung sowieso zu erwarten sei. Natürlich sei das Umfeld, der persönliche Kontakt und die persönliche Betreuung zum Personal wichtiger und dürfe nicht durch Technik ersetzt werden, trotzdem wären die Befragten einer Pflegeeinrichtung mit technischer Ausstattung nicht abgeneigt. Die Technik sollte jedoch als Zusatz gesehen werden.

Der überwiegende Anteil der Teilnehmer fühlte sich im Umgang mit der Technik sicher. Die verschiedenen technischen Möglichkeiten der Wohnung seien einfach zu bedienen, was sie laut Aussage der Probanden auch sein müssten, wenn sie für ältere Menschen gedacht sind.

Bezüglich Datenschutz, Privatsphäre und Sicherheit bei Messung und eventuellem Versand von Vitalfunktionen hat die Mehrheit der Teilnehmer keine Bedenken und sieht in diesen Werten keine sehr sensiblen Daten. Trotzdem sollte transparent dargestellt werden, wann und wohin Daten versendet werden und dies auch nicht ohne Zustimmung geschehen.

Ergebnisse zum Schlafzimmer

Im Schlafzimmer erachteten alle Befragten die Aufrichthilfe und die seitliche Aufstehhilfe am Bett als wichtige oder eher wichtige Funktion. Die bewegliche Tischkonstruktion halten die meisten Probanden nicht nur für Pflegeeinrichtungen für sinnvoll, sondern auch in privaten Haushalten für alle Altersgruppen. Die Aufrichthilfe und die seitliche Aufstehhilfe können sich die meisten Befragten hingegen eher in Pflege- oder medizinischen Einrichtungen vorstellen, weniger in privaten oder im eigenen Haushalt.

Ergebnisse zum Badezimmer

Die automatisierte Fiebermessung im Badezimmer wird von den Teilnehmern eher als überflüssig und als am wenigsten hilfreich eingeschätzt. Daher wird diese Funktion, wenn überhaupt, in Pflege- oder medizinischen Einrichtungen gesehen, vor allem zur Entlastung des Pflegepersonals. Nur eine Person kann sie sich auch in privaten oder im eigenen Haushalt vorstellen. Wenn abweichende Werte von der Fiebermessung ermittelt wurden, möchte die Mehrheit der Befragten, dass Personen kontaktiert werden, die vorher (bspw. bei Installation der Fiebermessung) von ihnen festgelegt wurden. Alle Befragten möchten, dass bei abweichenden Werten in erster Linie der Pflegedienst benachrichtigt wird. Fünf Befragte möchten, dass ihre Familienangehörigen/Bekannten/Nachbarn verständigt werden und nur zwei Befragten wollen, dass der Notruf alarmiert wird.

Der Eindruck der Probanden von der Sturzmeldung im Badezimmer ist sehr positiv, die Funktion wird als am hilfreichsten in der Modellwohnung angesehen. Für die Teilnehmer steht der damit verbundene Sicherheitsaspekt im Vordergrund. Fast alle Befragten können sich den Sturzmelder sowohl in Pflege- aus auch in medizinischen Einrichtungen vorstellen. Für ca. die Hälfte der Teilnehmer ist die Sturzmeldung in privaten oder dem eigenen Haushalt vorstellbar. Ebenso wie bei der Fiebermessung möchte der Großteil der Probanden, dass bei Registrierung eines Sturzes vorher festgelegte Personen kontaktiert werden. Auch hier sollte in erster Linie der Pflegedienst benachrichtigt werden (n=7).

Auch im Interview betonten die Probanden den Sturzmelder als wichtigstes Element der Modellwohnung. Einige Teilnehmer würden es sogar für sinnvoll erachten, diesen in der gesamten Wohnung zu integrieren.

Die höhenverstellbare Waschbeckenkonstruktion und die Lift-Funktion der oberen Schubladen (siehe Abbildung 6.3) können sich alle Teilnehmer in Pflegeeinrichtungen und beinahe alle Teilnehmer (n=8) in medizinischen Einrichtungen vorstellen, vor allem aufgrund der häufiger wechselnden Zimmerbelegung. Auch in Mehrpersonenhaushalten erscheint diese Funktion sinnvoll.



Abbildung 6.3: Lift-Funktion der oberen Schubladen

Ergebnisse zur Küche

In der Küche schätzen alle Probanden die automatische Abschaltung sicherheitskritischer Elektrogeräte als besonders wichtig ein. Auch hier steht die Sicherheit für die Probanden im Vordergrund. Fast ebenso wichtig finden die Teilnehmer die integrierte Warmhalte-Funktion in der Tischplatte. Jedoch herrscht Uneinigkeit zwischen den Probanden, ob diese Funktion automatisch oder auf Knopfdruck gestartet und beendet werden sollte. Nur knapp die Hälfte erachten die EKG-Messung im Stuhl und die Roboter „Lynx“ als wichtig oder eher wichtig. Fünf Teilnehmer finden den „Lynx“ (eher) einfach zu bedienen, zwei (eher) kompliziert. Zwei Drittel der Befragten können sich den „Lynx“ in Pflegeeinrichtungen vorstellen (siehe Abbildung 6.4). Hierbei könnte er Pflegende beim Essenservieren unterstützen, wie viele Teilnehmer während des Tests vorschlugen.



Abbildung 6.4: Roboter "Lynx" und die integrierte Warmhaltefunktion im Küchentisch

Der Eindruck von der EKG-Messung am Stuhl ist sehr durchmischt. Im privaten Umfeld möchten nur sehr wenige Teilnehmer diese Funktion haben, in Pflege- oder medizinischen Einrichtungen hingegen ist die Funktion für die meisten Teilnehmer vorstellbar. Das Messen sollte nur durch aktives Handeln und nur mit dem Wissen des Benutzers geschehen. Anders als bei der Fiebermessung im Badezimmer möchte die Mehrheit der Probanden ($n=7$) die Darstellung des EKGs lediglich bei der Feststellung von Abweichungen. Fünf Probanden sagen, dass sie die Darstellung auch gerne auf Anfrage hätten. Zwei Teilnehmer möchten, dass das EKG gar nicht dargestellt wird. Auch hier sollten bei der Feststellung von abweichenden Werten vornehmlich vorher ausgewählte Personen kontaktiert werden. Ein Proband schlägt vor, dass das EKG-Messgerät eine mögliche Aktion vorschlagen könnte, wie z.B. „Geh zum Arzt!“.

Die allgemeine Meinung der Probanden zur Messung der Vitaldaten war zweigeteilt. Einerseits wurde die Möglichkeit positiv beurteilt, jedoch auch eingeräumt, dass Messungen nicht ständig, sondern nur im Bedarfsfall gemacht werden sollten. Ständiges Messen führt eher zur Verunsicherung und zu einer zu starken Selbstkontrolle.

Ergebnisse zur Garderobe

Die Funktionen in der Garderobe werden fast alle als wichtig oder eher wichtig eingeschätzt. Alle Teilnehmer halten Griffe und Stangen zum Festhalten für besonders wichtig, aber auch die Schuhanziehhilfe ($n=8$) und auch die Aufstehhilfe ($n=7$) werden von der Mehrheit als wichtig oder eher wichtig angesehen (siehe Abbildung 6.5).

Die Anziehhilfe für Schuhe können sich genauso viele Befragte in Pflegeeinrichtungen wie in allgemeinen privaten Haushalten vorstellen ($n=4$), aber auch in der eigenen Häuslichkeit wäre

diese Funktion für drei Probanden denkbar. Auch im Interview wurde die Schuhanziehhilfe als wichtige Unterstützung angesehen, die ebenso für die „jungen Alten“, die noch wenig bzw. keinen Unterstützungsbedarf haben, ein hilfreiches Modul sei.



Abbildung 6.5: Schuhanziehhilfe und Aufstehhilfe

Die Bedienung der Jackenanziehhilfe „Mike“ wird sehr unterschiedlich eingeschätzt: Vier Teilnehmer finden sie (eher) einfach, vier finden sie (eher) kompliziert. Als praktisch wird sie hingegen von der Mehrheit der Probanden eingeschätzt. Die Wohnumgebung, für die die Teilnehmer „Mike“ für geeignet halten, ist eindeutig die Pflegeeinrichtung. Trotzdem sei die Jackenanziehhilfe für alle Altersgruppen verwendbar. Beispielsweise im Falle einer Arm- oder Schulterfraktur sei „Mike“ für jeden ein sinnvolles Unterstützungselement.

Auch Vorschläge zu Verbesserungen und zusätzlichen Funktionen in der Modellwohnung konnten die Probanden einbringen. So sollte das Bett im Schlafzimmer einerseits in der Höhe verstellbar sein, aber auch das Kopf- und Fußteil müsse anstellbar sein - beides möglichst elektrisch mittels Fernbedienung. In der Garderobe sollten für die Benutzung der Aufstehhilfe und des Fußlifts Griffe oder Stangen zum Festhalten integriert werden, damit man sicherer auf dem erhöhten Sitz sei. Weiterhin sollte der Fußlift leichter nach vorne geschoben werden können, beispielsweise mittels manuellem Hebel, der neben dem Sitz angebracht werden könnte. Da das Touchdisplay zur Bedienung des Roboters „Lynx“ und des EKGs einigen Probanden Schwierigkeiten bereitete, wurde empfohlen, entweder ein größeres Display zu verwenden oder größere Buttons auf dem Display zu erstellen.

Als zusätzliches Unterstützungselement in der Wohnung wurde von zwei Teilnehmern eine Anziehhilfe für Thrombosestrümpfe gewünscht, da das Anziehen dieser oft schwierig und nicht ohne fremde Hilfe möglich sei. Insgesamt kann der überwiegende Anteil der Befragten sich vorstellen, die gezeigten technischen Möglichkeiten auch in ihre privaten Wohnungen zu integrieren. Die meisten räumen jedoch ein, dies erst zu tun, wenn Unterstützung notwendig ist und dann auch nur punktuell einzelne Funktionen je nach Bedarf. Bei modularem Aufbau könnten - nach Meinung der Befragten – Techniken sukzessive hinzugeholt werden.

7 Diskussion und Zusammenfassung

Auch mit einer geringen Anzahl an Probanden lassen durch eine intensive Evaluation vielfältige und aussagekräftige Ergebnisse generieren, die für eine Weiterentwicklung der technischen Unterstützungsangebote in der Modellwohnung genutzt werden können. Obwohl die Teilnehmer

bezüglich ihrer Wohnsituation und Technikakzeptanz recht heterogen waren, zeigten sie ähnliche Präferenzen und erachteten Funktionen für ähnlich wichtig und hilfreich. Diese Bewertungen können letztendlich von den Entwicklern genutzt werden, um die Technik gezielt weiterzuentwickeln. Die Technologien wurden zudem von Beginn an unter Einbeziehung von verschiedenen potentiellen Nutzern – von der Ideenfindung bis zur ersten Testung – entwickelt und können somit als stark bedürfnisorientiert angesehen werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Probanden einen positiven Gesamteindruck von der Modellwohnung haben. Es wurden viele hilfreiche Unterstützungssysteme integriert, die in den verschiedensten Wohnumgebungen vorstellbar sind. Die meisten Teilnehmer könnten sich vorstellen, Teile der getesteten Technik in ihre Privatwohnung einzubauen oder in eine Pflegeeinrichtung mit einer entsprechenden technischen Ausstattung zu ziehen. Auch das LISA-Projekt belegt die Aussagen aus anderen Studien [3], dass technische Unterstützungs möglichkeiten für Seniorenhäushalte zunehmende Akzeptanz finden und als Möglichkeit gesehen werden, den Verbleib in der eigenen Häuslichkeit zu verlängern. Die Technik sollte aber nicht als Ersatz für den persönlichen Kontakt genutzt werden, lediglich als Unterstützungsfunktion der Pflegenden und/oder Familienangehörigen, die auch dieser Zielgruppe den Arbeitsalltag erleichtern kann. Weiterhin wurde in der Testung deutlich, dass ältere Menschen nicht in einer offensichtlich technisierten Wohnumgebung leben möchten. Die Probanden zeigen sich in diesem Punkt eher traditionell: Sie bevorzugen die Gemütlichkeit einer Wohnung; zu viel Technik wirke eher kalt und daher sollte diese eher versteckt, unauffällig und nicht überladend in der Wohnung vorhanden sein. Außerdem würden sich die Teilnehmenden die Technik erst dann anschaffen, wenn ein Bedarf besteht. Die Möglichkeit eines modulhaften Einbaus wäre daher am sinnvollsten. Die Teilnehmenden fühlen sich in einer technisierten Wohnung nicht überwacht und haben keine Bedenken hinsichtlich Datenschutz o.ä. Auffällig war weiterhin, dass die Probanden vor allem technische Möglichkeiten als wichtig erachteten, die ihnen mehr Sicherheit bieten, wie die Sturzmeldung, die automatische Abschaltung sicherheitskritischer Elektrogeräte oder Griffe und Stangen zum Festhalten. Auch hier bestätigen sich Ergebnisse anderer Studien [4].

Es wurden viele konstruktive Vorschläge für die Weiterentwicklung eingebracht. Die Ergebnisse der Nutzerstudie dienen dazu, die Techniken gezielt weiterzuentwickeln und an die Bedürfnisse der Zielgruppe anpassen zu können. Beispielsweise benötigen die Aufsteh- und die Jackenanziehhilfe in der Garderobe laut Meinung der Probanden unbedingt zusätzliche Halt griffe oder -stangen für eine höhere Stabilität und Sicherheit. Für das automatische oder manuelle Starten und Beenden der Warmhalte-Funktion des Essens in der Küche sollte eine individuelle Lösung ermöglicht werden, je nach Wunsch oder nach kognitiven Fähigkeiten (bspw. Vergesslichkeit) des Bewohners. Im Gegensatz zu den meisten Projekten, in denen die Nutzereinbindung oftmals erst spät im Entwicklungsprozess und zeitlich sehr beschränkt stattfindet [8], wird im Projekt LISA die intensive Nutzereinbindung nochmals ausgeweitet. Im Frühjahr 2017 ist geplant, die Technik in eine Wohneinheit einer italienischen Pflegeeinrichtung einzubauen, um diese unter „real life“ Bedingungen für einen größeren Zeitraum zu testen.

8 Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: Ältere Menschen in Deutschland und der EU. Wiesbaden, 2016.

- [2] W. Friesdorf, A. Heine (Hrsg.): *sentha- seniorengerechte Technik im häuslichen Alltag.* Ein Forschungsbericht mit integriertem Roman: Springer, Heidelberg, 2007.
- [3] E. Schulze: *My smart home is my castle. Wohnqualität durch benutzerfreundliche Technik.* Dokumentation der KVJS- Fachtagung auf der Messe Pflege & Reha in Stuttgart, 2012.
- [4] E. Schulze: „Smart Home“ für ältere Menschen. Eine Analyse von Best-Practice-Beispielen. Nachrichtendienst des Deutschen Vereins für öffentliche und private Fürsorge e.V., Jg. 91, 10, S. 458-462, 2011.
- [5] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): *Wohnen im Alter. Marktprozesse und wohnungspolitischer Handlungsbedarf,* Forschungen, H. 147, Berlin, 2011.
- [6] D. Oesterreich, E. Schulze: Vom Nutzen intelligenter Technik im Alter – Akzeptanz von Assistenzsystemen für Gesundheit und Sicherheit, in: Archiv für Wissenschaft und Praxis der sozialen Arbeit Nr. 3/2011, S. 40-50, 2011.
- [7] A.-C. Erbstößer: *Smart Home Berlin. Von der Komfortzone zum Gesundheitsstandort.* Technologiestiftung Berlin, 2015.
- [8] L. Schelisch: *Technisch unterstütztes Wohnen im Stadtquartier. Potentiale, Akzeptanz und Nutzung eines Assistenzsystems für ältere Menschen.* Springer, Wiesbaden, 2016.
- [9] A. J. Sixsmith, G. Gibson, R. D. Orpwood, J. M. Torrington: Developing a technology ‘wish-list’ to enhance the quality of life of people with dementia. *Gerontech journal* 6(1) S. 1-19, 2007.
- [10] VDE (Hrsg.): *VDE-Positionspapier. Intelligente Heimvernetzung: Komfort – Sicherheit – Energieeffizienz – Selbstbestimmung.* Unter Mitarbeit von Thomas Becks, Birgid Eberhardt, Stefan Heusinger, Siegfried Pongratz und Johannes Stein. Frankfurt am Main, 2010.

Akustische Marker für eine verbesserte Situations- und Intentionserkennung von technischen Assistenzsystemen

I. Siegert¹, A. F. Lotz¹, O. Egorow¹, R. Böck¹, L. Schega², M. Tornow¹, A. Thiers², A. Wendemuth¹

¹Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Lehrstuhl Kognitive Systeme
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg

Ingo.Siegert@ovgu.de, Alicia.Lotz@ovgu.de, Olga.Egorow@ovgu.de,
Ronald.Boeck@ovgu.de, Michael.Tornow@ovgu.de, Andreas.Wendemuth@ovgu.de

²Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Institut III – Sportwissenschaft
Zschokkestraße 32, 39104 Magdeburg
Angelina.Thiers@ovgu.de, Lutz.Schega@ovgu.de

Kurzzusammenfassung

Die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion durch die automatische Auswertung des Nutzerzustandes wird vorgestellt. Dazu wird der aktuelle Stand in der Emotionserkennung aufgezeigt und Schwierigkeiten für eine Intentionserkennung, insbesondere bei realitätsnahen, schwächer ausgeprägten Emotionen, diskutiert. Durch die Hinzunahme akustischer Interaktionsmarker wie Diskurspartikel, Sprecherüberlappungen, Off-Talk und Interaktionspausen wird eine Verbesserung ermöglicht, wofür die entsprechenden Merkmale und Bedeutungen herausgearbeitet werden. Schließlich wird ein Szenario präsentiert, das die vorgestellten Ergebnisse auf technische Unterstützungssysteme in der Gesundheitsförderung für ältere Nutzer transferiert. Diese sind mit Unter- und Überforderungssituationen konfrontiert, welche mit 10 Modalitäten hoch-synchron aufgenommen werden, wodurch die induzierten Situationen individuell unterschieden werden können.

Abstract

“Acoustic markers for an improved recognition of situations and intentions in technical assistance systems“

The assessment of human-machine interactions by the automatic analysis of user states is presented. Starting with the discussion of current emotion and intention recognition, difficulties are identified particularly for less pronounced naturalistic affects. Improvements are made possible by using the characteristics of acoustic interaction markers, such as discourse particles, speaker overlaps, off-talk and turn-pauses. Finally, a scenario is presented which translates into technical support systems in health promotion for older users. They are confronted with conditions of cognitive overload and underload which are recorded highly synchronously with 10 signal modalities, whereby the induced situations can be individually distinguished.

Keywords: human-computer interaction, emotion and intention recognition, interaction markers

1 Einleitung

Technische Assistenzsysteme gewinnen für das Alltagsleben immer mehr an Bedeutung, die Verbreitung erstreckt sich neben dem Einsatz in Haushaltsgeräten bis hin zu medizinischen Systemen. Süssenbach et al. [1] beschreiben u.a. den Einsatz einer Mensch-Roboter-Interaktion im Fitnessbereich. Mit dem Einsatz technischer Assistenzsysteme im Gesundheitswesen kann zudem der Herausforderung des demografischen Wandels, des zunehmenden Fachkräftemangels und der Zunahme von chronischen Erkrankungen und Mehrfacherkrankungen entgegengewirkt werden. Technische Systeme können insbesondere ältere Menschen bei der Erhaltung einer uneingeschränkten Gehfähigkeit unterstützen, indem sie sie bei der Planung und Durchführung von Bewegungsübungen begleiten.

Die Benutzung von technischen Assistenzsystemen so einfach wie möglich zu gestalten und dabei vor allem eine natürliche, an den jeweiligen Nutzer angepasste Interaktion zu ermöglichen stellt jedoch immer noch eine Herausforderung dar. Im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion gibt es vielfältige Bedienungsarten, wie Sprache, Touch, Gesten oder klassische Eingabegeräte wie Tastatur/Maus. Der vorliegende Beitrag fokussiert auf die sprachbasierte Interaktion. Bei der Sprachinteraktion mit aktuellen Assistenzsystemen wird bisher meist nur der Sprachinhalt ausgewertet. Die Art und Weise, wie etwas ausgedrückt wird, wird bisher kaum berücksichtigt, obwohl bekannt ist, dass dies für eine erfolgreiche Interaktion wichtig ist [2]. Weiterhin sollten zukünftige Systeme sich ganz auf die individuellen Fähigkeiten, Vorlieben und Anforderungen des Nutzers in der aktuellen Situation anpassen. Die Erforschung und Entwicklung derartiger Technologien hat sich die Companion-Technologie zum Ziel gesetzt [3]. Hierbei steht vor allem die automatische Situations- und Intentionserkennung des Nutzers im Vordergrund. Die Intentionserkennung beschreibt die Ziele des Nutzers in einer Interaktion. Die Situationserkennung detektiert seine aktuelle Situation [3]. Ein Faktor hierfür ist die automatische Erkennung und Interpretation von menschlichen Affekten, wie dies im Forschungszweig des “Affective Computing” untersucht wird [4].

Ein Überblick über die Entwicklung der sprachbasierten automatischen Emotionserkennung wird in Kapitel 2 gegeben. Neben der Emotionserkennung ist es für die automatische Bewertung der Nutzerintention notwendig auch den Interaktionsverlauf zu kennen. Hierfür bieten sich sogenannte akustische Marker, die als Indikatoren der Interaktion dienen können, an. Akustische Marker, wie z. B. Diskurspartikel, Sprechpausen, Off-Talk und Sprecherüberlappungen, und ihre Bedeutung in der Mensch-Maschine-Interaktion werden in Kapitel 3 diskutiert. Für die Entwicklung von automatischen Emotionserkennern und der Bedeutungsanalyse von akustischen Markern, sind passgenaue Datensätze nötig, die eine Interaktion der entsprechenden späteren Anwendungsdomäne abbilden. Ein Szenario für den Bereich der Gesundheitsvorsorge von älteren Nutzern mit Hilfe eines technischen Assistenzsystems wird in Kapitel 4 vorgestellt. Schließlich fasst Kapitel 5 den Beitrag zusammen und zeigt die nächsten Bearbeitungsschritte auf dem Weg zu einer natürlichen Mensch-Maschine-Interaktion auf.

2 Aktueller Stand der sprachbasierten Emotionserkennung

Als gängige Methode für die Emotionserkennung hat sich die Mustererkennung etabliert. Dabei werden stochastische Modelle für die einzelnen Emotionskategorien gebildet, ausgehend von den emotionstragenden Merkmalen des Sprachsignals. Anhand der Modelle können dann neue, ungesehene Daten klassifiziert werden [5].

Die Forschung zum Affective Computing begann mit kleinen Datenbanken, die hochqualitative und hochexpressive gespielte Emotionssamples umfassten, mit sehr guten Erkennungsergebnissen. In den letzten Jahren änderte sich der Forschungsfokus hin zu wirklichkeitsnahen (naturalistischen) Interaktionen und „in-the-wild“-Analysen [6]. Hier sind die Erkennungsraten stark eingebrochen und liegen teilweise nur knapp über zufälligem Raten. Dies liegt vor allem daran, dass naturalistische Daten weniger expressive Emotionen enthalten und die Vielfalt der Emotionsausdrücke zugenommen hat [7]. In Schuller et al. 2009 [8] wurden Emotionserkennungsexperimente auf verschiedenen Datensätzen durchgeführt. Die Daten umfassen sowohl gespielten Emotionen als auch natürliche Emotionen. Es wurden 6552 Merkmale, die verschiedenste akustische Charakteristiken beschreiben, genutzt und Support Vektor Maschinen (SVMs) für die Klassifizierung eingesetzt. Die erreichten Erkennungsleistungen auf den verschiedenen Datensätzen sind in Abbildung 2.1 dargestellt.

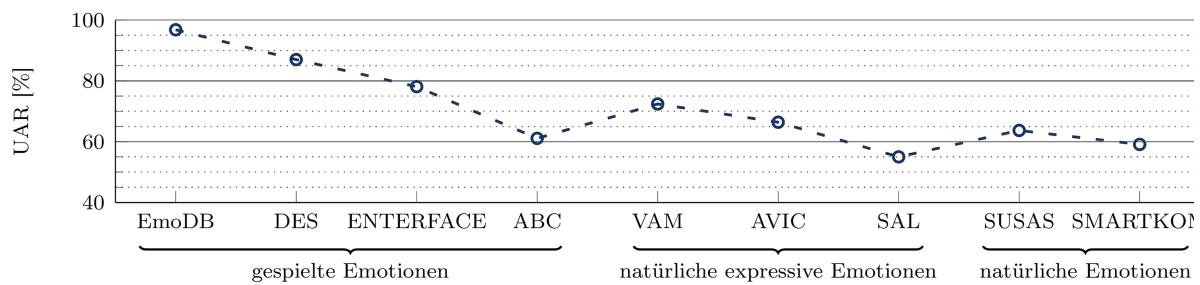


Abbildung 2.1: Entwicklung der Erkennungsleistung auf Datensätzen mit gespielten, nicht-gespielten aber hochexpressiven, sowie natürlichen Emotionen

Dieser Vergleich zeigt, dass die vielversprechenden Resultate, die auf emotional gespielten Datensätzen (EmoDB oder DES) erreicht werden konnten, nicht ohne weiteres auf emotional natürlichen Datensätze (SAL oder SMARTKOM), übertragen werden können. Die Erkennungsraten fielen von 96,8% auf 56,0%. Zwar gibt es für beide Emotionstypen Ausnahmen in der Erkennung, der allgemeine Trend zeigt sich jedoch – es müssen verbesserte Methoden genutzt werden, um die Erkennung auch auf schwach ausgeprägten Emotionsausdrücken zu verbessern. Hierzu gehören neben der Erkennerverbesserung durch angepasste Merkmale, auch die Nutzung von mehr Daten, eine Nutzeradaption sowie die multimodale Datenanalyse. Dafür werden jedoch entsprechende Datensätze benötigt, die Mensch-Maschine-Interaktionen in ausreichender Anzahl und Länge zur Verfügung stellen und weiterhin Zusatzinformationen über die Nutzer bereitstellen, um individualisierte und adaptierte Erkenner zu entwickeln. Eine weitere Verbesserung der Erkennung wird durch die Auswertung mehrerer Modalitäten, wie Gestik, Mimik, Körperpose und Biophysiolgie, erreicht. Dafür ist es jedoch nötig, diese weiteren Informationsquellen synchron aufzuzeichnen, um eine einheitliche Zeitbasis zu erhalten.

3 Akustische Marker zur Intentionsbewertung

Aus der Betrachtung einer erschwerten Erkennung von natürlichen Emotionen, lässt sich ableiten, dass weitere Bausteine für die Bewertung der Nutzerintention nötig sind. Auf der Sprachebene bieten sich dafür sogenannte akustische Marker an. Diese sind akustische Besonderheiten die während der Interaktion auftreten und auf eine bestimmte Bedeutung oder Funktion zurückgeführt werden können. An die akustischen Marker zur Bewertung der Interaktion werden verschiedene Bedingungen gestellt: So sollten sie spezifisch genug sein, um eine Dialogbewertung zu ermöglichen und dabei möglichst keine sprachliche Information übertragen, die mit dem

Sprachinhalt verwechselt werden könnte. Viele dieser Marker, wie Diskurspartikel, Überlappungen, Off-Talk und Pausen, sind in der Linguistik schon seit Langem untersucht worden [9]. Vor allem dem Fehlen von passendem Datenmaterial geschuldet, ist die Analyse dieser Marker bisher nur selten für Mensch-Maschine-Interaktionen durchgeführt worden. Auch die Bedeutungen und Einflussfaktoren dieser Interaktionsmarker sind noch nicht vollständig erfasst. Im folgenden wird eine Auswahl bisheriger Erkenntnisse zusammenfassend vorgestellt.

Wichtige Interaktionsmarker sind die Diskurspartikel. Darunter werden Äußerungen verstanden, die keine eigentliche semantische Bedeutung haben, aber den Dialog steuern, wie z. B. „ja“, „also“ sowie „hm“ und „ähm“. Für die Mensch-Maschine-Interaktion sind hierbei besonders das Feedbacksignal „hm“ und die gefüllte Pause „äh/ähm“ interessant, da diese für die eigentliche Dialogsteuerung keine Rolle spielen. Mehrere Untersuchungen haben gezeigt, dass Nutzer auch gegenüber technischen Systemen Gebrauch von Diskurspartikeln machen [10, 11]. Jedoch ist die Nutzung von Diskurspartikeln insgesamt weniger ausgeprägt als in der Mensch-Mensch-Kommunikation [12], nimmt aber bei kognitiv belastenden Interaktionen, wie sie z. B. in herausfordernden Dialogen auftreten, signifikant zu, siehe dazu auch Abbildung 3.1.

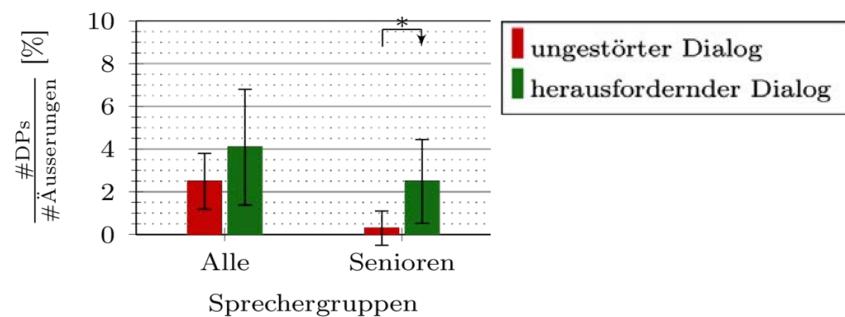


Abbildung 3.1: Bei bestimmten Sprechergruppen kommt es in herausfordernden Dialogsituationen zu einem signifikanten Anstieg in der Nutzung von Diskurspartikeln

Durch eine automatische Detektion, wie sie z. B. in [13] vorgestellt wird, kann eine Zunahme der Diskurspartikelnutzung festgestellt und die Dialogstrategie angepasst werden. Neben der Information aus der Nutzungshäufigkeit, kann aus dem Intonationsverlauf (Form) des Feedbacksignals „hm“ auch noch eine Dialogfunktion, wie z. B. „Bestätigung“ oder „Nachdenken“, abgelesen werden. In einer Studie von Schmidt 2001 [14] konnten sieben Form-Funktions-Relationen empirisch ermittelt werden. Mehrere Studien haben zudem gezeigt, dass diese Form-Funktions-Relationen auch in der Mensch-Maschine-Interaktion auftreten [10, 15]. Mit einem regelbasierten Algorithmus ist es möglich, anhand der Intonationskurven des Partikels „hm“ die entsprechende zugrundeliegende Dialogfunktion zu erkennen [16]. Dies ermöglicht technischen Systemen, das so geäußerte Nutzerfeedback zu berücksichtigen und adäquat darauf zu reagieren. Zwei beispielhafte Intonationsverläufe und die identifizierten Prototypen sind in Abbildung 3.2 dargestellt.

Auch Überlappungen sind ein wichtiger Bestandteil menschlicher Kommunikation – zwischen 30% und 50% aller zwischenmenschlichen Äußerungen enthalten Sprecherüberlappungen [17], obwohl Interaktionsteilnehmer meist versuchen, Lücken und Überlappungen in einer Konversation zu minimieren [18]. Es können zwei Typen von Überlappungen unterschieden werden: kompetitive Überlappungen, bei denen es dem unterbrechenden Sprecher darum geht, die Sprecherrolle an sich zu reißen und die Gesprächsführung zu übernehmen, und kooperative Überlappungen, bei denen der unterbrechende Sprecher den aktiven Sprecher unterstützen möchte.

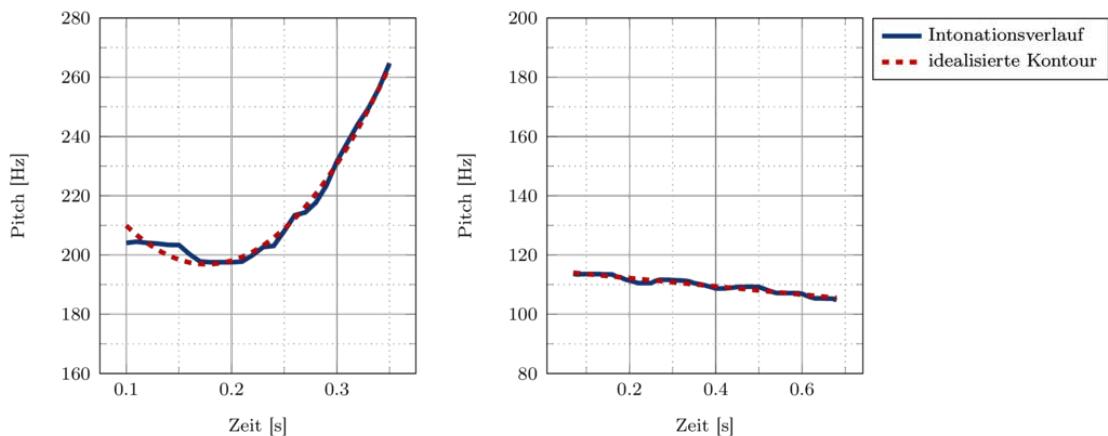


Abbildung 3.2: Reale Intonationsverläufe des Diskurspartikels „hm“ in der Mensch-Mensch-Kommunikation, sowie die idealisierte Kontur, der eine bestimmte Bedeutung zu gewiesen werden kann

Es existieren verschiedene Methoden zur (automatischen) Unterscheidung dieser Typen [19, 20]. Auch für die Mensch-Maschine-Interaktion spielt dies eine wichtige Rolle: kompetitive Überlappungen könnten ein Hinweis darauf sein, dass der Nutzer nicht einverstanden ist oder sich übergangen fühlt, während kooperative Überlappungen auf Zustimmung und einen versierten Nutzer hindeuten. So wurde unter anderem schon gezeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen Sprecherüberlappungen und dem Dominanzverhalten in der Mensch-Maschine-Interaktion gibt [21].

Ein weiteres Phänomen, das für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion wichtig ist, ist der Off-Talk. Damit werden alle Nutzeräußerungen bezeichnet, die nicht als Frage, Feedback oder Anweisung an das System gerichtet sind [22], insbesondere „lautes Denken“, Schimpfen und Konversationen mit anderen Personen. Dabei erschwert der Off-Talk dem technischen System die Interaktion, da er als Eingabe für die Aufgabe ignoriert werden sollte. Auf der anderen Seite liefert er jedoch wichtige Informationen über den Nutzerzustand selbst. Da der Off-Talk nicht an das System gerichtet ist, wird er reichhaltiger artikuliert und lässt so die Affekte des Nutzers deutlicher werden [23]. Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die prosodischen Merkmale von Off-Talk und Nicht-Off-Talk unterscheiden [24]. Weitergehende Untersuchungen fehlen jedoch noch.

Neben den akustischen Interaktionsmarkern können auch Sprechpausen wichtige Informationen für die Interaktion liefern. Von besonderem Interesse sind hierbei die Pausen am Ende eines Turns. So konnte gezeigt werden, dass Nutzer, die in einer natürlichen Mensch-Maschine-Interaktion die Initiative immer dem System überlassen – also sehr große Pausen an den Turnenden haben – einen schlechteren Dialogerfolg haben, als Nutzer, die selbst die Initiative ergreifen [25].

Bisher sind viele dieser Interaktionsmarker aufgrund von manuell annotierten Daten untersucht worden. Damit eine automatische Detektion dieser Marker möglich ist, ist es notwendig passende Trainingsdaten zu gewinnen. Dabei ist es wichtig, dass die zugrundeliegenden Datenerhebungsszenarien wirklichkeitsnah sind und länger andauernde Interaktionen abbilden, die es dem Nutzer auch erlauben diese Interaktionsmarker zu nutzen. Weiterhin wurde die Sprachmodalität losgelöst von den anderen Modalitäten, wie Gestik, Mimik, Körperform betachtet. Ziel

ist es hier multimodale Interaktionsmarker zu definieren, die es dem Unterstützungssystem erlauben die Nutzerintention besser und robuster einzuschätzen. Auch die Analyse des „inneren Nutzerzustandes“, der über die Biophysiologie erfasst werden kann und zur korrekten Bewertung der Interaktionsmarker beitragen kann, ist noch nicht erfolgt.

4 Szenario zur Unter- und Überforderungsanalyse in der Gesundheitsförderung

Bei den beiden vorhergehenden Kapiteln ist die Forderung nach realitätsnahen Datensätzen aus der entsprechenden Anwendungsdomäne erhoben worden. Für die Entwicklung passgenauer sprachbasierter Emotionserkennner sowie für die Interpretation der akustischen Marker ist es notwendig eine realitätsnahe Interaktion von mehreren Probanden über längere Interaktionssequenzen zu haben, damit die Erkenntnisse und die trainierten Modelle auf reale Anwendungen übertragbar bleiben. Um die sprachbasierte Analyse auf eine multimodale Analyse zu erweitern, ist es weiterhin notwendig synchrone Multimodale Aufnahmen zu erstellen. Für eine realitätsnahe Interaktion, ist es besonders wichtig, dass die Probanden Interesse an der Bewältigung der Herausforderungen zeigen und in der Aufgabe aufgehen.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurde in [26] ein Szenario aus der Gesundheitsförderung mit dem Ziel einer länger andauernden Mensch-Maschine-Interaktion mit variierenden Interaktionsprämissen vorgestellt. Das Szenario „Ganganalyse und Fitness“ beruht auf einem Assistenzsystem zum Gangtraining, wodurch in der betreffenden Zielgruppe der über-50-Jährigen eine hohe Motivation erreicht werden konnte. In diesem Szenario wurden hierzu verschiedene Gang-Parcoursdurchläufe geplant – aus 13 vorhandenen Trainingsgeräten sollten jeweils sechs ausgewählt und angeordnet werden. Zusätzlich waren unterschiedliche Restriktionen für die Planungen vorgeschrieben. Das Experiment ist in 5 Phasen unterteilt, die in einem Analyseszenario durchlaufen wurden. Wie in Abbildung 4.1 dargestellt, unterteilt sich der Ablauf in eine Einführung, eine Aufmerksamkeitsphase, je eine Phase zur kognitiven Unter- und Überforderung, sowie eine Phase mit zwei Standard-Stressindikatoren: das Halten eines Vortrags und die Interaktion unter einem störendem externen Störgeräusch.

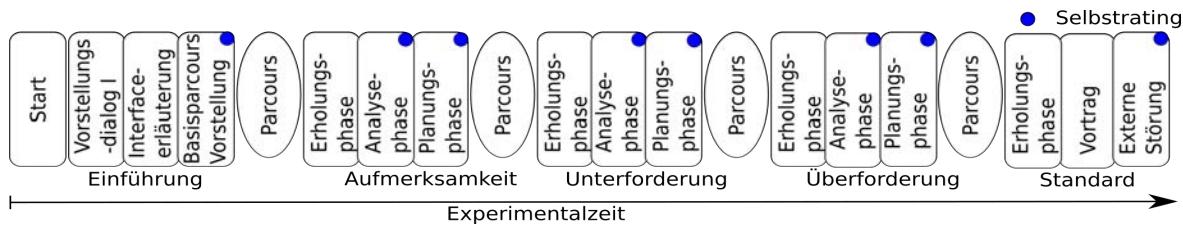


Abbildung 4.1: Ablauf des "Ganganalyse und Fitness"-Szenarios

In der Einführungsphase stellen sich Nutzer und System in einem Dialog vor und es erfolgt eine Erklärung des Experimentalablaufes. Die sich anschließende Aufmerksamkeitsphase ist geprägt von intensiven Dialogen und der ausgiebigen Vorstellung des Gangparcours. Hierbei kann der Nutzer die Suche selbst steuern, wodurch Merkmale zur Detektion von hohem und niedrigem Interesse untersucht werden können. Die Phase der Unterforderung wurde in diesem Experiment durch eine übermäßige Abfrage von trivialen Informationen mittels wiederholtem Vorlesen sehr ähnlicher Sätze induziert. Eine Überforderung kann durch Zeitdruck sowie unklare Informationen hinsichtlich der Fragestellung entstehen. Beide Mittel wurden in der Überforderungsphase des Experiments genutzt. Zusätzlich wurden der Gang und die Aussagen des Probanden hinsichtlich der Gangeinschätzung durch das Assistenzsystem negativ bewertet.

Tabelle 4.1.: Übersicht der im GF-Datensatz aufgenommenen Daten

Modalität	Parameter	Zeitalignment
Video		
Pike	3xRGB 1388x1039 Pixel, 25 Hz	22,6 µs
GUI	1xRGB 1920x1080 Pixel, 30 Hz	22,6 µs
Kinect2	1xRGB 1920x1080 Pixel, 30 Hz	22,6 µs
Körperpose/Mimik		
Körperpose	25 Körperpunkte, 30 Hz	70 ms
Gesicht	5 Gesichtspunkte, 30 Hz	70 ms
Kinect2	3D-Daten, 512x424 Pixel, 30 Hz	70 ms
Kinect2	Infrarot, 512x424 Pixel, 30 Hz	70 ms
Audio		
Proband	4 x Mono, 16 Bit, 44,1 kHz	22,6 µs
System	1 x Mono, 32 Bit, 44,1 kHz	22,6 µs
Biophysiologie		
EMG	2 Kanäle, 16 Bit, 256 Hz	4 ms
EKG	5 Elektroden, 16 Bit, 256 Hz	4 ms
Hautleitwert (EDA)	1 Kanal, 16 Bit, 256 Hz	4 ms
Annotation		
Systemevents	8 Bit, 44,1 kHz	22,6 µs

Insgesamt wurden für den Korpus Aufnahmen von 65 Probanden erstellt, die jeweils ca. 100 min umfassen. Hierbei wurden verschiedene Modalitäten, wie Video, Audio, 3D-Daten, Hautleitfähigkeit, EMG, EKG, Skelettpunkte, Selbstrating sowie die Automatische Wizard-Annotation hoch-synchron aufgenommen, siehe Tab 4.1. Der Aufbau ist in Abbildung 4.2 dargestellt und besteht aus einem Rack mit flimmerfreier Beleuchtung, einem Monitor zur Interaktion sowie einem Tablet für Durchführung des Selbstratings. Der durch die Probanden geplante und durchlaufene Parcours ist in Abbildung 4.3 beispielhaft abgebildet. Darüber hinaus wurden durch Fragebögen die Persönlichkeitsprofile der Probanden erfasst.

Bei der automatischen Bewertung der Nutzerzustände erschwert insbesondere die geringe Expressivität von emotionalen Äußerungen eine Klassifikation. Um diese Aussage zu bekräftigen, haben wir zu [8] vergleichbare Experimente beispielhaft durchgeführt. Die zu erkennenden Emotionsdimensionen hohe vs. geringe Erregung, positive vs. negative Valenz und hohe vs. niedrige Dominanz wurden entsprechend des Experimentaldesigns annotiert und manuell korrigiert. Für jede Dimension wird ein eigenes Zwei-Klassen Problem erstellt. Aus diesen erkannten Emotionsdimensionen wird in einem zweiten Schritt auf eine Unter- oder Überforderungssituation geschlossen. Die erreichten sprecherabhängigen Klassifikationsergebnisse liegen im Bereich der Erkennung natürlicher Emotionen.

Aus diesen ersten Klassifikationsergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass eine automatische Klassifikation die induzierten Abschnitte unterscheiden kann. Allerdings zeigt sich gleichzeitig, dass die Robustheit der Detektion abhängig vom einzelnen Sprecher ist. Insbesondere im Bereich der Stimmintensität sind einige Probanden kontinuierlich in einem hohen Wertebereich. Die Gründe für ein solches Phänomen sind Gegenstand weiterer Untersuchungen. Der Grund dafür wird in der Persönlichkeit bzw. der Affinität gegenüber technischen Systemen



Abbildung 4.2: Blick des Probanden auf das technische System



Abbildung 4.3: Beispielhafter Gangparcours

vermutet. Um, im nächsten Schritt, eine Analyse der akustischen und multimodalen Interaktionsmarker durchzuführen, wird zunächst eine semi-automatische Annotation der Interaktionsmarker benötigt, deren Ergebnisse aufgrund des hohen Aufwandes bisher noch nicht vorliegen. Der Datensatz ist weiterhin hoch-synchronen multimodalen Aufnahmen für multimodale Analysen sehr gut geeignet.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag stellt wichtige Entwicklungen und Ansätze für die Bewertung der Interaktion durch die automatische Auswertung des Nutzerzustandes vor. Dadurch wird es möglich, dass Maschinen die menschliche Kommunikation besser analysieren und das System in geeigneter Weise auf menschliche Äußerungen reagieren kann.

Dazu wurde zunächst der aktuelle Stand in der Emotionserkennung aufgezeigt und die Schwierigkeiten für eine Intentionserkennung herausgearbeitet. Es wurde diskutiert, dass von gespielten hochexpressiven Emotionen hin zu realitätsnahen schwächer ausgeprägten Emotionen die Erkennungsleistung abnimmt.

Daher wurden anschließend die akustischen Interaktionsmarker als zusätzlicher Baustein für die Bewertung der Nutzerintention eingeführt. Für Diskurspartikel, Sprecherüberlappungen, Off-Talk und Interaktionspausen konnten die entsprechenden Merkmale und Bedeutungen herausgearbeitet werden. Bisher sind die vorgestellten Interaktionsmarker und ihre Bedeutung jedoch nur auf einzelnen Datensätzen der Mensch-Maschine-Interaktion untersucht worden, für eine allgemeingültigere Aussage ist es notwendig weitere Datensätze zu untersuchen.

Schließlich wurde ein Szenario vorgestellt, dass die Grundlage für den Transfer der vorgestellten Ergebnisse auf technische Unterstützungssysteme in der Gesundheitsförderung bildet. Das Szenario ist auf ältere Nutzer, die ein technisches System für das Gangtraining nutzen, fokussiert. Während des Experimentes sind die Nutzer mit Unter- und Überforderungssituationen konfrontiert, welche mit 10 Modalitäten hoch-synchron aufgenommen werden. Erste Emotionsanalysen zeigen, dass die Nutzer in den verschiedenen Situationen unterschiedlich reagieren und die induzierten Situationen unterschieden werden können. Es zeigt sich aber auch, dass die Nutzerreaktionen sehr individuell ausgeprägt sind. Dies bekräftigt die eingangs aufgestellte Forderung nach einer Companion-Technologie. Mit dieser ist es dann möglich, auf die individuellen Fähigkeiten und Vorlieben einzugehen und so die Mensch-Maschine-Interaktion für jeden Nutzer adaptiv zu gestalten.

Danksagung

Die präsentierten Arbeiten wurden im Rahmen des SFB/TRR 62 „Eine Companion-Technologie für kognitive technische Systeme“ (www.sfb-trr-62.de), finanziert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), durchgeführt. Zusätzliche Förderung erfolgte im Rahmen der Innovationsallianz 3Dsensation, finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.

4 Literatur

- [1] L. Süßenbach, N. Riether, S. Schneider, I. Berger, F. Kummert, I. Lütkebohle, K. Pitsch: A robot as fitness companion: towards an interactive action-based motivation model. In: The Proc. Of the RO-MAN 2014, S. 286-293, 2014.
- [2] Y. Wilks: Artificial companions. Interdisciplinary Science Reviews 30/2, S. 145-152, 2005.
- [3] S. Biundo, A. Wendemuth: Companion-Technology for Cognitive Technical Systems. KI - Künstliche Intelligenz 30/1, S. 71-75, 2016.
- [4] R. W. Picard: Affective Computing. MIT Press, Cambridge, USA, 1997.
- [5] C. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning. 2. Ausgabe. Springer, Berlin, 2011.
- [6] A. Dhall, R. Goecke, T. Gedeon, N. Sebe: Emotion recognition in the wild. Journal on Multimodal User Interfaces 10/2, S. 95-97, 2016.
- [7] E. Douglas-Cowie, L. Devillers, J.-C. Martin, R. Cowie, S. Savvidou, S. Abrilian, C. Cox: Multimodal databases of everyday emotion: facing up to complexity. In: Proc. of the INTERSPEECH-2005. Lisbon, Portugal, S. 813-816, 2005.
- [8] B. Schuller, B. Vlasenko, T. Eyben, G. Rigoll, A. Wendemuth: Acoustic Emotion Recognition: A Benchmark Comparison of Performances. In: Proc. of the IEEE ASRU-2009. Merano, Italy, S. 552-557, 2009.
- [9] M. Heldner, J. Edlund: Pauses, gaps and overlaps in conversations. Journal of Phonetics, 38/4, S. 555-568, 2010.
- [10] K. Fischer, B. Wrede, C. Brindöpke, M. Johanntokrax: Quantitative und funktionale Analysen von Diskurspartikeln im Computer Talk. International Journal for Language Data Processing 20/1-2, S. 85-100, 1996.
- [11] I. Siegert, M. Haase, D. Prylipko, A. Wendemuth: Discourse particles and user characteristics in naturalistic human-computer interaction. In: Human-Computer Interaction. Advanced Interaction Modalities and Techniques, Vol. 8511, LNCS, Springer, S. 492-501, 2014.
- [12] I. Siegert, J. Krüger, M. Haase, A. Lotz, S. Günther, J. Frommer, D. Rösner, A. Wendemuth: Discourse Particles in Human-Human and Human-Computer Interaction – Analysis and Evaluation. In: Human-Computer Interaction. Theory, Design, Development and Practice. Vol. 9731, LNCS, Springer, S. 105-117, 2016.
- [13] D. Prylipko, O. Egorow, I. Siegert, A. Wendemuth: Application of Image Processing Methods to Filled Pauses Detection from Spontaneous Speech. In: Proc. of the INTERSPEECH-2014, S. 1816-1820, 2014.
- [14] J. E. Schmidt: Bausteine der Intonation. In: Neue Wege der Intonationsforschung. Vol. 157-158. Germanistische Linguistik. Hildesheim, Georg Olms, S. 9-32, 2001.

- [15] A. Lotz, I. Siegert, A. Wendemuth: Automatic Differentiation of Form-Function-Relations of the Discourse Particle "hm" in a naturalistic Human Computer Interaction. In: Proc. of the 26th ESSV, S. 172-179, 2015.
- [16] A. Lotz, I. Siegert, A. Wendemuth: Comparison of Different Modeling Techniques for Robust Prototype Matching of Speech Pitch-contours. Kognitive Systeme-2016, 2016.
- [17] E. Shriberg, A. Stolcke, D. Baron: Observations on overlap: findings and implications for automatic processing of multi-party conversation. In: Proc of the INTERSPEECH, S. 1359-1362, 2001.
- [18] H. Sacks, E. A. Schegloff, G. Jefferson: A simplest systematics for the organization of turn-taking for conversation. Language, 50/4, S. 696-735, 1974.
- [19] C: Oertel, M. Włodarczak, A. Tarasov, N. Campbell, P. Wagner: Context cues for classification of competitive and collaborative overlaps. Proceedings of Speech Prosody, 2012.
- [20] A. Chowdhury, M. Danieli, G. Riccardi: The role of speakers and context in classifying competition in overlapping speech. Proc of the INTERSPEECH-2015, Dresden, 2015.
- [21] I. Siegert, R. Böck, B. Vlasenko, K. Ohnemus, A. Wendemuth: Overlapping Speech, Utterance Duration and Affective Content in HHI and HCI – An Comparison. In Proc. of the 6th IEEE CogInfoCom, S. 83-88, 2015.
- [22] D. Oppermann, N. Beringer, F. Schiel, A. Batliner: Off-Talk – A Problem for Human-Machine-Interaction? SmartKom Reports, Nr. 6, 2001.
- [23] A. Batliner, C. Hacker, E. Nöth: To talk or not to talk with a computer. Journal on Multimodal Interfaces, 2:3, S. 171-186, 2008.
- [24] R. Siepmann, A. Batliner, D. Oppermann: Using Prosodic Features To Characterize Off-Talk In Human-Computer Interaction. In: Proc. Of the Workshop on Prosody and Speech Recognition, S. 147-150, 2001.
- [25] R. Friesen, D. Rösner: Pauses in the LAST MINUTE Corpus. In: Proc. of the 1st International Symposium on Companion-Technology, S. 62-67, 2015.
- [26] M. Tornow, M. Krippl, S. Bade, A. Thiers, I. Siegert, S. Handrich, J. Krüger, L. Schega, A. Wendemuth: Integrated Health and Fitness (iGF)-Corpus – ten-Modal Highly Synchronized Subject-Dispositional and Emotional Human Machine Interactions. In: Proc. of Multimodal Corpora: Computer vision and language processing (MMC 2016). Portorož, Slovenia, S. 21-24, 2016.

Kennzeichnung von Nutzerprofilen zur Interaktionssteuerung beim Gehen

A. Thiers¹, D. Hamacher¹, M. Tornow², R. Heinemann², I. Siegert², A. Wendemuth², L. Schega¹

¹Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Humanwissenschaften, Sportwissenschaft – Lehrstuhl Gesundheit und körperliche Aktivität
Zschokkestraße 32, 39104 Magdeburg

Angelina.Thiers@ovgu.de, Dennis.Hamacher@ovgu.de, Lutz.Schega@ovgu.de

²Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Lehrstuhl kognitive Systeme
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg

Michael.Tornow@ovgu.de, Ralph.Heinemann@ovgu.de, Ingo.Siegert@ovgu.de,
Andreas.Wendemuth@ovgu.de

Kurzzusammenfassung

Das vorliegende Konzept beschreibt die Entwicklung einer Companion-Technologie, die den Erhalt sowie die Verbesserung der Gehfähigkeit unterstützt. Relevante individuelle Bewegungs- sowie Emotions- und Dispositionsmuster des Nutzers werden erfasst und gekennzeichnet. Die anschließende Fusion der klassifizierten Daten mündet in das Nutzerprofil, das die sensomotorischen und affektiven Anforderungen des Nutzers beschreibt und die Grundlage für die gezielte Systemintervention darstellt. Das Nutzerprofil ermöglicht weiterhin die Planung einer systematischen, individuellen und adaptiven Anleitung zum regelmäßigen und kontrollierten Üben des sicheren Gehens. Ziel ist es, ein System zur Unterstützung der individuellen Bedürfnisse des Nutzers zu schaffen.

Abstract

“Identification of user profiles for controlling the interaction during gait“

The present concept describes the development of a companion technology which aims to preserve and improve gait ability. Relevant indicators of movements as well as emotions and disposition patterns will be collected and identified. Subsequently, the classified data will be fused which then reveals the user profile consisting of user-specific sensorimotor and affective demands. The user profile represents the basis for the individual system interventions. Additionally, it allows planning a systematic, individual and adaptive instruction for regular and controlled gait exercises. The objective is to create a system which continuously adjusts its support towards the individual needs of the user.

Keywords: Gang, Sensomotorik, Companion-Technologie, kognitive technische Systeme, Mensch-Maschine-Interaktion

1 Einleitung

Im Jahr 2010 lag in Deutschland der Bevölkerungsanteil der über 65-Jährigen bei 21 % [1]. Bis 2050 wird ein Zuwachs dieser Altersgruppe auf über 30 % prognostiziert [2]. Da zunehmendes Lebensalter mit dem Anstieg von Sturzhäufigkeit korreliert, stürzen bei den über 65-Jährigen

etwa 30 % mindestens einmal pro Jahr und bei den über 80-Jährigen bereits jeder Zweite. Dabei führen etwa 10 % der Stürze zu Verletzungen, die ein ärztliches Eingreifen erfordern [3, 4]. Dies impliziert hohe Kosten für das Gesundheitswesen, die zukünftig, bedingt durch den demografischen Wandel, weiter steigen werden [5]. Mit dem demografischen Wandel gehen weiterhin ein wachsender Fachkräftemangel sowie eine Zunahme von chronischen Erkrankungen und Mehrfacherkrankungen einher [6]. Um den Auswirkungen dieser Entwicklungen entgegenzuwirken, ist es notwendig, Strategien zur Kompensation von altersbedingten sensomotorischen Einschränkungen zu entwickeln [7]. Eine Möglichkeit dafür liefert der Einsatz von Companion-Technologie. Diese sollte den Nutzer durch individuelle und adaptive Systeminterventionen bei der Erhaltung ihrer motorischen und kognitiven Fähigkeiten unterstützen. Der allgemeine Gesundheitssektor stellt somit ein bedeutendes Anwendungsfeld für den Einsatz von Companion-Technologie dar.

Aktuell beinhalten kommerzielle Angebote für die automatische Begleitung von Bewegungsübungen lediglich eine Spiegelung des Nutzerverhaltens in Form einfacher Rückmeldungen und Anweisungen. Bereits der Korpus zur Ganganalyse und Fitnessplanung von Tornow et al. [8] liefert erste Hinweise darauf, dass der Einsatz von kognitiven technischen Systemen im gesundheitsbezogenen Kontext realisierbar ist.

Ziel des hier vorgestellten Konzeptes ist es, eine Companion-Technologie für kognitive technische Systeme für nutzerindividuelle Systeminterventionen zu schaffen, die den Nutzer adaptiv und unter Berücksichtigung seiner persönlichen Fähigkeiten, Anforderungen und Bedürfnisse bei Bewegungsübungen unterstützt. Am Beispiel „Gang im Alter“ wird eine Companion-Technologie entwickelt, die zum Erhalt der Gehfähigkeit im Alter bzw. zur Korrektur vorliegender Einschränkungen beim Gehen dient.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Gang im Alter

Stürzt jeder Dritte über 65-Jährige mindestens einmal pro Jahr, so steigt die Häufigkeit bei 15 % dieser Altersgruppe auf mindestens zwei Sturzereignisse pro Jahr [9]. Im Vergleich dazu stürzen ca. 50 % der 80-Jährigen mindestens einmal pro Jahr [4]. Neben dem ansteigenden Sturzrisiko im Alter erhöht sich ebenfalls die Wahrscheinlichkeit von sturzbedingten Verletzungen [9]. So werden etwa 95 % der hüftnahen Frakturen durch Stürze verursacht [10]. Die Behandlungskosten sowie die Folgekosten nach einem Sturz, etwa für Hilfsmittel, Pflege oder Rehabilitation, belaufen sich nach Angaben aus dem Jahr 2014 auf bis zu 1,5 % [5] der jährlichen bundesweiten Gesundheitsausgaben von 328 Milliarden Euro [11]. Prognosen gehen davon aus, dass dieser Kostenfaktor für das Gesundheitssystem weiterhin zunehmen wird [9]. Allein die durch einen Sturz verursachten Todesfälle stiegen im Zeitraum von 2001 bis 2010 bei den über 80-Jährigen um 89 % an [12].

In Hinblick auf einen Sturz spielen neben den physischen Konsequenzen des Alterungsprozesses, wie z.B. dem Abbau der Muskelkraft [13], auch psychosoziale Faktoren eine große Rolle. Beispielsweise entwickelt sich die Sturzangst sowohl nach einem Sturzereignis selbst als auch in der Vorausschau auf einen Sturz bei bisher nicht gestürzten Personen. Die Angst vor einem Sturz kann zu Einschränkungen der Mobilität und damit zu einer Reduktion der Alltagsaktivitäten führen. Dementsprechend kommt es zu einer verringerten Lebensqualität. Derartige Veränderungen implizieren eine Abnahme der lokomotorischen Fähigkeiten und führen zu einer

zunehmenden Sturzangst. Unter deren Einfluss kann sich wiederum die Sturzgefahr weiter erhöhen [3].

Folglich erscheint es zum einen notwendig, reliable und valide Methoden zur Quantifizierung der Sturzgefahr zu ermitteln, um zukünftige „Faller“ identifizieren und entsprechend präventive Vorsorgemaßnahmen treffen zu können [14]. Zum anderen müssen Bewegungsprogramme konzipiert werden, die individuell auf den Nutzer zugeschnitten sind und helfen, die Sturzangst, das Sturzrisiko und damit die Anzahl der Stürze zu minimieren [15].

2.2 Gang und Sensomotorik

Zur Bewertung des individuellen Gangbildes ist es notwendig kinematische und kinetische Parameter der Bewegungstrajektorien kontinuierlich zu erfassen, zu analysieren und daraus ableitend sowohl gruppenspezifische als auch individuelle Gangcharakteristika zu identifizieren [16]. Die Variabilität unterschiedlicher temporo-spatialer Parameter, die während einer Bewegungsaufgabe auftritt, ist ein intrinsisch-interindividuelles Phänomen. Dieses ist entweder auf neuronale Prozesse bei der Transformation von sensorischen Signalen in motorische Kommandos zurückzuführen [17] oder begründet sich im Rauschen neuronaler Signaltransduktion [18]. Die ermittelten Gangcharakteristika können in der Nachverarbeitung so modifiziert werden, dass z.B. eine Identifikation von zukünftigen „Fallern“, insbesondere unter Berücksichtigung der Variabilität des minimalen Zehenabstandes in der Schwungphase modelliert und infolgedessen als Prädiktor zukünftiger Stürze angesehen werden kann [19].

Moderne Ansätze zur Analyse der Bewegungsvariabilität und Kennzeichnung von interindividuellen Prädiktoren basieren auf der Chaostheorie [20], da chaotische, nicht-lineare Prozesse inhärente Phänomene in biologischen Systemen darstellen [21]. Auf makroskopischer Ebene beschreibt die lokale dynamische Stabilität, die in der menschlichen Lokomotion mit den größten Lyapunov Exponenten quantifiziert werden kann [22], die Gangstabilität.

Untersuchungen zur linearen und/oder nichtlinearen (Gang-)Variabilität/-Stabilität lassen folglich Rückschlüsse auf die Funktionsfähigkeit des sensomotorischen Systems zu und geben Auskunft darüber, wie unser Organismus Bewegungen kontrolliert [14].

In der Zukunft wächst auch zunehmend die Bedeutung der exekutiven Funktionen, insbesondere in Bezug auf die Beschreibung der Wirkungsweise kognitiver Prozesse auf die Bewegungsausführung, um das Verhalten unter Berücksichtigung der Umweltbedingungen und Alltagsanforderungen zu steuern. Dabei können kognitive Beanspruchungen zu einer Erhöhung der Variabilität bzw. Reduzierung der Stabilität in einer Dual-Task-Situation beim Gehen führen [23].

2.3 Gang und Emotionen

Neben dem Einfluss von kognitiven Aufgaben auf die Bewegungsausführung ist die Einschätzung der Rückwirkung von affektiven Nutzerzuständen ebenso bedeutsam (Abbildung 2.1). Befunde aus der Bewegungsforschung belegen, dass affektive Zustände das Gangverhalten beeinflussen können [24]. Dies zeigt sich unter anderem darin, dass Gefühlen, Absichten und Charakterzügen die Bedeutung zugesprochen wird, in die Bewegungsausführung einzufließen oder diese auszulösen [25]. Verstärkt wird diese Annahme durch verschiedene Untersuchungen, die zeigen konnten, dass sich Emotionen selbst in hoch automatisierten Bewegungen widerspiegeln [26]. Grundsätzlich ist bekannt, dass optimistische Nutzerzustände generell das Lern- bzw. Übungspotenzial fördern können [27]. Beispielsweise

ist das Gangverhalten von depressiven Probanden durch ein verstärktes Fußheben gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu ist für gesunde Probanden eine vorwärtstreibende Bewegung typisch [28]. Diese Differenzierungen sind insbesondere für positive und negative Emotionen belegt. So bewirkt der Einfluss positiver Emotionen z.B. eine Erhöhung der Schrittkadenz. Analog dazu können negative Emotionen oder Dispositionen zu einer Verschlechterung des Gangbildes führen [29].

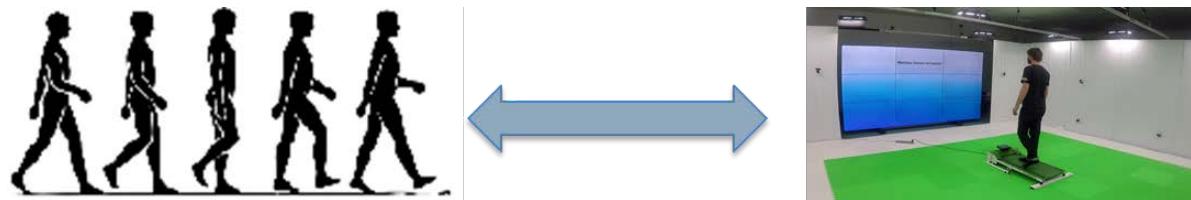


Abbildung 2.1: Wechselwirkung von Gang und Emotionen

2.4 Kognitive technische Systeme für nutzerindividuelle Systeminterventionen

Im Sinne eines nutzerspezifischen Ansatzes müssen kognitive technische Systeme die Bedürfnisse des Nutzers kennen bzw. aktuell ermitteln. Basierend auf diesen Erkenntnissen agiert diese Technologie als kompetenter und partnerschaftlicher Dienstleister und setzt damit die Anforderung an Companion-Systeme um [30].

Die Arbeit von Süssenbach und Kollegen [31] beschreibt beispielsweise den Einsatz einer Human-Roboter-Interaktion im Fitnessbereich. Auch therapeutische Übungen können durch kognitive technische Systeme begleitet werden und den Nutzer dabei unterstützen seine uneingeschränkte Bewegungsfähigkeit aufrechtzuerhalten [32]. Übergreifend steht bei den Systemen die Beeinflussung der menschlichen Bewegung im Mittelpunkt. Den Übenden wird eine eigenverantwortliche Aktivität angeboten, die durch ein Echtzeit-Feedback zur Verbesserung von Lerneffekten beitragen kann und die unmittelbare Präsenz eines Therapeuten nicht durchgehend erfordert. Neben der Anwendung im klinischen Umfeld ermöglichen diese Technologien auch einen Einsatz im häuslichen Umfeld mit der Notwendigkeit auf nutzerzentrierte Anpassungen [33]. Der von unserer Arbeitsgruppe entwickelte Ganganalyse- und Fitness (GF)-Korpus [8] demonstriert den Einsatz einer Companion-Technologie für kognitive technische Systeme im gesundheitsbezogenen Anwendungsfeld.

3 Methodischer Ansatz zur individuellen Interaktionssteuerung beim Gehen

3.1 Nutzerprofil

Eine Kerneigenschaft von Companion-Technologie für kognitive technische Systeme ist es, ihre Funktionalitäten individuell auf den jeweiligen Nutzer auszurichten [30]. Grundlage der individuell adaptiven Systeminterventionen soll ein sensomotorisch affektives Nutzerprofil sein (Abbildung 3.1), das die aktuellen Fähigkeiten, Fertigkeiten, Emotionen und Dispositionen des Nutzers erfasst und bewertet.

Ausgangspunkt für die Entwicklung des Nutzerprofils ist zunächst die kontinuierliche Erfassung kinematischer und kinetischer Bewegungsmerkmale beim unbeeinträchtigten Gehen. Basierend auf dem Gangmodell nach Perry [34] erfolgen die Berechnungen der Bewegungsmerkmale. Dabei werden kinematische Daten beim freien Gehen unter Verwendung von Inertialsensoren (Fußrücken links/rechts, Sternum) und mittels markerlosem Tracking in einer Cave erhoben sowie kinetische Daten über den Einsatz eines instrumentierten Laufbandes mit Kraftmessplatten erfasst. Die erhobenen Daten werden zur Beurteilung der Gangvariabilität

(u. a. minimaler Zehenabstand) und -stabilität (u.a. Lyapunov-Exponent) herangezogen und bilden die individuellen Bewegungsmerkmale des Nutzers beim Gehen ab. Um dem Anspruch eines alltagsnahen Gangbildes unter Laborbedingungen gerecht zu werden, muss in einer Kalibrierungsprozedur das unbeeinträchtigte Gehen im Labor um möglichst alltagsnahe Bedingungen, wie beispielsweise Stolpersituationen oder kognitive Zweitaufgaben, ergänzt werden. Die Umsetzung erfolgt durch die Erweiterung des unbeeinträchtigten Gehens um ablenkende Aufgaben (Mobilitätstest, z.B. Timed Up and Go) und Anforderungen (Perturbationen, z.B. Geschwindigkeitsänderungen; Dual-Task, z.B. Rechenaufgaben während des Gehens), die alltagsnahe Bedingungen beim Gehen simulieren sollen. Ziel ist es, die Aufgaben und Anforderungen diesbezüglich zu bewerten und in eine standardisierte Kalibrierungsprozedur für das Nutzerprofil zu überführen. In Erweiterung der Bewegungsmerkmale zum unbeeinträchtigten Gang werden beim Gehen in den kontrollierten alltagsnahen Situationen die Bewegungsparameter des Gangzyklus (u.a. Schrittadenz, Gehgeschwindigkeit, Schrittlänge, Symmetrie der Gelenkwinkel) neu bewertet und als individuelle Bewegungsmuster klassifiziert. Zur Berücksichtigung der affektiven Komponente können über Audio-, Video- und biophysiologicalen Daten die Zustandsänderungen, die mit der Induktion der Anforderungen einhergehen, ebenfalls erfasst und klassifiziert werden. Es erfolgt dabei eine Differenzierung zwischen Emotionen (z.B. Trauer, Freude, Ärger) und Dispositionen (z.B. Interesse, Über-/Unterforderung). Diese beschreiben unter Nutzung der Dimensionen Valenz, Arousal und Dominanz [35] den affektiven Nutzerzustand. Die Bewertung des affektiven Nutzerzustandes wird abschließend in die Kalibrierungsprozedur integriert. Kritisch ist dabei zu betrachten, dass es sich hierbei um eine sehr begrenzte Kalibrierungsprozedur handelt, die jedoch auf die affektiven Zustandsänderungen in Rückwirkung auf das Gehen fokussiert. Mit Hilfe der Kalibrierungsprozedur ist es möglich, die sensomotorischen Anforderungen sowie die Emotionen und Dispositionen in das sensomotorisch-affektive Nutzerprofil zu integrieren und somit individuelle adaptive Systeminterventionen zu generieren (Abbildung 3.2).



Abbildung 3.1: Aufbau der Kalibrierungsprozedur

3.2 Intervention

Das auf der Grundlage einer Closed-Loop-Interaktion zwischen Companion-Technologie und Nutzer eingesetzte Bewegungsprogramm liefert die Möglichkeit, über eine systematische Anleitung ein regelmäßiges und kontrolliertes Üben beim Gehen zu realisieren. Der Nutzer wird sowohl bei der Planung als auch bei der Durchführung von Bewegungsübungen unterstützt, um

auf diesem Weg langfristig seine uneingeschränkte Gehfähigkeit zu erhalten bzw. vorliegende Einschränkungen zu korrigieren.

Für eine optimale Steuerung des Bewegungsprogramms besteht die Notwendigkeit, Anforderungen zu definieren. Folglich müssen die bereits in der Kalibrierungsprozedur angewendeten Anforderungen (Perturbationen und Dual-Task), die ebenfalls in das Bewegungsprogramm integriert werden, auf die Belastungsnormative Intensität, Dauer und Umfang sowie deren Rückwirkung auf das individuelle Nutzerprofil abgestimmt werden. Das Bewegungsprogramm selbst basiert auf trainingswissenschaftlichen Grundsätzen und Gesetzmäßigkeiten und orientiert sich in Erweiterung dieser auf relevante kinematische Kennwerte sowie Kraft- und Impuls muster, die bedeutend für die Stand- und Schwungphase im Gangzyklus sind und hinreichend gesicherte Prädiktoren zur Verbesserung des Gangs berücksichtigen. Ausgangspunkt für den Einsatz des Bewegungsprogramms ist das Nutzerprofil aus der Kalibrierungsprozedur, das adaptive und individuelle Systeminterventionen zur Anleitung durch das System vorhält (Abbildung 3.2). Das Bewegungsprogramm ermöglicht durch die Synergie des individuellen Nutzerprofils mit der kontinuierlichen Registrierung der kinematischen und kinetischen Daten eine echtzeitfähige visuelle/verbale Anleitung zur individuellen Gangintervention des Nutzers. Die verschiedenen Systeminterventionen können über das Anlegen einer Wissensbasis und der damit verbundenen Analyse der aktuellen Daten und der Verlaufsdaten realisiert werden. Im Sinne der sofortigen visuellen Systemintervention erfolgt die Präsentation ausgewählter Bewegungstrajektorien im Vergleich zu Normwerten, so dass eine segmentale Bewegungssteuerung über das Einspielen von Ober-/Untergrenzen möglich wird. Durch verbale Systeminterventionen können Korrekturen, wie beispielsweise eine höhere Gehgeschwindigkeit (z.B. „Bitte gehen Sie schneller.“) umgesetzt werden. Es wird dabei zwischen Systeminterventionen nach kurzen (während der Übungsausführung) und längeren (nach der Übungsausführung) Zeitskalen differenziert. Neben den individuellen Bewegungsmustern des Nutzers erfolgt die Steuerung der optimalen Systemintervention auch auf der Grundlage der Erfassung der Nutzerzustände (Emotionen, Dispositionen). Zum Beispiel müssen die Systeminterventionen auf Ängste, die aus der Rückwirkung der aktuellen Gangsituation heraus erkannt wurden, abgestimmt werden und in der Lage sein, für diese Situationen motivierende und beruhigende Inhalte zu vermitteln. Weiterhin werden Abweichungen der Bewegungsmerkmale von den Normwerten unter Berücksichtigung der erkannten Nutzerzustände, wie Über- oder Unterforderung, analysiert. Ist ein Zusammenhang ableitbar, folgen Systeminterventionen mit angepassten Anforderungen, die zusätzlich einen positiven Nutzerzustand induzieren. Nur unter Berücksichtigung des affektiven Nutzerzustandes kann eine gezielte Verbesserung bzw. Korrektur des Gangs erfolgreich sein.

4 Diskussion und Ausblick

Das in diesem Beitrag vorgestellte Konzept dient zur Umsetzung einer Companion-Technologie für kognitive technische Systeme zur Korrektur und Verbesserung von Gangauffälligkeiten. Ziel ist es, vor allem älteren Menschen eine Möglichkeit zur Kompensation von altersbedingten sensomotorischen Einschränkungen an die Hand zu geben und auf diesem Wege langfristig eine uneingeschränkte Gehfähigkeit zu erhalten. Durch den Einsatz dieser Companion-Technologie, die persönliche Fähigkeiten, Anforderungen und Bedürfnisse des Nutzers erfasst, erkennt und berücksichtigt, ist es möglich, ein individuelles Nutzerprofil zu erstellen. Dieses ist die Grundlage für die Planung eines effizienten Bewegungsprogramms,

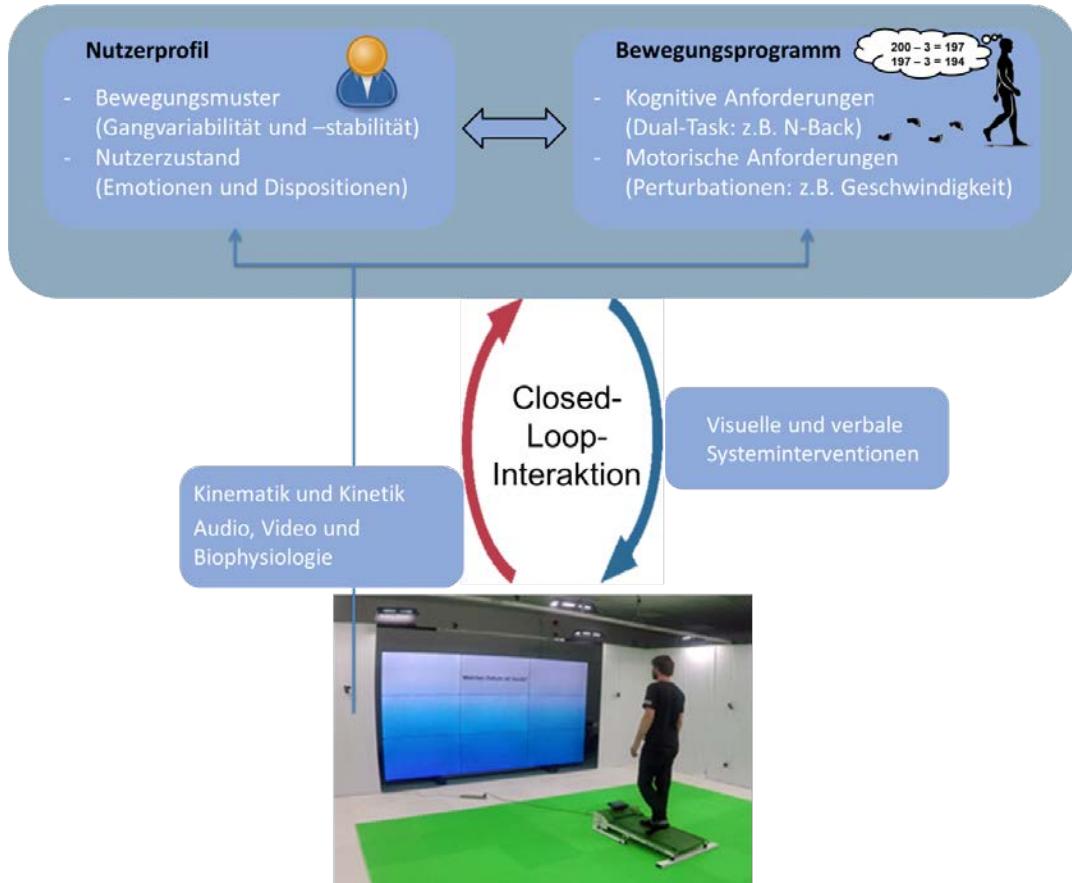


Abbildung 3.2: Closed-Loop-Interaktion zum Gang unter Verwendung von Companion-Technologie

welches die nutzerspezifischen Fähigkeiten, Fertigkeiten, Bedürfnisse und Anforderungen berücksichtigt. In diesem Zusammenhang gilt es, sowohl den Aspekt der Datensicherheit kritisch zu betrachten als auch der Frage nachzugehen, welche Ausprägung an Individualisierung von den Nutzern gewünscht wird. Diese Form der Individualisierung gilt es, bei der Entwicklung des Systems zu berücksichtigen. Die Anleitung zur Ausführung der Ganginterventionen durch visuelle und verbale sowie individuelle und adaptive Systeminterventionen wird dabei durch die Synergie des Nutzerprofils mit der kontinuierlichen Erfassung von kinematischen, kinetischen, auditiven, visuellen und biophysiologischen Daten realisiert. Zur Gewährleistung eines alltagsnahen Bezugs werden zum einen mechanische Perturbationen über das Laufband appliziert (bspw. Simulation von Stolperereignissen) und zum anderen kognitive Zweitaufgaben im Kontext Einkaufen (bspw. Simulation der Aufmerksamkeitsteilung) angewendet. Die Parametrisierung der Aufgaben und Anforderungen zielt dabei auf die Simulation kognitiv motorischer Prozesse unter Alltagsbedingungen ab, um diese unter Laborbedingungen nachzustellen. Die Übertragbarkeit dieser Simulationen zum Gehen in alltäglichen Situationen außerhalb des Labors muss demnach evaluiert werden. Durch die Berücksichtigung der physiologischen und psychologischen Nutzereigenschaften wird sowohl die Nutzerakzeptanz als auch die Wirksamkeit des Bewegungsprogramms erhöht. Es kann somit auf beeinflussende Faktoren, wie beispielsweise die Sturzangst, gezielt eingewirkt werden, so dass die Bewegungsausführungen durch regelmäßiges Üben wieder automatisiert werden und dabei ein positiver Nutzerzustand induziert wird. Weiterhin besteht die Notwendigkeit, erkannte Gangauffälligkeiten durch visuelle und verbale Systeminterventionen gezielt zu korrigieren. Insgesamt wird dem Nutzer ein

System an die Hand gegeben, dass das eigenständige, regelmäßige und kontrollierte Üben ermöglicht und somit helfen kann, die Gehfähigkeit zu erhalten, ein Gefühl von Sicherheit im Alltag zu vermitteln und die Lebensqualität zu steigern.

5 Literaturverzeichnis

- [1] P. Huss: Die Folgen des demografischen Wandels für die zukünftige Finanzierung des Gesetzlichen Krankenversicherungssystems. Diplomica Verlag GmbH, Hamburg, 2013.
- [2] A. Kruse, H.-W. Wahl: Zukunft Altern: Individuelle und gesellschaftliche Weichenstellungen. Spektrum, Akad. Verl., Heidelberg, 2010.
- [3] A. Pierobon, M. Funk: Sturzprävention bei älteren Menschen: Risiken - Folgen - Massnahmen; [inklusive DVD mit 25 Filmen]. New York, Stuttgart, Thieme, 2007.
- [4] U. Walter: Alt und gesund?: Altersbilder und Präventionskonzepte in der ärztlichen und pflegerischen Praxis. 1. Auflage. VS, Verl. für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2006.
- [5] A. Schenk: Das Sturzrisiko Von Zu Hause Lebenden Älteren Menschen: Entwicklung Eines Sturzrisikoinstrumentes zur Einbindung in eine Elektronische Mobile Patientenakte. Bachelor + Master Publish, Hamburg, 2013.
- [6] K. Böhm, C. Tesch-Römer, T. Ziese: Gesundheit und Krankheit im Alter. Robert Koch-Inst, Berlin, 2009.
- [7] M. Hüther, G. Naegele: Demografiepolitik: Herausforderungen und Handlungsfelder. Springer VS, Wiesbaden, 2013.
- [8] M. Tornow, M. Krippl, S. Bade, A. Thiers, I. Siegert, S. Handrich, J. Krüger, L. Schega, A. Wendemuth: Integrated Health and Fitness (iGF)-Corpus - 10-Modal Highly Synchronized Subject-Dispositional and Emotional Human Machine Interactions. In Proc. of Multimodal Corpora: Computer vision and language processing (MMC 2016). Portorož, Slovenia, S. 21-24, 2016.
- [9] E. Freiberger, D. Schöne: Sturzprophylaxe im Alter: Grundlagen und Module zur Planung von Kursen ; mit Tabellen und Modulen. Dt. Ärzte-Verl., Köln, 2010.
- [10] W. C. Hayes, E. R. Myers, J. N. Morris, T. N. Gerhart, H. S. Yett, L. A. Lipsitz: Impact near the hip dominates fracture risk in elderly nursing home residents who fall, Calcified tissue international 52, S. 192-198, 1993.
- [11] J. Sieweck: Wirtschaftsfaktor Lebensende: Der Milliarden-Markt rund ums Ableben. 1. Auflage. Books on Demand, Norderstedt, 2016.
- [12] Statistisches Bundesamt: Todesursachen in Deutschland 4, 2012.
- [13] S. Steidl, B. Nigg: Gerontologie, Geriatrie und Gerontopsychiatrie: Ein Lehrbuch für Pflege- und Gesundheitsberufe. Facultas wuv universitätsverlag, Wien, 2008.
- [14] D. Hamacher, N. B. Singh, J. H. van Dieen, M.O. Heller, W. R. Taylor: Kinematic measures for assessing gait stability in elderly individuals: a systematic review. Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society 8, S. 1682-1698, 2011.
- [15] M. Hasseler (Hrsg.): Prävention und Gesundheitsförderung: Neue Aufgaben für die Pflege. Grundlagen und Beispiele. Schlütersche, Hannover, 2006.
- [16] W. I. Schollhorn, B. M. Nigg, D. J. Stefanyshyn, W. Liu: Identification of individual walking patterns using time discrete and time continuous data sets, Gait & posture 15, S. 180-186, 2002.
- [17] M. M. Churchland, A. Afshar, K. V. Shenoy: A central source of movement variability, Neuron 52, S. 1085-1096, 2006.

- [18] A. A. Faisal, L. P. J. Selen, D. M. Wolpert: Noise in the nervous system. *Nature reviews. Neuroscience*, S. 292-303, 2008.
- [19] R. S. Barrett, P. M. Mills, R. K. Begg: A systematic review of the effect of ageing and falls history on minimum foot clearance characteristics during level walking, *Gait & posture* 32, S. 429-435, 2010.
- [20] J. Birklbauer: Modelle der Motorik: Eine vergleichende Analyse moderner Kontroll-, Steuerungs- und Lernkonzepte. Meyer & Meyer, Aachen, 2006.
- [21] D. Kaplan, L. Glass: Understanding nonlinear dynamics. Springer-Verlag, New York, 1995.
- [22] J. B. Dingwell, J. P. Cusumano: Nonlinear time series analysis of normal and pathological human walking, *Chaos* (Woodbury, N.Y.) 10, S. 848-863, 2000.
- [23] G. Yogeve-Seligmann, Y. Rotem-Galili, A. Mirelman, R. Dickstein, N. Giladi, J. M. Hausdorff: How does explicit prioritization alter walking during dual-task performance? Effects of age and sex on gait speed and variability, *Physical therapy* 90, S. 177-186, 2010.
- [24] C. L. Roether, L. Omlor, A. Christensen, M. A. Giese: Critical features for the perception of emotion from gait, *Journal of vision* 9, S. 1-32, 2009.
- [25] K. Götz-Neumann: Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie. 4. Auflage. Stuttgart, Georg Thieme Verlag, New York, 2016.
- [26] J. Edelmann-Nusser (Hrsg.): Sport und Informatik IX: Bericht zum 6. Workshop Sportinformatik der Dvs-Sektion Sportinformatik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg vom 22. - 24. Juni 2006. Shaker, Aachen, 2006.
- [27] H. C. Traue: Emotion und Gesundheit: Die psychobiologische Regulation durch Hemmungen. Spektrum, Akad. Verl., Heidelberg, Berlin, 1998.
- [28] L. Sloman, M. Berridge, S. Homatidis, D. Hunter, T. Duck: Gait patterns of depressed patients and normal subjects, *The American journal of psychiatry* 139, S. 94-97, 1982.
- [29] J. M. Montepare, S. B. Goldstein, A. Clausen: The identification of emotions from gait information, *Journal of Nonverbal Behavior* 11, S. 33-42, 1987.
- [30] S. Biundo, A. Wendemuth: Companion-Technology for Cognitive Technical Systems, *KI - Künstliche Intelligenz* 30, S. 71-75, 2016.
- [31] L. Süßenbach, N. Riether, S. Schneider, I. Berger, F. Kummert, I. Lütkebohle, K. Pitsch: A robot as fitness companion: towards an interactive actionbased motivation model. In: *The Proc. Of the RO-MAN 2014*, S. 286-293, 2014.
- [32] J. Vox, S. Franz, F. Wallhoff: Adaptive Bewegungsanalyse von physiotherapeutischen Übungen für eine optimierte Mensch-Roboter-Trainingsinteraktion. In: *5. Interdisziplinärer Workshop Kognitive Systeme*, 2016.
- [33] F. Makedon, M. Clements, C. Pelachaud, V. Kalogeraki, I. G. Maglogiannis: Proceedings of PETRA 2014: The 7th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments, Rhodes, Greece (PETRA '14). ACM, New York, 2014.
- [34] J. Perry: Ganganalyse: Norm und Pathologie des Gehens. 1. Auflage. München, Urban und Fischer, Jena, 2003.
- [35] H. Traue, F. Ohl, A. Brechmann, F. Schwenker, H. Kessler, K. Limbrecht, H. Hoffmann, S. Scherer, M. Kotzyba, A. Scheck, S. Walter: A Framework for Emotions and Dispositions in Man-Companion Interaction. In: *Coverbal synchrony in human-machine interaction*, Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group 2014, S. 99-140, 2014.

Mobile Geräte und Telemedizin in der Rehabilitation – Was wünschen sich Patienten?

N. Jankowski, J. Gerstmann, L. Schönijahn, M. Wahl

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Rehabilitationswissenschaften

Unter den Linden 6, 10099 Berlin

jankowna@hu-berlin.de

Kurzzusammenfassung

In dem aktuellen Forschungsprojekt (BeMobil – Bewegung und Mobilität wiedererlangen, BMBF; www.bemobil.net) werden innovative, technische Systeme und Verfahren entwickelt, die in die Schlaganfall- und Skolioseversorgung integriert werden sollen. In der vorliegenden Begleitstudie werden Potenziale und Barrieren im Einsatz mobiler Geräte und Telemedizin in der Behandlung von Schlaganfall- und Skoliosepatienten untersucht. Hier sollen Möglichkeiten der Implementierung in die Rehabilitation als neuer Behandlungsansatz vorgestellt und Akzeptanzparameter abgeleitet werden. Im Rahmen von Nutzerbefragungen (Patienten und Behandler) wurde ein menschzentriertes Vorgehen in der Entwicklung berücksichtigt. In der vorliegenden Arbeit wird der Fokus auf die Patientensicht¹ gelegt. Folgende Fragestellungen werden untersucht: Wie werden mobile Geräte im Alltag von Patienten genutzt? Sind Patienten bereit telemedizinische Verfahren mit Hilfe von mobilen Geräten anzuwenden? Welche Anforderungen stellen Patienten an eine telemedizinische Behandlung?

Abstract

„Mobile devices and telemedicine in rehabilitation - What do patients want?”

The current research project investigates potentials and barriers of mobile devices and telemedicine in the care of stroke and scoliosis patients. Implementation possibilities in rehabilitation will be presented as a new treatment approach. In addition, acceptance parameters are derived. In user surveys with patients and clinicians, a human-centered approach in the development was chosen. The present study focuses on the patient's perspective. The following questions are examined: How do patients use mobile devices in their everyday life? Are patients willing to use telemedicine in their treatment? What requirements must be met by telemedicine so that patients would use it?

Keywords: Informations- und Kommunikationstechnologien, Telemedizin, Telerehabilitation, Rehabilitation, Akzeptanz, Ältere Menschen

1 Hintergrund und Fragestellung

Technische Entwicklungen gewinnen unabhängig vom Lebensalter in allen Lebensbereichen an Bedeutung [8]. Der technologische Fortschritt ist enorm. Im eigenen Alltag wird Technik zur unerlässlichen Begleitung. Technische Geräte werden kleiner, schneller und dringen praktisch in alle Lebensbereiche vor [9]. Der Ausstattungsgrad bei bereits etablierten und altbewährten Geräten (z. B. Fernseher, Festnetztelefon) zeigt im Hinblick auf verschiedene Altersgruppen kaum Unterschiede. Während bei neueren Technologien wie PC, Internet und Smartphone eine

¹ Aufsatz zur Sicht der Behandler siehe [11].

größere Diskrepanz zu erkennen ist [4]. Aktuelle Daten der ARD/ZDF-Onlinestudie 2015 zur Internetnutzung (N=1800) zeigen, dass jedes Jahr mehr Menschen online gehen. Dennoch sinkt mit zunehmendem Alter die Nutzung des Internets [2]. Durch die Vernetzung der technischen Geräte werden neue Dimensionen der Lebensgestaltung möglich. „Ob Sport, Ernährung, Wissen oder Freizeitgestaltung, das Internet verbindet die Menschen, eröffnet neue Möglichkeiten, und die vernetzten Geräte schaffen einen allgegenwärtigen Raum technischer Begleitung und Unterstützung“ [9].

Auch innerhalb der Medizin haben sich in den letzten Jahren und Jahrzehnten verschiedene Zweige, wie die Telemedizin entwickelt, die Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) nutzen, um räumliche Grenzen zu überwinden [3]. Die Telemedizin setzt sich u.a. mit direkten Gesundheitsdienstleistungen, wie zum Beispiel einer medizinischen Überwachung erkrankter Patienten durch die Übertragung medizinischer Messwerte und Vitaldaten auseinander [6]. Mit Blick auf die demografische Entwicklung werden viele Hoffnungen auf die Telemedizin als neuer Versorgungsansatz gesetzt [1].

Weitere Teilbereiche der Telemedizin, wie der Einsatz von IKT in der Nachsorge und Rehabilitation - die sogenannte Telerehabilitation (TR), wird ebenfalls als viel versprechendes Konzept diskutiert. Ziele von IKT-gestützten Konzepten sind u.a. [5]:

- eine Erhöhung der Behandlungsqualität durch die Erweiterung von TR,
- eine höhere Zugangsgerechtigkeit durch bessere Verfügbarkeit der Leistungen,
- eine Realisierung von Einsparpotenzialen (z.B. Wegzeiten, Reduzierung der Hospitalisierung),
- Verbesserung im Management chronischer Krankheiten (z.B. Therapietreue) sowie
- Aufbrechen der Diskrepanz zwischen Potenzial und tatsächlichem Einsatz (z.B. technische, rechtliche und organisatorische Probleme).

Der Blick auf die internationale Forschungslandschaft zeigt das Potenzial und die rasante Entwicklung, welche die Telerehabilitation u.a. in der neurologischen Rehabilitation einnimmt. Hier sind besonders die systematischen Reviews von Johansson et al. (2011) [16], Laver et al. (2013) [17] zu nennen.

In diesem Forschungsbereich setzt das Projekt „BeMobil“ an. Zum einen wird das Anwendungsgebiet der Skoliosebehandlung mit Stützkorsetten untersucht. Als ein Hauptproblem in der Korsettversorgung gilt die fehlende Adhärenz (Therapiemitarbeit) der Patienten beim Tragen der Orthese [15]. Die Skoliose stellt die häufigste Wirbelsäulenerkrankung bei Kindern und Jugendlichen dar und bezeichnet eine Seitkrümmung der Wirbelsäule. Die unter den Skoliosen am häufigsten vorkommende idiopathische adoleszente Form weist eine Prävalenz von 0,47 bis 5,2 Prozent in der Bevölkerung auf, wobei Mädchen häufiger betroffen sind als Jungen [7, 14]. In BeMobil wird von der TU Berlin ein sensorbasiertes interaktives Unterstützungssystem entwickelt, das Patienten in der Nachsorge zur Selbstüberwachung (selfmonitoring) mit einer mobilen Applikation (APP) in ihrer Behandlung verwenden können.

Der zweite Forschungsgegenstand ist der Bereich der motorischen Rehabilitationsbehandlung nach Schlaganfall. Eine Fortsetzung der Therapiebehandlung nach Entlassung aus der Klinik ist i.d.R. auf eine wöchentliche, ambulante Behandlung beim Ergo- und/oder Physiotherapeut (AHB) reduziert. Mangels geeigneter Möglichkeiten der Therapieunterstützung von Schlaganfallpatienten im eigenen Zuhause, besteht in der Praxis eine Versorgungslücke, die für Patienten von großer Bedeutung für einen dauerhaften und nachhaltigen Therapieerfolg sein könnte. Im

Projekt entwickelt die TU Berlin ein Telerehabilitationssystem, das eine Möglichkeit der Verbesserung der Nachsorgesituation bietet. Die Verbreitung und Akzeptanz derartiger technischer Unterstützungssysteme hängt jedoch, neben der Wirksamkeit in der Behandlung, besonders von der Bereitschaft zur Nutzung und der Technikakzeptanz der Patienten ab. So stellt sich im Hinblick auf den geplanten Einsatz der in BeMobil entwickelten technischen Systeme für die Schlaganfall- und Skolioseversorgung die Frage, wie diese von den Anwendern bewertet und angenommen werden. Das Ziel der vorab durchgeführten Nutzerbefragung war es, aus verschiedenen Perspektiven, die Nutzungsbereitschaft und daraus resultierende Anforderungen an entsprechende Geräte, Systeme und Verfahren, zu identifizieren.

Es ergeben sich folgende Fragestellungen:

1. Wie werden mobile Geräte im Alltag von Patienten bisher genutzt?
2. Sind Patienten bereit mobile Geräte und telemedizinische Verfahren in der Behandlung anzuwenden?
3. Welche Informationen sollen räumliche Grenzen zur „erfolgreichen“ Kommunikation überwinden?
4. In diesem Zusammenhang stellte sich die Frage, ob sich jüngere und ältere Patienten hinsichtlich der Bewertung unterscheiden.

Die Fragen wurden im Rahmen einer Befragung an Patienten aus dem stationären und ambulanten Bereich der Skoliose- und Schlaganfallversorgung gerichtet.

2 Methodik

Die Erhebung zum „Einsatz mobiler Geräte und Telemedizin in der Rehabilitation und Nachsorge“ erfolgte anhand eines standardisierten Fragebogens zunächst im Rahmen einer deutschlandweiten Online-Befragung. Diese wurde durch Offline-Befragungen, die in den Partnerkliniken im Raum Berlin durchgeführt wurden, ergänzt.

2.1 Stichprobenbeschreibung

Die Rekrutierung der Patienten erfolgte über Rehabilitationskliniken, Organisationen, Verbände und spezifische Onlineforen. Zur Erfassung der Fragestellungen gingen n=196 in die Untersuchung mit ein. Die Altersspanne beider Patientengruppen² lag zwischen 9 und 88 Jahren ($M=31$; $SD=22,16$). Aus der Gesamtgruppe wurden 5 Alterskohorten gebildet (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Beschreibung der Alterskohorten

	Kinder	Jugendliche	Junge Erwachsene	Erwachsene	Ältere
Alters-kohorten	1. Kohorte 9-15 J.	2. Kohorte 16-19 J.	3. Kohorte 20-39 J.	4. Kohorte 40-59 J.	5. Kohorte 60-88 J.
n	58	53	26	27	32

Erhebungsinstrumente

Der Fragebogen enthält 40 Fragen und war in beiden Patientengruppen, bis auf die Ansprache (Du / Sie) identisch. Die Items wurden in vier Bereiche gegliedert.

² Die Patientengruppen 1. Skoliose (n=132; $M=17$ Jahre; $SD=4,5$; weiblich=117; Einschlusskriterien: bestehende Korsettbehandlung) und 2. Schlaganfall (n=64; $M=60$ Jahre; $SD=14,3$; weiblich=29; Einschlusskriterien: bestehende ambulante oder stationäre Schlaganfallbehandlung) werden im weiteren Verlauf nicht miteinander verglichen, sondern bilden eine Gesamtgruppe.

Techniknutzung mobiler Geräte und Internet (Abfrage von 10 Items). Es wird ermittelt wie Patienten technische Geräte in ihrem Alltag zur Information und Kommunikation nutzen und wie die Nutzung des Internets in ihren Alltag eingebettet ist. Beispielitems: „Welche Geräte nutzen Sie zu Hause?“, „Ich fühle mich im Umgang mit dem Internet sicher“.

Nutzungsbereitschaft mobiler Geräte und Telemedizin (Abfrage von 8 Items). Die zweite wichtige Voraussetzung um die Durchführbarkeit des Vorhabens zu belegen, ist die Bereitschaft der Nutzer, diese Systeme in der Behandlung zu nutzen. Beispielitems: „Könnten Sie sich vorstellen, ein mobiles Gerät innerhalb der Behandlung zu nutzen?“, „Würden Sie einen erhöhten Aufwand im Einsatz von Telemedizin während der Behandlung sehen?“

Anforderungsanalyse Telemedizin (Abfrage von 9 Items). Der letzte Teil der Befragung zielt darauf ab, Wünsche im Hinblick auf die drei Bereiche Kommunikation, zusätzliche Übungen und Rückmeldestrategien mit Hilfe eines Telemedizinsystems, zu ermitteln. Beispielitems: „In welcher Form könnte der Kontakt stattfinden?“, „Es wäre mir wichtig, nach der Übung eine Rückmeldung zu erhalten.“

2.2 Statistische Auswertung

Die Daten der Teilnehmer wurden mit der IBM Statistiksoftware „SPSS Statistics Version22“ ausgewertet. Zur Beschreibung und Analyse der erhobenen Daten wurden diese zunächst anhand deskriptiver Methoden ausgewertet. Aufgrund fehlender Normalverteilung in den Daten wurden Zusammenhänge der Variablen mit dem parameterfreien Mann-Whitney-U-Test berechnet. Für mehrere Gruppenzusammenhänge wurde der Kruskal-Wallis-H Test angewendet. Der Post-hoc-Test wurde durchgeführt, um zu bestimmen, welche Gruppen sich signifikant unterscheiden. Die Effektstärke wird nach Cohen (1992) in r angegeben. Für die Reliabilitätsanalyse ergab sich folgendes: Einige Items wurden im Fragebogen erst in Abhängigkeit einer bestimmten Beantwortung anderer Items abgefragt. Somit ergibt sich bei diesen Items eine große Standardabweichung und für den gesamten Fragebogen eine schlechte interne Konsistenz durch den Cronbachs Alpha-Wert von .56. Sobald die Items aus der Analyse ausgeschlossen wurden, ergab sich für den Fragebogen ein Cronbachs Alpha-Wert von .74, was eine akzeptable interne Konsistenz darstellt.

3 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse beschränkt sich auf ausgewählte Daten zur Beantwortung der vorangestellten Fragestellungen. Die Darstellung erfolgt in der thematischen Reihenfolge des Fragebogens.

3.1 Techniknutzung mobiler Geräte und Internet

Die Ergebnisse zeigen, dass Patienten von den vorgegebenen 1 bis 9 Geräten im Durchschnitt fünf Geräte ($M=4,8$; $SD 1,5$) zu Hause besitzen. Am häufigsten wird das Telefon (94%), der Fernseher (77%), das Smartphone (66%), der Laptop (64%), der Computer (59%) und das Tablet (47%) benutzt. In Bezug auf die fünf Altersgruppen zeigt sich, dass sich die Gruppe „Kin-der“-„Erwachsene“ ($z=-3.225$, $p=.013$, $r=0.35$), und „Jugendliche“-„Erwachsene“ ($z=-2.856$, $p=.043$, $r=0.32$) signifikant unterscheiden. Abbildung 3.1 zeigt, dass die Nutzung des Telefons bei Erwachsenen und Älteren höher ist als bei den anderen Alterskohorten. Hingegen nimmt mit dem Alter die Nutzung des Smartphones ab.

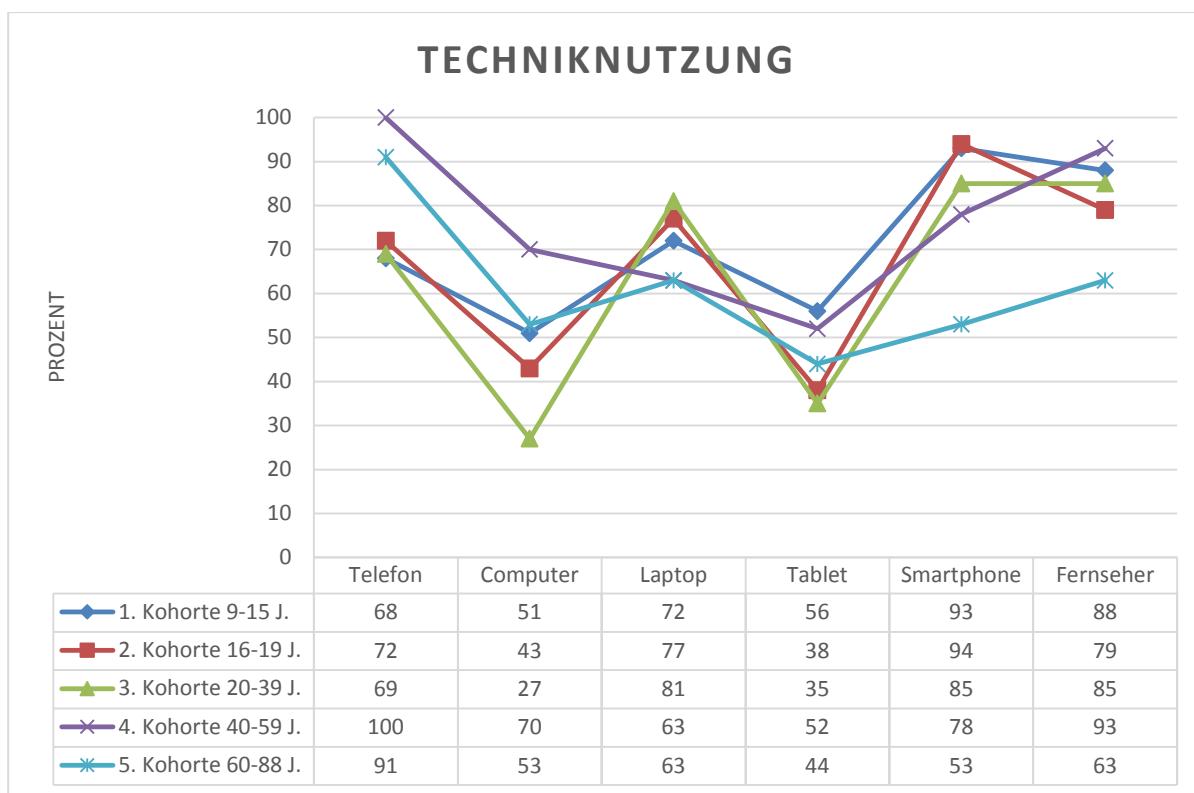


Abbildung 3.1: Techniknutzung nach Altersgruppen in Prozent; Werte „ja“ und „trifft völlig zu“ + „trifft ziemlich zu“ (zusammengefasst)

Das Internet nutzen täglich besonders die jüngeren Altersgruppen (1.-3. Kohorte). Es zeigt sich zudem ein signifikanter Gruppenunterschied zwischen Kindern und jungen Erwachsenen ($z=-3.131, p=.014, r=0.34$) des Sicherheitsempfindens im Umgang mit dem Internet, sodass gefolgert werden kann, dass ein höheres Sicherheitsgefühl mit einem erhöhten Lebensalter einhergeht.

3.2 Nutzungsbereitschaft mobiler Geräte und Telemedizin

Im Hinblick auf die Nutzungsbereitschaft aller Teilnehmer zeigen die Ergebnisse, dass sich der überwiegende Teil der Patienten vorstellen könnte mobile Geräte in die Behandlung zu integrieren (81%). Deutlich weniger der Befragten, jedoch über die Hälfte (56%), könnten sich vorstellen Telemedizin zu Hause zu nutzen. 59% der Patienten denken, dass ein mobiles Gerät und 49% ein telemedizinisches Verfahren die Behandlung unterstützen könnte. Hinsichtlich der fünf Altersgruppen zeigt Abbildung 3.2 den Gruppenunterschied in Bezug auf die Nutzung eines mobilen Gerätes in der Behandlung. Insbesondere Ältere können sich weniger vorstellen, ein mobiles Gerät in die Behandlung zu integrieren.

Mit Telemedizin haben die meisten Patienten (95%) bislang keinerlei Erfahrungen gesammelt. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, auch mögliche Schwierigkeiten und Bedenken der Befragten zu berücksichtigen. So antworten 61% der Patienten auf die Frage, ob sie einen erhöhten Aufwand im Einsatz von Telemedizin sehen würden mit „ja“ oder „weiß nicht“. Insbesondere Kinder (77%) und Jugendliche (76%) vermuten einen signifikant höheren Aufwand beim Einsatz telemedizinischer Verfahren, als Erwachsene und Ältere (Tabelle 3.1).

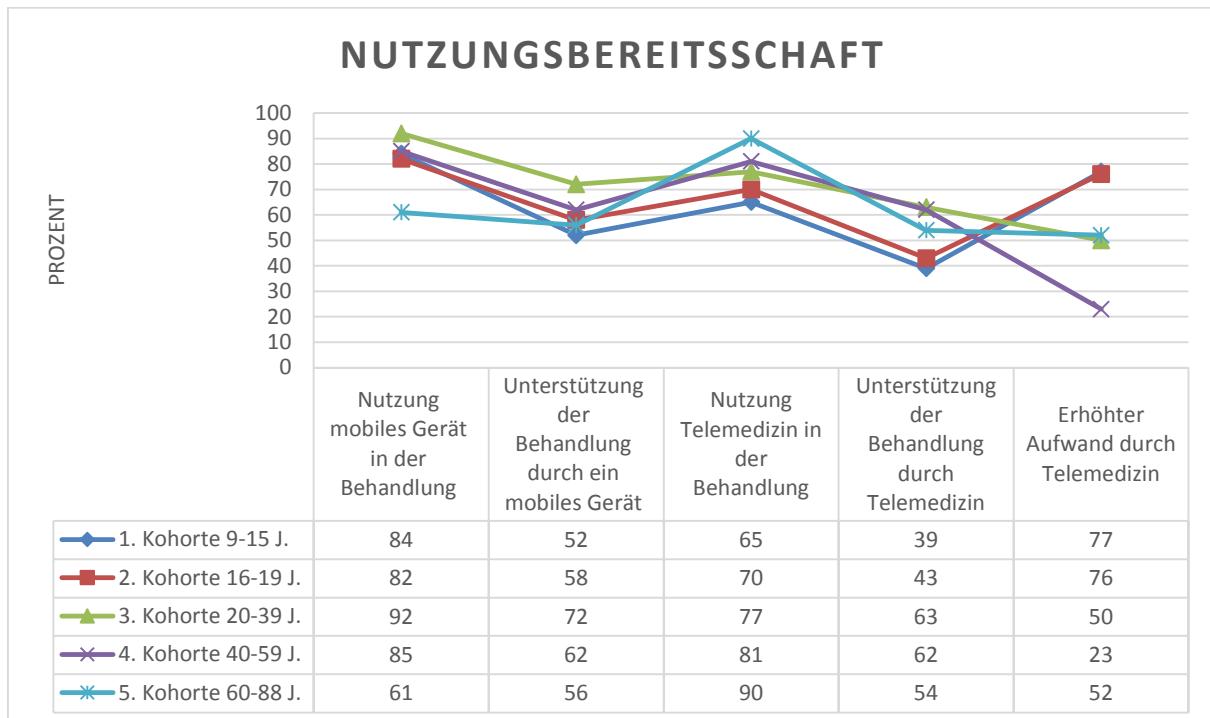


Abbildung 3.2: Nutzungsberreitschaft nach Altersgruppen in Prozent; Werte „ja“ und „trifft völlig zu“ + „trifft ziemlich zu“ (zusammengefasst)

Tabelle 3.1: Beschreibung der signifikanten Gruppenunterschiede

Vergleich Stichprobe 1- Stichprobe 2	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>r</i>
4. Kohorte 40-59 J. - 2. Kohorte 16-19 J.	4.693	.000	0.52
4. Kohorte 40-59 J. - 1. Kohorte 9-15 J.	5.211	.000	0.57
5. Kohorte 60-88 J. - 1. Kohorte 9-15 J.	3.218	.013	0.34

3.3 Anforderungsanalyse Telemedizin

Die Anforderungen der Patienten werden zusammengefasst und nach den wichtigsten Wünschen und Vorstellungen der Nutzer dargestellt. Gleichzeitig werden signifikante Geschlechts- und Altersunterschiede, analog der fünf Gruppen, konstatiert.

Kommunikation in der Behandlung

Im Hinblick auf die Kommunikation wünschen sich Patienten eine synchrone bzw. zeitgleiche Kommunikation (63%) zu ihren Behandlern, die überwiegend in Form einer Telefonverbindung (61%) oder per E-Mail (52%) stattfinden sollte. Darüber hinaus können sich Nutzer vorstellen über ein videogestütztes Verfahren (43%), eine APP (43%) oder eine eingerichtete Internetplattform (42%) mit ihrem Behandler in Kontakt treten. In Bezug auf die verschiedenen Altersgruppen und die Kommunikation über eine Internetplattform zeigte sich ein signifikanter Gruppenunterschied ($p=.009$) zwischen Kindern und jungen Erwachsenen ($z=-3.153$, $p=.016$, $r=0.34$). Patienten signalisieren, dass die Intervalle der Kontaktaufnahme mindestens 1-2-mal pro Monat (35%) bis 1-mal pro Woche (32%) stattfinden sollten. Dabei zeigt sich ein signifikanter Gruppenunterschied zwischen Kindern und Älteren ($z=3.002$, $p=.027$, $r=0.32$) sowie Jugendlichen und Erwachsenen ($z=2.917$, $p=.035$, $r=0.33$). Demnach können sich die beiden jüngeren Alterskohorten eine Kontaktaufnahme mit dem Behandler in einem größeren Zeitraum

(1-2-mal pro Monat) vorstellen, während die beiden älteren Altersgruppen eher 2-3-mal pro Woche mit ihrem Behandler kommunizieren möchten.

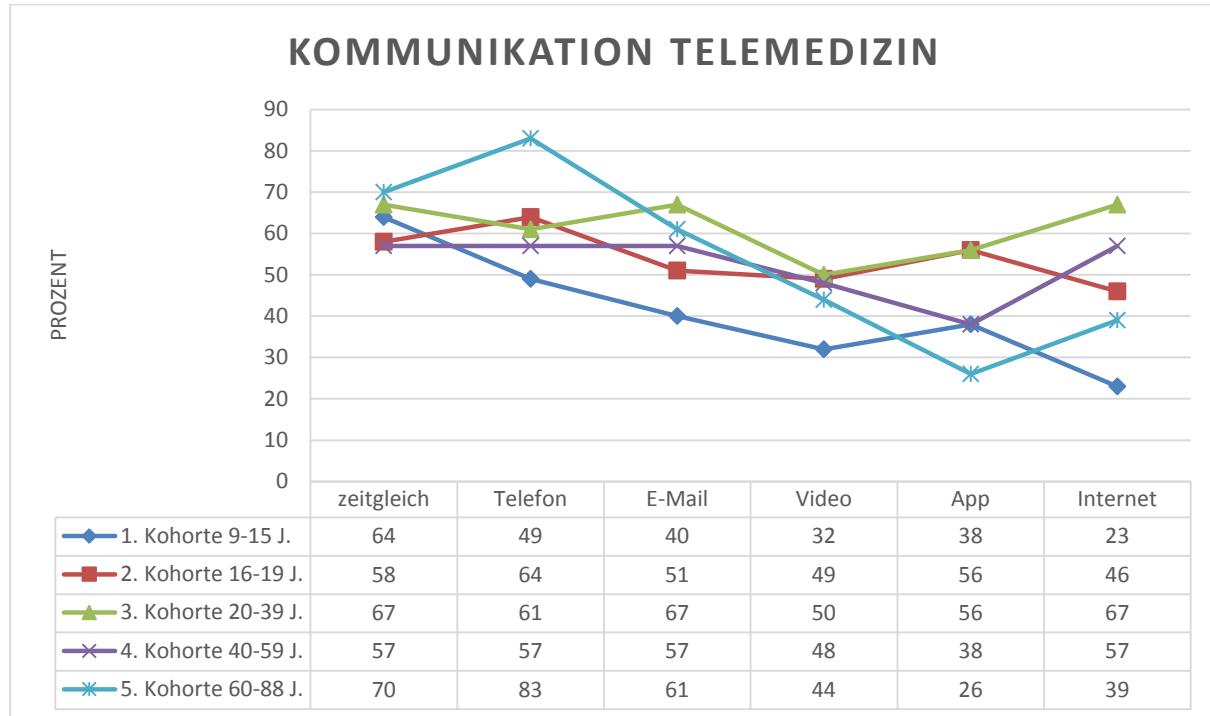


Abbildung 3.3: Kommunikation mit Hilfe von Telemedizin nach Altersgruppen in Prozent;
Werte „ja“

Rückmeldestrategien

Bei der Frage nach zusätzlichen Übungen im häuslichen Umfeld mit Hilfe von Telemedizin sind 67% der Patienten dafür. Zudem wünschen sich die meisten (68%) eine Hilfestellung bei der Durchführung der Übungen. 76% der Befragten ist es wichtig, nach der Übung eine Rückmeldung zu erhalten. Die Ergebnisse zeigen, dass Patienten ein Feedback zu den Übungen sehr wichtig ist. Weiterhin wünschen sich Patienten folgende inhaltliche Rückmeldung:

- Rückmeldung über den Therapieverlauf (77%),
- Hilfestellungen bei der Durchführung von Übungen (68%),
- Anregungen für Bewegungsübungen (68%),
- Lob bei Erfolg (68%),
- Kritik bei Nachlassen (62%),
- Körperparameter (45%) und
- Aufklärung über die Erkrankung und Behandlung (37%).

Die Ergebnisse zeigen ebenfalls signifikante Unterschiede in Bezug auf die Altersgruppen hinsichtlich der Antwort „Rückmeldung über den Therapieverlauf“, besonders die Gruppen Kinder und Jugendliche ($z=-3.467$, $p=.005$, $r=0.33$) sowie Kinder und junge Erwachsene ($z=-3.282$, $p=.010$, $r=0.36$) unterscheiden sich signifikant. Demnach wünschen sich, im Vergleich zu den Kindern (56%), insbesondere Jugendliche (88%) und junge Erwachsene (94%) eine Rückmeldung über ihren Therapieverlauf.

4 Diskussion

Im Folgenden werden die vier formulierten Fragestellungen beantwortet und die Ergebnisse für die Bedeutung der Patientenwünsche eingeordnet.

1. Wie werden mobile Geräte im Alltag von Patienten bisher genutzt? 2. Sind Patienten bereit mobile Geräte und telemedizinische Verfahren in der Behandlung anzuwenden?

Wie die Ergebnisse zeigen, ist in der befragten Stichprobe eine hohe Techniknutzung vorhanden. Die Patienten besitzen zu Hause im Durchschnitt fünf technische Geräte. Zwar fällt diese in den älteren Altersgruppen etwas schwächer aus, dennoch zeigten sich auch die älteren Befragten technischen Entwicklungen gegenüber eher offen. Die Ergebnisse dieser Studie stehen in Einklang mit bisherigen Studienergebnissen [10, 12], in denen ebenfalls gezeigt wurde, dass Ältere technischen Unterstützungssystemen nicht distanziert oder ablehnend gegenüber stehen. Bei den älteren Alterskohorten ließ sich auf eine größere Skepsis innerhalb der Techniknutzung und Nutzungsbereitschaft hindeuten. Auch bei den Kindern zeigte sich eine weniger vorhandene Technikaffinität. Im Unterschied zu den drei mittleren Kohorten fühlten sich die Älteren und Kinder eher unsicher im Umgang mit dem Internet. Eine mögliche Erklärung für diesen Alterseffekt ist, dass Ältere andere Erfahrungen mit Technik gemacht haben und daher andere Technikbiografien aufweisen, die sich wiederum auf die aktuelle Techniknutzung und Nutzungsbereitschaft auswirken. Kinder hingegen haben zwar noch weniger ausgeprägte Technikbiografien, sie werden aber, ob in der Schule oder in der Freizeit, immer schneller in den „digitalen Alltag“ [14] eingeführt.

3. Welche Informationen sollen räumliche Grenzen zur „erfolgreichen“ Kommunikation überwinden? 4. In diesem Zusammenhang stellte sich die Frage, ob sich jüngere und ältere Patienten hinsichtlich der Bewertung unterscheiden.

Hinsichtlich der Kommunikation in der Behandlung wünschen sich Patienten eine zeitgleiche Kommunikation zu ihrem Behandler. Besonders von älteren Patienten wurde die bekannte Telefonverbindung genannt. Die Kontaktaufnahme über eine E-Mail oder Internetplattform werden zudem von jüngeren Patientengruppen gewünscht. Die Intervalle der Kontaktaufnahme sollten mindestens 1-2-mal pro Monat oder häufiger stattfinden sollten. Insbesondere jüngere Patienten wünschen sich eine Kontaktaufnahme mit dem Behandler in einem größeren Zeitraum (1-2-mal pro Monat), während die beiden älteren Altersgruppen eher 2-3-mal pro Woche mit ihrem Behandler kommunizieren möchten. Über alle Altersgruppen hinweg wünschen sich Patienten inhaltliche Rückmeldungen, wie die Hilfestellung bei der Durchführung der Übungen. Rückmeldung über den Therapieverlauf, Anregungen für Bewegungsübungen, Lob und Kritik.

In diesem Zusammenhang wäre es wichtig, technische Systeme zu schaffen, die den Patienten in der Behandlung einen Nutzen verschaffen, leicht verständlich und intuitiv bedienbar sind. Darüber hinaus wäre es sinnvoll einen stetigen Support oder Schulungsangebote einzurichten, um Kompetenzen im Umgang mit innovativen Technologien zu vermitteln.

Das Ziel der Erhebung war die Ermittlung der Nutzungsbereitschaft für den Einsatz mobiler Geräte und telemedizinischer Verfahren. Als Grundlage dessen war es wichtig das Nutzungerverhalten und die Nutzungsbereitschaft von Patienten zu erfragen und einzuschätzen, inwiefern die gegebenen Strukturen und Ressourcen ausreichen, um innovative und technische Unterstützungssysteme für die Rehabilitation und Nachsorge erfolgreich implementieren zu können. Die Ergebnisse der Stichprobe geben gute Hinweise darauf.

Die Limitationen der Befragung sollten stets mitbedacht werden. Durch die Erhebung mit Hilfe eines Onlinefragebogens besteht ein möglicher Bias, da mit dieser Methode die Wahrscheinlichkeit steigt, überwiegend internetaffine Teilnehmer anzusprechen. Durch den Einsatz von Offlinebefragungen (paper pencil) wurde versucht dem innerhalb der Stichprobe entgegenzuwirken. Eine weitere Verzerrung kann dadurch entstanden sein, dass möglicherweise eher die Menschen teilgenommen haben, die ein generelles Interesse am Thema Technik haben. Bei der Interpretation ist zu beachten, dass die Thematik „Telemedizin“ für viele unbekannt ist und dadurch von den Teilnehmern eine hohe Abstraktionsleistung gefordert wird.

5 Literatur

- [1] F. Duesberg: E-Health 2010. Informationstechnologien und Telematik im Gesundheitswesen. Medical Future Verl., Solingen, 2009.
- [2] B. Frees, W. Koch: Internetnutzung Frequenz und Vielfalt nehmen in allen Altersgruppen zu, 2015.
- [3] A. Gärtner (Ed.): Medizintechnik und Informationstechnologie. MIT - Konzepte, Technologien, Anforderungen. Praxiswissen Medizintechnik. TÜV Media, Köln, 2011.
- [4] H. Mollenkopf, M. Doh: Das Medienverhalten älterer Menschen. Sozialwissenschaften und Berufspraxis, 25, S. 387-408, 2002.
- [5] M. John: E-Health Bericht Telerehabilitation 2015. Medizinische Assistenzsysteme in der Prävention, Rehabilitation und Nachsorge, 2015.
- [6] D. Kluska: Versorgung aus der Ferne. Die Arzt-Patient-Beziehung unter den Bedingungen der Telemedizin. Forschung aktuell 10/2012. IAT, Gelsenkirchen, 2012.
- [7] M. R. Konieczny, H. Senyurt, R. Krauspe: Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis. Journal of children's orthopaedics 7, 1, S. 3-9, 2013.
- [8] A. Kruse: Die Bedeutung von Informations- und Kommunikationstechnologie für eine Anthropologie des Alters. In: Kreativität und Medien im Alter. Winter, Heidelberg, S. 9-29, 2012.
- [9] A. Manzeschke: Ethische Herausforderungen technologischen Wandels. [online] <https://www.eaberlin.de/nachlese/chronologisch-nach-jahren/2015/assistive-systeme-im-gesundheitswesen/ethische-herausforderungen-a-manzeschke.pdf>, zuletzt aufgerufen: 03.11.2016, 2015.
- [10] H. Mollenkopf, R. Kaspar: Technisierte Umwelten als Handlungs- und Erlebnisräume älterer Menschen. Lebensformen und Lebensführung im Alter, S. 193-221, 2004.
- [11] N. Jankowski, J. Gerstmann, M. Wahl: Nutzungsbereitschaft von Telemedizin in der Schlaganfallnachsorge. Sicht der Behandler. In: E-Health-Rahmenbedingungen im europäischen Vergleich: Strategien, Gesetzgebung, Umsetzung, S. 133-142, 2016.
- [12] F. Oswald, K. Claßen: Zur Bewertung neuer Technologien durch Bewohner, Angehörige und das Personal im institutionellen Kontext. Das Projekt BETAGT; Netzwerk AltersfoRschung (NAR), Kongress Training bei Demenz, Heidelberg, 8.12.2008. Netzwerk AltersfoRschung - NAR. Netzwerk Altersforschung [u.a.], Heidelberg, 2008.
- [13] J.-H. Schmidt, I. Paus-Hasebrink, U. Hasebrink: Heranwachsen mit dem Social Web. Zur Rolle von Web 2.0-Angeboten im Alltag von Jugendlichen und jungen Erwachsenen. Schriftenreihe Medienforschung der Landesanstalt für Medien Nordrhein-Westfalen Bd. 62. Vistas-Verl, Berlin, 2011.

- [14] R. Stücker: Die idiopathische Skoliose. In: Orthopädie und Unfallchirurgie up2date, S. 39-56. DOI=10.1055/s-0029-1243953, 2010.
- [15] S. L. Weinstein, L. A. Dolan, J. G. Wright, M. B. Dobbs: Effects of bracing in adolescents with idiopathic scoliosis. The New England journal of medicine 369, 16, S. 1512-1521, 2013.
- [16] T. Johansson, C. Wild: Telerehabilitation in stroke care – a systematic review. In: Journal of Telemedicine and Telecare 2011, 17: S. 1-6, 2011.
- [17] K. Laver, D. Schoene, M. Crotty, S. George, N. Lannin, C. Sherrington: Telerehabilitation services for stroke. In: Cochrane Database of Systematic Reviews. Bd. 12. CD010255, 2013.

Leichtgewichtige und inhärent biomechanisch kompatible Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe

B. Otten, R. Weidner, C. Linnenberg

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Ben.Otten@hsu-hh.de, Robert.Weidner@hsu-hh.de, Christine.Linnenberg@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Auch in der industriellen Produktion, Baugewerbe und Alltagsleben werden manuell ausgeführte Aktivitäten in der Zukunft einen zentralen Stellenwert einnehmen. Das Spektrum der manuellen Aktivitäten ist dabei sehr groß und benötigt unterschiedliche Unterstützungssysteme. Im vorliegenden Beitrag wird der Fokus auf Tätigkeiten in und über Kopfhöhe in der industriellen Produktion und Baugewerbe gelegt. Das Entwicklungsvorgehen und exemplarische Systemansätze werden aufgezeigt und diskutiert.

Abstract

“Light weight support systems with inherent biomechanic compatibility for tasks at or above head level”

In industrial production, construction business and in daily life manual activities will remain being of central importance. For the manifold environments and tasks, different support systems will need to be developed. This article focuses on manual activities in or above head level for industrial manufacturing and construction industry. Development procedures and generic system approaches are illustrated and discussed.

Keywords: Unterstützungssystem, Entwicklungsvorgehen, Baukastensystematik, manuelle Tätigkeiten

1 Einleitung

Aktivitäten im Arbeits- und Privatleben mit einer großen Vielfalt werden auch in der Zukunft durch den Menschen ausgeführt. Begründet liegt dies einerseits in den einzigartigen Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen und andererseits an dem hohen finanziellen und zeitlichen Aufwand zur Entwicklung und Realisierung automatisierter Systeme. Entsprechende Tätigkeiten, wie die im Beitrag adressierten Tätigkeiten, Handhabung von Bauteilen oder Werkzeugen in und über Kopfhöhe, können zu einer starken physischen Belastung führen, die wiederum zu Erkrankungen am Muskelskelett nach sich ziehen können. Diese Stellen definieren Ansatzpunkte für eine Ko-Operation von Mensch und Technik, wobei hier nicht zwingend an die Substitution, d.h. die Übernahme der menschlichen Aktivitäten durch automatisierte Systeme, gedacht werden muss. An dieser Stelle bieten sich vielmehr hybride Systeme nach dem Ansatz des Human Hybrid Robot (HHR) [1, 2] an. Die Hybridisierung ermöglicht die gleichzeitige Verwendbarkeit der Fähigkeiten und Fertigkeiten von Mensch (z.B. Sensorik, Kognition, Flexibilität und Lernfähigkeit) und Technik (z.B. Wiederholgenauigkeit, Zuverlässigkeit und Ausdauer).

Dieser Beitrag stellt ausgehend von einer Analyse des Stands der Technik und dem Entwicklungsvorgehen für körpergetragene Unterstützungssysteme exemplarische Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe im Kontext der industriellen Produktion vor.

2 Ansätze zur Unterstützung in der industriellen Produktion

Bis heute wurden unterschiedliche technische Ansätze und Systeme zur Unterstützung (manueller) Tätigkeiten in der industriellen Produktion entwickelt, die sich je nach Zielsetzung einsetzen lassen sowie unterschiedliche Formen und Strukturen der Unterstützung besitzen [3]. Zu diesen Systemen zählen bspw. handgehaltene Werkzeuge wie Schraubenzieher und Akkuschrauber, Hebehilfen, automatisierte Lösungen bspw. mit Industrierobotern, Systeme basierend auf dem Konzept der Mensch-Maschine-Kooperation, Assistenzsysteme, Unterstützungs- systeme sowie weitere exoskeletale Systeme (vgl. z.B. [1, 4, 5]).

3 Entwicklungsvorgehen

Für die Entwicklung der in diesem Beitrag adressierten Systeme wurde das Entwicklungsvorgehen aus Abbildung 3.1 angewendet, in das Expertisen u.a. aus den Bereichen der Ingenieurwissenschaften, Arbeits- und Bewegungswissenschaften und Soziologie eingeflossen sind. Das gewählte Vorgehen sieht neben der Integration der Expertisen in alle Phasen ebenfalls die Integration des Nutzers vor, um von vorne herein das Potential für akzeptierte und genutzte Technik zu erhöhen und das Feedback im Entwicklungsprozess aufzunehmen.

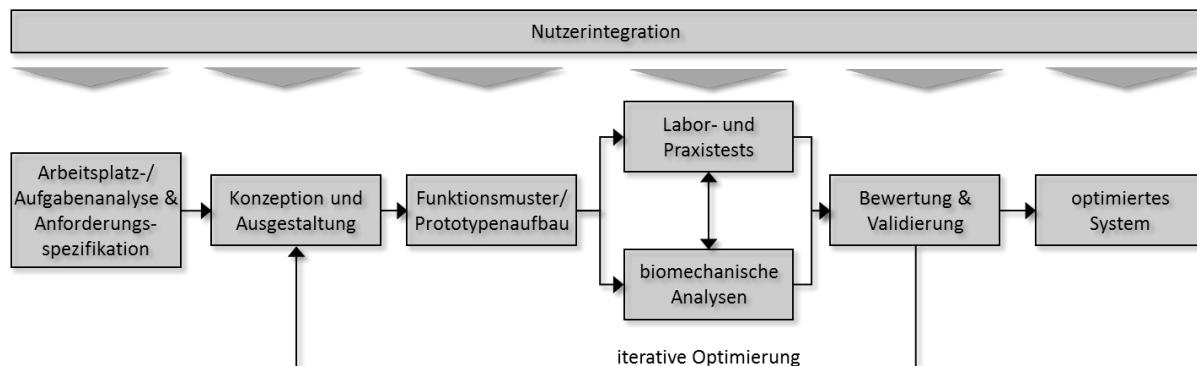


Abbildung 3.1: Bevorzugtes Entwicklungsvorgehen

Neben der Integration unterschiedlicher Expertisen – im Bereich der Unterstützungssysteme u.a. die Biomechanik und (Technik-)Soziologie zu den klassischen Ingenieurwissenschaften – sollten die Nutzer in jede Entwicklungsphase integriert werden. Die Ausgangsbasis des dargestellten Entwicklungsprozesses stellt die Arbeitsplatz und Aufgabenanalyse inklusive der Anforderungsspezifikation dar. Hierzu zählen sowohl Arbeitsplatzbeobachtungen im realen Kontext als auch die Simulation der Aktivitäten im Bewegungslabor (z.B. Kinematik und Elektromyographie). Auf Basis dieser Ergebnisse lassen sich Unterstützungssysteme konzeptionell entwickeln, ausgestalten und als Funktionsmuster bzw. im Laufe einer Entwicklung als Prototyp aufbauen. Zur Bewertung und Validierung entsprechender Systeme bieten sich sowohl Labor- und Praxistests als auch biomechanische Analysen an, auf dessen Basis je nach Zielstellung Optimierungen erfolgen.

4 Konzeptionelle Überlegungen

4.1 Ansatz des Human Hybrid Robot (HHR)

Die im Folgenden dargestellten Ansätze basieren auf dem Konzept des Human Hybrid Robot (HHR) [1, 2]. Diese Ansätze sind durch eine personen- und aufgabenangepasste Kopplung von biomechanischen und technischen Elementen – konkret vom Menschen (Nutzer), technischem System, Werkzeug und technischen Funktionalitäten wie Mechanismen zur Qualitätssicherung charakterisiert. Auf diese Weise ist es möglich, die zum Teil konträren, aber auch komplementären Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen (z.B. Sensomotorik, Kognition und Lernfähigkeit) und der Technik (z.B. Ausdauer und Wiederholgenauigkeit) gleichzeitig nutzen zu können. Hierdurch kann die Belastung reduziert und die Lücke zwischen den notwendigen und verfügbaren Fähigkeiten, die zur Ausführung von Tätigkeiten erforderlich ist, teilweise oder komplett kompensiert werden. Hierbei geht es primär jedoch nicht darum dem Menschen das gesunde Maß an Belastung abzunehmen, sondern vielmehr darum die Überlast zu vermeiden, da diese zu einem vorzeitigen Verschleiß des menschlichen Muskel-Skelett-System führen kann.

4.2 Grundsätzliche Überlegungen zur Gestaltung

Gegenüber den bereits im Rehabilitationsbereich etablierten Exoskeletten muss bei der Entwicklung von Unterstützungssystemen für die Produktion und den Alltag grundsätzlich anders vorgegangen werden. Insbesondere die hohe Flexibilität des Menschen ist in der Produktion von hoher Bedeutung und wird auch in Zukunft gefordert werden. Folglich ist es wichtig, dass der Nutzer durch das System so wenig wie möglich eingeschränkt wird. Muss Funktionalität gegenüber Einschränkungen im Gebrauch abgewogen werden, so sollte daher für Unterstützungssysteme in der Produktion die Entscheidung zu Gunsten geringer Einschränkung und dafür Abstrichen bei der Funktionalität getroffen werden.

Eine der grundlegenden Anforderungen an ein physisches Unterstützungssystem ist Gewährleitung angemessener Beweglichkeit beim Tragen des Systems. Ist das System durch mangelnde Freiheitsgrade oder durch unpassend angeordnete Freiheitsgrade nicht an die Beweglichkeit des Nutzers angepasst, so fühlt sich dieser in seinem Arbeitsraum eingeschränkt. Folglich kann er möglicherweise nicht alle Arbeitspositionen einnehmen. Hierbei ist es wichtig zu betonen, dass der Nutzer mit dem System nicht nur alle Positionen der Arbeitsaufgabe selbst wahrnehmen muss, sondern dass auch alle Körperhaltungen von Nebenaufgaben möglich sein müssen.

Neben der zum Nutzer gerichteten physisch-mechanischen Kompatibilität muss zudem die Kompatibilität mit der Produktionsumgebung gewährleistet werden. Hierbei ist es wichtig den Bauraum des Systems in Relation zur Arbeitsumgebung zu betrachten. Darüber hinaus sollte durch entsprechende Gestaltung (abgerundete Ecke etc.) sichergestellt werden, dass im Kontaktfall keine oder nur geringe Schäden entstehen.

Diesen hohen Anforderungen an das technische System steht jedoch gegenüber, dass die adressierten Nutzer prinzipiell in der Lage sind auch ohne Unterstützungssystem die Tätigkeiten auszuführen. Es ist daher möglich gezielt nur die besonders belasteten Körperregionen zu unterstützen. Dies ermöglicht einen kürzeren Kraftfluss (bspw. vom Oberarm zum Becken anstatt von Unterarm zu den Füßen) und zudem eine Reduktion der Komplexität, da nicht alle Achsen angetrieben sein müssen.

Dennoch führt die Gestaltung körpernaher anthropomorpher Unterstützungssysteme unweigerlich dazu, dass der Komplexität des menschlichen Körpers mehr Beachtung geschenkt werden

muss, als bei nicht- oder wenig-anthropomorphen Systemen, die nur am Endeffektor mit dem Nutzer im Kontakt stehen (siehe Abbildung 4.1). Um hierbei nicht auf aufwendige vielgliedrige Mechaniken angewiesen zu sein, bietet es sich an über weiche Strukturelemente gezielt Kompatibilität mit dem Nutzer zu erreichen. Über entsprechende Gestaltung kann die Steifigkeit dabei richtungsabhängig gestaltet werden, sodass Bauteile in bestimmter Orientierung elastisch und in andere Richtungen steif sind.

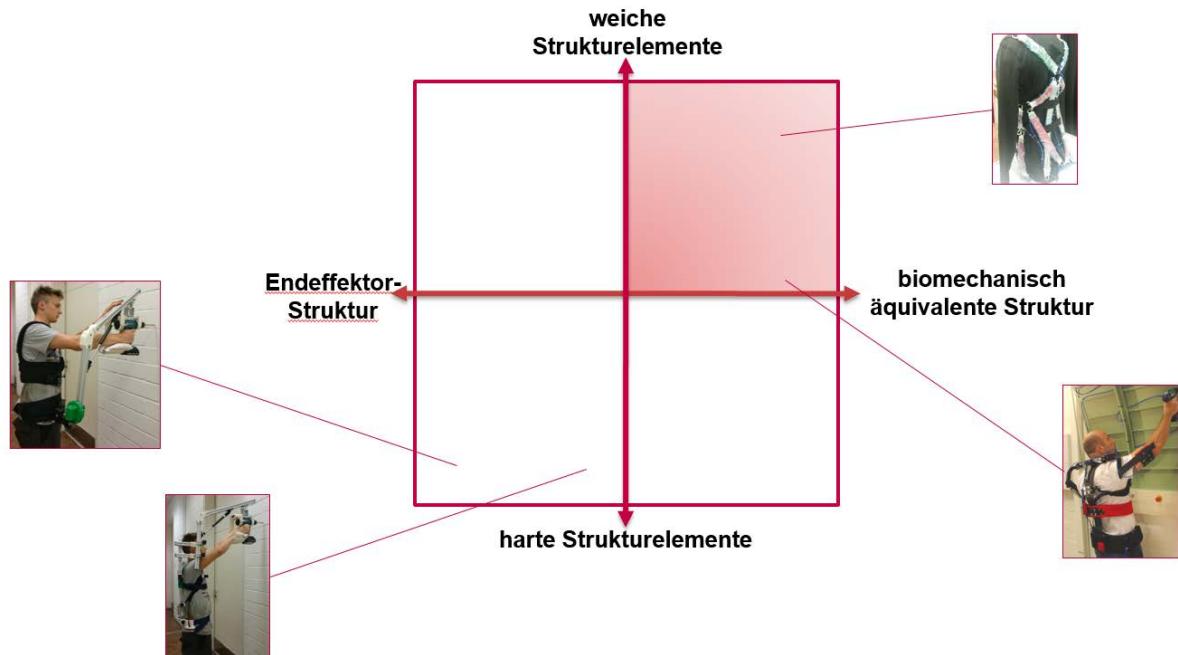


Abbildung 4.1: Klassifizierung von exoskelettalen Unterstützungssystemen nach biomechanischer Äquivalenz und Steifigkeit der Strukturelemente

Für ein angenehmes Tragegefühl ohne übermäßige ungewollte Relativkraft ist es zudem entscheidend, dass sich das System genauso dynamisch wie der Nutzer bewegen kann. Hierbei ist nur sekundär die Bewegungsgeschwindigkeit ein Problem, sondern primär das Beschleunigungsvermögen des Unterstützungssystems (siehe Abbildung 4.2).

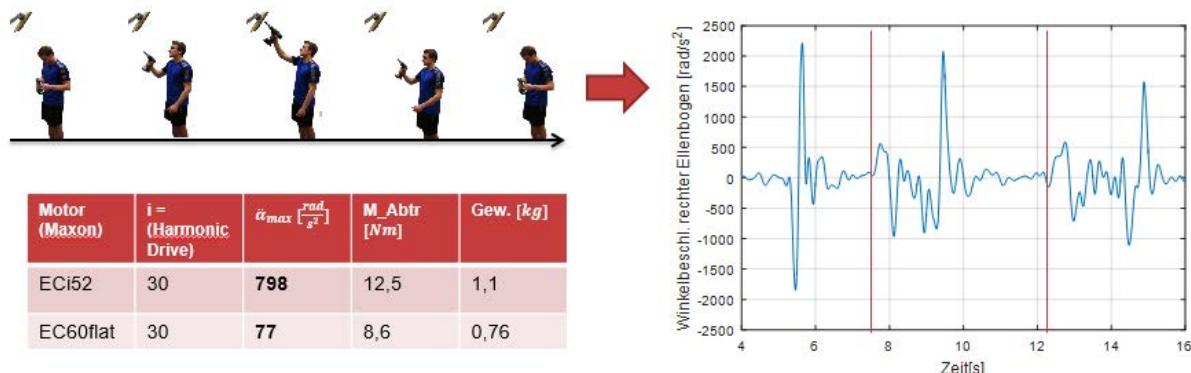


Abbildung 4.2: Beschleunigungsvermögen des Ellenbogengelenks gegenüber dem Beschleunigungsvermögen anderer Motor-/Getriebekombinationen

Offensichtlich ist es hierfür notwendig entsprechend hochdynamische Antriebe einzusetzen und die Trägheit des Systems zu minimieren. Darüber hinaus sollte jedoch auch der Vorteil präventiver Unterstützungssysteme, dass nicht alle Freiheitsgrade angetrieben werden müssen, ausgenutzt werden. Hierfür muss jedoch bereits bei der Konzeptionierung darauf geachtet werden, dass mögliche passive Achsen sinnvoll positioniert werden. Einer weiterer Ansatz ist die Kopplung mehrerer Achsen (bspw. über Seilzugmechanismen: [6]) in einem festgelegten Verhältnis, um so die Anzahl der benötigten Antriebe zu reduzieren.

Im Kontakt mit dem Nutzer ist es wichtig, dass die Interaktionskräfte begrenzt sind. Vom System wird daher ein elastisches Verhalten erwartet, sodass es bei kleinen Positionsabweichungen zwischen System und Nutzer nicht sofort zu großen Kräften kommt. Diese Kompatibilität kann zum einen über eine nachgiebige Regelung erzeugt werden, die Kraft an den Interaktionspunkten misst und über entsprechende Dynamikregelung ein nachgiebiges Systemverhalten simuliert (siehe Abbildung 4.3). Ein anderer Ansatz ist es den Antriebstrang bzw. das ganze System nachgiebig zu konstruieren und zu fertigen. Dies kann als direkte komplett nachgiebige Konstruktion oder über die Reihenschaltung harter Elemente mit weichen Elementen (bspw. Seriell-Elastische-Antriebe) geschehen.

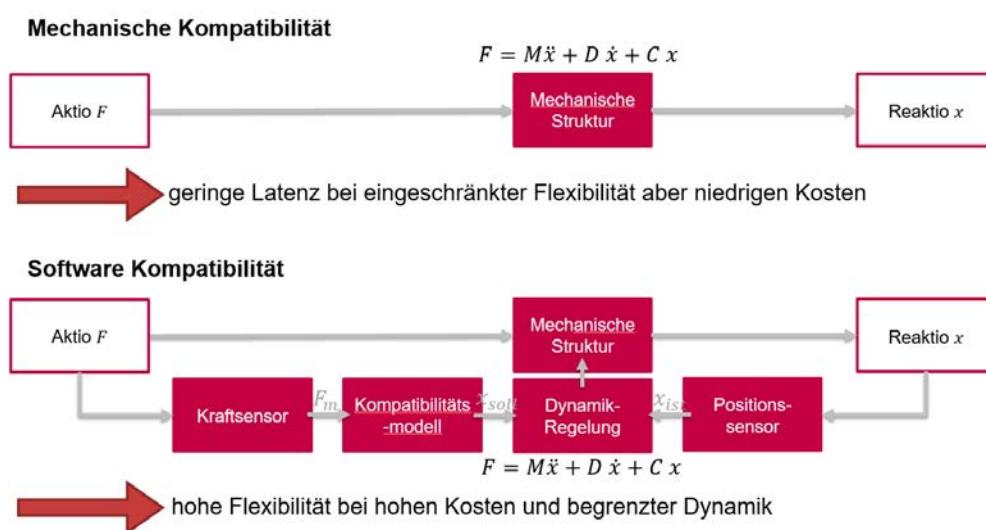


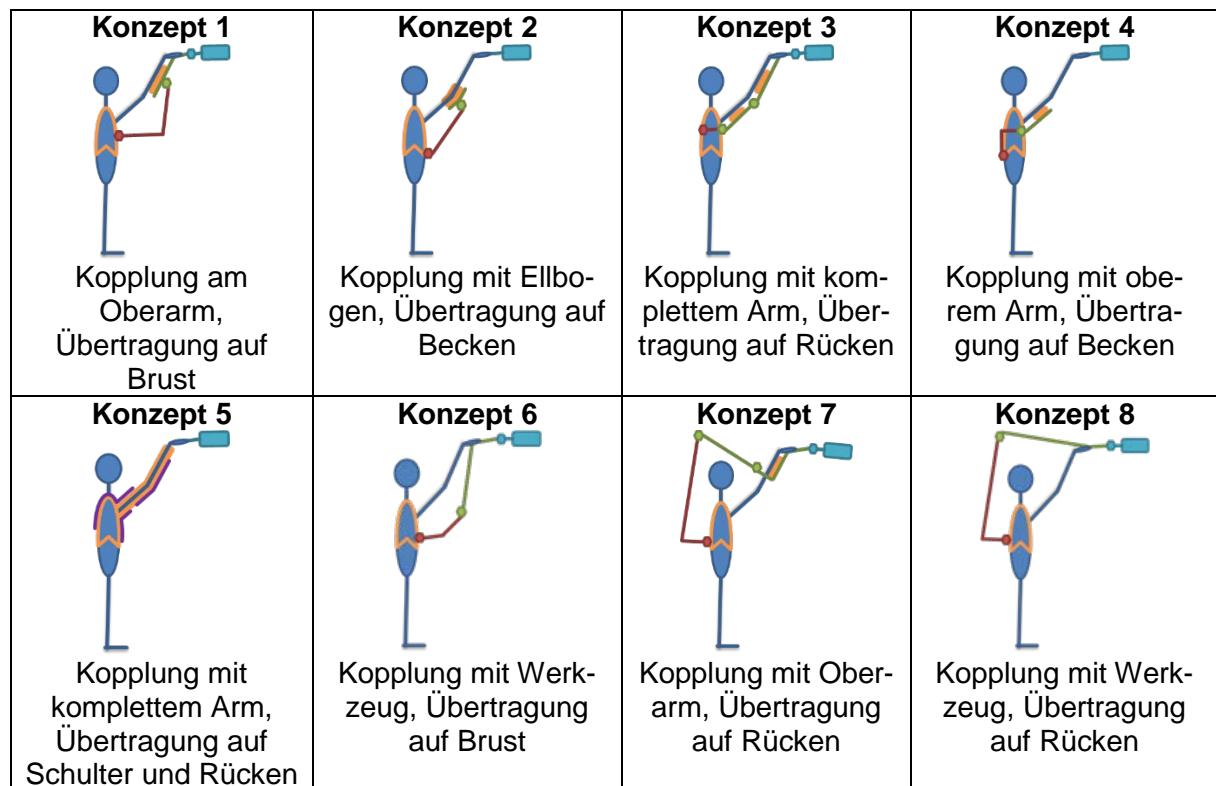
Abbildung 4.3: Inhärente mechanische Kompatibilität mit dem Menschen gegenüber Software-Kompatibilität

4.3 Ansätze zur physischen Entlastung für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe

Die physische Entlastung während manueller Tätigkeiten wie die Handhabung von Werkzeugen oder Bauteilen in und über Kopfhöhe kann durch körpergetragene Systeme unterschiedlicher Weise erfolgen: Verschiedene Varianten für die Umleitung von auftretenden Kräften und Kraftverstärkung. Ein Auszug möglicher Systemvarianten ist der Abbildung 4.4 zu entnehmen. Unterschiede im prinzipiellen Aufbau der mechanischen Struktur inkl. Anbindung existieren vornehmlich

- im Kraftpfad, d.h. der Pfad, über den die durch externen Lasten vorliegenden Kraft über das technische System um Körperteile bzw. -regionen herumgeleitet wird,
- in der Form der Kopplung und Anordnung der technischen Elemente, d.h. Art und Umfang der Schnittstellen zwischen Mensch und Technik, sowie
- in der Struktur und den verwendeten Materialien.

Die aufgezeigten Systemvarianten lassen sich sowohl in passiver als auch in aktiver Form aufbauen und sind hinsichtlich der verwendeten Sensorik erweiterbar.



Legende:



Abbildung 4.4: Konzepte für anziehbare Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe [7]

Einzelne Konzepte wurden zur Erprobung als Funktionsmuster realisiert sowie in Labor-, Praxistests und biomechanischen Analysen evaluiert.

5 Funktionsmuster für Unterstützungssysteme

Nachfolgend werden Funktionsmuster für die Konzepte 4, 6 und 8 eingeführt und zentrale Eigenschaften beschrieben.

5.1 Unterstützungssystem „Jonny“ zur Werkzeughandhabung

Das Unterstützungssystem Jonny (siehe Abbildung 5.1) wurde speziell zur Handhabung von Werkzeugen entwickelt. Es handelt sich dabei um ein anziehbares, passives universelles System mit Werkzeuganbindung, zeigt das System, welches auf das Steady Cam (vgl. [8]) basiert, und mit einem Bohr-Endeffektor bestückt ist. Speziell die oberen Extremitäten werden bei diesem System entlastet. Zusätzlich integrierte Komponenten ermöglichen einen Niveaualausgleich durch Aktuatoren, eine Arretierungsmöglichkeit durch Saugnäpfe sowie eine Kontrolle der Bohrtiefe durch einen Abstandssensor [9].

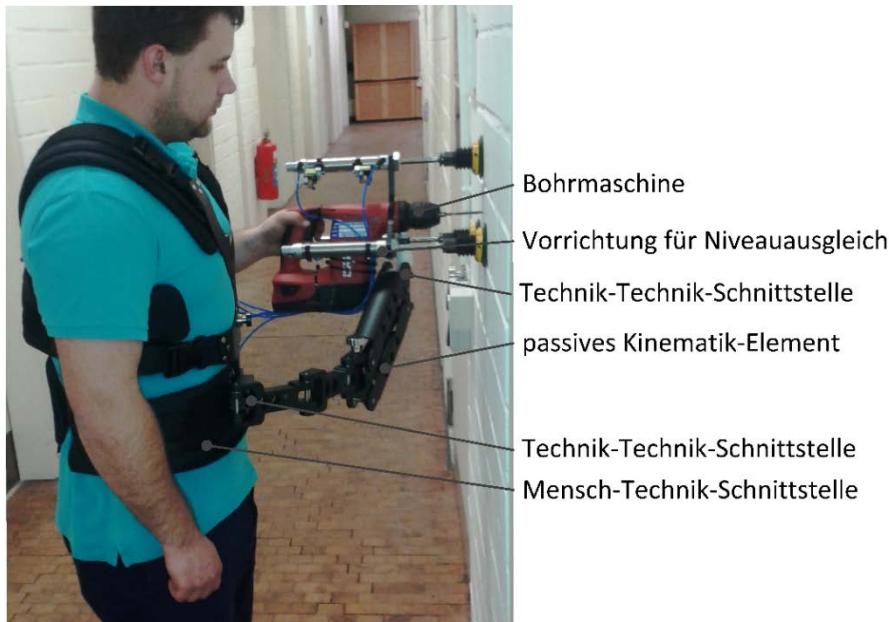


Abbildung 5.1: Unterstützungssystem "Jonny" zur Werkzeughandhabung [9]

Das tragbare Unterstützungssystem kann vor allem die Ergonomie verbessern, indem das Gewicht von Werkzeugen (und Bauteilen), die normal mit beiden Armen getragen werden, gleichmäßig auf den gesamten Torso überträgt. Darüber hinaus kann die Vorrichtung für den Niveaualage sowie die Arretierungsmöglichkeit und Tiefenmessung zu einer gesteigerten Qualität beitragen.

5.2 Kran-Unterstützungssystem zur Werkzeughandhabung – System A

Ein zweites System zur Werkzeughandhabung stellt das Kran-Unterstützungssystem dar. Auch hierbei handelt es sich um ein anziehbares, passives und universelles System, an das über eine Schnittstelle ein Werkzeug gekoppelt werden kann, siehe Abbildung 5.2 am Beispiel eines Akkubohrers. Dies System wurde speziell für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe konzipiert. Eine Erweiterung für das Stützen des Unterarmes ist vorgesehen. Als Aktuatorik – die nur entgegen der Erdanziehung wirkt – wurde eine Gasdruckfeder verwendet. Die durch das Werkzeug resultierende Kraft wird über eine Vorrichtung auf das Becken übertragen. Der erste Aufbau erfolgte zunächst mit standardisierten Komponenten mit dem ausschließlichen Fokus auf die technische Funktionalität.

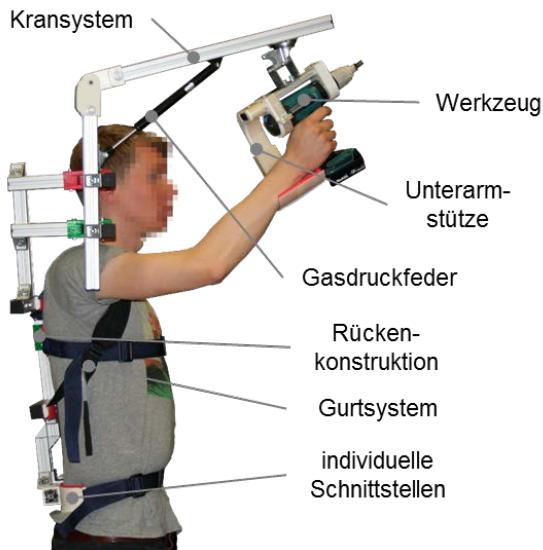


Abbildung 5.2: Funktionsmuster des Kran-Unterstützungssystems [7]

5.3 Unterstützungssystem „Lucy“ – System B

Auf Basis der gleichen Rückenkonstruktion wie in 5.2 wurde zudem zudem ein System gemäß Konzept 4 realisiert (Abbildung 5.3 links). Die Übertragung der Kraft erfolgt ebenso in das Becken. Jedoch wird hier nicht das Werkzeug direkt mit dem Unterstützungssystem gekoppelt, sondern es werden der Oberarm und das Schultergelenk unterstützt.

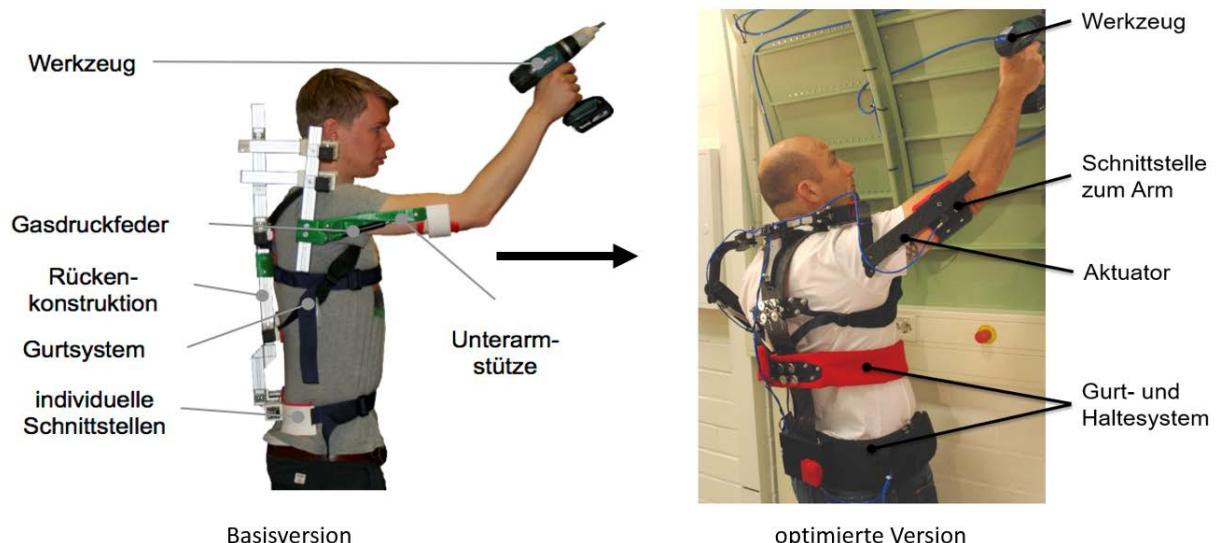


Abbildung 5.3: Unterstützungssystem "Lucy" nimmt Kraft am Oberarm ab und leitet diese über flexible Rückenstruktur in das Becken ein

Zunächst wurde auch hier das System mit standardisierten Komponenten mit dem Fokus der technischen Funktionalität aufgebaut und in weiteren Ausbaustufen zum System "Lucy" optimiert. Das Schultergelenk wird dabei mittels einer Open-Frame-Konstruktion nachgebildet. Ein rotatorischer Freiheitsgrad seitlich der Schulter wird entgegen der Gravitation über einen Pneumatikzylinder angetrieben (siehe Abbildung 5.3 rechts). Ein weiterer, nicht angetriebener rotatorischer Freiheitsgrad ist über der Schulter angeordnet. Durch Verstellbarkeit in drei Richtungen (Position in der Ebene über der Schulter und Höhe der Schulterstange) können die beiden

Freiheitsgrade so angeordnet werden, dass diese mit dem Gelenkszentrum der menschlichen Schulter übereinstimmen.

Durch eine an das Doppel-S-Profil der Wirbelsäule angepasste Form wurde dabei eine körpernahe Passform erreicht. Die körpernahe Form hat neben dem reduzierten Bauraum zudem den Vorteil, dass bei Beugung und Torsion des Rückens Relativbewegungen zwischen System und Nutzer reduziert werden. Das Erreichen einer guten Passform wird dabei unterstützt durch einen dreigliedrigen Aufbau mit Verstellmöglichkeiten am oberen sowie am unteren Rücken.

Der Lagenaufbau der CFK-Bauteile wurde dabei so heuristisch optimiert, dass der Nutzer sich beugen und um die Körperlängsachse rotieren kann (siehe Abbildung 5.4). Die dünne Konstruktion mit S-Profil aus CFK erlaubt das Bücken sowie die Rotation um die Körperlangsachse.



Abbildung 5.4: Der Körperform angepasste flexible Rückenkonstruktion erlaubt Beugen und Rotation um Körperlängsachse

Da, wie bereits zuvor dargelegt, nicht eine Kraftsteigerung das Ziel ist, sondern primär die Kompensation schädlicher Belastung ist der Aktuator darauf optimiert die Gewichtskraft eines gehaltenen Werkzeugs/Werkstücks zu kompensieren. Der Momentenverlauf des Aktuators ist folglich abhängig vom Schulterwinkel α (siehe Abbildung 5.5) und erreicht das Maximum in etwa bei horizontaler Ausrichtung des Oberarms. Grundlage des Schulteraktuators sind dabei Gasdruckfedern bzw. Pneumatikzylinder. Beide weisen auf Grund der Kompressibilität der Luft ein inhärent kompatibles, nachgiebiges Verhalten auf. Bei Pneumatikzylindern kann durch Druckregelung zudem der Grad der Unterstützung einfacher verändert werden.

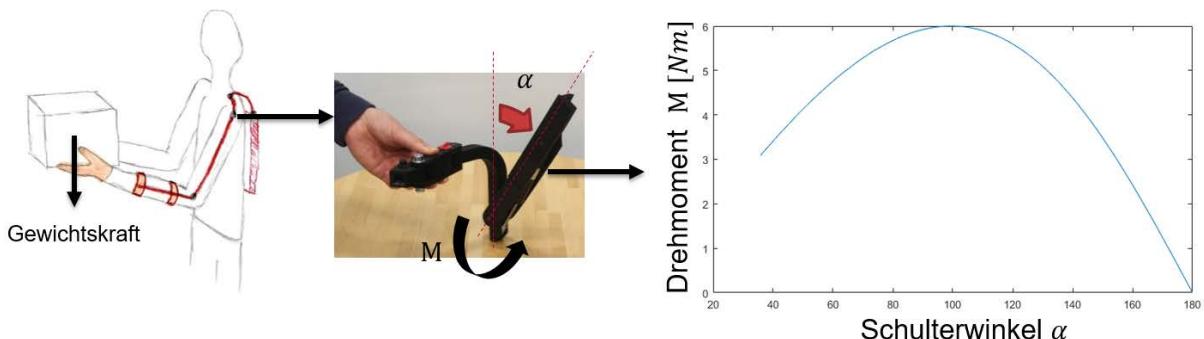


Abbildung 5.5: Winkelabhängiger Momentenverlauf des Schulteraktuators erlaubt gezielte Kompensation der Gewichtskraft

6 Biomechanische Studie

Über ein 3D-Kinemetrie-System (Vicon, UK, 200 Hz) wurde die Bewegung von 24 männlichen Probanden erfasst. Die muskuläre Aktivität wurde zeitgleich mittels Oberflächen-Elektromyographie (Myon, Schweiz, 1000 Hz) ermittelt. Eine Kraftmessplatte diente der Erfassung der Bodenreaktionskräfte (AMTI, USA, 1000 Hz). Der Versuchsaufbau und die Methodik kann [7] entnommen werden.

In einer groß angelegten biomechanischen Studie wurde das System A sowie die erste Ausbaustufe des System B auf ihre Wirkmechanismen hin untersucht und miteinander verglichen. Sowohl System A als auch System B zeigten dabei positive Effekte. Für das System A zeigten sich signifikante Entlastung der Armmuskulatur sowie des M. infraspinatus, während das System B neben der Schultermuskulatur vor allem den in der Überkopfarbeit belasteten Bereich des Schulter-Nacken-Komplex entlastete. Beide Systeme zeigten leichte bis mittlere Differenzen des Bewegungsausmaßes in den kinematischen Messungen vorrangig in den körpernahen Bereichen. Das System B wies die geringsten Differenzen vor allem in der unterstützten Bewegungsrichtung auf. Insbesondere das Handling des Kransystems erforderte von den Probanden eine erhöhte Kontrolle, um eine Gefährdung ihrer selbst und der Umwelt zu vermeiden. Die kinetischen Analysen ließen auf einen erhöhten Bedarf an Ausgleichsbewegungen zur posturalen und Systemkontrolle schließen, da sich ausschließlich beim Kransystem eine signifikant erhöhte Auslenkung der Bodenreaktionskräfte zeigte. In Bezug auf den Einsatz in der Praxis zeigte sich das System B als deutlich vorteilhafter. Detaillierte Ergebnisse können [10] entnommen werden. Es ist davon auszugehen, dass sich in der weiteren Ausbaustufe des System B, in Form des Unterstützungssystem "Lucy", keine wesentlichen Änderungen der biomechanischen Wirkweise ergeben, da die kinematische Kette prinzipiell nicht geändert wurde. Weitere Studien zur Überprüfung der Ausbaustufe stehen aus.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde aufgezeigt welche Anforderungen an Unterstützungssysteme in der Produktion bestehen und welches Vorgehen in der Produktentwicklung für die Erfüllung dieser Anforderungen sinnvoll ist. Zudem wurden grundlegende Eigenschaften für Systeme mit einem Fokus auf den Einsatz in der Produktion grob skizziert. Insbesondere wurde aufgezeigt, warum ein kurzer nah am Körper geführter Kraftfluss praktikabler ist gegenüber einem weit geführten und wenig anthropomorphen Kraftfluss. Für die hierfür notwendige genaue Anpassung an den menschlichen Körper wurden Lösungsverfahren entwickelt und am Beispiel eines Systems für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe präsentiert. Dabei wurde der Einsatz in der Produktion grob skizziert.

8 Danksagung

Diese Forschung stammt vornehmlich aus dem Projekt „smart ASSIST – Smart, Adjustable, Soft and Intelligent Support Technologies“, Förderkennzeichen 16SV7114, welches durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau im Schwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion vor dem Hintergrund des demographischen Wandels“ gefördert und durch die VDI/VDE INNOVATION GmbH betreut wird. Das Kran-Unterstützungssystem stammt aus dem Forschungsprojekt Auto-Pro, welches durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert und durch

das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. betreut wurde. Die alleinige Verantwortung für den Inhalt des Beitrags liegt bei den Autoren.

9 Literatur

- [1] R. Weidner, N. Kong, J. P. Wulfsberg: Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. In: Production Engineering, 7(6), S. 675-684, DOI: 10.1007/s11740-013- 0487-x, 2013.
- [2] R. Weidner, J. P. Wulfsberg: Mensch-Maschinenhybride in der industriellen Montage - Konzept des Human Hybrid Robot (HHR). In: wt Werkstattstechnik online 103 (2013), Nr. 9, S. 656-661, Düsseldorf, Springer-VDI-Verlag, 2013.
- [3] R. Weidner, A. Karafillidis: Three General Determinants of Support-Systems. In: Applied Mechanics and Materials Vol. 794, S. 555-562, Trans Tech Publications, Schweiz, 2015.
- [4] R. Weidner, R. Rodeck, J. P. Wulfsberg, T. Schüppstuhl: Unterstützung manueller, qualitätskritischer Tätigkeiten am Beispiel des Schäftens von CFK-Strukturen, wtWerkstattstechnik, Ausgabe 9, S. 624-630, 2016.
- [5] R. Weidner, T. Meyer, A. Argubi-Wollesen, J. P. Wulfsberg: Modular and wearable support system for industrial production. Applied Mechanics & Materials, Vol. 840, S. 123-131, 2016.
- [6] V. Bartenbach, K. Schmidt, M. Naef, D. Wyss, R. Riener: Concept of a soft exosuit for the support of leg function in rehabilitation. In: 2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR) (S. 125-130), 2015.
- [7] R. Weidner, A. Argubi-Wollesen, C. Berger, B. Otten, Z. Yao, J. P. Wulfsberg: Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe. Für: 62.-GfA-Frühjahrskongress – Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!, S. 1-6, 2016.
- [8] S. Lipkowski, M. Scherer: Verbesserung der 3D-Punktgrenauigkeit einer PMD-Kamera durch Kombination mit einer 2D-Kamera. Photogrammetrie-Laserscanning Optische 3D-Messtechnik. Wichmann-VDE Verlag. Oldenburg, Germany. S. 320-330, 2012.
- [9] R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg: Passive und aktive Unterstützungssysteme für die Produktion - Konzept des Human Hybrid Robot (HHR). In: wt Werkstattstechnik online 104, Nr. 9, S. 651-666, Düsseldorf, Springer-VDI-Verlag, 2014.
- [10] C. Berger, A. Argubi-Wollesen, R. Weidner: Biomechanical Analysis of Wearable Support Device for Overhead Work. ECSS-Conference, 2016.

Tragbare Assistenzsysteme in der Automobilmontage

Forschung und Entwicklung innovativer orthetischer Systeme zur physischen Unterstützung während der Überkopfarbeit

J. Bornmann¹, A. Kurzweg¹, K. Heinrich²

¹Otto Bock HealthCare GmbH
Max-Näder-Str.14, 37115 Duderstadt
Jonas.Bornmann@ottobock.de

²Deutsche Sporthochschule Köln
Institut für Biomechanik und Orthopädie
Am Sportpark Müngersdorf 6, 50933 Köln

Kurzzusammenfassung

Die Aufgabe des orthetischen Systems ist es während der Überkopfarbeit die Belastungen des Schultergelenkes zu verringern, um so langfristig das Risiko von arbeitsbedingten Muskel-Skelettauen Erkrankungen zu reduzieren. Für die Entwicklung des Systems wurde ein Szenario aus der Automobilmontage gewählt. Die Anforderungen wurden in einem nutzerorientierten Gestaltungsprozess erfasst und umgesetzt. Besondere Aufmerksamkeit wurde auf orthopädiotechnisches Wissen, Nutzerakzeptanz, und biomechanische Analysen gelegt. Auf Basis der erarbeiteten Konzepte sind unterschiedliche Funktionsmuster entstanden. Diese werden nun zur Analyse im Kontext der Automobilmontage evaluiert.

Abstract

“Wearable assistive devices for car assembling – research and development on innovative orthotic systems for physical support during overhead work”

The main task of the orthotic system is the reduction of the shoulder joint load during overhead work to minimize the risk of musculoskeletal disorders. The device was developed for an overhead car assembling scenario. Extensive requirements were captured in a user-oriented design process. During the development attention was particularly payed to orthopedic technologies, user acceptance and biomechanical analysis. On the basis of the resulting concepts, different functional models have been developed. They will be evaluated in the real working conditions in the following analyses.

Keywords: ergonomics, assistive device, physical workload, overhead work, exoskeleton

1 Motivation

Muskel-Skelettale-Erkrankungen (MSE) durch physische Arbeitsbelastungen sind in Deutschland der häufigste Grund für Arbeitsunfähigkeit und einer der bedeutendsten Kostenfaktoren für Unternehmen und die Gesundheitssysteme [1]. Unter dem Sammelbegriff arbeitsbezogene MSE werden eine Vielzahl an Störungen, Symptomen und Erkrankungen zusammengefasst. In Deutschland sind etwa 40 % aller männlichen und 45% aller weiblichen Arbeitnehmer von

Beschwerden im unteren Rückenbereich betroffen. 37 % der Männer und 58% der Frauen geben an, im Nacken und der Schulter Schmerzen zu haben [2]. Am Beispiel der Überkopfarbeit zeigt sich, dass ein erhöhtes Risiko für MSE vorliegt, wenn mehrere Risikofaktoren wie eine ungünstige Haltung, ein hoher Kraftaufwand und häufige Repetition zusammenwirken [3]. Vor allem typische Belastungen in der Automobilbranche durch Zwangshaltungen in der Montage am Fahrwerk und im Innenraum werden als problematisch angesehen [4]. Eine Arbeitshaltung, mit mehr als 60° Flexion und Abduktion des Oberarmes ist beispielsweise ein Risikofaktor für Schulter-Tendinitis. Eine Rotatorenmanschetten-Tendinitis ist im Zusammenhang mit häufigen Rotationsbewegungen des Schultergelenks assoziiert [5]. In weiteren Studien wird beschrieben, dass bei Überkopfarbeit eine Evidenz für MSE einschließlich Schmerzen vorliegt, insbesondere wenn Werkzeuge gehalten werden müssen [6, 7]. Dies wurde bei Untersuchungen zu Erkrankungen der Schulter in verschiedenen Montagebereichen in der Automobilindustrie bestätigt [8]. Das Risiko einer MSE im Schulterbereich bei Arbeiten über 90° bei einem Anteil von 10 % oder mehr der Arbeitszeit war dabei um bis zu zweidrittel erhöht. Untersuchungen zeigten, dass 69 % der Patienten mit Schulterschmerzen Arbeiten mit erhobenen Armen nachgingen und diese mit der erhöhten Arbeitsbelastung der Schulter im Zusammenhang stehen [9]. Ergonomische Maßnahmen, wie der Einsatz von Handhabungshilfsmittel (z.B. handgeführte Manipulatoren), haben sich in einigen Bereichen als vorteilhaft erwiesen. Jedoch sind die geringe Nutzerakzeptanz aufgrund von Zeitverzögerungen und des erhöhten Bewegungsaufwandes sowie der Mangel an notwendiger Flexibilität bei der Arbeitsausführung ein großer Nachteil [10].

2 Innovative orthetische Systeme zur physischen Unterstützung

Das orthetische Unterstützungssystem hat die Aufgabe während der Überkopfarbeit oder im Allgemeinen bei Tätigkeiten mit erhobenen Armen das Schultergelenk zu entlasten um dadurch das Risiko von MSE zu reduzieren. Der Nutzer erfährt während der Überkopfarbeit eine Entlastung des Schultergelenks indem das Armgewicht teilweise über die Oberarme abgeleitet wird (Abbildung 1.1).

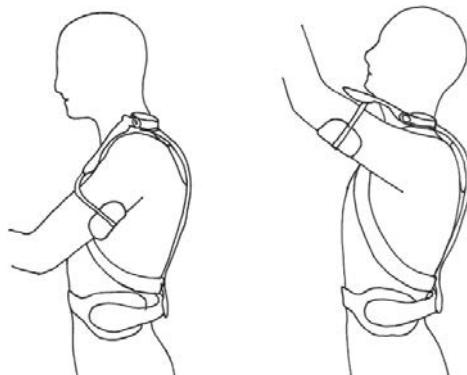


Abbildung 1.1: Schematische Darstellung des orthetisch unterstützenden Systems

Das orthetische System ist in seiner Funktionsweise der eines Exoskeletts ähnlich. Exoskelette können wie das orthetisch unterstützende System als tragbare, externe mechanische Strukturen beschrieben werden die den Nutzer unterstützen oder dessen Leistung verbessern. Dabei unterscheidet man zwischen passiven und aktiven Exoskeletten. Aktive Exoskelette enthalten mindestens einen Aktuator der die Leistung des Nutzers steigert. Die Leistungssteigerung kann mit Hilfe von Motoren, hydraulischer, pneumatischer oder anderer Komponenten erfolgen die an

den Gelenkbewegungen des Menschen mitwirken. Passive Exoskelette besitzen keinerlei Aktuatoren die zu einer Leistungssteigerung führen, jedoch können Federn oder Dämpfer eingesetzt werden, die aus den Bewegungen des Nutzers Energie speichern und dann gezielt abgeben, wenn diese benötigt wird [11]. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal von Exoskeletten ist die Betrachtung der unterstützten Körpersegmente. Die Übersichtsarbeit von Looze et al. [12] stellt passive wie auch aktive Unterstützungssysteme für den industriellen Einsatz aus wissenschaftlicher Sicht dar. Die Forschung an Entwicklungsmethodiken und beispielhaften Anwendung technischer Unterstützungssysteme im Kontext der gesellschaftliche Akzeptanz sind Teil des wissenschaftlichen Diskurs [13].

Das Leistungsvermögen von Exoskeletten, die die Faktoren von arbeitsbezogenen MSE reduzieren, wird als hoch eingeschätzt [12]. Ein wesentlicher Vorteil solcher Systeme ist, dass der Mensch im Produktionsprozess durch ein adaptierbares und tragbares orthetisches System erhalten bleibt. Bisher können keine industriellen Roboter die notwendige Flexibilität und Einzigartigkeit der menschlichen Bewegungen in der Produktion nachbilden. Orthetisch unterstützende Systeme schließen die Lücke zwischen Mensch und Handhabungshilfsmittel. Um eine ausreichende Nutzerakzeptanz zu bewirken, müssen die hohen Ansprüche an Funktionalität und Komfort beachtet werden. Neben der wissenschaftlich nachgewiesenen Wirkungsweise ist die Nutzerakzeptanz eine essentielle Anforderung und entscheidend über den zukünftigen erfolgreichen Einsatz. Der Nutzer muss die Kontrolle über das Assistenzsystem behalten und eine spürbare Unterstützung bekommen. Umso wichtiger ist es einen geeigneten Gestaltungsprozess auszuwählen der alle diese Fragen angemessen berücksichtigt.

3 Nutzerorientierte Gestaltungsprozesse in der Forschung und Entwicklung an orthetischen Unterstützungssystemen

Zur Entwicklung des orthetischen Unterstützungssystems wird ein nutzerorientierter Gestaltungsprozess angewendet. Dies ist ein geeignetes Verfahren, um den Menschen als Nutzer einzubeziehen (vgl. [14] und DIN EN ISO 9241-Ergonomie der Mensch-System-Interaktion). Der nutzerorientierte Gestaltungsprozess basiert auf einer interdisziplinären Vorgehensweise, welche wissenschaftliche, menschbezogene und technische Erkenntnisse einschließt. Mit dem Ziel eine optimale Nutzerakzeptanz zu erreichen werden die Bedürfnisse des Nutzers besonders berücksichtigt, z.B. durch die Integration potenzieller Nutzer in Workshops. Die gestalteten Lösungen werden auf Grundlage der Rückmeldung der Nutzer iterativ verbessert. Diese Erkenntnisprozesse und die Rückmeldung der Nutzer sind Impulsgeber im gesamten Gestaltungsprozess (siehe Abbildung 3.1).

Im Nutzungskontext werden die durch den Nutzer und dessen Merkmale auszuführenden Aufgaben mit dem orthetisch unterstützenden System bestimmt. Die Nutzermerkmale sind beispielsweise Geschlecht, Anthropometrie und Fertigkeiten. Auch die Motivation des Nutzers, seine potentielle Einstellung zu dem orthetisch unterstützenden System und kulturelle Aspekte spielen eine große Rolle. Des Weiteren ist die Nutzungsweise des orthetischen Unterstützungssystem (Mensch-Technik-Interaktion) nach Ausführungsdauer und Häufigkeit zu bewerten. Dabei muss unterschieden werden zwischen Anforderungen, die sich direkt aus dem Nutzungskontext erfassen lassen und Anforderungen die erst nach wissenschaftlichen Untersuchungen, also durch Erkenntnisprozesse definiert werden können. Dazu zählen beispielsweise biomechanische Untersuchungen oder ethische Fragestellungen. Wichtige

Erkenntnisprozesse und deren Zusammenwirken mit dem nutzerorientierten Gestaltungsprozess sind in Abbildung 3.1 dargestellt.

Die Stakeholder sind neben den Anforderungen eine wichtige Informationsquelle für Rahmenbedingungen. Beim Entwerfen und Gestalten der Lösungen findet die technische Konzeptionierung und Realisierung statt. Teifunktionsmuster werden in einfachen Funktionstests geprüft. Bei dem Testen und Bewerten des gesamten Funktionsmusters wird dieses mit den Nutzern unter realistischen Bedingungen evaluiert.

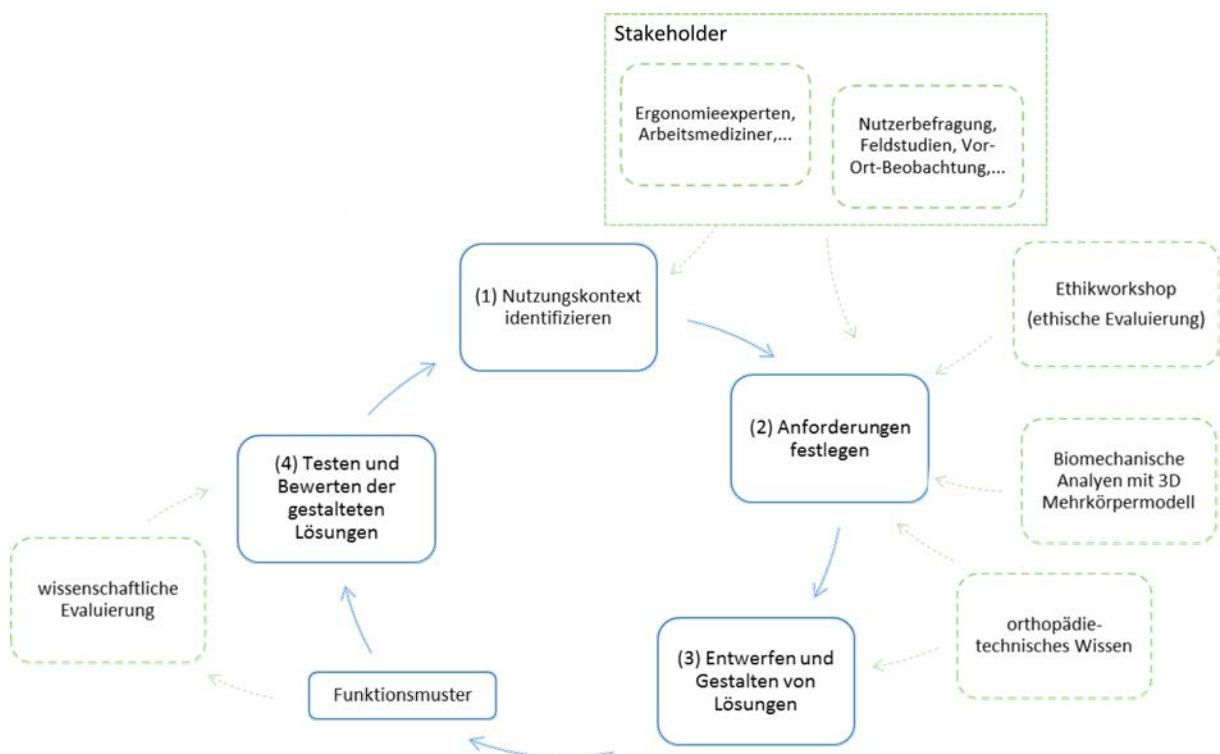


Abbildung 3.1: Nutzerorientierter Gestaltungsprozess (-) und Erkenntnisprozesse (--) bei der Entwicklung des orthetisch unterstützenden Systems

3.1 Nutzungskontext des orthetisch unterstützenden Systems identifizieren

Für die Entwicklung des orthetisch unterstützenden Systems wurden verschiedene Arbeitsplätze in der Montage bei einem Automobilhersteller untersucht. Diese wurden nach Körperhaltung und auftretenden Belastungsarten aufgeschlüsselt um das Potential hinsichtlich einer sinnvollen Unterstützung zu ermitteln. Zur Auswahl standen mehrere Tätigkeiten, die vor allem Überkopfarbeiten enthielten. Die Auswahl fiel dabei auf einen Arbeitsplatz im Heckbereich der Fahrzeugkarosse. Bei dieser Tätigkeit in der Endmontage zur Verkabelung der Heckklappe findet ein überwiegender Teil in Überkopfarbeit (oberhalb der Kopfhöhe) statt, es wird teilweise mit Werkzeugen gearbeitet und es müssen Halterungen (Clips) mit körpereigenen Kräften, ohne Hilfsmittel, montiert werden (Abbildung 3.2). Es handelt sich um einen körperlich anspruchsvollen Montagearbeitsplatz, bei dem eine Entlastung des Mitarbeiters, insbesondere des Schultergelenkes, durch ein orthetisch unterstützendes System erstrebenswert wäre.



Abbildung 3.2: Nutzungsszenario in der Automobilmontage zur Heckklappenverkabelung

Kinematische und kinetische Analysen des Arbeitsplatzes am Institut für Biomechanik und Orthopädie der Deutschen Sporthochschule Köln (DSHS) zur Bestimmung der wirkenden Kräfte und Belastungen an den oberen Extremität ergaben, in Anlehnung an den montagespezifischen Kraftatlas [15], mittelschwere Belastungen des Schultergelenkes. Ebenso wurde bei Befragungen der Nutzer in einer Feldstudie durch die DSHS festgestellt, dass ein sehr hohes Belastungs- und Schmerzempfinden unter anderem am Schultergelenk vorliegt [16]. Neben diesen analytischen Untersuchungen erfolgten auch ausführliche Vor-Ort Beobachtungen um zu verstehen, wie orthetisch unterstützende Systeme in den Arbeitsalltag integriert werden können.

3.2 Anforderungen an orthetische Unterstützungssysteme in der industriellen Anwendung

In einem Workshop gemeinsam mit potentiellen Nutzern und weiteren Stakeholdern aus den Bereichen Arbeitsschutz, Ergonomie, Gesundheitsschutz und Arbeitnehmervertretern aus dem Betriebsrat wurden Anforderungen und wichtige Rahmenbedingungen festgelegt. Diesem Workshop kam umso mehr Bedeutung zu, da es aufgrund der Neuheit bisher für orthetische Unterstützungssysteme in der industriellen Anwendung keine internationalen Standards gibt auf die zurückgegriffen werden kann [12]. Zusätzlich zu den funktionellen Anforderungen und Rahmenbedingungen erfolgte eine ethische Evaluierung des orthetisch unterstützenden Systems mit dem Modell zur ethischen Evaluierung Sozio-Technischer Arrangements (MEESTAR) [17]. Es wurden Kern-, nutzerzentrierte und kontextbezogene Anforderungen definiert (siehe Tabelle 3.1). Kontextbezogene Anforderungen ergaben sich aus dem industriellen Umfeld der Fahrzeugmontage, im speziellen der Heckklappenverkabelung. Abbildung 3.2 veranschaulicht die unterschiedlichen Flexionswinkel des Oberarmes bei der Heckklappenverkabelung verschiedener Nutzer. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der Nutzermerkmale bei der Anforderungsermittlung, da sich diese unmittelbar auf die Konzeptionierung des orthetisch unterstützenden Systems auswirken.

Tabelle 3.1: Auszug von Anforderungen an das orthetisch unterstützende System für die Heckklappenverkabelung

Kern-Anforderungen	nutzerzentrierte Anforderungen	kontextbezogene Anforderungen
ergonomische Entlastung des Schultergelenkes bei Überkopfarbeit	Anpassbarkeit des Systems an den Nutzer	Beachtung von Betriebsmittelvorschriften der Produktion
abgeleitete Kräfte und Momente ohne negative Auswirkungen auf den Hal tungssapparat	An- und Ablegen ohne Hilfsmittel oder weitere Personen	Einhaltung des Produktschutzes (geringes Risiko von Produktbeschädigungen)
wissenschaftlich nachgewiesene Wirksamkeit	keine Einschränkungen der Haptik (bspw. durch Handschuhe)	keine Einschränkungen bei der Zugänglichkeit von Montageorten
tragbar, geringes Gewicht (Einhaltung von ergonomischen Lastgrenzen)	Komfort bei einarmigen Belastungen	kein Zeitverlust bei der Nutzung (Montage im Taktzyklus)
körpernahes Anliegen, geringer Bauraum	Tragekomfort über gesamte Arbeitsschicht, keine Einschränkungen bei Pausenaktivitäten	schnelles An- und Ablegen
passive Unterstützung, keine Leistungssteigerung		

Durch biomechanische Simulationen (alaska/Dynamicus) des Instituts für Biomechanik und Orthopädie der DSHS, konnten die Auswirkungen des Entlastungsmechanismus des optimierten orthetisch unterstützenden Systems (Abbildung 3.3) auf das Drehmoment des Schultergelenks untersucht werden. Für die Entlastung konnten die Größen des Rückstellmomentes in Abhängigkeit des dreidimensionalen Schultergelenkwinkels und Hebelarms für das Nutzungs szenario ermittelt werden [16].



Abbildung 3.3: Nachbau des orthetisch unterstützenden Systems zur Simulation und Optimierung (alaska/Dynamicus) des Rückstellmomentes zur Entlastung des Schultergelenkes

3.3 Entwerfen und Gestalten des orthetisch unterstützenden Systems für die Überkopfarbeit

Im Folgenden wird die Entwicklung eines Systems beschrieben, dass das Armgewicht über ein Schienen-Gelenk-System oberhalb der Schulter aufnimmt (siehe Abbildung 3.4). Ziel dieses Konzeptes ist es zusätzlich zu einem körpernahen Aufbau den Bewegungsumfang des Nutzers zu erhalten. Das erste Konzept wurde sehr kompakt gestaltet, indem das Armgewicht über kurze Hebel oberhalb der Hüfte in den Körper eingeleitet wurde. Der Vorteil dieser kompakten Bauweise ist, dass Bewegungen der Lendenwirbelsäule funktionell nicht in dem orthetisch unterstützenden System abgebildet werden müssen. Der Nutzer hat dadurch keine Einschränkung im Bereich der Lendenwirbelsäule und das System kann durch diese Bauweise auch an schwer zugänglichen Arbeitsräumen getragen und genutzt werden.



Abbildung 3.4: Teilkunktionsmuster zur Kraft- und Momenteneinleitung oberhalb der Lendenwirbelsäule

Auch wenn das Armgewicht nicht vollständig abgenommen wird führt dies unter Berücksichtigung der Hebellänge zu beachtlichen Momenten und Kräften, die in den Körper eingeleitet werden müssen. Die Masse eines Armes einer erwachsenen Person kann bis zu 5 % des Körpermengewichtes betragen[18]. Durch eine Laborstudie des beschriebenen Nutzungsszenarios mit mehreren Probanden und anschließenden Analysen der DSHS [16], bei denen das Drehmoment nur durch das Armgewicht simuliert wurde, ergab sich ein Drehmoment im Schultergelenk von 4,6 Nm ($\pm 2,7$ Nm) bei einer Flexion des Oberarmes von $98,3^\circ$ ($\pm 13,2^\circ$). Die Bandbreite der Werte resultiert aus den unterschiedlichen Nutzmerkmalen (z.B. Körpergröße, Geschlecht, Arbeitsausführung) im Nutzungsszenario, wie in Abbildung 3.2 beispielhaft veranschaulicht. Die Ergebnisse geben die Bandbreite der resultierenden umzuleitenden Kräfte wieder, die vom Nutzer toleriert werden müssen. Bei der Einleitung dürfen keine negativen Folgen auf den Haltungsapparat oder Weichteile verursacht werden. Zudem muss berücksichtigt werden, dass bei einer einarmigen Unterstützung die Kräfte und Momente gleichmäßig verteilt werden. Die Werte sind somit ein wichtiger Parameter bei der Entwicklung des orthetisch unterstützenden Systems in Bezug auf unterschiedliche Probanden. Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen waren die Ergebnisse der Funktionstest mit diesem Konzept nicht zufriedenstellend. Die entstehenden Druckkräfte am Körper waren aus orthopädiotechnischer Sicht kritisch, da nur wenige geeignete Krafteinleitungspunkte zur Verfügung stehen. Des Weiteren gaben die Probanden an, schon bei sehr geringen eingeleiteten Kräften eine nicht tolerierbare Beeinflussung auf die Atembewegungen des Torsos zu spüren.

Im nächsten iterativen Schritt wurde daher die Krafteinleitung auf der Hüfte realisiert. Die Kraftumleitung oberhalb der Schulter wurde beibehalten, da sich diese als vorteilhaft erwies eine ausreichende Stabilität und den nötigen Bewegungsfreiraum des Schultergelenkes zu ermöglichen. Die Rückenbügel die bisher noch aus Aluminium bestanden, waren aufgrund der längeren Hebelarme zu instabil und wurden, ebenso wie die krafteinleitenden Punkte an Rücken und Hüfte, durch Carbon-Prepreg Materialien ersetzt (Abbildung 3.5).



Abbildung 3.5: Funktionsmuster aus Carbon-Prepreg

Mit diesem Funktionsmuster konnte eine stabile und bequeme Kraftumleitung erreicht werden. In Abbildung 3.6 ist das optimierte Funktionsmuster zu sehen. Die Oberarme werden in die Armschalen gelegt und das Armgewicht wird über die Armschiene und das Schultergelenk in den Rückenbügel eingeleitet, der die Kräfte dann mit Hilfe der gepolsterten Hüftschalen in den Körper einleitet. Die adaptierbare Passform wird Mithilfe des variablen Hüftbügel und Rückenbügel ermöglicht, so dass sich das System auf unterschiedliche Nutzer anpassen lässt. Die rucksackartigen Träger zusammen mit dem Rückenpolster ermöglichen einen körpernahen, komfortablen und ortsstabilen Halt des Systems. Durch einen Drehpunkt im Lendenwirbelbereich ist das System wesentlich flexibler für Seitneigungen. Außerdem konnte ein von ersten Probanden als tolerierbar bewertetes Gewicht von weniger als 3 kg erreicht werden.



Abbildung 3.6: optimiertes Funktionsmuster mit adaptierbarer Passform

4 Zusammenfassung und Ausblick

Während des Entwicklungsprozesses entstanden neben dem beschriebenen Funktionsmustern eine Vielzahl weiterer Konzepte und Teilfunktionsmuster. Die Kern- und nutzerorientierten

Anforderungen haben nicht nur in der Automobilmontage Relevanz sondern lassen sich auch auf andere industrielle Anwendungen übertragen. Die Verwendung der entwickelten Funktionsmuster, wie beispielsweise im Baugewerbe und Handwerk, sind prinzipiell möglich.

Für die optimierten Funktionsmuster wird eine ausführliche Evaluierung in unterschiedlichen Nutzungsszenarien in der Automobilmontage stattfinden.

Durch die Rückmeldung des erweiterten Nutzerkreises wird die Anpassbarkeit des Systems und damit einhergehend die Ergonomie, angenehme Kraftumleitung und Praxistauglichkeit beurteilt werden. Die Variabilität der Nutzer stellt aus orthopädiotechnischer Sicht eine Herausforderung hinsichtlich Anpassbarkeit des Systems, der Kongruenz von Gelenken mit den natürlichen Gelenken und der damit verbundenen optimalen ergonomischen Kraftumleitung und des Tragekomfort dar. Mittels der biomechanischen Analysen konnte das orthetisch unterstützende System und dessen Funktionsweise optimiert werden. Darüber hinaus ist es unerlässlich weitere Untersuchungen hinsichtlich der Wirksamkeit und Wechselwirkung mit dem Menschen zu untersuchen. Ein wissenschaftlicher Vergleich von Nutzern mit und ohne orthetischen Unterstützungssystem ist ein wesentlicher Schritt um die Wirksamkeit zu überprüfen. Das orthetisch unterstützende System bietet die Möglichkeit als ein tragbares Assistenzsystems für den Menschen, die Lücke zwischen automatisierter Produktion und externen Handhabungshilfsmitteln für eine bessere Arbeitsqualität zu schließen.

5 Danksagung

Der Dank gilt insbesondere dem Institut für Biomechanik und Orthopädie der Deutschen Sporthochschule Köln (Prof. Gert-Peter Brüggemann, Rita Benker), der Volkswagen AG (Dr. Andrea Spillner, Heike Zacharias) und den weiteren kooperierenden Unternehmen im Forschungsprojekt Orthetisch-bionische Assistenzsysteme (ORTAS). Dieses Forschungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Mensch-Technik-Interaktion im demografischen Wandel“ gefördert (Förderkennzeichen: 16SV6118K).

6 Literatur

- [1] C. Nöllenheidt, S. Brenscheidt: Arbeitswelt im Wandel Zahlen – Daten – Fakten Ausgabe 2016, 1st ed., 2016.
- [2] B. Hartmann, R. P. Ellegast, M. Spallek: Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen: Ursachen, Prävention, Ergonomie, Rehabilitation. Heidelberg, München [u.a.]: Ecomed Medizin, 2013.
- [3] J. K. Sluiter, K. M. Rest, M. H. W. HW Frings-Dresen: Criteria document for evaluating the work-relatedness of upper-extremity musculoskeletal disorders. Scand J Work Environ Health, Vol. 27, S. 1-102, 2001.
- [4] M. Lawaczeck: Zur ergonomischen Beurteilung von Montagetätigkeiten in der Automobilindustrie. Stuttgart: Ergon, 2001.
- [5] B. P. Bernard: Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck. Upper Extremity, and Low Back. Cincinnati, 1997.
- [6] K. Walker-Bone: Hard work never hurt anyone: or did it? A review of occupational associations with soft tissue musculoskeletal disorders of the neck and upper limb. Annals of the Rheumatic Diseases, Vol. 64, No. 10, S. 1391-1396, 2005.

- [7] A. Leclerc, J.-F. Chastang, I. Niedhammer, M.-F. Landre, Y. Roquelaure: Incidence of shoulder pain in repetitive work. *Occup Environ Med*, Vol. 61, No. 1, S. 39-44, 2004.
- [8] L. Punnett, L. J. Fine, W. M. Keyserling, G. D. Herrin, D. B. Chaffin: Shoulder disorders and postural stress in automobile assembly work. *Scand J Work Environ Health*, Vol. 26, No. 4, S. 283-291, 2000.
- [9] J. Grieve, C. Dickerson: Overhead work: Identification of evidence-based exposure guidelines. *Occupational Ergonomics*, No. 1, S. 53-66, 2008.
- [10] G. Reinhart, M. Prasch, M. Loy, S. Schur: Ergonomie und Effizienz durch Manipulatoren: Kriterien zum Handhabungshilfsmittel Einsatz in der Serienmontage bei geringen und mittleren Lasten. *wt Werkstattstechnik online* Jahrgang 95 (2005), Vol. 96, 2006.
- [11] H. Herr: Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, Vol. 6, S. 21, 2009.
- [12] M. P. de Looze, T. Bosch, F. Krause, K. S. Stadler, L. W. O'Sullivan: Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, Vol. 59, No. 5, S. 671-681, 2016.
- [13] R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg (Hrsg.): *Technische Unterstützungssysteme*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015.
- [14] C. M. Schlick, R. Bruder, H. Luczak: *Arbeitswissenschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [15] J. Wakula: *Der montagespezifische Kraftatlas*. Berlin: DGUV, 2009.
- [16] R. Benker, K. Heinrich, G.-P. Brüggemann: Quantifizierung und Bewertung von Belastungen bei der Kabelbaummontage und Simulation einer Entlastung durch ein Unterstützungssystem. Zweite transdisziplinäre Konferenz zum Thema „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“, 2016.
- [17] K. Weber, D. Frommeld, A. Manzeschke, H. Fangerau (Hrsg.): *Technisierung des Alltags: Beitrag für ein gutes Leben?* 1st ed. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 2015.
- [18] P. de Leva: Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of biomechanics*, Vol. 29, No. 9, S. 1223-1230, 199.

Analyse der Engineering-Kette im Hinblick auf die Entwicklung körpergetragener technischer Systeme

R. Weidner¹, C. Linnenberg¹, A. Hypki², J. P. Wulfsberg¹, B. Kuhlenkötter²

¹Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Robert.Weidner@hsu-hh.de, Chrstine.Linnenberg@hsu-hh.de, Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

²Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
Hypki@lps.ruhr-uni-bochum.de, Kuhlenkoetter@lps.ruhr-uni-bochum.de

Kurzzusammenfassung

Zur Entwicklung technischer Systeme, wie z.B. von Werkzeugen, automatisierten Systemen oder Automobilen, wird ein breites Spektrum von Methoden eingesetzt, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Entwicklung ihre Anwendung finden. In der Entwicklung von Systemen mit einer Mensch-Maschine Schnittstelle ist erkennbar, dass es in der durchgängigen klassischen Engineering-Ketten zu einem Bruch kommt, da aufgrund von Defiziten bei der gemeinsamen Betrachtung von Mensch und Technik in vielen Entwicklungsphasen es vermehrt zu iterativen Entwicklungsschleifen kommt. Ganz besonders betrifft dies die Entwicklung körpergetragener Unterstützungssysteme und erschwert ihre durchgängige Entwicklung.

Dieser Beitrag stellt einen exemplarischen Auszug klassischer Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung technischer Systeme mit direkter Interaktion von Mensch und Technik inklusive einer Einordnung in Kontextbedingungen dar und zeigt verschiedene Ansatzpunkte für Engineering-Ketten entsprechender Systeme auf.

Abstract

“Analysis of the engineering chain with a view to developing wearable technical systems“
For the development of technical systems like tools, automated systems and automobiles, a wide range of methods are available. Depending on different applications, these methods are used in different phases of the development process. For the development of systems with a human machine interface an inconsistency within classical engineering chains can be observed, due to deficits within the considerations of humans and technology in many developmental stages and causes additional iterations in the process. These inconsistencies exacerbate the classical engineering chain and concerns particularly developmental processes of wearable support systems.

This article provides an overview of classical methods and tools for developing technical systems with direct interaction between human and technology, including a classification in the context of conditions. Starting points for engineering chains of such systems are presented.

Keywords: Engineering-Kette, Durchgängigkeit, Entwicklung körpernaher bzw. körpergetragener Systeme, Mensch und Technik, Mensch-Roboter-Kollaboration

1 Einleitung

Im Kontext der industriellen Produktion wurde eine Vielzahl unterschiedlicher technischer Systeme entwickelt. Dabei ist an eine Bandbreite von der Entwicklung des Fließbandes bis hin zu voll automatisierten Lösungen zu denken. Chronologisch handelte es sich zunächst um Systeme, die zeitlich und räumlich getrennt vom Menschen agierten (z.B. klassische Industrieroboter und vollautomatisierte Anlagen). Gegenwärtig zeichnet sich in der industriellen Produktion zunehmend der Trend zu einer geänderten Interaktion zwischen Mensch und Technik ab: Von der strikten räumlichen und zeitlichen Trennung hin zu räumlich und zeitlich kooperierenden Systemen, (z.B. mit dem Ansatz der Mensch-Maschine-Kollaboration und Serviceroboter) bis hin zur vollständigen Synchronisierung in hybriden Systemen wie anziehbaren Unterstützungssystemen und Exoskeletten (vgl. z.B. [1, 2, 3, 4, 5]). Das Wissen über den Menschen und seine Umwelt muss entsprechend für eine effiziente und sichere Planung und Entwicklung derartiger Systeme verstärkt in den Fokus technischer Entwicklungsprozesse rücken.

Zur Entwicklung entsprechender Systeme lassen sich verschiedene Methoden und Werkzeuge mit unterschiedlichen Zugängen einsetzen. Ihre Anwendung kann sich jedoch in mehreren Punkten unterscheiden. Vereinfacht können sie als Black-Box betrachtet werden. Aufbauend auf Eingangsgrößen wird die Erreichung eines gewissen Ziels (Lösung, Bewertung, etc.) unter Verwendung einer strukturierten Vorgehensweise bzw. geeigneter Berechnungs- und Analyseverfahren unterstützt.

Bei technischen Systemen, die eine direkte Schnittstelle zum Menschen aufweisen sollen, fällt auf, dass für die Konzeption häufig Methoden und Werkzeuge verschiedener Fachdisziplinen heranzogen werden müssen, z.B. ingenieurwissenschaftliche und biomechanische [1]. Zum Teil unterscheiden sich die fachrichtungsspezifischen Methoden nicht grundsätzlich, blicken jedoch aus unterschiedlichen Blickrichtungen auf die Problematik und verwenden unterschiedliche Eingangsinformationen, was einen durchgängigen Engineering-Prozess sehr stark fragmentiert. Dieser Beitrag stellt in einem vereinfachten, idealtypisch linearen Entwicklungsablauf einen Auszug häufig verwendeter Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung technischer Systeme mit direkter Interaktion bzw. die Hybridisierung zwischen Mensch und Technik dar, um auf dieser Basis die Durchgängigkeit der Engineering-Kette zu analysieren. Zunächst werden die wichtigsten Charakteristiken und Strukturen tragbarer Systeme beschrieben. Als Vorbereitung der Klassifikation exemplarischer Methoden und Werkzeuge im letzten Teil des Beitrags werden Kontextbedingungen und Entwicklungsphasen eingeführt. Zentrale Anforderungen an hybride Systeme werden über die übergeordneten Kontextbedingungen abgeleitet. Die Autoren sind sich bewusst, dass die Übersicht schematisch, daher in Teilen lückenhaft ist und zu einem späteren Zeitpunkt weiter differenziert werden muss.

2 Gegenstand der Technikentwicklung – Charakteristiken und Strukturen anziehbarer Systeme

Bei der Entwicklung technischer, körpergetragener Systeme stellen der Nutzer (Mensch), seine Aktivität und das technische System die Betrachtungseinheiten dar, die durch die Einbettung in einen organisationalen Kontext beeinflusst werden (vgl. [6, 7]). Die Aktivität, der Systemnutzer und der Gesamtkontext in Organisationen geben die zentralen Anforderungen an das technische System vor. Werkzeuge, die für die Ausführung von Produktionsprozessen erforderlich sind, werden in diesem Beitrag als gegeben angenommen und sind in Abhängigkeit zur Aktivität zu wählen.

Die Entwicklung kann Aspekte unterschiedlicher Ebenen adressieren. Schematisch sind die möglichen Ebenen in Abbildung 2.1 dargestellt. Entwicklungen können z.B. auf der untersten Ebene die Entwicklung von Komponenten oder Technologien für Komponenten betreffen sowie auf der obersten Ebene die Vernetzung zwischen Organisationen in einem globalen System adressieren. Für die Gestaltung anziehbarer Systeme nimmt bspw. die Interaktion bzw. Beziehung zwischen Mensch und Technik eine entscheidende Rolle ein.

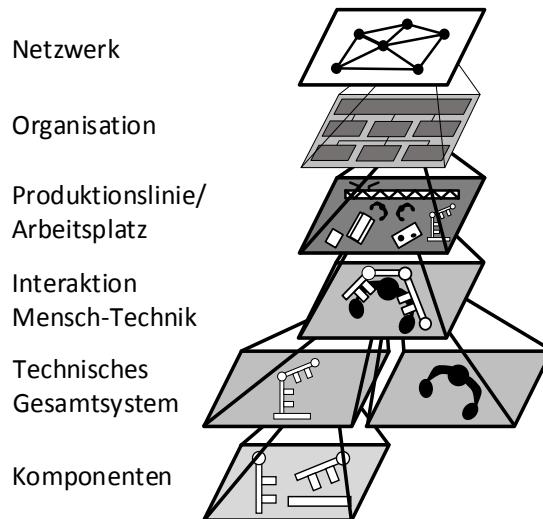


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung von Ebenen in der Technikentwicklung (Darstellung in Anlehnung an [8, 9])

Im Rahmen der Entwicklung körpergetragener Unterstützungssysteme sind eine Vielzahl an technisch relevanten Aspekten auf Seiten der Hard- und Software zu adressieren. Hierzu zählen bspw. die Auslegung der mechanischen Struktur, die Auswahl geeigneter Materialien für die direkte Mensch-Technik-Interaktion, die Systemfunktionalität, die Aktuatorik, die Sensorik, die Medienversorgung, die Energieversorgung, die Datenerfassung und -verarbeitung, die Kommunikation innerhalb technischer Systeme sowie zwischen technischem System und Infrastruktur, die Steuerung (bspw. Adaption, Korrekturstrategie) sowie die Sicherheitstechnik. Die Bedeutung einzelner Aspekte ist hier im Vergleich zu reinen technischen Systemen verändert, da der Mensch als sensible Größe einen elementaren Bestandteil ausmacht.

3 Übergeordnete Kontextbedingungen

Eine Analyse gängiger Entwicklungsmethoden und -werkzeuge zeigt, dass die Ein- und Ausgangsgrößen der jeweiligen Methoden vielfach übereinstimmen und sich hierüber zentrale Aspekte für die Technikentwicklung ableiten lassen. Mit ihnen lassen sich die betrachteten Einheiten näher charakterisieren. Je nach Entwicklungsfrage sind die Einheiten verschieden und beschränken sich i.d.R. auf die Aktivität, den Systemnutzer, das technische System und den Gesamtkontext in Organisationen. Die zentralen sechs Kontextbedingungen inklusive exemplarischer Unterkategorien sind in Abbildung 3.1 zusammengefasst.

Durch die exemplarischen Unterkategorien soll gezeigt werden, dass die Kontextbedingungen für körpergetragene Systeme einer Vielzahl von Randbedingungen unterliegen, die über technische Standardsysteme deutlich hinausgehen. Die Vielzahl an Randbedingungen und Eigenschaften müssen im Sinne einer durchgängigen Engineering-Kette möglichst effizient und ohne Konvertierungsaufwände oder gar -verluste betrachtet werden.

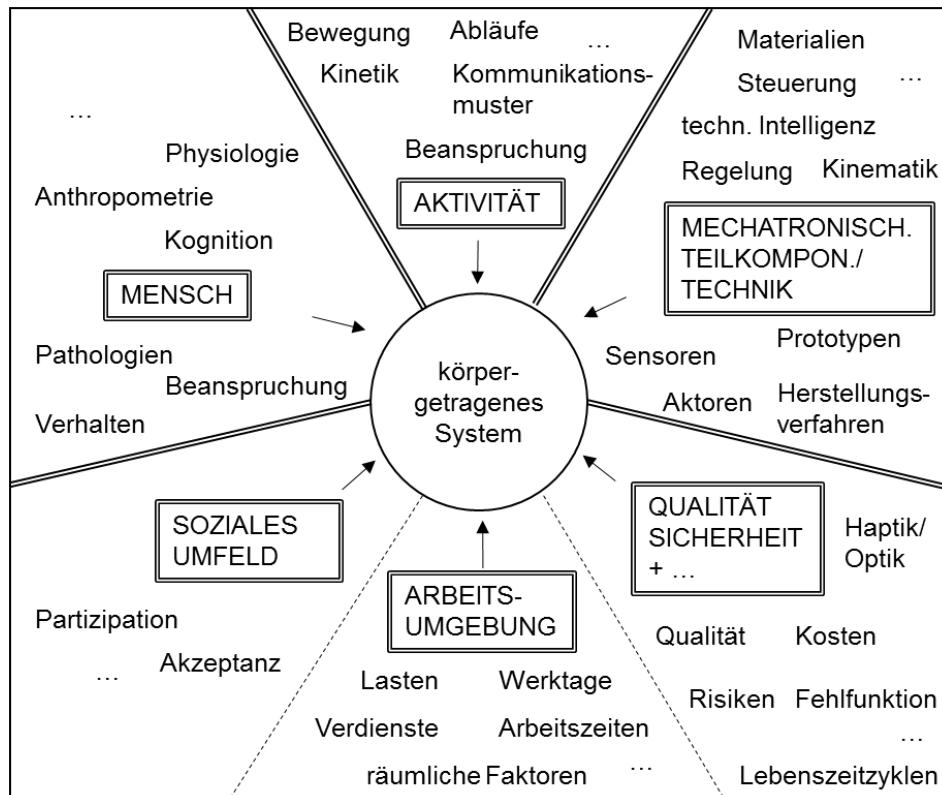


Abbildung 3.1: Kontextbedingungen im Rahmen der Entwicklung körpergetragener Systeme

4 Idealtypische Phasen der Technikentwicklung

Im Rahmen eines Entwicklungsprozesses technischer, tragbarer Systeme sind für vorgegebene Anforderungen verschiedene Phasen zu durchlaufen. Der Entwicklungsprozess wird hier idealtypisch als linear dargestellt. Je nach herangezogener Literatur unterscheiden sich die Phasen inklusive der betrachteten Granularität [10, 11]. Jede Phase ist durch ein klares Ergebnis gekennzeichnet, welche idealisiert in Abbildung 4.1 zusammengefasst sind.

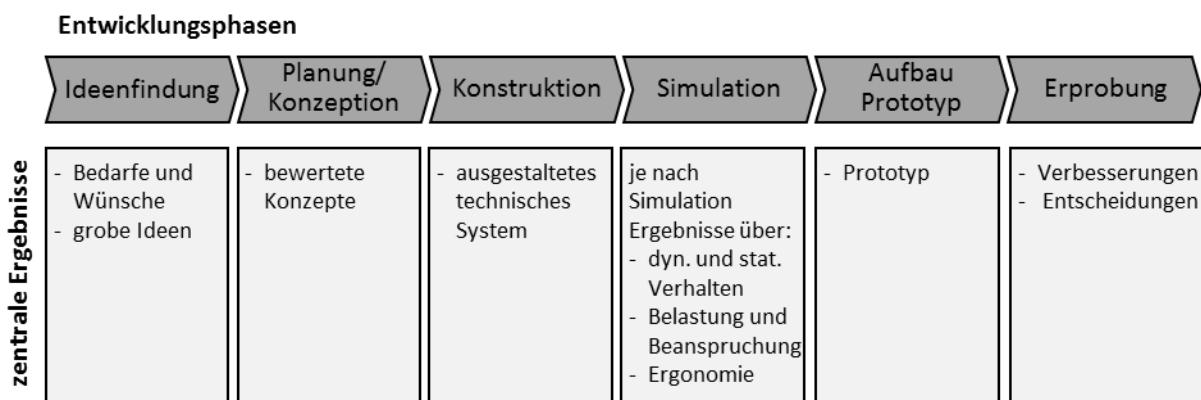


Abbildung 4.1: Phasen der Technikentwicklung inkl. zentrale Ergebnisse

5 Klassifikation ausgewählter Methoden

Im Rahmen der Entwicklung lassen sich verschiedene Methoden und Werkzeuge einsetzen, die auf Basis unterschiedlicher Eingangsgrößen durch strukturierte Vorgehensweisen und Hilfs-

mittel die Erarbeitung von Ausgangsgrößen unterstützen. Zentrale übergeordnete Eingangsgrößen im Rahmen von Entwicklungsprozessen von Systemen für die direkte Mensch-Technik-Interaktion sind

- Auf der Seite des Menschen: Anthropometrie, Kinematik, Belastungsgrößen, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Erwartungshaltung.
- Auf der Seite der Technik: Freiheitsgrade, Materialien, Aktorik, Sensorik sowie Verfahr- und Achswege und die implementierte Steuerung.

5.1 Defizite

Eine Analyse gängiger Methoden und Werkzeuge verschiedener Disziplinen, die sich zur Entwicklung einsetzen lassen, zeigt, dass bislang keine durchgängige Engineering-Kette existiert (vgl. Abbildung 5.1), in der ausgewählte Methoden und Werkzeuge des Entwicklungsprozesses mit zentralen Ein- und Ausgangsgrößen zusammengefasst sind. Dies ist vor allem auf die mangelnde gemeinsame Betrachtung der Einheit aus Mensch, Technik und Kontexteinbettung zurückzuführen. Für entsprechende Systeme ist es erforderlich, u.a. das menschliche Bewegungsverhalten und das funktionale Maschinenverhalten durchgängig als integrativ zu betrachten.

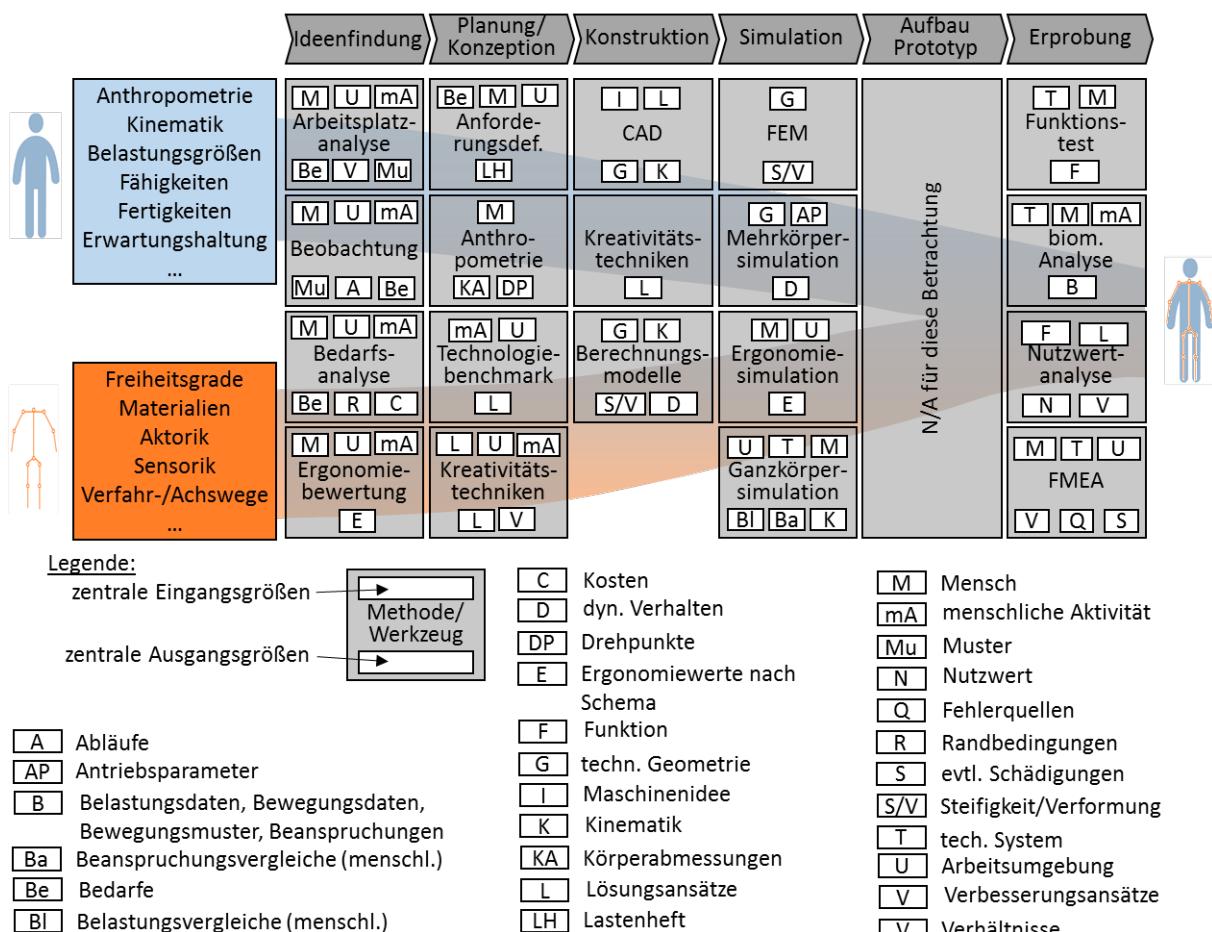


Abbildung 5.1: Auswahl aktueller Methoden und Werkzeuge sowie Einordnung in die Engineering-Kette

Heutzutage erfolgt die integrative Betrachtung erst in späten Phasen der Entwicklung, beispielsweise erst in der Erprobung. Eine Auswahl an identifizierten Defiziten, die bislang iterative Prozesse im Entwicklungsverlauf erzwingen, ist nachfolgend beschrieben.

Mangelnde durchgängige Betrachtung und Berücksichtigung des Menschen

Vor allem in frühen und späten Entwicklungsphasen liegt der Fokus einiger Methoden auf dem (potentiellen) Systemnutzer. Jedoch liegt gerade in den Kernphasen der Fokus eher auf den technischen Aspekten und vor allen Dingen nahezu ohne gleichzeitige Betrachtung des späteren Systemnutzers. Im Rahmen der Konstruktion von kinematischen Systemen – beginnend bei einfachen kinematischen Strukturen bis hin zu komplexen Mehrrobotersystemen – werden mit Hilfe von CAD-basierten Konstruktionssystemen vor allem Fragestellungen hinsichtlich der Beweglichkeit untersucht. Unter der Beweglichkeit wird zumeist die rein kinematische Verfahrbarkeit des technischen Artefaktes verstanden – ohne bspw. bei Körpergetragenen Systemen die unterschiedlichen menschlichen Voraussetzungen, wie bspw. unterschiedliche anthropometrische Voraussetzungen, zu berücksichtigen. In den nachgeschalteten Programmier- und Simulationssystemen werden mechatronische Aspekte (bspw. Antriebs- und Steuerungstechnik) hinzuaggregiert. Erst in dieser Systemstufe wird das programmierbare bzw. programmierte Verhalten abgebildet und so auch erstmalig abgeprüft – aber auch hier meist, ohne den Nutzer u.a. mit seinen unterschiedlichen Bewegungs- und Verhaltensmustern zu betrachten.

Mangelnde Betrachtung der (funktionalen) Maschine

Daneben existieren einige Systeme, die den Menschen simulativ abbilden, z.B. Ergonomiesimulationen. Diese Systeme beginnen mit kinematischen Menschenmodellen auf unterschiedlichen Abstraktionsleveln – vom Muskel bis zum kompletten Körper – wobei die Level sich hauptsächlich durch die Anzahl der implementierten Freiheitsgrade unterscheiden. Die bisher komplexesten Menschmodelle optimieren über die Freiheitsgrade hinaus die visuelle Flüssigkeit und Geschwindigkeit von Bewegungen. Sie werden häufig in der Spiel- und Filmindustrie eingesetzt, jedoch nicht in wissenschaftlichen Kontexten.

Eine weitere Stufe der Humansimulation wird für Ergonomieuntersuchungen eingesetzt. Hier werden die Belastungen auf unterschiedlich „skalierbare“ Menschen nach verschiedenen Ergonomie-Bewertungsschemata wie bspw. OWAS (Ovako Working posture Assessment System) kategorisiert, in denen unterschiedliche Positionen und Haltungen des Menschen mit den jeweiligen Belastungen/Handhabungsgewichten kombiniert und in einem Ampelmodell eingestuft werden [12, 13]. Beispiele für derartige Systeme sind ema (Editor menschlicher Arbeit; imk automotive) und Jack/Process Simulate Human (Siemens). Das Haupteinsatzgebiet dieser Systeme ist die Arbeitsplatzgestaltung im Produktionsumfeld mit ausschließlichem Blickwinkel Mensch. [14, 15]

Im Bereich der Körpergetragenen Systeme ist der jeweilige Detailgrad der technischen Artefakte in unterschiedlichen Entwicklungsstadien nicht immer funktional. So reichen bspw. Ampelschemata nicht aus, um die inhärente Unterstützungsleistung eines Systems im belasteten Gelenk zu ermitteln. Hierfür müsste vielmehr der Detailgrad der Simulation punktuell und oder situationsabhängig erhöht werden.

5.2 Fazit

Die in den beiden dargestellten Systemwelten vorhandene Trennung zwischen beweglichem Menschen und funktionaler Maschine wird in der letzten Zeit in verschiedenen Arbeiten adressiert und der Einsatzbereich der Mensch-Technik-Kollaboration wird ausgeweitet [16, 17]. An ihrer Auflösung wird aktiv gearbeitet, wobei die steigende Bedeutung der Mensch-Roboter-

Kollaboration (MRK) der bedeutendste und antreibende Faktor ist. Wichtig ist jedoch die Be- trachtung der Ziele bei der Zusammenführung der beiden Systemwelten: Ergonomieuntersu- chungen, Betriebssicherheitsbetrachtungen, belastbare Planungen und Austaktungen von MRK-Szenarien sowie wirtschaftlich effiziente Produktionslösungen. Der Bereich der körper- getragenen Unterstützungssysteme wird bei den genannten Arbeiten nicht adressiert, setzt sich hiervon auch aufgrund der intensiveren Interaktion und Integration in einem hybriden System deutlich ab.

Ein Grenzbereich der dargestellten Betrachtung sind sogenannte Hebe- und Fügehilfen, denn an diesen arbeiten Mensch und Maschine bereits eng zusammen. In der Planung dieser Systeme wird bereits mit Kraftberechnungen gearbeitet, die bspw. das Übersetzungsverhältnis bei pas- siven Scherenkinematiken (CAD-Konstruktion) bestimmen, oder es wird die Umsetzung der menschlichen Anregung auf ein aktiv angetriebenes, elektromechanisches oder pneumatisches Hilfssystem (Progammier- und Simulationssystem) eingeplant. Allerdings wird auch hier der Mensch erst in der praktischen Erprobung involviert und mit der Entwicklung „in Kontakt“ gebracht.

Zeigt man die genannten Systeme in ihrer zeitlichen Kette über den Engineering-Zyklus auf, so wird deutlich, dass die für den Bereich der anziehbaren Unterstützungssysteme wichtigen Kri- terien (wie aktive Unterstützung, Bewegungsfreiraum, Wohlfühlen, gefühlte Sicherheit, jeder- zeitige Kontrolle etc.) erst in der Erprobungsstufe mit (entwickelter und gefertigter) Technik und realen Probanden betrachtet werden können (vgl. Abbildung 5.1). Die Folge sind zeitauf- wändige Iterationszyklen mit zahlreichen Rückwärtsschritten, was zu einem erhöhten Aufwand hinsichtlich Zeit und Kosten sowie bei falschem Gebrauch zu Erkrankungen am Muskelskelett- system führen könnte.

Diese großen Iterationsstufen sind vor allem darauf zurückzuführen, dass eingangs der Mensch entweder zu ungenau oder mit den falschen Parametern berücksichtigt oder im Modell zu stark abstrahiert werden. Abbildung 5.2 fasst exemplarisch Rückwärtsschritte zusammen und zeigt mögliche Anknüpfungspunkte für Verbesserungsansätze für die jeweilige Phase auf.

6 Ansätze für durchgängige Engineering-Ketten

Für einzelne Schritte der Entwicklung körpergetragener Unterstützungssysteme zeichnen sich bereits Ansätze zur Realisierung durchgängiger Engineering-Ketten ab. Optimal wäre an dieser Stelle eine Realisierung in die Richtung von Loopless Engineering-Ketten. Schleifen über ent- fernte Phasenentwicklungen hinweg sollten dabei vermieden werden. Iterationen innerhalb der Phasen, beispielsweise innerhalb der Modellierung und Konstruktion, und phasenübergreifende Iterationen von angrenzenden Phasen, bspw. von Konstruktion und Simulation, sollten so kom- pakt und kleinschrittig wie möglich gestaltet werden. Um Iterationen weitgehend zu minimie- ren und in einen durchgängigen Prozess zu überführen werden Anpassungen auf verschiedenen Ebenen, besonders aber in Bezug auf die erarbeiteten sechs Kontextfaktoren und ihrer Unter- kategorien (Abbildung 3.1) notwendig. Nachfolgend werden daher exemplarisch Ansätze auf- gezeigt.

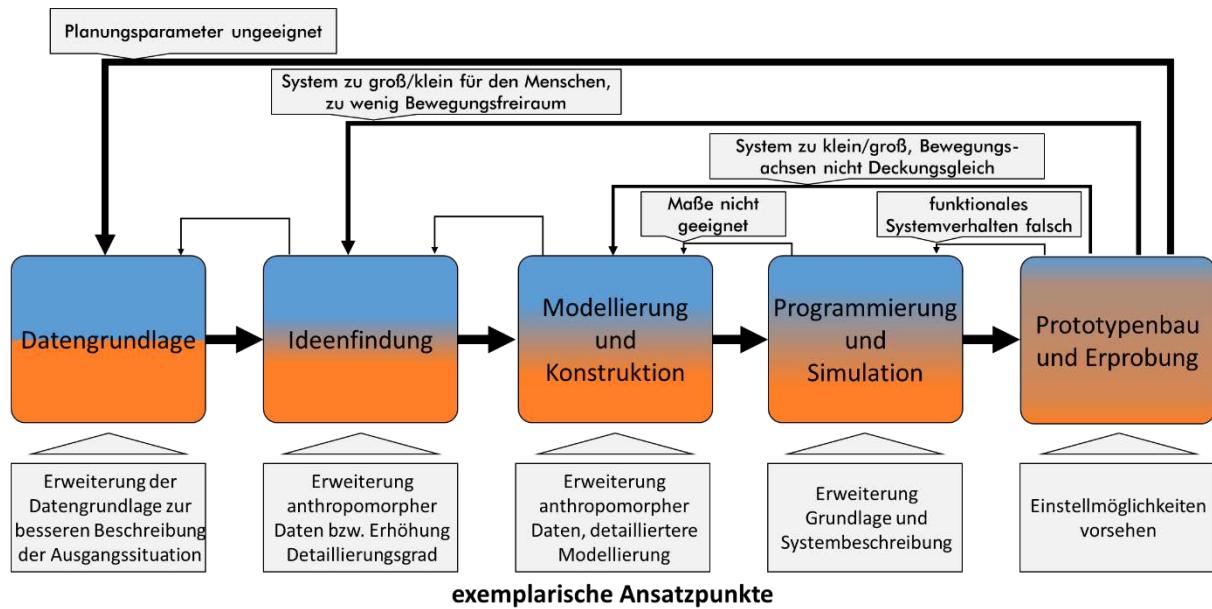


Abbildung 5.2: Rückwärtsschritte im Engineering von Unterstützungssystemen durch nicht-konsistente Ketten

Partizipative und interdisziplinäre Technikentwicklung (Oberziel)

Ein erster übergeordneter Ansatz stellt die Integration der Nutzer und verschiedene Zugänge im Entwicklungsprozess dar. Hierdurch gibt es zum einen Möglichkeiten, die Entwicklungen den potentiellen Nutzern zu zeigen und diese mit ihnen bspw. hinsichtlich Funktionalität, Anpassbarkeit oder Akzeptanz zu analysieren und testen zu lassen. In diesem Zusammenhang können bspw. Early Stage Prototypes einen Ansatz darstellen. Zum anderen können Angriffspunkte durch eine Multiperspektivität besser herausgearbeitet werden.

Erweiterung und Durchgängigkeit der Datengrundlage

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Durchgängigkeit im Engineering-Prozess stellt die Erweiterung der Datengrundlage dar. Hierunter sind im Wesentlichen drei Aspekte zu verstehen:

1. Erweiterung der Eingangsgrößen in den einzelnen Planungsphasen, z. B. um Parameter zur Beschreibung des menschlichen Bewegungsverhaltens.
2. Betrachtung der Eingangsgrößen mit mehr Detailinformationen, z. B. genaue Beschreibung der Anthropometrie oder der Belastungsdaten.
3. Berücksichtigung einer umfangreicher Datenbasis, z. B. größere Anzahl an Stichproben sowie Erweiterung hinsichtlich z. B. Aspekte zur Akzeptanz und Design.

Entwicklung hybrider Methoden und Modelle mit verschiedenen Zugängen (Datengrundlage, Planung, Konstruktion, Programmierung und Simulation)

Ein weiterer Ansatz kann die Zusammenführung verschiedener Herangehensweisen und Kombination von Modellen sein. Beispiele hierfür sind die Erstellung gemeinsamer Modelle zur Arbeitsplatzsimulation und Simulation von Robotersystemen sowie die Kopplung von funktional orientiertem und nutzerzentriertem Vorgehen.

Stärkere (interagierende) Parallelisierung im Entwicklungsprozess

Als Alternative zur Entwicklung hybrider Methoden und Modelle kann eine ähnliche Wirkung durch die stärkere Parallelisierung von Methoden im Entwicklungsprozess unter intensivem Austausch an Eingangs- und Ausgangsinformationen erzielt werden (agiles Vorgehen).

Erweiterung bzw. Zusammenlegung von Kennzahlen und Simulationsmodellen

Heutzutage werden ausgewählte Kennzahlensysteme sowie Simulationsmodelle je nach Blickwinkel und Entwicklungsphase genutzt. Der Fokus liegt hierbei auf klar definierten und umrissenen Fragestellungen, z. B. auf nur ökonomischen oder technischen oder menschlichen Größen. Eine Erweiterung bzw. Zusammenlegung stellt an dieser Stelle einen Ansatz dar.

Prototypenbau und Erprobung

Der Aufbau von Funktionsmustern und Prototypen – wenn auch nur in Teilen realisierbar – kann zum einen den Entwicklungsprozess beschleunigen und zum anderen das Risiko für phasenübergreifende Iterationen verringern, da bereits frühzeitig anhand von Funktionstest ggf. Schwachstellen oder mangelnde Passgenauigkeiten identifiziert werden können.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Entwicklung körpergetragener Systeme lassen sich Methoden und Werkzeuge einsetzen, die verschiedene Zugänge besitzen. Eine Analyse der durchgängigen Engineering-Kette hat Defizite erkennbar gemacht, die vermehrt Iterationsschleifen nach sich ziehen – also zu bedeutenden zeitlichen und kostenmäßigen Aufwänden führen. Ansätze für die Erweiterung sowie für multiperspektive Zugänge für die Entwicklung körpergetragener Unterstützungssysteme als erster Schritt hin zur einer Loopless Engineering-Kette hybrider Systeme aus Mensch und Technik wurden aufgezeigt.

8 Literatur

- [1] R. Weidner, A. Argubi-Wollesen, C. Berger, B. Otten, Z. Yao, J. P. Wulfsberg: Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe. Für: 62.-GfA-Frühjahrskongress – Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!, S. 1-6, 2016.
- [2] B. Otten, P. Stelzer, R. Weidner, A. Argubi-Wollesen, J. P. Wulfsberg: A novel concept for wearable, modular and soft support systems used in industrial environments. In: 49th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, S. 542-551, 2016.
- [3] R. Weidner, R. Rodeck, J.P. Wulfsberg, T. Schüppstuhl: Unterstützung manueller Tätigkeiten – Am Beispiel des qualitätskritischen Prozesses des Schäftens von CFK-Strukturen. In: wt Werkstattstechnik online 106, Nr. 9, S. 624-630, Düsseldorf, Springer-VDI-Verlag, 2016.
- [4] R. Weidner, T. Meyer, A. Argubi-Wollesen, J. P. Wulfsberg: Modular and wearable support system for industrial production. Applied Mechanics & Materials, Vol. 840, S. 123-131, 2016.
- [5] R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg: Passive und aktive Unterstützungssysteme für die Produktion - Konzept des Human Hybrid Robot (HHR). In: wt Werkstattstechnik online 104 (2014), Nr. 9, S. 651-666, Düsseldorf, Springer-VDI-Verlag, 2014.

- [6] R. Weidner, A. Karafillidis: Three General Determinants of Support-Systems. In: Applied Mechanics and Materials Vol. 794, S. 555-562, Trans Tech Publications, Schweiz, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.794.555, 2015.
- [7] A. Karafillidis, R. Weidner: Grundlagen einer Theorie und Klassifikation technischer Unterstützung. In: R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme, Springer-Verlag, Berlin, S. 66-89, 2015.
- [8] E. Westkämper: Einführung in die Organisation der Produktion. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Stuttgart, 2005.
- [9] H.-P. Wiendahl, D. Nofen, J. H. Klußmann, F. Breitenbach: Planung modularer Fabriken – Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. HANSER-Verlag, Karlsruhe, 2005.
- [10] Richtlinie VDI 2221: Methoden zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Düsseldorf, 1993.
- [11] M. Graner: Methodeneinsatz in der Produktentwicklung – Bessere Produkte, schnellere Entwicklung, höhere Gewinnmargen. Springer, Wiesbaden, 2015.
- [12] C. Thomas, L. Stankiewicz, A. Grötsch, S. Wischniewski, J. Deuse, B. Kuhlenkötter: Intuitive work assistance by reciprocal human-robot interaction in the subject area of direct human-robot collaboration. In: 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CIRP CATS), 2016.
- [13] F. Busch, C. Thomas, J. Deuse, B. Kuhlenkötter: A Hybrid Human-Robot Assistance System for Welding Operations - Methods to Ensure Process Quality and Forecast Ergonomic Conditions. In: S. Jack Hu (Hg.): Technologies and Systems for Assembly Quality, Productivity and Customization (CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS)), S. 151-154, 2012.
- [14] L. Fritzsche, R. Jendrusch, W. Leidholdt, S. Bauer, T. Jäckel, A. Pirger: Introducing ema (Editor for Manual Work Activities) - A New Tool for Enhancing Accuracy and Efficiency of Human Simulations in Digital Production Planning. In: Vincent G. Duffy (Hg.): Digital Human Modeling: Third International Conference, ICDHM 2011, Held as Part of HCI International 2011, Orlando, FL, USA July 9-14, 2011. Proceedings. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 272-281. Online verfügbar unter http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-21799-9_31, 2011
- [15] M. Quintero-Duran, G. Paul: Ergonomic assessment of a physical task using two different DHM systems. In: The 4th International Digital Human Modeling Symposium (DHM2016), 15-17 June 2016, Montreal, Canada. Online verfügbar unter <http://eprints.qut.edu.au/95777/>, 2016.
- [16] C. Thomas, B. Matthias, B. Kuhlenkötter: Human-Robot-Collaboration-New Applications in Industrial Robotics. In: D. Dimitrov und T. Oosthuizen (Hg.): International Conference on Competitive Manufacturing: COMA' 2016. Resource Efficiency for Global Competitiveness. South Africa, January 2016. Department of Industrial Engineering Stellenbosch University, S. 293-299, 2016.
- [17] C. Thomas, M. Klöckner, B. Kuhlenkötter: Mensch-Roboter-Kollaboration- Von der industriellen Produktion bis zum Anwendungsgebiet Rehabilitation. In: R. Weidner, T. Redlich und J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 253-261, 2015.

Systematische Entwicklung von Einheiten aus Power-Tools und anziehbaren Unterstützungssystemen

Ansatz einer integrativen Entwicklung

R. Weidner¹, S. Matthiesen², T. Bruchmüller², S. Mangold², J. P. Wulfsberg¹

¹Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg
Robert.Weidner@hsu-hh.de, Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

²IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie,
Kaiserstr. 10, 76131 Karlsruhe,
sven.matthiesen@kit.edu, tim.bruchmueller@kit.edu, sebastian.mangold@kit.edu

Kurzzusammenfassung

Power Tools und Systeme zur physischen Unterstützung werden heutzutage, und das obwohl sie im Einsatz eine starke Interaktion miteinander haben, in parallelen Entwicklungsprozessen unabhängig voneinander entwickelt. Das führt dazu, dass Unterstützungssystem und Power-Tool erst beim Anwender miteinander kombiniert werden und nicht optimal aufeinander abgestimmt sind. In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur systematischen Entwicklung entsprechender Einheiten der Systeme Power-Tool und Unterstützungssystem sowie die regelungs- und steuerungstechnische Verknüpfung vorgestellt. Abschließend werden Fallbeispiele aufgezeigt, an denen der praktische Nutzen und die Potentiale möglicher Funktionen durch die integrative Entwicklung beider Systeme verdeutlicht werden.

Abstract

“Systematic development of units with power tools and wearable support systems”

Even though their interaction is significant, wearable support systems as well as power tools are developed individually and independently from one another. Wearable support systems and power tools are currently combined by the user and are therefore not ideally suited for the interaction as well as for the intended tasks. In this contribution, an approach is introduced for the integrative development of wearable support systems and power tools by determining the interfaces of the control loops between both systems and the user. Subsequently, two example display the practical use and potential of integrative developed wearable support systems and power tools.

Keywords: Systematische Entwicklung, Einheit aus Power Tools und Unterstützungssystem, regelungstechnische Verknüpfung

1 Einleitung

Trotz der Bestrebungen nach einem hohen Automatisierungsgrad in zahlreichen Industriebranchen nimmt auch der Mensch in zukünftigen Wertschöpfungsketten eine zentrale Rolle ein.

Begründet ist dies in den besonderen Fähigkeiten und Fertigkeiten, die gerade bei unstrukturierten oder heterogenen Arbeitsbedingungen in der Fertigung und Montage zur Geltung kommen. Bei entsprechenden Aufgaben kommen häufig Power-Tools zum Einsatz, mit denen bspw. die Herstellung von Bauteilverbindungen oder die Nachbearbeitung von Bauteilen unterstützt wird. Im Zuge des technischen Fortschrittes liegen immer höhere Anforderungen an den Menschen vor (u.a. durch die Produkt-Individualisierung), wodurch er zum limitierenden Faktor wird. Dies betrifft vor allem die Präzision der Arbeit bei zeitgleichen hohen Bedienkräften durch bspw. Power-Tools. Erschwert wird dies durch häufig schwer zugänglichen oder in unergonomischer Position befindlicher Arbeitsbereiche (z.B. in und an großflächigen Strukturen oder in und über Kopfhöhe). Verstärkt wird dieses Spannungsfeld durch die demographische Entwicklung im Arbeitsleben und der steigenden Heterogenität der Belegschaft.

Um neue Möglichkeiten in der Produktion zu ermöglichen (bspw. präziseres und ergonomisch günstigeres Arbeiten bei höheren Prozesskräften, die für eine steigende Prozessqualität erforderlich sind) lassen sich körpergetragene Unterstützungssysteme, bspw. zur Kraftumleitung [1, 2, 3] oder zur Unterstützung kognitiver Strukturen (z.B. AR- und VR-Technologien, bspw. [4]) einsetzen. Hierbei kann es sich um Systeme mit unterschiedlichem Aufbau handeln, die vornehmlich in Interaktion mit dem Systemnutzer stehen, aber dennoch zumindest in der konzeptionellen Auslegung ohne Interaktion zum Power-Tool. Auch die Entwicklung der entsprechenden Systeme erfolgt klassisch getrennt. Erst im Einsatz werden die universell entwickelten Systeme miteinander über die Schnittstelle Mensch und selten mit direkter Schnittstelle gekoppelt. In einzelnen Fällen sind mechanische Schnittstellen vorgesehen, wenngleich auf Informations- und Energieschnittstellen gänzlich verzichtet wird. Neben der Universalität ist dies insbesondere darin begründet, dass Power Tools vornehmlich so gestaltet werden, dass die ihnen zugesetzten Aufgaben realisieren können und die Unterstützungssysteme die ergonomischen Arbeitsbedingungen verbessern.

Eine gemeinsame Betrachtung während der Produktentwicklung kann zu besseren Power-Tools und Unterstützungssystemen sowie als Folge für bspw. produzierende Unternehmen führen. Dies kann sich auf vier Ebenen positiv auswirken:

- Gestaltung von optimierten und aufeinander abgestimmten System- und Power-Tool-Komponenten,
- Gestaltung von leistungsfähigeren Gesamtsystemen als Einheit aus Unterstützungssystem und Power-Tool,
- Interaktion zwischen Mensch und Technik sowie
- Einsatz in produzierenden Unternehmen.

Dieser Beitrag stellt aufbauend auf den einführenden Gedanken einen Ansatz für die systematische Entwicklung von Einheiten aus Power-Tool und anziehbarem Unterstützungssystem inklusive der regelungs- und steuerungstechnischen Verknüpfung dar.

2 Klassisches Entwicklungsvorgehen und Einsatzszenarien

Die Entwicklung technischer System erfolgt i.d.R. unter Zuhilfenahme methodischer Vorgehensweisen und Kreativitätstechniken. Diese Teilen die Phasen vereinfacht (unterscheidet sich je nach Vorgehen) in Klären der Aufgabestellung, Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen, Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen, Gliedern in realisierbare Strukturen, Gestalten der maßgebenden Module, Gestalten des gesamten Produkts, Ausarbeiten des gesamten Produkts und weitere Realisierung [5]. Diese Phasen werden heutzutage für Power-

Tools und unterstützende Systeme getrennt voneinander durchlaufen. Erst im Einsatz kommt es über den Nutzer zu einer Kopplung. Schnittstellen zwischen Power-Tools und Unterstützungssystem sind i.d.R. nicht vorgesehen.

Power-Tools in diesem Kontext sind handgehaltene Geräte, die für gewöhnlich zum Trennen, Fügen und Beschichten eingesetzt werden. Im Rahmen der Entwicklung ist besonders von Interesse, dass die technischen Systeme die Aufgabe mit hoher Qualität ausführen können. Dazu verfolgt das IPEK – Institut für Produktentwicklung mit dem IPEK XiL-Ansatz [6] die ganzheitliche Validierung von Power-Tool Funktionalitäten unter Berücksichtigung des Anwenders [7] und des Werkstücks [8] auf Gesamtsystemebene und auf Subsystemebene [9]. Aus Gründen der Anwendungsqualität werden Sensoren, bspw. zur Messung der Drehzahl und des Drehmoments, integriert [10]. Die Informationen werden gewöhnlich für die interne Regelung und Steuerung sowie für das Monitoring der Leistungsdaten herangezogen [10].

Unterstützungssysteme werden klassischerweise eingesetzt, um den Nutzer bei unergonomischen oder qualitätskritischen Aufgaben zu unterstützen (vgl. z.B. [1, 2, 11]). Sie können unterschiedlich aufgebaut sein, um zum einen eine physische Unterstützung und zum anderen die Unterstützung kognitiver Strukturen zu realisieren. Je nach Funktionsweise benötigen entsprechende Systeme Sensoren zur Intentions- und Situationserkennung. Einsatz finden können hier bspw. kinematische und EMG-Sensoren, die in das System oder die Schnittstelle zum Nutzer integriert sind [12]. Die Sensorwerte lassen sich zur Adaption des Systemverhaltens heranziehen.

Beide Systeme, Power-Tool und Unterstützungssystem, verfügen über interne Sensoren zur Messung interner Zustände. Die parallele, entkoppelte Entwicklung führt u.a. dazu, dass Power-Tool und Unterstützungssystem im späteren Gebrauch bis auf mechanische Schnittstellen keine weiteren Informationen und Leistungen miteinander austauschen. Aus Sicht der Autoren ist es bisher nicht möglich, Power-Tool und Unterstützungssystem in einer Weise miteinander zu koppeln, dass beide technischen Teilsysteme miteinander kommunizieren und gegebenenfalls Leistung in einer Weise austauschen, dass eine Verbesserung des Arbeitsprozesses und ein Anwenderschutz vor Überlast erreicht wird.

3 Integriertes Entwicklungsvorgehen

Da im Einsatz, bspw. in der industriellen Produktion und im Baugewerbe, Power-Tool und Unterstützungssystem mit dem Systemnutzer eine Einheit bilden, ist diese Einheit auch im Entwicklungsprozess bevorzugt gemeinsam zu betrachten. Eine beispielhafte Einheit mit Power-Tool und technischem System zur physischen Unterstützung ist in Abbildung 3.1 mit den drei zentralen Schnittstellen skizziert. Betrachtet wird hierbei ein Systemnutzer, der eine Arbeitsaufgabe in einer Umgebung ausführt. Die technischen Systeme besitzen bevorzugt Schnittstellen auf Seiten der Hardware (mechanisch und energetisch) und auf Seiten der Software zum Austausch von Informationen.

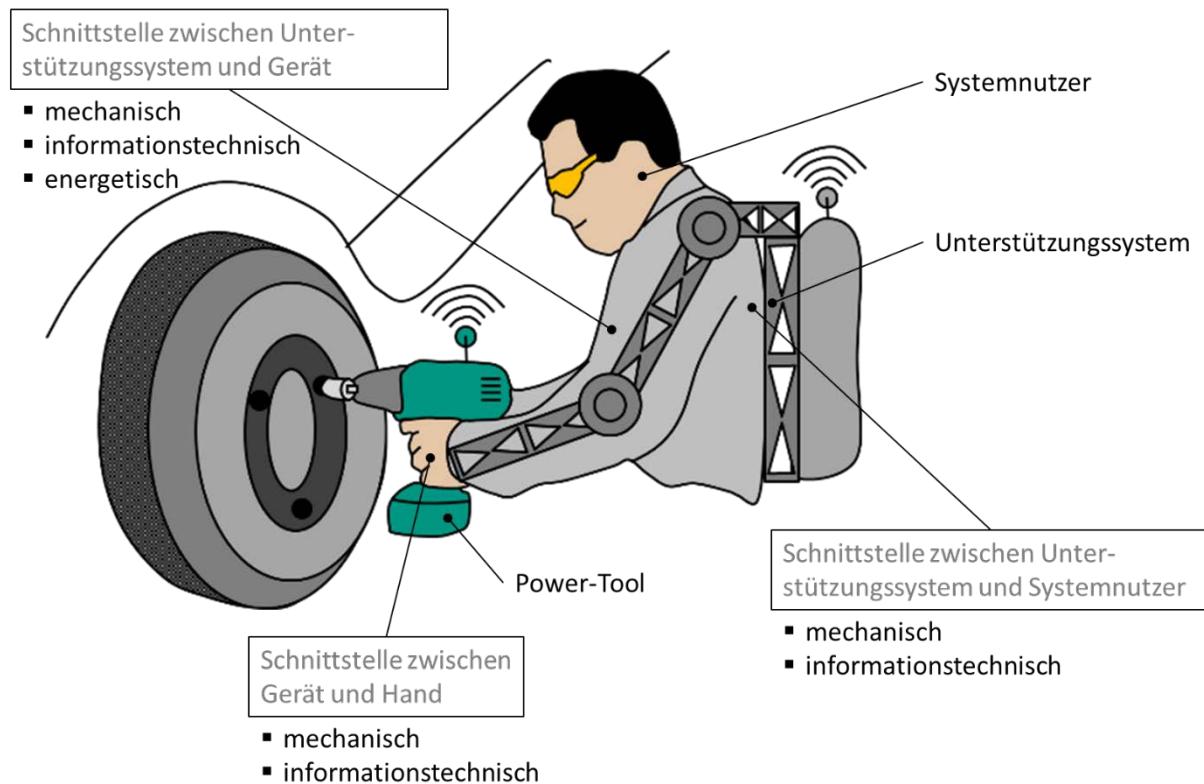


Abbildung 3.1: Schnittstellen einer Einheit aus Systemnutzer, Unterstützungssystem und Power-Tool

Aufgrund der starken Interaktion von Power-Tool und Unterstützungssystem in einem hybriden System sind diese auch im Entwicklungsprozess als Integrativ zu betrachten. Im Mittelpunkt hierbei sollte stets der Mensch mit seinen individuellen Voraussetzungen stehen. Abbildung 3.2 fasst ein Entwicklungsvorgehen für Einheiten aus Power-Tool und Unterstützungssystem in einem hybriden System mit dem Menschen zusammen. Hierbei handelt es sich um sechs zentrale Schritte, die insofern erforderlich iterativ durchgeführt werden sollten.

Ausgangspunkt der Entwicklung ist eine Analyse der Aktivität im Anwendungskontext. Hierbei können verschiedene Methoden zur Anwendung kommen, z.B. biomechanische Analysen, Befragungen und Beobachtungen. Zentrale Ergebnisse sind Hand- und Bedienkräfte, Körperhaltung (Gelenkposition, -geschwindigkeit und -beschleunigung) und Bewegungsfolge, die als Ausgangsgrößen die Grundlage für die Entwicklung genutzt werden.

Darauf aufbauend geht es im zweiten Schritt um die Modellierung und Simulation des Menschen und der Aufgabe im Anwendungskontext. Mit Hilfe eines Ganzkörper-Menschenmodell lassen sich auf diese Weise innere Kräfte und Momente berechnen sowie darauf aufbauend kritische Bereiche als Ansatzpunkt für die Entwicklung ableiten.

Der Simulation folgt die Entwicklung von Unterstützungssystem und Power-Tool. Wenn gleich es immer noch zwei Teilsysteme sind, erfolgt diese in enger Zusammenarbeit, da auch sie – und eben nicht nur jeweils auf den Menschen – aufeinander abgestimmt sein müssen.

Im Anschluss erfolgt die Validierung entweder auf Basis von Simulationsmodellen (Kopplung des Ganzkörper-Menschenmodells mit dem Modell des Unterstützungssystems und Power-Tool) oder in vivo im Anwendungskontext (i.d.R. zunächst in einer Laborumgebung), bevor iterativ optimiert wird. Hierbei ist wieder die Analyse der unterstützten Aktivität als Ausgangsbasis zu betrachten.

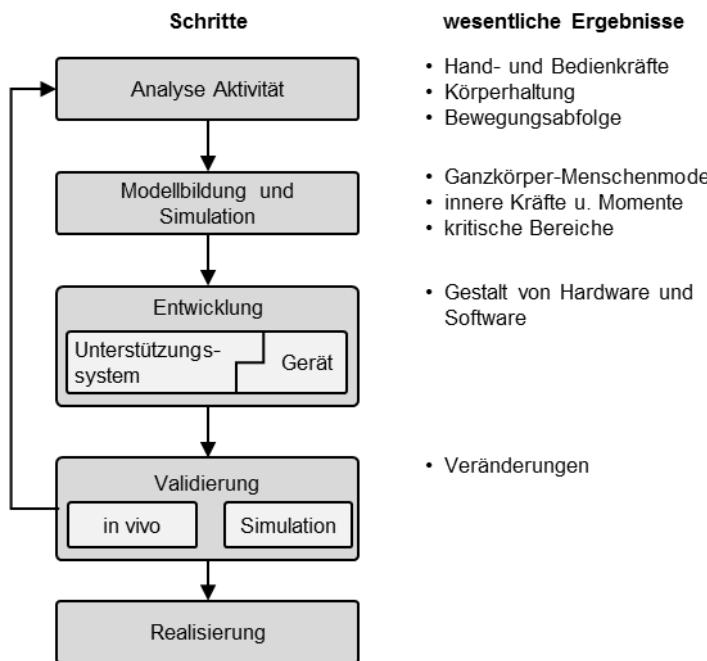


Abbildung 3.2: Entwicklungsvorgehen von Einheiten aus Power-Tool und Unterstützungs-system inkl. wesentliche Ergebnisse

4 Integrativer Regelkreis

In neuartigen handgehaltenen Power Tools und adaptierbaren Unterstützungssystemen ist i.d.R. Sensorik integriert. Bei Geräten wie Power Tools sind dies bspw. Drehzahl- und Drehmomentsensoren, die vornehmlich zur Motorregelung verwendet werden. Bei körpergetragene Unterstützungssysteme werden je nach Gestaltung und Anwendungskontext (in manchen Fällen auch nicht) bspw. Winkelencoder, Kraftsensoren, EMG-Sensoren und Beschleunigungssensoren für die Regelung und Steuerung kinematischer Elemente verwendet.

In der Entwicklung beider Systeme wird es insbesondere darum gehen, die geeigneten Messgrößen in Power-Tool und Unterstützungssystem zu identifizieren die es ermöglichen, das Unterstützungssystem zum Beginn des Arbeitsprozesses so zu aktivieren, dass der Anwender überlastungssichere Unterstützung erfährt und am Ende des Arbeitsprozesses in einer Weise inaktiv wird, dass eine Beeinträchtigung des Anwenders bei Nichtbedarf möglichst vermieden wird.

Dazu müssen die Sensoren am Ort des Geschehens (im Power-Tool und Unterstützungssystem) ausgelesen und durch eine geeignete Schnittstelle an einer Stelle zentral erfasst und ausgewertet werden. Basierend auf einem implementierten Regleralgorithmus können Aktuatoren am Unterstützungssystem die überlastungssichere Unterstützung, durch z.B. sperren von Freiheitsgraden, einleiten.

Abbildung 4.1 skizziert grob die regelungs- und steuerungstechnische Verknüpfung des Systemnutzers mit der technischen Einheit, bestehend aus technischem Unterstützungssystem und Power Tool, sowie der Kontexteinbindung in einer Aufgabe, die bspw. aus einer Produktionsaufgabe resultieren kann.

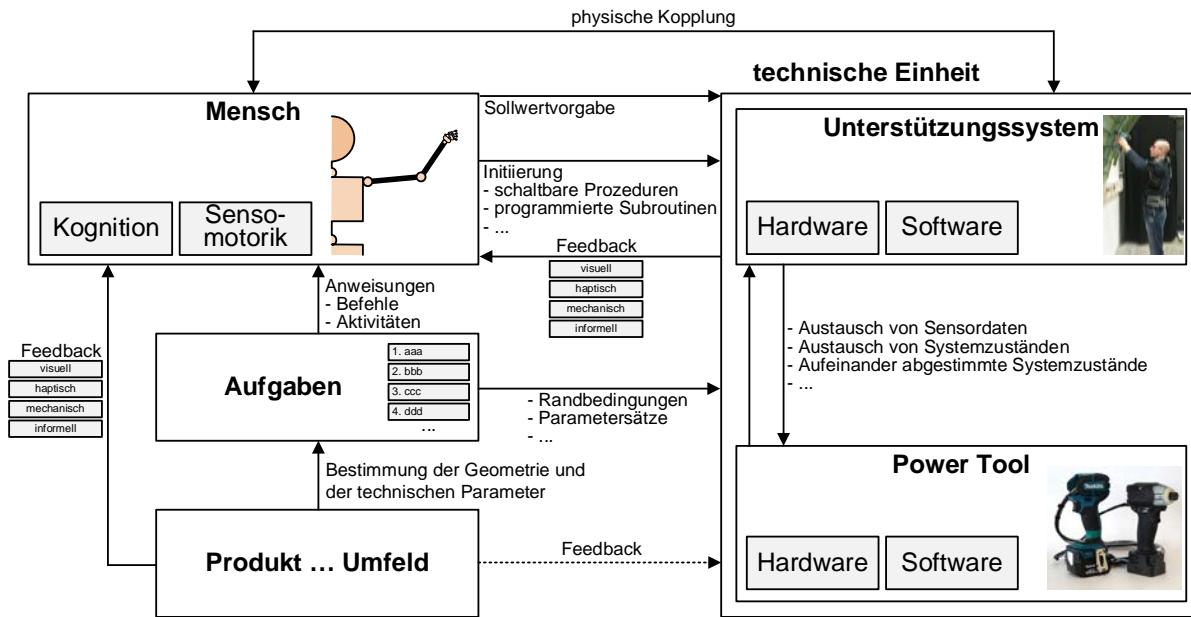


Abbildung 4.1: Regelungs- und steuerungstechnische Verknüpfung

5 Fallbeispiele

Abschließend werden zwei Fallbeispiele aufgezeigt, mit denen die Notwendigkeit der gemeinsamen Betrachtung von Power-Tools und Unterstützungssystem als Einheit in Verbindung mit dem Nutzer im Rahmen der Entwicklung und im Einsatz deutlich wird.

Fallbeispiel 1: Ergonomische Gestaltung

Für den Einsatz von Power-Tools ist es naheliegend, dass die Nutzerschnittstelle (insbesondere der Griff) entsprechend ergonomisch zu gestalten ist. Darüber hinaus spielt das Gewicht eine wichtige Rolle. Besonders bei schweren Power-Tools oder bei Power-Tools, die in ergonomisch ungünstigen Arbeitspositionen zur Anwendung kommen ist es zudem ratsam die Kraftleitung über die oberen Extremitäten und weitere Körperteile des Nutzers detailliert zu betrachten. An dieser Stelle können technische Systeme zur physischen Unterstützung zum Einsatz kommen, um das Gewicht bzw. ein Teil des Gewichts des Power-Tools sowie Prozesskräfte (Bedien- und Haltekräfte) gezielt um für den Menschen kritische Bereiche herumzuleiten.

Fallbeispiel 2: Aufgabenangepasste Systemparametrisierung

Power-Tool und Unterstützungssystem lassen sich je nach Variante durch vorgesehene Einstellungsmöglichkeiten einzeln an die jeweilige Aufgabe anpassen. Bspw. sei hier genannt, dass sich das maximale Drehmoment bei Akkuschraubern und der Unterstützungsgrad bei Unterstützungssystemen anpassen lassen. Hier erfolgt die Anpassung jedoch vollkommen getrennt voneinander. Power-Tool und Unterstützungssystem verwenden eigene Sensoren. Speziell die Sensorwerte der Power-Tools können jedoch wertvolle Eingangsgrößen für die Adaption körpergetragener Unterstützungssysteme darstellen. Beispiele hier sind:

- Power-Tool-Drehmoment zur gezielten Unterstützung in Form von aufgabenabhängigen Gegenkräften und Anpassung der Systemsteifigkeit,
- Nutzen des Informationen des Rückschlagimpulses (Stärke und Zeitpunkt) zur gezielten Einstellung der Systemsteifigkeit bzw. -nachgiebigkeit sowie

- Power-Tool-Bewegung zur gezielten Adaption der Trajektorie von Unterstützungssystemen (möglicherweise ergänzt durch haptisches Feedback).

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass eine integrierte Betrachtung zu Vorteilen führen kann. Zentral sind hierbei:

- individuelle Konfiguration von Einheiten aus Geräten und Unterstützungssystemen (Baukasten),
- kostengünstige Lösungen durch z.B. Mehrfachverwendung von Sensoren,
- bessere Sensorwerte als Sollwertvorgabe für Unterstützungssystem aufgrund Sensorik im Werkzeug und besseres Verständnis der Einheit sowie
- Situationserkennung in Echtzeit durch Nutzung der Sensordaten von Werkzeugen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Heutzutage werden Power Tools, und Unterstützungssysteme, z.B. zur physischen Unterstützung von Tätigkeiten in und über Kopfhöhe, obwohl sie im Einsatz zusammen eingesetzt werden, i.d.R. getrennt voneinander entwickelt. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wurde ein Ansatz für ein integriertes Entwicklungsvorgehen für derartige hybride Systeme vorgestellt, mit dessen Hilfe eine zielgerichtete Entwicklung kostengünstigere und leistungsstarker Einheiten ermöglicht werden kann und die regelungstechnische Verknüpfung beschrieben. Abschließend wurden Fallbeispiele beschrieben.

7 Literaturverzeichnis

- [1] R. Weidner, A. Argubi-Wollesen, C. Berger, B. Otten, Z. Yao, J. P. Wulfsberg: Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe, Für: 62.-GfA-Frühjahrskongress – Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!, S. 1-6, 2016.
- [2] R. Weidner, T. Meyer, A. Argubi-Wollesen, J. P. Wulfsberg: Modular and wearable support system for industrial production, Applied Mechanics & Materials, Vol. 840, S. 123-131, 2016.
- [3] M. Bohla, R. A. Goehlich, R. Isenberg I. V. L. Krohne, R. Weidner: Wearable Support Systems and Human-Robot Collaboration in the Industry 4.0 Production, In: Proceedings of the 33rd International Manufacturing Conference, Ireland, September 2016.
- [4] M. Saggiomo, M. Löhrer, D. Kerpen, J. Lemm, Y.-S. Gloy: Human- and task-centered assistance systems in production processes fo the textile industry: determination of operator-critical weaving machine components for AR-prototype development, 49th Hawaii International Conference on System Science (HICSS), 2016 : 5 - 8 Jan. 2016, Kauai, Hawaii. - Piscataway, NJ: IEEE, 2016, S. 560-568, Datei: 5670a560.pdf, doi:10.1109/HICSS.2016.76.
- [5] V. D. Ingenieure: VDI 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte. Beuth Verlag, Düsseldorf, 1993.
- [6] A. Albers, M. Behrendt, S. Klingler, K. Matros: Verifikation und Validierung im Produktentstehungsprozess. In: Handbuch Produktentwicklung, Carl Hanser Verlag, 2016.

*Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016*

- [7] S. Matthiesen, S. Mangold, T. Bruchmüller, A. Marko: Der Mensch als zentrales Teilsystem in Wechselwirkung mit handgehaltenen Geräten – Ein problemorientierter Ansatz zur Untersuchung dieser Schnittstelle. In: Beiträge zum 25. DfX-Symposium, 2014.
- [8] S. Matthiesen, T. Bruchmüller, P. Grauberger, A. Wettstein: Modellunterstützte Reduktion von Störgrößen in einem Messsystem zur Erfassung der Geräte-Werkstück-Wechselwirkungen. In: 26. DfX-Symposium, Herrsching, Deutschland, 2015.
- [9] S. Matthiesen, T. Gwosch, T. Schäfer, P. Dültgen, C. Pelshenke, H.-J. Gittel: Experimentelle Ermittlung von Bauteilbelastungen eines Power Tool Antriebsstrangs durch indirektes Messen in realitätsnahen Anwendungen als ein Baustein in der Teilsystemvalidierung. Forschung im Ingenieurwesen, 2016.
- [10] H.-D. Stölting. Handbuch elektrische Kleinantriebe. München : Hanser Verlag, 2011.
- [11] R. Weidner, Z. Yao, J. P. Wulfsberg, R. A. Goehlich, S. Mehler: Modulare Unterstützungssysteme in der Luft- und Raumfahrtindustrie. In: Band zur ersten Transdisziplinären Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“, S. 347-358, 2014.
- [12] Z. Yao, W. Weidner, R. Weidner, J. Wulfsberg: Human Hybrid Robot, Next-generation Sup-port Technology for Manual Tasks: Challenges, Perspectives and Economic Implications, SAE Technical Paper 2015-01-2601, 2015, doi: 10.4271/2015-01-2601.

Recupera-Reha: Exoskeleton Technology with Integrated Biosignal Analysis for Sensorimotor Rehabilitation

**E. A. Kirchner^{1,2}, N. Will¹, M. Simnofske¹, L. M. Vaca Benitez¹, B. Bongardt¹,
M. M. Krell², S. Kumar¹, M. Mallwitz¹, A. Seeland¹, M. Tabie¹, H. Wöhrle¹, M. Yüksel¹,
A. Heß³, R. Buschfort³, F. Kirchner^{1,2}**

¹Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz,
Robotics Innovation Center, Robert-Hooke-Straße 1, 28359 Bremen, Germany

²Robotics Group, University Bremen,
Robert-Hooke-Straße 1, 28359 Bremen, Germany

³Rehaworks GmbH, Scheltenbergweg 6, 59939 Olsberg, Germany

Kurzzusammenfassung

In Recupera-Reha wird ein innovatives Exoskelett für die Schlaganfall-Rehabilitation entwickelt. Durch elektromechanische Innovationen, fortschrittliche Kontrollansätze und die Nutzung von Biosignalen wird es von dem Patienten nicht nur gut tragbar sein, sondern sich auch erwartungskonform und den Intentionen entsprechend verhalten, um unterschiedliche Trainingsmodalitäten zu unterstützen. In der Therapie bietet es sowohl Übungsmöglichkeiten für die private Umgebung als auch in der professionellen Therapie. Als ein autonom agierendes System wird es nur so weit unterstützen, wie der Bedarf besteht und die Therapie über Grenzen therapeutischer Einsatzgebiete hinweg ermöglichen.

Abstract

In this paper, the concept of an innovative exoskeleton for stroke rehabilitation in the Recupera-Reha project is presented. By applying innovative electromechanical solutions, advanced control approaches, and by using biosignal data, the system will be well-suited for the intended applications. Furthermore, it will behave transparently to the user and will support different training modalities. The therapy situation will be supported and exercises in the field of everyday practice in the private or professional environment will be enabled. As an autonomous treatment system, it will give assistance as much as needed and will enable the patient to make therapies across sector borders (rehab-outpatient-work) for the first time.

Keywords Full body exoskeleton, parallel kinematics, embedded distributed processing, assist as needed, EEG/EMG.

1 Introduction

Losing the capability to move (even a single extremity) is often associated with a reduction of quality of life of the affected person. Common causes of limited motor skills are often neurological diseases or injuries. In this respect, one of the most frequent causes of permanent disabilities in western civilization is stroke. In Germany alone, each year about 270,000 people

suffer from acute stroke [1]. Thus, in context of limited human and economic resources in an aging society, the need for effective and efficient rehabilitation measures increases [2].

In this paper, we introduce the Recupera-Reha project, which focuses on an innovative motor rehabilitation concept for stroke patients based on advanced exoskeleton technology with integrated biosignal analysis. The aim is the development of a safe, innovative, mobile, and self-sufficient full-body exoskeleton for upper-body rehabilitation. With the help of sensor fusion, the exoskeleton will provide an adaptive “assist-as-needed” control. Furthermore, to ensure the necessary autonomy of the user, all calculations (kinematics, dynamics, control, biosignal processing) will be performed in the embedded real-time control system of the exoskeleton. To detect the intended movements, to trigger feedback, and to allow for a support tailored to the user, the mechatronic system will be combined with an online evaluation of biological signals, i.e., signals that are generated by the human user (here the human's electroencephalogram (EEG), electromyogram (EMG), and movement data). The application concept targets a direct compensation for movement restrictions. Hence, the facilitation of daily living tasks is possible and due to the highly adaptive control strategy, scientific knowledge of motor learning principles can be applied to the system. Furthermore, all innovations from the full-body system will be used to develop an independent subsystem in parallel. The motivation to develop the subsystems is to have a more focused exoskeleton that can be applied for tests in rehabilitation facilities in a short-term, while still enabling the focus of application of the system, i.e., upper-body rehabilitation. In the recent years different exoskeletons and orthoses were developed for rehabilitation purposes. Good overviews for example can be found in [3]. For a complex system such as an exoskeleton, differences in the approach will often apply only to parts, such as the mechanics, the control, sensors, or the usage of biosignals.

In this paper, we describe the development and the resulting challenges of an innovative sensorimotor recovery system that is easy to handle – an advanced and flexible rehabilitation tool for daily work with severely affected patients. These are essentially the therapy concept which must take up evidence-based therapeutic methods and the needed safe mechanical transparency in direct human robot contact. Furthermore, the electronic infrastructure needs to be modular, robust, small-sized, and computationally as well as power efficient. The workflow for dealing with a complex device as the developed exoskeleton requires complex software engineering. Moreover, online-algorithms that are required in kinematics and dynamics to control such a (highly coupled, high-DOF, multi-body) mechanical system have to be developed. The control architecture on joint level, apart from having a high level of accuracy, should offer a high degree of flexibility to cover the planned therapeutic approaches. The passive human (whose mass-inertia properties are unknown) and the active torque contribution of the patient must be integrated into the coupled control of the multi-DOF exoskeleton system. In the end the biosignal analysis has to cope with the changing characteristics of the patient's signals and the low amount of training data.

Besides the application scenario and therapy concepts (Section 2), main challenges and envisaged solutions will be discussed in the sections mechanical design (Section 3), electronic design (Section 4), kinematics and dynamics (Section 5), control strategies (Section 6), and biosignal integration (Section 7).

2 Therapy concept and application scenario

2.1 Target group

The developments within the project Recupera-Reha focus on the needs of stroke rehabilitation. Stroke plays a significant role for economic and socio-medical considerations (with regard to incidence and prevalence) [4]. The starting point of stroke treatments is the nature of the possible healing process of the disease itself: the brain is able to compensate lost motor function by neuroplasticity after acerebrovascular accident. Therefore, neuroplasticity is the scientific basis for treatment of acquired brain injury with goal-directed therapeutic methods in the context of different rehabilitation approaches [5]. The long-term goal of rehabilitation is to improve movements for daily activities so that stroke patients can become as independent as possible. To achieve this goal, a number of evidence-based treatment methods have been established in recent years [6, 7]. Most of these methods are suitable for the transfer to the Recupera-Reha system. Moreover, the exoskeleton will offer the possibility to combine different treatment methods to develop innovative therapeutic concepts for stroke patients. For these reasons, stroke patients with moderate up to high limitations in motor function were selected as target group with further inclusion and exclusion criteria- for example: paralysis of upper limb at a 'Janda force level' 1-2 [8]¹, at least wheelchair mobilization, and lack of a strong tremor.

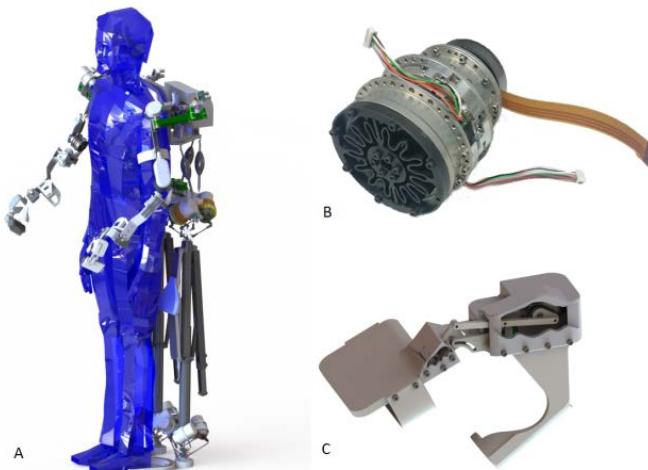


Figure 2.1: full-body exoskeleton. B: series elastic actuator used at the elbow. C: active hand interface

2.2 Application focus and therapy methods

The application focus of the exoskeleton is as stated the rehabilitation of hemiparetic patients. About 35 percent of people who survived a stroke suffer from a chronic and often severe paresis [9], which complicate the self-sufficiency and the professional and social reintegration. Despite complex rehabilitation strategies, care, and compensation measures, the effects of the personal participation are not satisfying at all. The lack of effectiveness is caused by an insufficient systematic and effective approach of the intervention, a too low training-intensity, and too late therapeutic intervention [10]. This results in a reduced benefit for daily activities. The innovation of Recupera-Reha is the possibility to support daily activities in a therapy environment,

¹ Janda force level: 1 = trace / recognizable reaction, not sufficient for a movement: about 10 % muscle strength, 2 = poor / movements in horizontal position possible, not against gravity: about 25 % muscle strength [8].

evidence-based therapies, and additional training capacity, which were shown to significantly improve the outcome of rehabilitation if extra training exceeds one hour each day [11], without additional personnel expenses. To achieve this, movement patterns of activities of daily living were analyzed for three healthy subjects based on a video documentation and 3D joint position measurements using the 'Neutral-Null Method' [12]. The spontaneously showing movements of the subjects were measured according to the standardized criteria of the joint angle profiles and the spectrum of a norm to be adopted is depicted. The natural individual variability of the joint movements was taken into account by an expansion of the maximum measured joint movements for the workspace of the exoskeleton by 20° in each direction. The defined workspace opens a wide range of highly individual movement options in the personal context.

High intensity of therapy, purposefulness, daily proximity, possibility of repetitive training of basic functions uni- and bilaterally, the activation of mirror neurons, and opportunities to self and circuit training are possible with the Recupera-Reha system and promise a comprehensive use and a maximum of effectiveness [13]. Furthermore, earlier studies showed that long-term training using biosignals induced partial neurological recovery in paraplegic [14] as well as in stroke patients [15, 16]. Soedakar et al. [16] could show that not only the amount of training but also the relevance of the trained behavior for daily activity has a strong influence on the improvement of motor capabilities of the patients.

2.3 Recupera-Reha therapy concept

The therapy concept follows an innovative dual approach strategy with the aim to combine activities of daily living (ADL) with evidence-based therapeutic elements (shown e.g. in [6]) to a holistic and innovative rehabilitation concept. The exoskeleton therapy is based on defined everyday activities such as lifting and moving a box or grasping a bottle on a table. Additionally, classical therapeutic elements in form of "therapeutic building blocks" supplement these tasks (e.g. bilateral repetitive practice or implementation of movement observation of the affected arm guided by the exoskeleton). In order to implement the therapy concept, the exoskeleton provides different operating modes: (1) assisted movements: this mode supports the patient's movements via "assist-as-needed control"; (2) teach in mode: a therapist guides a movement and the exoskeleton performs the recorded activity in a repetitive way; (3) master-slave: in this mode the movements of the healthy arm are mirrored for dual arm task in real time to the affected arm; (4) gravity compensation mode: the exoskeleton behaves transparently for the patient; (5) single movement: the exoskeleton supports isolated movements in individual joints via assist-as-needed. The "therapeutic building blocks" can be individually arranged to create a personalized robotic therapy to optimize the motor learning and healing process for the patient. All modes can be combined with a vibration or acoustic feedback if it is intended.

3 Mechanical design

Due to its function as a human-machine interface, the mechanical design of the Recupera exoskeleton needs to ensure a safe and mechanical-transparent operation. In order to fulfill the implied complex requirements, the exoskeleton is composed of serial and parallel mechanisms. In Figure 2.1 A, an overview of the full-body exoskeleton is provided. For the actuation, it is planned to employ seven types of actuators: in dependence of the location of the actor within the mechanical system, the appropriate actuator type is dimensioned and designed. In the following, the mechanical design is presented in dedicated sections for the lower and for the upper

body. In particular, the design provides the opportunity to split the exoskeleton in a lower and an upper part. It is intended to operate the upper part in combination with a wheelchair.

3.1 Lower body

A parallel mechanism, in comparison to a serial, offers higher stiffness, speed, accuracy, and payload capacity. On the other hand, it has a reduced workspace and a complex geometry that needs careful analysis and control. For the ankle and the hip joints, a novel parallel mechanism has been developed. This mechanism has three rotational freedoms and behaves like an almost spherical joint [17, 18]. Between the ankle and the hip joints a linear actuator will be integrated to avoid a heavy weight rotational knee joint. In the back of the exoskeleton, a hexapod is used to allow the patient movements of the upper body in relation to the pelvis in six degrees of freedom. The design process of all components follows a modular approach. In particular, actuators can be reused at different joints of the overall device.

3.2 Upper body

Since shoulders and arms require wide ranges of motion, serial arrangements of actuators have been chosen. The exoskeleton's shoulder mechanism consists of three rotative actuators whose axes intersect the midpoint of the human shoulder. To avoid a collision with the human body, a six bar linkage with a virtual rotational axis is integrated into the shoulder mechanism. For the lower arm, a serial kinematic is designed that covers the flexion and extension of the human elbow as well as the pronation and supination of the human forearm. In order to gain smooth movements, two types of serial elastic actuators are applied. The elbow actuator, depicted in Figure 2.1 B, delivers 2.7 Nm nominal and 12.7 Nm peak torque. It is equipped with a spring that is mounted between the gear and the actuator output shaft and that has been designed specifically for this application. The same principle is used for the forearm pronation actuator. Here, a Dynamixel servo with a nominal torque of 0.5 Nm is applied in combination with a special spring. An active hand interface supports the user to open the hand and to grasp objects (Figure 2.1 C). Here, a linkage with virtual rotation points allows the servo motor to transport the needed force to the end-effector. At all contact points, six-dimensional force-torque sensors are applied to measure the human contributions to the motion of the exoskeleton.

4 Electronic design

The electronic design of the planned exoskeleton is shown in Figure 4.1. In total, the exoskeleton will be driven by 28 independent BLDC actuators, four servo motors and two assistance motors. Furthermore, power supplies and various different sensors (positions encoders, force-torque sensors, current measurement sensors, capacitive tactile sensors) are required to facilitate the operation of the system. Due to the complex electromechanical structure of the exoskeleton and the planned different support scenarios (where the partial, half, and full body exoskeleton subsystems are required to work independently), the architecture must follow a modular design and support decentralized sensor data processing and motor control. Furthermore, the system has to operate autonomously and provide the possibility for embedded biosignal processing, which requires a powerful central control unit.

4.1 Decentralized first-level control

Each part of the exoskeleton contains a network of decentralized joint controllers containing a Spartan-6FPGA [19, 20]. Each joint works as an independent processing unit and is responsible

for the first-level signal acquisition and conditioning (e.g., Hall sensors, position encoders) and implements a cascaded control algorithm to allow a direct control and actuation of the attached BLDC- or servo motors. They are connected by a network with a tree-topology, the Node-Level Data Link Communication (NDLCom) [21]. This modular approach has several advantages over a centralistic design: (1) it provides a certain amount of intrinsic robustness, (2) allows to acquire and process signals directly at the site where the signals are acquired, (3) avoids peaks of processing and network load, (4) allows to divide the structure into independent sub-components, and (5) increases the safety and robustness of the exoskeleton.

4.2 Central electronics

The collection of the first-level data for the mid- and high-level control is delegated to the central control unit of the exoskeleton. The collection and processing of huge amounts of data from the distributed first-level controllers requires the support of massive parallelism for the initial processing steps. Furthermore, a mandatory requirement is the possibility to execute standard software. To fulfill these requirements, integrated System-on-a-Chip units such as the Xilinx Zynq are a possible solution, which combine a dual core ARM Cortex A9 processor and programmable logic (PL). Besides the processing that is performed on the CPU, the PL allows to use application specific hardware accelerators that provide massively-parallel processing power for time-critical and computationally expensive tasks. We will use an in-house designed electronics platform, the ZynqBrain [20] (see Figure 4.1, right side) that provides a tight connection to the first-level controllers. In the final exoskeleton, two ZynqBrains will be used: one will be responsible for the mid- and high level control of the exoskeleton itself, while the other will be responsible for the realtime processing of the biosignal data of the patient.

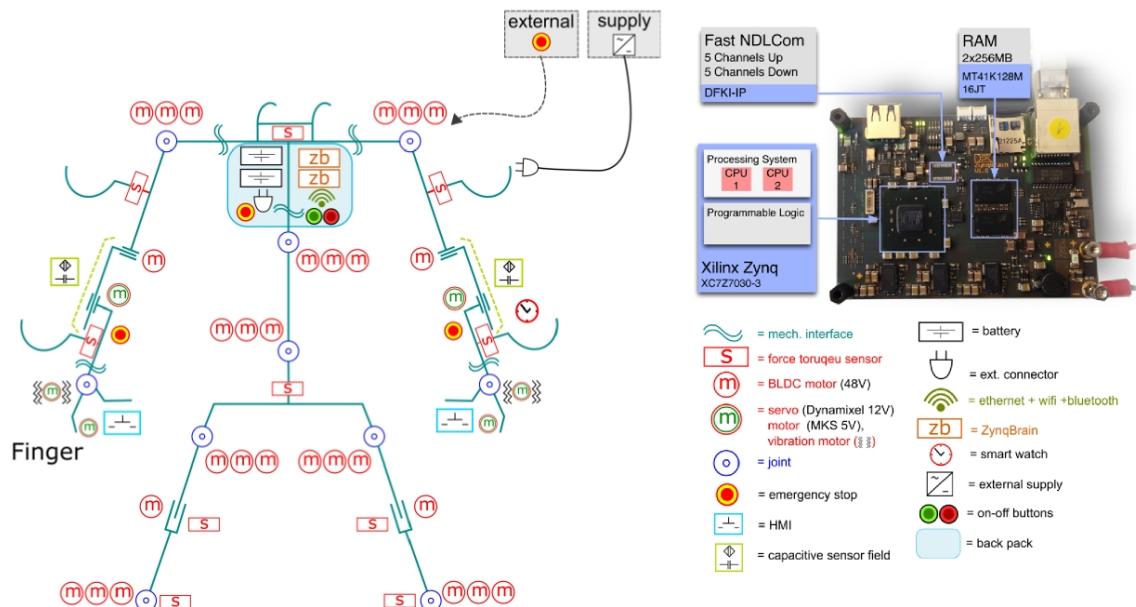


Figure 4.1: Left: Plan of electro-mechanical components within the exoskeleton robot. Right: The ZynqBrain processing platform used as central processing unit.

4.3 Power electronics

The power electronics of the exoskeleton robot is responsible for the power management of the robot. The main voltage of the system is chosen according to rehabilitation purposes with 48 V

with a nominal current of 6A for the upper body and 25A for the lower body (the possible peak current is 30A/50A, respectively). In addition, 12V and 5V are used for the joint controllers and central electronics, respectively (with nominal currents of 3A/1A and 5A/1A for the upper and lower body, and peak currents of up to 10A/2A and 20A/2A). The power management is designed to supply the robot subsystems from three independent different power sources, which are the main power battery, the auxiliary system battery and the external power supply with in-system charging possibilities. The LiPoly batteries have a capacity of 5 Ah discharge currency. For safety reasons, the design of the battery packs will enable quick release of the battery to cut off the system from power. A battery design with fast release supports the usability of the system for extended therapy periods.

4.4 Embedded realtime processing of biosignal data

To enable a power efficient processing of the biosignal data in a small-sized system that it is embedded into the exoskeleton, the processing of the biosignal data will be performed by Dataflow-Hardware Accelerators (DFHWA) [22]. A DFHWA consists of a pipeline of heterogeneous nodes, each node provides the hardware implementation of a distinct signal processing and machine learning algorithm. The DFHWAs are located in the PL section of the ZynqBrain to enable a massively parallel processing of the high amounts of multimodal physiological data in real-time.

5 Kinematics and dynamics

5.1 Modeling

With regard to the Recupera-Reha project goals, three mechanical systems can principally be distinguished: (i) the mechatronic full-body exoskeleton, (ii) the biomechanical system of a human operator, and (iii) the coupled system of human and exoskeleton, connected by the mechanical interfaces (see Section 3). For each of these three systems, significant challenges exist due to their complexity: For (i), the employment of novel submechanisms, as, for instance, the Active Ankle (Section 3.1), as well as the overall (DOF) complexity need to be mentioned. For (ii), the modeling of the biomechanical system of the human body of an individual user is itself a highly complex task (due to the complex joints and the complex muscular actuation system). For (iii), the compound system of exoskeleton and human – whose motions are bind by the physical interfaces of the exoskeleton – is of particular complexity due to the various closed loops that are established by these contact points.

In spite of this complexity, a systematic workflow is required. At DFKI RIC, such a procedure is possible by using tools that allow the automation of the workflow in large fractions. In particular, using the software CAD-2-SIM [23], manual intervening becomes superfluous with respect to the complex numerical data that is needed to specify the kinematic and dynamic properties of three-dimensional machinery. Concretely, the CAD-2-SIM export of the mechanism design allows to generate specifications for libraries and frameworks such as ROS [24], ROCK [25], Openrave [26], and RBDL [27].

5.2 Algorithmic challenges

The operation of the exoskeleton requires the solution of several challenges of machine science. Broadly, these can be classified into (1) the problem of geometric-kinematic analysis (work-

space analysis, singularity analysis), (2) the instantaneous-kinematic analysis (motion and constraint spaces), and (3) the dynamic analysis (low and mid level, see Section 6.1 and Section 6.2).

Due to the problems' interrelations, a precise, global offline analysis of the mechanisms work-space including its singularities is of crucial importance (1). The solutions of all other problems – in particular the online solution during operation – need to rely on such systematic analysis. From the algorithmic viewpoint, such an analysis represents the most demanding challenge. With regard to the problem classes (2) and (3), the question for necessary and sufficient precision are of importance in the domains of model descriptions and of conducted computations. In both aspects, a systematic workflow that incorporates a modular approach and (partially) automated tools is of crucial importance.

6 Control concept

According to the projected application, the exoskeleton requires a control concept, which covers the medical rehabilitation requirements and supports the innovative therapy concept.

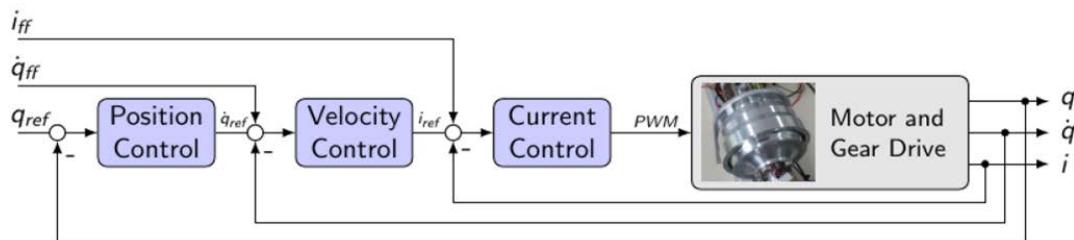


Figure 6.1: Low-level control architecture for actuators. \mathbf{q} is the angular position, $\dot{\mathbf{q}}$ is the angular velocity, and \mathbf{i} is the motor current.

6.1 Low-level control

The low-level control architecture for the joints of the exoskeleton is already implemented. It is cascaded and consists of a position, a velocity, and a current loop. Each actuator is driven by FPGA power electronics, in which the control software is implemented in a very flexible way. If desired, the control mode can be changed, which means each one of the control cascades can be directly selected for control. Figure 3 is a block diagram illustrating the joint level control architecture in the project. An advantage of this control architecture is the fact that the motors can be torque-controlled since it is well known that the torque generated by a motor is proportional to the amount of the current pulled by the motor. Furthermore, several safety mechanisms will be implemented at low level. To mention some, the position, velocity and current are limited via maximal values, and the control process is interrupted if the sensors fail at some point. This low level control architecture meets the requirements for the therapy concepts to be implemented in the final system and constitutes a solid foundation for both kinematic and dynamic control.

6.2 Mid-level control

A central idea in therapy concept is assist-as-needed control which requires efficient dynamics based control and estimation of active torque contribution from the human upper body. The exoskeleton arm is a 7-DOF multi-body system (including a passive DOF for flexion-extension movements of the hand and 1 active DOF for the hand interface) which wraps the complex human arm geometry with the help of three contact points which act as interface to the robotic

system. Since the system will be equipped with the force/torque sensors at these contact points, the interaction wrenches F_i (composed of forces and torques vectors) can be measured at the three contact points in real time. The measured interaction wrenches can provide the net torque contribution to the exoskeleton system when multiplied by contact point Jacobian matrices J_i . This torque contribution from human is primarily composed of two parts: active torques (τ_u) provided by the human subject for the fulfilment of a certain task and passive torques (τ_h) which are needed to move the human arm itself assuming no active contribution coming from the human.

$$J_1^T F_1 + J_2^T F_2 + J_3^T F_3 = \tau_h + \tau_u$$

In case of a healthy subject, the user can actively carry its own arm for performing any task and hence, $\tau_h = \tau_u$. In case of stroke patients, the patient cannot provide enough torque to move its own arm and hence it needs assistance from an active exoskeleton system. The time series contribution of the user can be summed up over one reaching movement to calculate the overall contribution of the user (C_u) over a task [28].

$$C_u = \frac{\sum_{t=0}^T \tau_u(t)}{\sum_{t=0}^T \tau_h(t)} \times 100$$

The exoskeleton system can be modeled as a multibody system and its inverse dynamic model can be calculated with Lagrangian approach.

$$M_r(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + C_r(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + G_r(\mathbf{q}) = \tau_r$$

Here, $M_r(\mathbf{q})$ is (5×5) positive definitive inertia matrix, $C_r(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ is (5×5) matrix containing Coriolis and centrifugal forces, $G_r(\mathbf{q})$ is (5×1) size vector of gravity forces, τ_r is (5×1) size vector of the robot torques needed to perform the task. Similarly, the human arm can be modeled as another passive rigid multibody system as shown below:

$$M_h(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + C_h(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + G_h(\mathbf{q}) + K\mathbf{q} = \tau_r$$

The mass-inertia properties of the different bodies constituting the human arm can be calculated by taking certain anthropomorphic measurements of the human. It must be noted that it is not easy to capture all the dynamics of the passive human arm because stiffness, damping and muscle tone are not well understood. However, assuming a linear relationship between arm configuration in joint space (\mathbf{q}) and unmodeled torques might be useful to estimate a part of it. This can be estimated for each patient during the calibration phase when the patient is passive. The lower body control will be defined in such a way that it can support the weight of upper body system in sit and stand postures while performing rehabilitation therapy. For the future, it is planned to equip the exoskeleton with walking capabilities based on optimal gait generation (for example, see [29]).

7 Biosignal integration

By coupling the intention, e.g., inferred from the electroencephalogram (EEG), and the body's movement, monitored and supported by the exoskeleton and electromyographic (EMG) data analysis, we are able to reconnect the disrupted or disturbed loop between the patients's brain and body. In the following, the biosignal analyses are explained, which will be used to support the specific movements defined in the therapy concept and known by the exoskeleton (see 2.3). By executing intentions and by receiving a realistic feedback from the body, the rehabilitation process is strongly supported [15, 16].

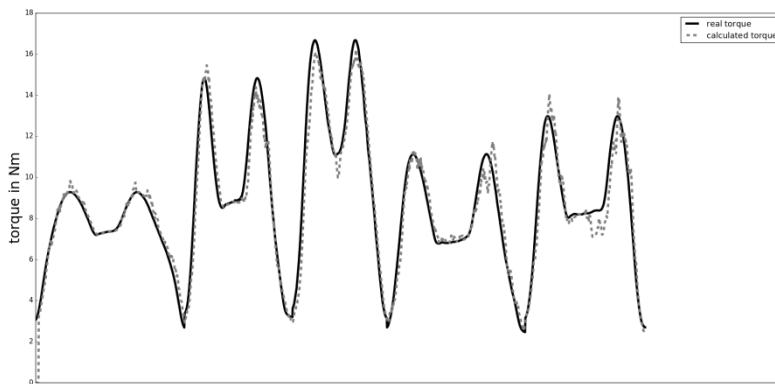


Figure 7.1: First results on torque estimation for the elbow joint.

7.1 Torque estimation based on EMG and exoskeleton movement data

Within the Recupera-Reha project muscle activity will be used to implement an assist-as-needed control. In practice, this control only supports the patient's movements to a degree that the affected extremity is always pushed to the edge of the current movement capabilities. The EMG signals from several muscles of the arm together with sensor information of the exoskeleton such as positions and velocities are fused and used to generate a model which predicts the generated torque within the joints of the human arm. These torques are forwarded to the control of the exoskeleton and directly affect the generated torques within the joints of the robotic system. In this way, an appropriate level of assistance is provided to the patient and an optimal training can be achieved.

To this end, experiments with healthy subjects were conducted. Within these experiments, subjects had to perform four different movements with varying weights in their hand. The movements were biceps curls, lifting the straight arm to the front and to the side and a grasping movement. The weights ranged from 0 kg to 2 kg in steps of 0.5 kg. Further, the joint angles were measured with the help of a Qualisys motion tracking system. The first analysis was done for the elbow joint. Therefore the torque in the joint was calculated based on the carried weight and the arm configuration. Additionally, EMG from the right arm (brachioradialis, extensor carpi, biceps big head, triceps long and lateral head and delta front, middle and back) was recorded. The EMG was preprocessed with a variance and a consecutive RMS filter. Afterwards, the muscle activation was estimated with a second order differential system, $p(t) = \gamma * e(t - d) - \beta_1 * p(t - 1) - \beta_2 * p(t - 2)$, with an electromechanical delay of $d = 50$ ms, $\beta_1 = 0$, and $\beta_2 = -0.25$. The torque, angles and the muscle activation were used to train a k -nearest-neighbor regressor with $k = 1$. Based on the activation level and the angle the regressor had to determine the torque. The first results can be seen in Figure 7.1.

7.2 Detection of movement planning based on EEG

The final exoskeleton will have the possibility to acquire and process EEG data online with the aim to detect the planning of movements [30]. This detection is achieved by using signal processing methods to enhance the low signal-to-noise ratio of the raw EEG data and by machine learning methods to distinguish between movement intention of the affected arm and no movement intention. A special requirement for the processing is that models from other subjects and sessions have to be reused due to the lack of data from patients. Here, an online ensemble learning approach will be used to pre-train processing pipelines from the same patient and more

importantly from healthy subjects to have a baseline where the brain function is not affected. Furthermore, to overcome the lack of training data, we will use regularized spatial filters that can deal with a low amount of data [31, 32] and generate artificial data from the original data. For the processing, we also pay attention to keep the computational load low to enable real-time processing on a mobile processing device inside the exoskeleton. The results of EEG analysis will be used in different ways. First, the assist-as-needed functionality can be further strengthened, e.g., by triggering the assistance when a movement intention is detected or by increasing the speed of the exoskeleton to reward continuous engagement. Furthermore, positive feedback via vibration or sound can notify the patient when the intention to move is present. Second, insights into the underlying brain activity will be provided to the therapist. To achieve this, we use source localization to get an estimate on which regions are involved in the tasks and the backtransformation [33] to find out which parts of the data are used by the classifier for the prediction of movements. Since the therapy of stroke patients is targeting the reorganization capability of the brain, this information can provide a beneficial add-on for the patient as well as for the therapist.

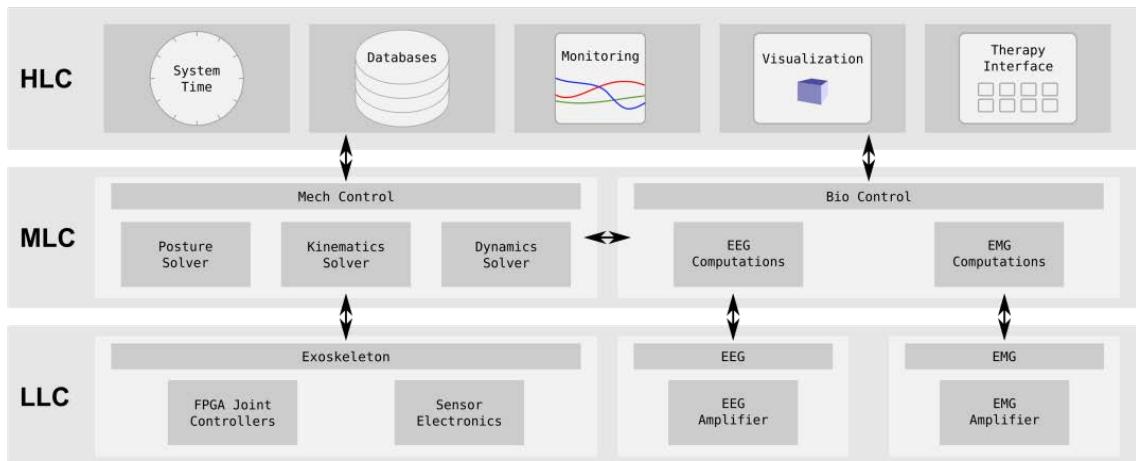


Figure 7.1: Overview of software components

8 Summary and outlook

The prospective system of the Recupera full body exoskeleton has been presented together with a discussion of its capabilities and challenges. Subsuming, Figure 5 provides an overview about projected software components (and their interfaces) of the system, that arranges the software components within three layers: (i) The High Level Control (HLC) on the first layer offers functionality for 'time synchronization', 'data storage', 'state monitoring', and 'therapy adjustment' (Section 2). (ii) The Mid Level Control (MLC) layer is separated into a mechanical control, (Section 5, Section 6), and a biosignal control which influence each other (Section 7). (iii) The layer of the Low Level Control (LLC) includes the hardware-near components dealing with joints and sensors of the exoskeleton (Section 4, Section 6), as well as EEG and EMG data acquisition and digitalization (Section 7).

The exoskeletons, i.e., the part and the full-body system, are designed to work in the challenging task field of inpatient and outpatient rehabilitation to support classical therapy approaches as well as activities of daily living. To fulfill the manifold tasks and to be easy to operate, a very close cooperation between designer, programmer, and therapist as well as patients is required. Especially, it is essential that both, therapists as well as patients, are involved in the process of

development and testing. To achieve this, a very close contact with inpatient and outpatient rehabilitation personnel and care givers as well as patients is established. Not only the final system but also in-between stages will be tested in rehabilitation facilities with the personnel as well as the patients at hand. In long term extensive tests, it is planned to study the expected positive effect of an intention-driven therapy system that allows to support self-initiated movements of different complexity.

9 References

- [1] P. U. Heuschmann, O. Busse, M. Wagner, M. Endres, A. Villringer, J. Röther, P. L. Kolominsky-Rabas, K. Berge: Schlaganfallhäufigkeit und Versorgung von Schlaganfallpatienten in Deutschland. In: *Akt Neurol* 37, pp. 333-340, 2010.
- [2] L. M. V. Benitez, M. Tabie, N. Will, S. Schmidt, M. Jordan, E. A. Kirchner: Exoskeleton Technology in Rehabilitation: Towards an EMG-Based Orthosis System for Upper Limb Neuromotor Rehabilitation. In: *Journal of Robotics* 2013.
- [3] T. Proietti, V. Crocher, A. Roby-Brami, N. Jarrasse: Upper-limb robotic exoskeletons for neurorehabilitation: a review on control strategies. In: *IEEE Rev Biomed Eng*, 2016.
- [4] P. L. Kolominsky-Rabas, P. U. Heuschmann: Inzidenz, Atiologie und Langzeitprognose des Schlaganfalls. In: *Fortschr Neurol Psychiatr* 70.12, pp. 657-662, 2002.
- [5] B. B. Johansson: Brain plasticity and stroke rehabilitation: The Willis lecture. In: *Stroke* 31.1, pp. 223-230, 2000.
- [6] C. Dettmers, V. Hömberg, E. Koenig: S2e-Leitlinien zur motorischen Rehabilitation des Schlaganfalls. In: *Neurol Rehabil* 15.2, pp. 71-73, 2009.
- [7] T. Platz, S. Roschka: Rehabilitative Therapie bei Armlähmungen nach einem Schlaganfall. 2011.
- [8] V. Janda: Manuelle Muskelfunktionsdiagnostik. Urban & Fischer, 2000.
- [9] G. Kwakkel, B. J. Kollen, J. van der Grond, A. J. Prevo: Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb: impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke. In: *Stroke* 34.9, pp. 2181-2186, 2003.
- [10] G. Kwakkel, R. C. Wagenaar, J. W. Twisk, G. J. Lankhorst, J. C. Koetsier: Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke: a randomised trial. In: *Lancet* 354, pp. 191-196, 1999.
- [11] S. Hess, A. Heß, C. Werner, N. Kabbert, R. Buschfort: Effect on arm function and cost of robot-assisted group therapy in subacute patients with stroke and a moderately to severely affected arm: a randomized controlled trial. In: *Clinical rehabilitation* 28.7, pp. 637-647, 2014.
- [12] H. U. Debrunner, W. R. Hepp. Orthopädisches Diagnostikum. 1994.
- [13] T. Platz, S. Roschka. Rehabilitative Therapie bei Armlähmungen nach einem Schlaganfall. 2011.
- [14] A. R. C. Donati et al.: Long-Term Training with a Brain-Machine Interface-Based Gait Protocol Induces Partial Neurological Recovery in Paraplegic Patients. In: *Nature*, 2016.
- [15] A. Ramos-Murguialday et al.: Brain-Machine-Interface in Chronic Stroke Rehabilitation: A Controlled Study. In: *Annals Neurology* 74, pp. 100-108, 2013.
- [16] S. R. Soekadar, S. Silvoni, L. G. Cohen, N. Birbaumer: Brain-Machine Interfaces in Stroke Neurorehabilitation. In: *Clinical Systems Neuroscience*. Edited by K. Kansaku, L. G. Cohen, N. Birbaumer. Springer Japan, pp. 3-14, 2015.

- [17] M. Simnofske: Ausrichtungsvorrichtung zum Ausrichten einer Plattform in drei rotatorischen Freiheiten. Patent application, DE102013018034A1. 2015.
- [18] M. Simnofske, S. Kumar, B. Bongardt, F. Kirchner: Active Ankle - an Almost-Spherical Parallel Mechanism. In: 47th International Symposium on Robotics (ISR), June 21-22, Munich, Germany. VDE Verlag, 2016.
- [19] J. Hilljegerdes, P. Kampmann, S. Bosse, F. Kirchner: Development of an Intelligent Joint Actuator Prototype for Climbing and Walking Robots. In: Mobile Robotics - Solutions and Challenges. International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR-09), 12th, September 9-11, Istanbul, Turkey. o.A., pp. 942-949, 2009.
- [20] S. Bartsch, M. Manz, P. Kampmann, A. Dettmann, H. Hanff, M. Langosz, K. von Szadkowski, J. Hilljegerdes, M. Simnofske, P. Kloss, M. Meder, F. Kirchner: Development and Control of the Multi-Legged Robot Mantis. In: International Symposium on Robotics. International Symposium on Robotics (ISR-2016), June 21-22, München, Germany. o.A., 2016.
- [21] M. Zenzes, P. Kampmann, T. Stark, M. Schilling: NDLCom: Simple Protocol for Heterogeneous Embedded Communication Networks. In: Embedded World. 2016.
- [22] H. Wöhrle, J. Teiwes, M. M. Krell, A. Seeland, E. A. Kirchner, F. Kirchner: Reconfigurable Dataflow Hardware Accelerators for Machine Learning and Robotics. In: ECML PKDD, 2014.
- [23] B. Bongardt: CAD-2-SIM – Kinematic Modeling of Mechanisms Based on the Sheth-Uicker Convention". In: International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA), pp. 465-477, 2011.
- [24] M. Quigley, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. B. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, A. Y. Ng: ROS: an open-source Robot Operating System. In: ICRA Workshop on Open Source Software. 2009.
- [25] S. Joyeux, J. Albiez: Robot development: from components to systems. In: 6th National Conference on Control Architectures of Robots, Grenoble, France, 2011.
- [26] R. Diankov: Automated Construction of Robotic Manipulation Programs. PhD thesis. Carnegie Mellon University, Robotics Institute, 2010.
- [27] M. L. Felis: RBDL: an efficient rigid-body dynamics library using recursive algorithms. In: Autonomous Robots, pp. 1-17, 2016.
- [28] M. Guidali, U. Keller, V. Klamroth-Marganska, T. Nef, R. Riener: Estimating the patient's contribution during robot-assisted therapy. In: Journal of Rehabilitation Research & Development (JRRD) 50.3, pp. 379-394, 2013.
- [29] S. Kumar, V. Renaudin, Y. Aoustin, E. Le-Carpentier, C. Combettes: Model-based and experimental analysis of the symmetry in human walking in different device carrying modes. In: 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Bio-mechatronics (BioRob), pp. 1172-1179, 2016.
- [30] A. Seeland, H. Woehrle, S. Straube, E. A. Kirchner: Online Movement Prediction in a Robotic Application Scenario. In: 6th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering (NER), pp. 41-44, 2013.
- [31] W. Samek, C. Vidaurre, K.-R. Müller, M. Kawanabe: Stationary common spatial patterns for brain-computer interfacing. In: Journal of neural engineering 9.2, p. 026013, 2012.

- [32] M. M. Krell, H. Wöhrle, A. Seeland: raxDAWN: Circumventing Overfitting of the Adaptive xDAWN. In: Proceedings of the 3rd International Congress on Neurotechnology, Electronics and Informatics. SciTePress, pp. 68-75, 2015.
- [33] M. M. Krell, S. Straube: Backtransformation: a new representation of data processing chains with a scalar decision function. In: Advances in Data Analysis and Classification, pp. 1-25, 2015.

Knie-Exoskelett für bewegungseingeschränkte und gehandicapte Personen mit flexilem Gelenk zur Realisierung menschlicher Bewegungsmuster

R. Weidner¹, J. Müller², A. Schweim, M. Schweim, S. Grube

¹Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg
Robert.Weidner@hsu-hh.de

²Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Professur für Regelungstechnik
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg
jmueller@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Freiheit und Selbstbestimmtheit sind zwei Aspekte die sich ältere und gehandicapte Personen wünschen. Eine häufige Einschränkung resultiert aus einer verringerten Mobilität. Zur Verbesserung der Mobilität lassen sich Exoskelette einsetzen. Dieser Beitrag stellt einen Ansatz sowie ein erstes Funktionsmuster eines Exoskeletts mit flexilem Gelenk für untere Extremitäten vor. Durch Einsatz eines flexiblen Gelenks, welches translatorische Verschiebungen und rotatorische Veränderung bei externen Kräften ermöglicht, soll die Möglichkeit geben, dass durch Nutzung des Exoskeletts das menschliche Bewegungsmuster nicht verändert wird.

Abstract

“Knee exoskeleton for mobility impaired and handicapped people with flexible hinge for realizing human movement patterns“

Freedom and self-determination are two aspects which elderly and handicapped people want. A common obstacle is a restricted mobility. To improve mobility, exoskeletons can be used. This paper presents an approach and a functional prototype of an exoskeleton with flexible joint for lower limbs. By using a flexible hinge, which allows translational and rotational displacements changes in external forces, should realize natural human movement patterns.

Keywords: Exoskelett, flexibles Gelenk, modulare Gestalt

1 Einleitung

Eine der großen Herausforderungen für die Bevölkerung und Unternehmen nahezu aller Branchen stellt die Bewältigung des demografischen Wandels dar. Es wird prognostiziert, dass durch den demographischen Wandel im Jahr 2030 ca. 20 der Erwerbstätigen zwischen 65 und 79 Jahre alt und ca. 8 % der Bevölkerung über 80 Jahre sein werden. Dieser Anteil wird sich bei gleichzeitig deutlicher Reduzierung der Bevölkerung um ca. 14,65 % in der Altersgruppe ab 80 Jahren weiter auf 13 % erhöhen. [1] Dies zeigt einen deutlichen Bedarf nach unterstützender Technik, um ein von älteren Menschen gewünschtes selbstständiges und angenehmes Leben führen zu können. Eine verminderte Aktivität und Teilnahme am sozialen Leben kann aus einer körperlichen Einschränkung durch muskuloskelettale Degeneration resultieren.

Die Selbstständigkeit zu erhalten nimmt somit eine zentrale und angesichts der Randbedingungen wie der demografische Wandel [2] immer bedeutendere Rolle ein, da die andernfalls notwendige Versorgung Älterer nur schwer bereitstellbar ist. Ein Ansatz zur Verbesserung der Mobilität, Selbstständigkeit und Unabhängigkeit stellen Exoskelette dar, die zur Kraftsteigerung unterschiedlicher Körperbereiche eingesetzt werden können, um ältere Personen länger in unterschiedliche Bereiche der Gesellschaft integrieren zu können.

Dieser Beitrag stellt, ausgehend von einer Analyse des Stands der Technik, einen Ansatz und exemplarischen Aufbau für ein Knie-Exoskelett mit flexiblem Gelenk vor, welches natürliche Bewegungsmuster des Menschen durch mögliche translatorische und rotatorische Freiheitsgrade ermöglicht.

2 Grundlagen

Einführend werden die für diesen Beitrag relevanten Grundlagen zu der Funktionsweise des menschlichen Knies und der technischen Systeme aus dem Stand der Technik auszugsweise beschrieben.

2.1 Das menschliche Knie

Das Kniegelenk, welches fälschlicherweise häufig als Scharniergelenk bezeichnet wird, ist in Wirklichkeit komplexer aufgebaut. Beim Beugen und Strecken findet ständig eine Längenänderung des Kraftarms sowie Abroll- und Gleitbewegungen statt. Überdies besitzt das Kniegelenk, anders als ein mechanisches Scharniergelenk, keine feste Drehachse, d.h. diese Drehachse verändert sich um ca. 20° nach medial und verschiebt sich darüber hinaus zusätzlich um bis zu 15 mm. [3] Ferner ist bekannt, dass die Veränderung der Drehachse eine andere ist, wenn der Unterschenkel zum Oberschenkel bewegt wird, als wenn sich der Oberschenkel zum Unterschenkel bewegt. Zu der Verschiebung der Drehachse gibt es keine Angaben in Normmaßen.

2.2 Technische Systeme

Es existieren eine Vielzahl von technischen Systemen, die die Fortbewegung unterstützen können. Hierzu zählen bspw. Gehhilfen, Tragehilfen, Greifhilfen, Systeme zur Unterstützung der Beine und Arme sowie Fahrräder mit Elektromotor, deren Anwendungsbereiche sich voneinander unterscheiden.

Exoskelette werden eingesetzt, um die Kraft und Mobilität des Nutzers zu verstärken. Die Unterstützung kann hierbei auf einzelne Körperteile beschränkt sein (bspw. Hand oder untere Extremität [4, 5], oder den ganzen Körper unterstützen [6]. Typische Anwendungen sind im Bereich der Landwirtschaft, Rehabilitation und Militär zu finden [4, 7, 8], wobei auch erkennbar ist, dass andere Bereiche wie die industrielle Produktion adressiert werden. Tabelle 2.1 fasst auszugsweise Einsatzmöglichkeiten, Wirkprinzipien und Aufgaben von Exoskeletten zusammen.

Die Bewegung des Exoskeletts wird durch die Bewegung des Nutzers gesteuert. Hierfür lassen sich unterschiedliche Arten von Sensoren verwenden, z.B. Drucksensoren [9], Kraft-/Momentensensoren [5] und EMG-Sensoren [4].

Alle gängigen Exoskelette, z.B. Sarcos [10], HAL [11], Power Assisted Suit [12], Bleex [13], besitzen eine mechanische Struktur, eine Antriebs- und Energieeinheit sowie Sensoren zur Bewegungserkennung. Speziell die Gestaltung der Freiheitsgrade und die Anordnung der kinematischen Struktur definieren das Bewegungsmuster. Die exoskelettalen Strukturen (Verbin-

dungselemente und Gelenke) sind i.d.R. als möglichst steif gestaltet. Als Gelenke werden vornehmlich rotatorische Achsen verwendet, die parallel zu menschlichen Gelenkachsen positioniert werden.

Tabelle 2.1: Einsatzmöglichkeiten von Exoskeletten

Einsatzmöglichkeit	Wirkprinzip	Aufgabe
Immobilität nach langer Verletzung	Wiedererlernen der Bewegungen durch Kraftunterstützung und natürliche Vorgabe der Bewegungsrichtung	Rehabilitation – Wiedergewinnung der vollen Mobilität
Immobilität durch Gelenkverschleiß im Alter	Kraftunterstützung und Unterstützung der Gelenke	Sicherung der Selbstständigkeit und der Mobilität
Kraftunterstützung im Alltag und Beruf	Krafterhöhung und Steigerung der Ausdauer durch Antriebsmechanismen an Gelenken	Unterstützung bei besonders schweren körperlichen Arbeiten
Schonung der Gelenke im Beruf	Kraftumleitung um besonders belastete Bereiche herum	Prävention von Gelenkverschleiß und Ermüdung
Training von Muskelgruppen	Einsatz des Systems als Widerstand zum Training	Trainingsgerät zum Muskelaufbau/-erhalt, z.B. Fitnessstudio, Weltraum

2.3 Fazit

Der Beschreibung des menschlichen Kniegelenks kann entnommen werden, dass parallel angeordnete Strukturen – insofern das Knie noch volle Funktion hat – eine gewisse Flexibilität haben müssen, um das menschliche Bewegungsmuster während des Beugens und Streckens nicht zu verändern. Zwei Ansätze sind zur Realisierung naheliegend: ein flexibles Gelenk oder eine flexible Systemstruktur. Im Rahmen dieses Beitrags wird auf das flexible Gelenk eingegangen. Ein Ansatz für eine flexible Struktur ist bspw. in [14] beschrieben.

3 Ansatz für flexibles Gelenk

Der Einsatz eines flexiblen Gelenks in Exoskelette stellt einen Lösungsansatz da, um komplexe menschliche Bewegungen ohne Veränderung des normalen Musters zu ermöglichen, indem das Gelenk weitere rotatorische und translatorische Freiheitsgrade besitzt (ideal drei translatorische und drei rotatorische). Je nach Gestalt ist es zudem möglich, das Gelenk derart zu gestalten, dass die Dämpfung und Steifigkeit richtungsabhängig eingestellt werden kann. Durch die Verwendung eines flexiblen Gelenks kann eine Verschiebung des Momentanpols des technischen Systems zeitlich und räumlich synchronisiert zur menschlichen Bewegung realisiert werden. Verschiedene Varianten sind hierbei möglich. Drei Möglichkeiten werden nachfolgend aufgezeigt.

Ausprägungsvariante 1

Abbildung 3.1 zeigt eine erste Ausprägungsvariante eines flexiblen Gelenks in monolithischer Bauweise. In dieser Variante besteht das flexible Gelenk aus zwei Gelenkelementen, die über einen homogenen Füllkern (bspw. aus Polymer bestehend) flexibel miteinander verbunden sind, wobei diese durch eine schwimmend gelagerte Welle und ein Lager geführt werden. Die Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften dieses Gelenks lassen sich über die Eigenschaften

des Füllkerns einstellen – bei dieser Variante in allen Raumrichtungen mit gleichen Eigenschaften, jedoch mit der Möglichkeit unterschiedlicher Eigenschaften über geometrische Anpassungen. Der Füllkern besitzt dabei die Eigenschaft, dass er an der schwimmend gelagerten Welle sowie an dem Kolben zwischen den Elementen als Art Gleitlager realisiert ist. Das Lager ist fest in den Füllkern integriert, um Kräfte übertragen zu können.

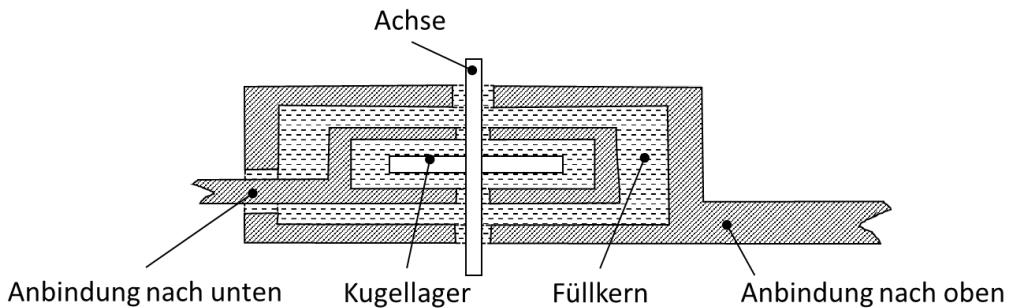


Abbildung 3.1: Skizze der ersten Ausprägungsvariante

Ausprägungsvariante 2

Abbildung 3.2 zeigt eine zweite Ausprägungsvariante für ein modular aufgebautes flexibles Gelenk mit einer 4-er Teilung und drei Scheibenelementen. Der modulare Aufbau ermöglicht die gezielte Anpassung der Eigenschaften für Verschiebungen in x-, y- und z-Richtung sowie für Rotationen um x, y und z. Anwendung findet hierbei ein Baukastensystem, bevorzugt aus Gummielementen (aber, insofern auch andere Eigenschaften benötigt werden, aus anderen Materialien) mit unterschiedlichen Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften, welche den Aufbau eines individuellen Eigenschaftsprofils ermöglichen. Der Aufbau erfolgt mit Kreisausschnitten, die miteinander kombiniert ein Scheibenelement ergeben, bspw. vier 90° Kreisausschnitte, welche miteinander versteckt werden. Mehrere Scheibenelemente werden wiederum miteinander sowie mit einer der zwei Anbindungen verbunden. Die Kontaktstelle zur zweiten Seite ist als Gleitlager gestaltet (Anzahl Scheibenelemente abhängig von gewünschten Eigenschaften). An einer Anbindungsseite (in der Skizze die untere Anbindung) ist eine Welle befestigt. Die andere Anbindungsseite ist so gestaltet, das rotatorische und translatorische Veränderungen möglich sind (siehe Skizze). Über die geometrische Gestalt können hierbei Endanschläge definiert werden.

Die Modularität ermöglicht unterschiedliche Gestaltungsmöglichkeiten für die Scheibenelemente, die Kreisausschnittselemente und die Achse, um die Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften des Gelenks gezielt einzustellen. Dies ermöglicht wiederum gezielt eine translatorische Verschiebung und rotatorische Veränderung der Gelenkkachse bei externen Lasten/Kräften. Bspw. kann die Steifigkeit innerhalb eines Scheibenelements durch die vier Kreisausschnitte so eingestellt werden, dass die translatorische Verschiebung gezielt beeinflusst werden kann. Durch unterschiedliche Eigenschaften zwischen den Scheibenelementen kann die Rotationseigenschaft eingestellt werden.

Ausprägungsvariante 3

Die dritte Ausprägungsvariante nutzt Elemente des klassischen Maschinenbaus und vernachlässigt zunächst einige der wesentlichen Aspekte. Diese Variante sieht ein Kugelgelenk in Kombination mit einem Balg vor, womit die Flexibilität im Gelenk realisiert werden soll. Das

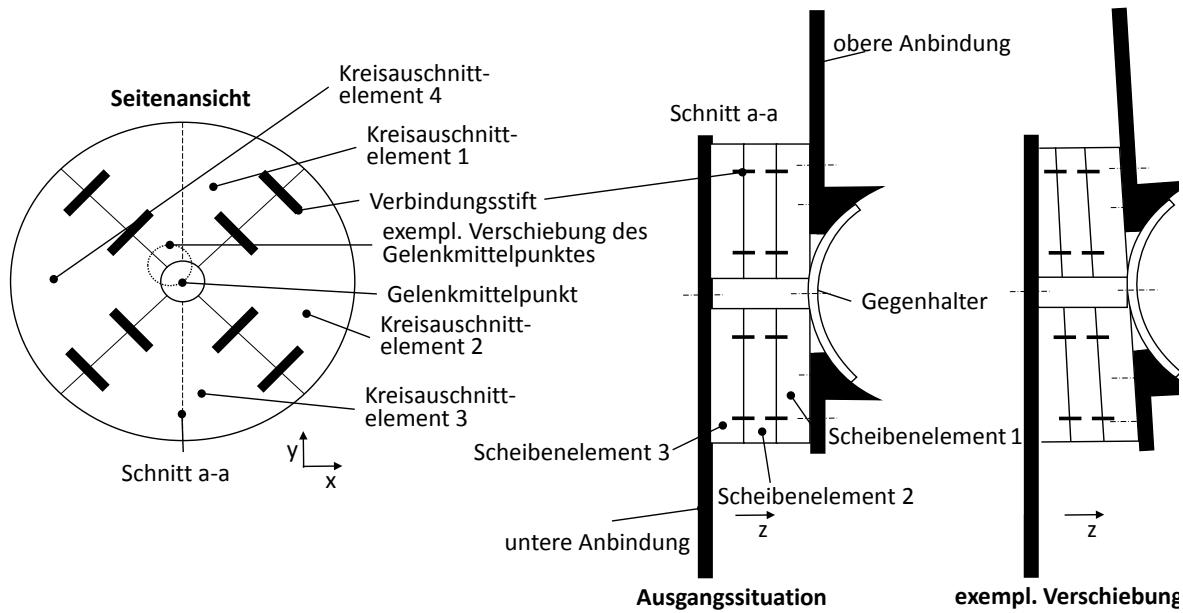


Abbildung 3.2: Skizze in Seitenansicht und Schnitt für eine zweite Ausprägungsvariant

Gelenk mit Motor und Getriebe inklusive der oberen und unteren Gelenkschale ist in Abbildung 3.3 dargestellt. Die Querbewegung, die gewollt ist, um rotatorische und translatorische Verschiebungen im Gelenk zu ermöglichen, wird durch die Einheit aus Kugelgelenk und Balg ermöglicht. Der Balg ist hierbei mit dem Motor verbunden und ermöglicht eine freie Drehbarkeit. Gleichzeitig kann eine Kraft übertragen werden. Die beiden Gelenkschalen besitzen eine runde Kontaktfläche, die eine relative Verschiebung und Verdrehung ermöglichen. Die Gelenkschale ohne Balg wird an der Welle des Motors mit Hilfe eines Flansches befestigt.

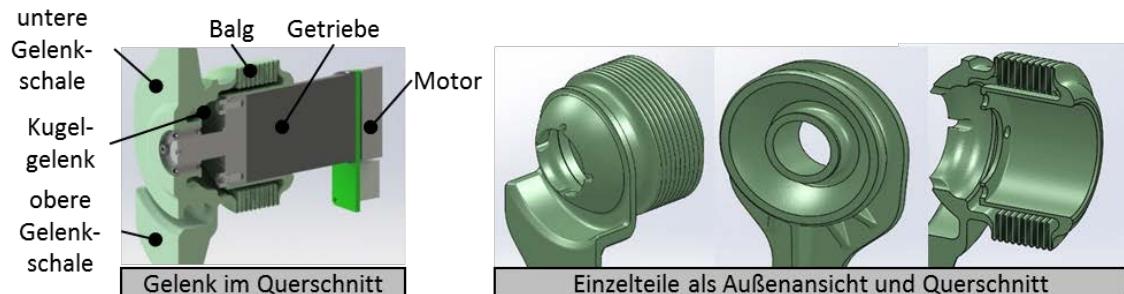


Abbildung 3.3: Gelenk mit Balg

4 Exemplarische Umsetzung

Nachfolgend wird auf die exemplarische Umsetzung des Exoskeletts mit flexiblen Gelenk der dritten Ausprägungsvariante eingegangen.

Aufbau des Exoskeletts

Das realisierte Knie-Exoskelett (siehe Abbildung 4.1) besteht neben dem flexiblen Gelenk aus einer mechanischen Struktur mit den Nutzerschnittstellen, einer Sensoreinheit, die in die Schnittstellen integriert, sowie aus einer Steuer- und Bedieneinheit. Die Stellkraft wird durch einen Elektromotor der Firma Maxon zur Verfügung gestellt. Als Steuerung wurde ein Controller der Firma Infineon benutzt. In jede Mensch-Technik-Schnittstelle (zunächst vereinfacht

als halbschalige Anbindung) wurden je drei Folien-Kraftsensor zur Messung der Interaktionskräfte integriert (je zwei in die Hartschale und einer in das Band), um hiermit die Datengrundlage zur Berechnung der Sollwerte für den Antrieb zu berechnen.

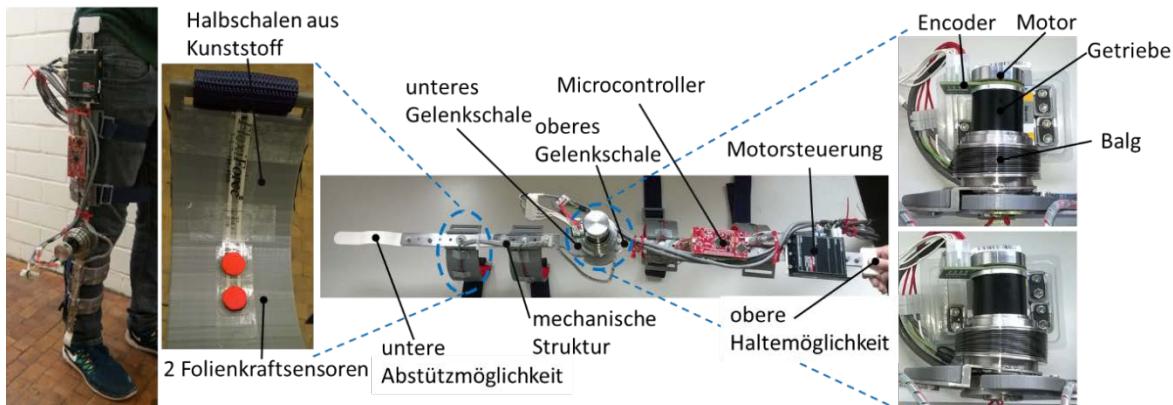


Abbildung 4.1: Funktionsmuster des Exoskeletts für untere Extremitäten mit flexiblem Gelenk

Die Flexibilität des Gelenks ist für den rotatorischen Freiheitsgrad quer zur Bewegungsrichtung im rechten Teil der Abbildung 4.1 und vergrößert in Abbildung 4.2 dargestellt. Für diese konstruktive Gestaltung (Art Kugelgelenk) ist eine Auslenkung quer zur Bewegungsrichtung von ca. 6,5 ° in positiver (dargestellt) Richtung möglich. Diese Auslenkung ist nicht angetrieben und erfolgt demzufolge passiv der menschlichen Bewegung.

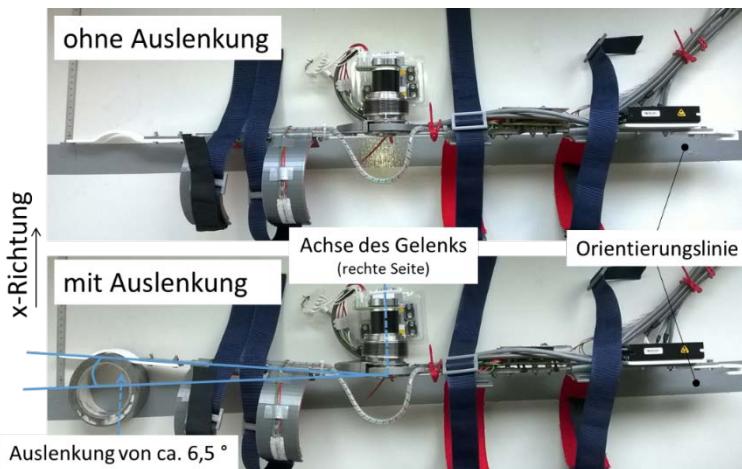


Abbildung 4.2: Wirkprinzip für rotatorische Veränderung

Grundsätzliche Reglerstruktur

Die grundsätzliche Reglerstruktur des Exoskeletts ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Verwendung findet ein kaskadierter Regler – zum einen die Regelung der Winkelgeschwindigkeit über Positionsdaten des Motors und zum anderen Regelung des Drehmoments über Kraftwerte. Zur Regelung der Winkelgeschwindigkeit wird ein PID-Regler verwendet. Die Winkelstellungen werden durch einen in den Motor integrierten Encoder gemessen (φ_{Ist}). Am entsprechenden Subtraktionsknoten erfolgt mit der Soll-Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}_{Soll}$ und Ist-Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}_{Ist}$ die Berechnung des Index für die Regelabweichung $e_{\dot{\varphi}}$. Die daraus berechnete Spannung U wird dem Motor zugeführt, der entsprechend die mechanische Struktur und

über die Mensch-Technik-Schnittstelle auch die Bewegung der unteren Extremitäten des Nutzers unterstützt.

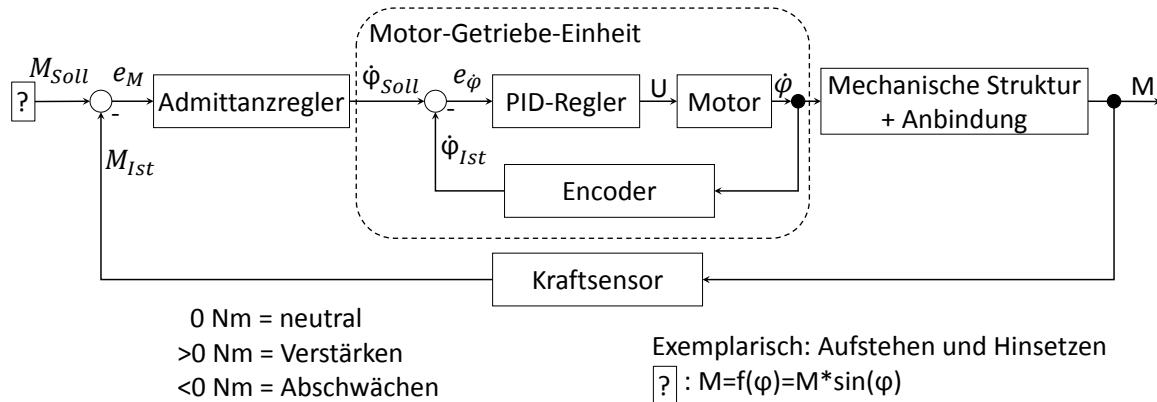


Abbildung 4.3: Grundsätzliche Reglerstruktur

Die Soll-Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}_{Soll}$ ergibt sich aus der Admittanzregelung. Die hierfür notwendige Regelabweichung e_M lässt sich mit Hilfe des Soll-Moments M_{Soll} und Ist-Moment M_{Ist} berechnen. An dieser Stelle wird der Arbeitsmodi des Systems vorgegeben. Das Ist-Moment wird durch die in die Schnittstellen integrierten Sensoren über die Kraft mit Hilfe eines Momentengleichgewichts berechnet.

Momentengleichgewicht und Arbeitsmodi

Die gemessenen Interaktionskräfte (gemessen durch die Folienkraftsensoren) erlauben es, über ein Momentengleichgewicht das Ist-Moment M_{Ist} zu berechnen. Das Soll-Drehmoment M_{Soll} ist abhängig vom Beugungswinkel φ und Arbeitsmodi. Drei Modi sind zunächst vorgesehen:

- Mitbewegen ohne Unterstützung und Widerstand (neutral),
- unterstützendes Moment in Bewegungsrichtung beim Aufstehen und Gehen sowie
- Bewegung entgegenwirkendes Moment zur Unterstützung des Hinsetzens und Anhalten (bremsen).

Die Unterstützungsleistung, konkret das Soll-Moment M_{Soll} , muss stets auf den Modus und die Winkelposition φ angepasst werden. Man kann also sagen, dass $M_{Soll}=f(\varphi, \text{Modus})$.

5 Zusammenfassung

Die längere gesellschaftliche Teilhabe älterer Menschen ist eine zentrale Herausforderung der Zukunft. Eine verminderte Aktivität und Teilnahme am sozialen Leben resultiert vornehmlich aus einer körperlichen Einschränkung durch muskuloskelettale Veränderungsprozesse. Einen Ansatz zur längeren Integration stellen Exoskelette zur Kraftunterstützung dar. In diesem Beitrag wurde ein Exoskelett für untere Extremitäten beschrieben, welches das Beugen und Strecken des Knies unterstützt. Durch Verwendung eines flexiblen Gelenks soll erreicht werden, dass das komplizierte menschliche Bewegungsmuster durch translatorische und rotatorische Freiheitsgrade im Exoskelett nicht verändert wird.

6 Danksagung

Diese Forschung (Projekt „smart ASSIST – Smart, Adjustable, Soft and Intelligent Support Technologies“, Förderkennzeichen 16SV7114) wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Interdisziplinärer Kompetenzauf-

bau im Schwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion vor dem Hintergrund des demographischen Wandels“ gefördert und durch die VDI/VDE INNOVATION GmbH betreut. Die alleinige Verantwortung für den Inhalt des Beitrags liegt bei den Autoren.

7 Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: „13. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung“. Berlin, 2015.
- [2] S. Nowossadeck: Demografischer Wandel, Pflegebedürftige und der künftige Bedarf an Pflegekräften. In: Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, August 2013, Volume 56, Issue 8, S. 1040-1047, 2013.
- [3] P. Klein, P. Sommerfeld: Biomechanik der menschlichen Gelenke – Grundlagen, Becken, untere Extremität. Urban & Fischer, 2004.
- [4] N.S.K. Ho, K. Y. Tong, X. L. Hu, K. L. Fung, X. J. Wei, W. Rong E. A. Susanto: An EMG-driven exoskeleton hand robotic training device on chronic stroke subjects: task training system for stroke rehabilitation. In: 2011 IEEE international conference on rehabilitation robotics: IEEE, S. 1-5, 2011.
- [5] H. Lee, B. Lee, W. Kim, M. Gil, J. Han, C. Han: Human-robot cooperative control based on pHRI (Physical Human-Robot Interaction) of exoskeleton robot for a human upper extremity. Int J Precis Eng Manuf 13(6): 985-992, 2012.
- [6] E. M. Sadler, R. B. Graham, J. M. Stevenson: The personal lift assist device and lifting technique: a principal component analysis. Ergonomics 54(4): 392-402, 2011.
- [7] K. Kiguchi, M. H. Rahman, M. Sasaki, K. Teramoto: Development of a 3DOF mobile exoskeleton robot for human upper limb motion assist. Rob Auton Syst 56(8): 678-691, 2008.
- [8] S. Marcheschi, F. Salsedo, M. Fontana, M. Bergamasco: Body extender: whole body exoskeleton for human power augmentation. In: 2011 IEEE international conference on robotics and automation: IEEE, S. 611-616, 2011.
- [9] A. Zoss, H. Kazerooni, A. Chu: On the mechanical design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX). In: IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, S. 3465-3472, 2005.
- [10] M. Cenciarini, A. M. Dollar: Biomechanical Considerations in the Design of Lower Limb Exoskeletons. In: IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICoRR), S. 1-6, 2011.
- [11] Y. Sankai: HAL: Hybrid Assistive Limb Based on Cybernetics. In: M. Kaneko, Y. Nakamura (Editors): Robotics Research, Springer Berlin Heidelberg, S. 25-34, 2011.
- [12] K. Yamamoto, K. Hyodo, M. Ishii T. Matsuo: Development of Power Assisting Suit for Assisting Nurse Labor. In: JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing, Vol. 45(3), S. 703-711, 2002.
- [13] H. Kazerooni, R. Steger: The Berkeley Lower Extremity Exoskeleton. In: Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 128(1), S. 14-25, 2006.
- [14] B. Otten, P. Stelzer, R. Weidner, A. Argubi-Wollesen, J. P. Wulfsberg: A novel concept for wearable, modular and soft support systems used in industrial environments. In: 49th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, S. 542-551, 2016.

Energy Harvesting für Werkzeugtracking in Großproduktionsanlagen

Implementierung und Bewertung eines Bewegungsharvestingverfahrens für drahtlose Ortung

O. Schantin¹, A. Busse¹, V. Skwarek¹, W. Kaiser²

¹Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, HWI, Technische Informatik
Ulmenliet 20, 21033 Hamburg
oliver.schantin@haw-hamburg.de, volker.skwarek@haw-hamburg.de

²electromotive engineering & consulting GmbH
August-Bebel-Strasse 36, 23923 Schoenberg
w.kaiser@electromotive.eu

Kurzzusammenfassung

Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse eines Forschungsprojektes vor, in dem die Energiegewinnung durch Bewegung (Bewegungsharvesting) für die Ortung von Werkzeugen in Großproduktionsanlagen analysiert, umgesetzt und bewertet wurde. Basis für die Energiegewinnung ist ein automatisches Uhrwerk, das rotatorische Bewegungen über einen Mikrogenerator direkt in elektrische Energie wandelt. Hiermit wird dann ein Bluetooth basiertes Schwarmortungsverfahren betrieben.

Abstract

“Energy harvesting for tool tracking in large-scale production areas – implementation and evaluation of motion-harvesting for wireless localization”

This contribution summarizes the results of a project about motion-harvesting in large scale production areas. It bases on an automatic clock gear, converting mechanical energy directly into electrical energy with a mechanical micro generator. This operates the sending part of a swarm-localization.

Keywords: Energy Harvesting, Swarm Localization, Motion Harvesting, Microgenerator, Bluetooth Low Energy

1 Einleitung

Produktionsanalagen sicherheitskritischer Systeme wie beispielsweise im Flugzeugbau oder auch in der Medizintechnik erfordern teilweise die Montage mit spezialisierten, zertifizierten Werkzeugen. Aufgrund eines umfangreicher Überprüfungs- und Freigabeprozesses solcher Werkzeuge und der geringen Stückzahlen im Vergleich zu Handelsware, ist deren Anschaffung mit hohen Kosten verbunden. Daher werden diese in der Regel bedarfsgerecht beschafft und bilden somit in der Produktion einen Engpassfaktor. Insbesondere in großen Produktionshallen ist es wünschenswert ständig über den Standort derartiger Werkzeuge informiert zu sein. Denn ein Verlust des Werkzeuges könnte eine Verzögerung im Produktionsprozess bedeuten. Eine Ortung solcher Werkzeuge zur besseren Auffindbarkeit wäre somit sinnvoll.

Der Einsatz von satellitengestützten Ortungssystemen wie GPS ist in geschlossenen Räumen nicht möglich. Eine Ortung dieser Werkzeuge müsste also durch Indoor-Ortung beispielsweise auf Basis anderer drahtloser Übertragungsverfahren erfolgen. Ein solches Ortungssystem, welches in geschlossenen Räumen funktioniert, könnte für Anwendungen im Bereich der Logistik und automatisierten Fertigung eingesetzt werden. Da drahtlose Kommunikationsverfahren einen erhöhten Energiebedarf haben können, muss damit gerechnet werden, dass jedes mobile – insbesondere elektrochemische – Speichermedium in endlicher Zeit erschöpft sein wird (Abbildung 1.1, [1, Abbildung 4]). Um das Werkzeug auch nach längerer Benutzung, aber auch nach unbenutzter Lagerung noch orten zu können, muss also ein automatisches Verfahren zur Gewinnung von Umgebungsenergie konzipiert werden. Häufig wird deswegen Energy Harvesting zur Versorgung solcher Systeme eingesetzt [2, S. 3].

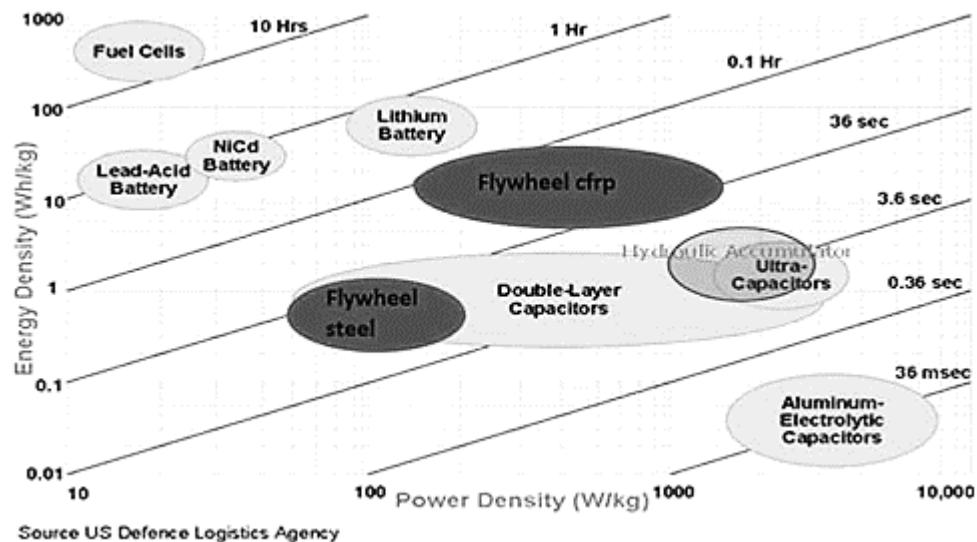


Abbildung 1.1: Ragone-Diagramm mit der Darstellung von Leistungsdichte, Energiedichte und Betriebsdauer von Energiespeichern [1, Abbildung 4]

In dem vorgestellten Projekt wird geprüft, ob eine Ortung von Schraubendrehern mit Hilfe eines Bluetooth Low Energy (BLE) Senders, welcher autark durch Energy Harvesting mit Energie versorgt wird, möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Durch den Einsatz des etablierten Bluetooth-Low-Energy Standards kann so die Ortung der Werkzeuge durch bluetoothfähige Endgeräte, wie Tablets oder Smartphones erfolgen.

Um die Kosten für ein solches System zu reduzieren und ein aufwändiges Redesign des Werkzeuges zu vermeiden, muss das gesamte System möglichst unsichtbar in dem Werkzeug, hier einem Schraubendreher, untergebracht werden. Ein wichtiges Ziel ist es, die mechanischen und optischen Eigenschaften des Werkzeuges nicht zu verändern. Darüber hinaus soll die Energiegewinnung so implementiert werden, dass sie Benutzer des Werkzeugs nicht wahrgenommen wird. Dies ist wichtig, da das Energy-Harvesting keinen Einfluss auf die Verwendung des Werkzeugs haben soll. Weiterhin soll das System über einen geeigneten integrierten Energiespeicher verfügen, sodass ein Orten des Werkzeuges auch nach mehrstündiger Nichtbenutzung möglich ist.

Im Rahmen dieses Beitrages wird ein entsprechendes Gesamtsystem beschrieben und technisch sowie ökonomisch bewertet. Dazu wird in Kapitel 3 zunächst das Systemkonzept erläutert, das

in Kapitel 4 dann prototypisch umgesetzt wird. In Kapitel 5 erfolgt eine wirtschaftliche Analyse, bevor der Beitrag letztlich in Kapitel 6 mit einer Zusammenfassung schließt.

2 Stand der Technik für Indoor-Ortung

Im privaten und öffentlichen Bereich gibt es eine Vielzahl von Anwendungen und Techniken zur Indoor-Ortung. Zum Einsatz kommen häufig Mapping und Fingerprinting von Signalstärken in bestimmten Räumen, oder Annäherung und Aufenthalts- beziehungsweise Nachbarschaftserkennung via Nähe zu iBeacons. Diese Techniken sind genauer in [9] beschrieben und sollen hier nicht im Detail erläutert werden.

Für unseren Anwendungsfall soll der im Juni 2010 vorgestellte Bluetooth Low Energy Standard 4.x (BLE 4) eingesetzt werden, da er eine für dieses Anwendungsszenario ausreichende Reichweite von theoretisch bis zu 100m, sowie einen verhältnismäßig geringen Energiebedarf aufweist. Die im Vergleich zum klassischen Bluetooth deutlich reduzierte Datenrate, stellt in dieser Applikation kein Problem dar, da lediglich eine Positionsbestimmung, sowie die Übertragung von geringen Datenmengen Zielsetzung sind.

3 Systemkonzept

Das Systemkonzept wird im Folgenden in Anlehnung an das W-Entwicklungsmodell [3] neben der Beschreibung des Gesamtsystems in die für eingebettete Systeme üblichen Domänen Energiegewinnung, mechanische Umsetzung und energetische Auslegung gegliedert.

3.1 Beschreibung des Gesamtsystems

Das Gesamtsystem, wie in Abbildung 3.1 dargestellt, besteht aus handelsüblichen Komponenten, die den Anforderungen des kleinen Bauraumes und des minimalen Energiebedarfes entsprechend ausgelegt und konfiguriert wurden.

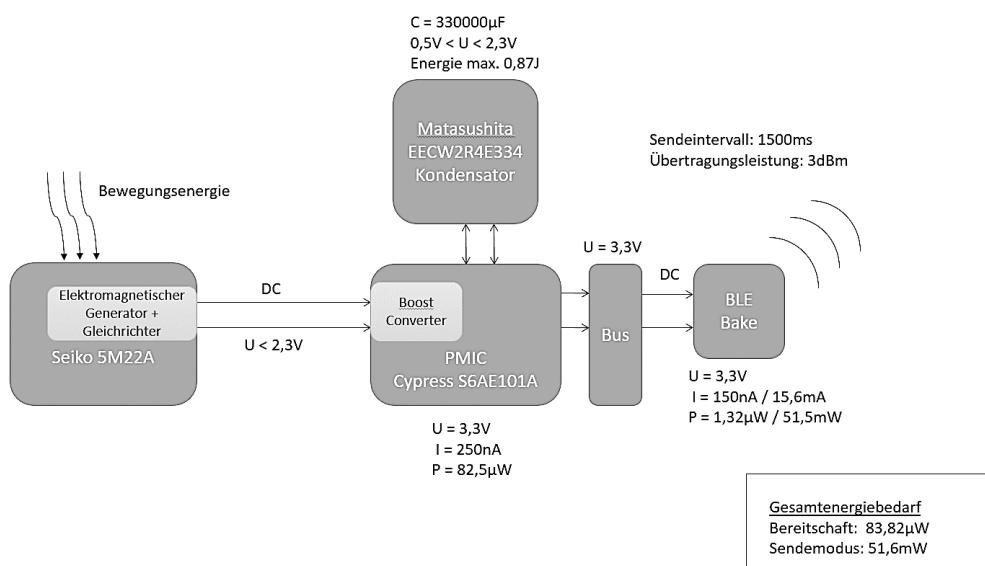


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des elektrischen Systemkonzeptes

Die grundlegenden Bestandteile des Energy Harvesting- und Kommunikationssystems sind

- der elektromechanische Generator (Harvester),
- Power Management Board (PMIC),
- Energiespeicher und
- Controller mit Bluetooth Sender,

die als separate Komponenten untereinander über Kabel miteinander verbunden sind. Bei dem Generator handelt es sich um ein elektromechanisches Uhrwerk von der Firma Seiko, das die Bewegungsenergie über eine Schwungmasse und einen Minigenerator elektrisch umsetzt. Das Energiemanagement des Gesamtsystems in Bezug auf Energiequellen, Batterieladung und –entladung sowie die Systemspannungserzeugung erfolgt mit Hilfe des Evaluationssystems *Solar Powered IoT Device Kit* der Firma Cypress. Für die Energiespeicherung wird eine Lithium-Dünnfilmbatterie von ST Microelectronics [4] mit der Kapazität von 0,7mAh bei 3,7V eingesetzt. BLE 4 wird im Controller CYBLE-022001-00 [5] umgesetzt, der Teil des oben genannten Evaluationssystems ist und durch chipinterne Busse angesteuert.

3.2 Generator zur Energiegewinnung durch Bewegung

Es wird als exemplarisches Produktionswerkzeug ein Schraubendreher herangezogen, in dessen Inneren die Technik für das oben beschriebene System integriert werden soll. Wartungsintensive Energiequellen wie Batterien kommen hier nicht infrage, da der Nutzer sein Verhalten nicht an die eingesetzte Technologie anpassen soll. Da weiterhin nicht sichergestellt werden kann, dass ein Schraubendreher immer an einem Ort mit ausreichend Licht gelagert wird, kommt auch ein photovoltaisches Energy Harvesting nicht in Betracht. Ebenso wäre thermoelektrisches Harvesting nicht sinnvoll, da kein großer Wärmefluss am Schraubendreher zu erwarten ist. Der Wärmefluss von der Hand des Arbeiters durch den Griff des Schraubendrehers wäre außerdem auch nur in einer kalten Umgebung und nur bei einer Verwendung ohne Arbeitshandschuhe gegeben. Dies steht im Konflikt zu der Prämisse, dass das Energy Harvesting die Benutzung des Schraubendrehers in keiner Weise einschränken soll.

Da von einer regelmäßigen Verwendung des Werkzeuges auszugehen ist, scheint Bewegungsharvesting eine geeignete Lösung zu sein. Dazu soll ein Bewegungsharvester auf elektromagnetischer Basis zum Einsatz kommen. Es muss für den sicheren Betrieb des Bluetooth-Low-Energy-Senders ausreichend Energie zur Verfügung gestellt werden, um eine Ausgangsspannung von 2,0V zu erzeugen.

Die Firma Seiko hat mit der Autoquartz-Serie einen auf diese Anforderungen passenden elektromechanischen Generator entwickelt, der den Anforderungen dieses Projektes entspricht (siehe Abbildung 3.1). Bei einer Bewegung des Handgelenks – oder im vorliegenden Anwendungsfall des Werkzeugs - wird eine Rotationsbewegung durch eine Schwungmasse auf einen Rotor übertragen, welcher durch eine mehrfache Übersetzung mit reibungsfreien Magnetlagern eine Drehzahl von circa 80.000 bis 100.000 Umdrehungen pro Minute erzeugt [6]. An dieser Stelle sei erwähnt, dass andere Quellen bei ähnlichen Generatoren von lediglich 5000 Umdrehungen pro Minute sprechen [7].

Der Generator besteht in diesem Uhrwerk aus einem Schrittmotor. Die schnelle Rotation des Rotors erzeugt ein wechselndes Magnetfeld, welches zwei in der Uhr verbaute Spulen durchsetzt. So wird eine ausreichend hohe Spannung in den Spulen induziert, um den Kondensator des Uhrwerkes auf maximal 2,3V aufzuladen.

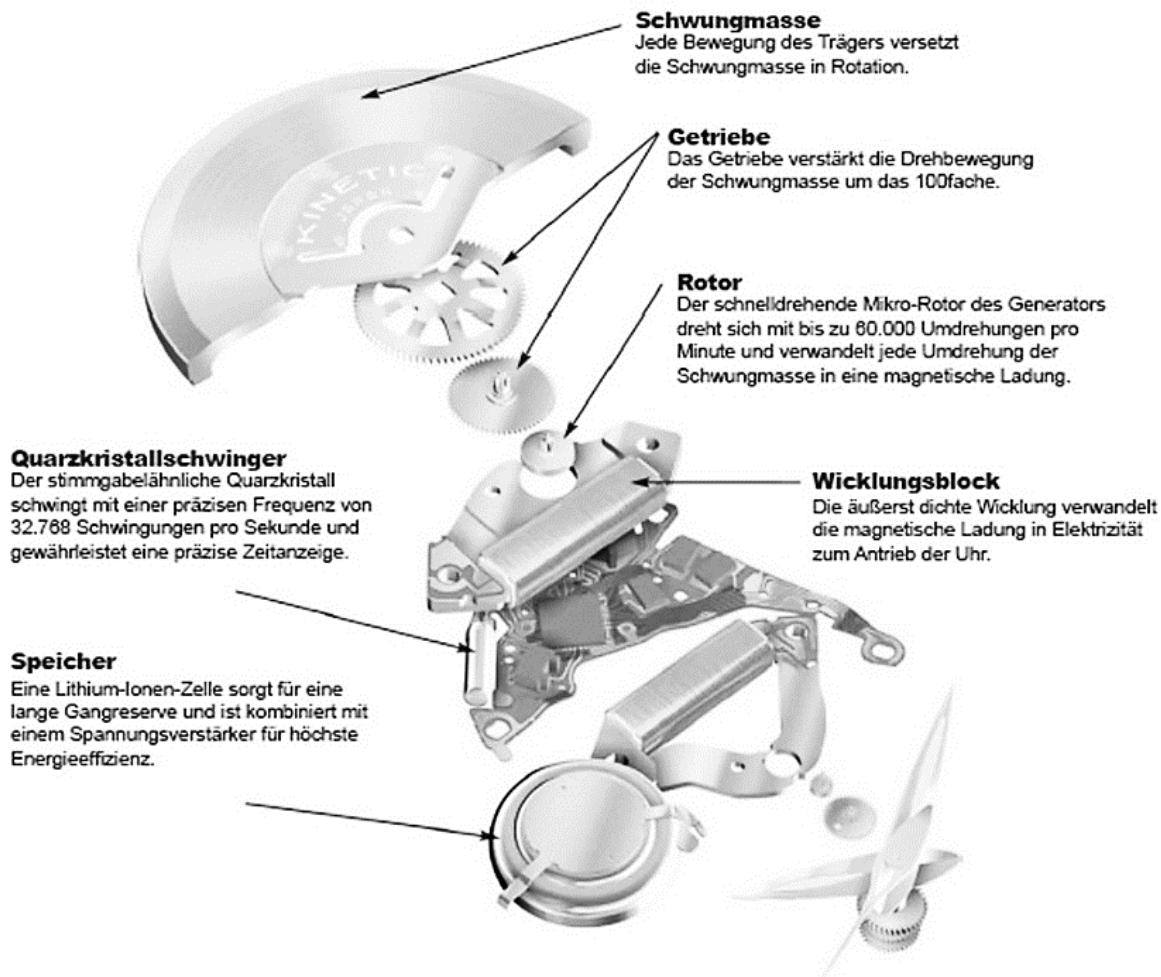


Abbildung 3.2: Elektromechanischer Generator eines Automatikuhwerkes der Firma Seiko
 (aus [8] angelehnt an [6])

3.3 Mechanische Umsetzung

In der praktischen Implementierung bestand das Ziel, den Funktionsnachweis darüber zu erbringen, dass diese Technologie für die autarke Ortung von Werkzeugen geeignet ist. Der dazu erforderliche Versuchsträger wurde zunächst prototypisch entworfen und dann durch 3D-Druck auch praktisch implementiert.

Aufgrund der Bauform, aber auch aufgrund der Bewegungsrichtung bietet sich für die Energiegewinnung eine rotatorische Bewegung an, die beispielsweise durch Schraubendreher umgesetzt wird. Somit muss die Energiegewinnung axial zur Drehrichtung erfolgen.

Im Rahmen der Prototypenerstellung wurden alle Elemente zur besseren mechanischen Handhabbarkeit zunächst in ihren Abmessungen etwas überdimensioniert: Der näherungsweise zylinderförmige Generator mit einem Durchmesser von 27,6mm und einer Tiefe von 4,3mm stellt das größte Bauteil des Harvesting Systems dar. Die Abmessungen des Power Management Systems inklusive des BLE-Moduls betragen 45mm x 25mm x 11mm. Das gesamte System erfordert somit einen zylinderförmigen Raum mit einer Länge von 48,3mm und einem Durchmesser von 27,6mm im Handgriff des Schraubendrehers. Im eingebauten Zustand befinden sich der Generator, das PMIC sowie der BLE-Sender im Handgriff des Schraubendrehers. Abbildung 3.3 zeigt die Anordnung der Komponenten in Rahmen einer Designsimulation, die nachher auch im 3D-Druck umgesetzt wurde.



Abbildung 3.3: 3D-Entwurf des Harvesting- und Übertragungssystems im Schraubendrehergriff

3.4 Übertragungsmodi und energetische Auslegung

Der BLE 4-Sender benötigt einen typischen Strom von ca. $10\mu\text{A}$ im Bereitschaftsmodus und $15,6\text{mA}$ im Sendemodus. Bei einer Betriebsspannung von $3,3\text{V}$ folgt daraus eine Leistungsaufnahme von $33\mu\text{W}$ im Bereitschaftsmodus bzw. 50mW im Sendemodus für das Bluetooth Modul [5].

Die Datenübertragung des Werkzeuges wird im Advertising-Modus ohne weitere Identifikation potenzieller Empfänger betrieben. Der Schraubendreher sendet hier lediglich eine Kennung, die dann von Basisstationen erkannt und geortet wird. Die Länge der Datenpakete ist sehr kurz und beträgt beispielsweise im iBeacon Standard von Apple nur 20 Byte. Bei einer Datenrate von 1Mbit/s ist das System inklusive Einschwingzeiten des Senders ca. $500\mu\text{s}$ aktiv, so dass der Energiebedarf für eine Sendephase ca. $25\mu\text{J}$ bzw. $33\mu\text{J}$ für eine Ruhephase von 1s. Daraus ergibt sich dann auch das in Abbildung 3.1 erwähnte Sendeintervall von 1,5s.

Als Referenz für die Energie, die ein solcher Generator erzeugt, werden überschlägige Berechnungen für Armbanduhren herangezogen: bei durchschnittlichen Armbewegungen werden ca. 400mJ an einem Tag generiert [7, S. 2].

Im normalen Betrieb wird somit eine Aktivitätsdauer von ungefähr 10.000s – entsprechend ca. 4 Stunden – erreicht, wenn ein Datenpaket pro 1,5s zur Ortung ausgesendet wird.

4 Praktische Auswertung der prototypischen Umsetzung

Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurde das System mechanisch entworfen und auf generelle Funktionsfähigkeit hinsichtlich der Ortbarkeit getestet.

Erste Tests mit einem handelsüblichen Kondensator als Energiespeicher ergaben das 50 Umdrehungen des Generators ausreichend sind um einen Kondensator mit einer Kapazität von $470\mu\text{F}$ auf eine Spannung von ca. $1,0\text{V}$ aufzuladen. Laut der Formel für die Energie in einem Kondensator $E = \frac{1}{2}CU^2$ entspricht dies einer Energiemenge von $23,5\text{mJ}$, was als erster Orientierungswert für die Leistungsfähigkeit dieses Systems dienen kann. Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist allerdings durch die Tatsache eingeschränkt, dass die erzeugte Energiemenge auch von der Winkelgeschwindigkeit der Umdrehungen des Schwungrades abhängt und diese sich ohne Hilfsmittel nur schwer konstant halten lässt. Das Aussenden des ersten Bluetooth-Signals ist je nach Winkelgeschwindigkeit, ohne Energiespeicher, nach 60 bis 80 Umdrehungen möglich.

Ortungsalgorithmen selbst wurden in [9] und [10] umgesetzt und weiter implementiert. Die Basis für das Ortungsverfahren ist eine feldstärkebasierte Multilateration, in der die Empfangsfeldstärke P_R ausgewertet und in eine Distanz d nach

$$P_R = A - 10 \cdot n \cdot \log d$$

umgerechnet wird. In der Konstanten A sind dabei alle Antennenübertragungsparameter zusammengefasst und n gibt einen Freiraumübertragungsfaktor an, der mit n = 2 approximiert wird.

Der Grundaufbau sieht vor, dass im Systemverbund stationäre Baken das ausgesendete Signal des mobilen Werkzeuges anhand dessen Identifikationsnummer (ID) orten. Die empfangene Feldstärke wird dann zusammen mit der ID an eine zentrale Auswertungseinheit weitergegeben, wo über die Feldstärken bzw. die sich daraus ergebenen Distanzen eine Position ergibt. Auch wenn in [9] grundsätzlich das umgekehrte Verfahren implementiert wurde – dort haben sich mobile Systeme in Bezug auf stationäre Baken selbst geortet – sind die Messergebnisse vergleichbar: Es hat sich herausgestellt, dass die ermittelten Abweichungen typisch bei deutlich unter 1m liegen. Bei umgebungsbedingten Ausreißern wie Mehrpfadausbreitungen, Abschattungen und deutlichen Luftfeuchtigkeitsänderungen können sich Abweichungen auch im Bereich von 5m bewegen [9, S. 63].

Prinzipiell werden diese Abweichungen als akzeptabel erachtet, da der Hauptanwendungsfall in der Ortung von Gegenständen in großen Produktionsstätten besteht. Damit ist selbst im Fall eines Ausreißers recht genau der Produktionsbereich identifizierbar, in dem zum letzten Mal ein Ortungssignal aufgenommen wurde.

Eine größere Übertragungsreichweite sowie eine bessere Ortungsgenauigkeit lassen sich erzielen, indem viele Werkzeuge oder andere Ortungsteilnehmer zu einem Schwarm zusammengefasst werden. Hierdurch kann eine Multihop-Kommunikation erfolgen, indem Ortungspakete über mehrere Schwarmteilnehmer weitergereicht und über Mehrfachortung plausibilisiert werden. Auf diesen Anwendungsfall wird an dieser Stelle aber nicht im Detail eingegangen, sondern auf weitere Forschungsarbeiten wie beispielsweise in [10] verwiesen.

5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Im Folgenden sollen die Kosten für das Ausstatten eines gewöhnlichen Schraubendrehers mit der vorgestellten Ortungstechnik berechnet werden (siehe Tabelle 5.1). Hierfür wird beispielhaft ein handelsüblicher Schraubendreher gewählt. Die Kosten dafür belaufen sich ca. 20...50€ für Werkzeuge im industriellen Einsatz.

Der Generator kann handelsüblich zu ca. 80€ im Ersatzteilbedarf von der Firma Seiko bezogen werden, wobei davon auszugehen ist, dass es sich hierbei um Endabnehmerpreise handelt. Erfahrungswerte zeigen, dass bei Produktionsstückzahlen von ca. 1000 Stück der Preis um einen Faktor 2...3 sinkt, da hier Mengeneffekte beispielsweise in Form von reduzierten Maschinenrüstzeiten, Logistikaufwendungen oder wegfallende Zwischenhandelsgewinne auftreten.

Tabelle 5.1: Überschlägige Stückkosten zur Wirtschaftlichkeitsberechnung

	prototypische Kosten	Serienstückkosten	
		Einzelstückzahlen	1000er Losgrößen
Schwungmassengenerator	80€	60€	30€
Bluetooth Sender	50€	10€	5€
Harvester		4€	2€
Platine und Bestückung		6€	2€

Für den BLE-Sender sind Kosten von ca. 50€ anzusetzen, wobei zu beachten ist, dass es sich dabei in vorliegenden Fall um ein fertig konfektioniertes Entwicklungssystem handelt. Es ist davon auszugehen, dass sich die Kosten bei einer Eigenentwicklung im Wesentlichen auf die Bauteil- und Bestückungskosten reduzieren. Nach Herstellerangaben¹ belaufen sich die Einzelkosten für den BLE-Sender auf ca. 10€ und für das Harvesting-Modul auf ca. 4€. Zuzüglich Platinen- und Bestückungskosten sowie den Aufwendungen für die Peripheriebeschaltung ist somit von Elektronikkosten in Höhe von ca. 20€ auszugehen. Es bleibt zu beachten, dass ähnliche Preisentwicklungen ebenfalls durch Skalierungseffekte wie oben dargestellt erreicht werden können.

Damit ist bei Einzelstückzahlen davon auszugehen, dass Zusatzkosten von ca. 100€ auftreten, die bei Mengeneffekten von ca. 1000 Stück auf voraussichtlich unter 50€ sinken.

Wenn von Stundenkosten für Montagearbeiter von 20€ ausgegangen wird, so tritt eine Wirtschaftlichkeit des Systems schon dann ein, wenn über die Lebenszeit des Werkzeuges

- 1 bis 2 Ersatzbeschaffungen oder
- 2 bis 3 Suchstunden

vermieden werden können. Nicht berücksichtigt wurden verbundene Kosten, wie beispielsweise ein kurzzeitiger Stillstand der Produktion, die eine Wirtschaftlichkeit nochmal verbessern können.

Grundsätzlich kann somit die Möglichkeit der Wirtschaftlichkeit angenommen werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass die Integration eines selbstversorgenden, mobilen Sensorknotens in ein Werkzeug für dessen Ortung technisch möglich ist, ohne den Nutzen des Werkzeugs dabei einzuschränken. Hierfür kann beispielsweise Bluetooth-Low-Energy (BLE) zur funkbasierten Ortung eingesetzt werden. Die Energieerzeugung erfolgt durch einen Mikrogenerator mit einer Schwungmasse, die über einen elektrischen Generator Energie erzeugt und in einem Kondensator zwischenspeichert. Dadurch sind eine elektrische Funktion und eine Ortung auch noch nach längerer Inaktivität möglich. Die Ortung selbst erfolgt über Laterationsverfahren auf Basis der Feldstärkedämpfung über fest installierte Empfänger in der Infrastruktur.

Durch den Bau des Prototyps konnte gezeigt werden, wie in Zukunft eine automatisierte Fertigung durch autarke Indoor-Ortung unterstützt werden kann. Die Anwendung dieser Technik lässt sich durch kleine Anpassungen möglicherweise auch auf andere Applikationsfelder übertragen. So sind Einsatzmöglichkeiten dieser Technik überall dort denkbar, wo die drahtlose Ortung eines bewegten Signalträgers (IoT) wünschenswert ist und die vorhandene kinetische Energie sich für ein Bewegungs-Harvesting qualifiziert. Eine Erhöhung der Effizienz des Systems ist für den massentauglichen Einsatz allerdings sehr zu empfehlen.

In der Weiterentwicklung dieses Systems werden die Werkzeuge dann auf das Prinzip der Schwarmortung [10, 11] erweitert. Damit sind unter Verdopplung des Energiebedarfes bei gleichen Rahmenbedingungen physikalisch unlimitierte Reichweiten sowie eine präzisere Positionsbestimmung durch eine Fehlerminimierung in einem mathematisch überbestimmten System möglich.

Der Harvester wird durch die Modifikation der Schwungmasse, der Rückholfeder sowie des Generators selbst auf die Schwingungsfrequenzen des Anregungssystems mit dem größten

¹ <http://www.mouser.de/Search/Refine.aspx?Keyword=CYBLE-022001-00>

Energieinhalt optimiert. Zudem werden auch mikromechanische Generatorprinzipien in die Be- trachtung einbezogen werden.

7 Literatur

- [1] „Joules“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.joules-project.eu/Joules/technologies/storage_distribution_electrical_convertors. [Zugegriffen: 10-Sep-2016].
- [2] C. Moser: Power management in energy harvesting embedded systems. Dissertation, ETH Zürich, 2009.
- [3] R. Nattermann, R. Anderl: The W-Model – Using Systems Engineering for Adaptronics. Procedia Comput. Sci., Bd. 16, S. 937-946, 2013.
- [4] STMicroelectronics: EnFilmTM - rechargeable solid state lithium thin film battery - en.CD00270103.pdf. Juni 2014.
- [5] Cypress Semiconductor: „CYBLE-022001-00 - EZ-BLETM PRoCTM Module“. 02- Sep-2016.
- [6] „Kinetic | Our clean energy watches | SEIKO WATCH CORPORATION“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.seiko-cleanenergy.com/watches/kinetic-1.html>. [Zugegriffen: 10-Sep-2016].
- [7] Kinetron (Hrsg.): „The Micro Generating System for a Watch“.
- [8] „Seiko: Kinetic Jubiläum“, Das Uhren Portal: Watchtime.net, 19-Aug-2013. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.watchtime.net/promotion/top-themen/seiko-kinetic-jubilaeum/>. [Zugegriffen: 10-Sep-2016].
- [9] L. Bornholdt: Bachelorarbeit - Konzeption, Berechnung und Implementierung eines Bluetooth-Low-Energy Indoor Ortungssystems. Mai 2016.
- [10] M. Monecke: Entwurf eines Kommunikationsprotokolls für ein Niedrigstenergie-Schwarmortungsverfahren. Bachelor Thesis, Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg, Hamburg, 2016.
- [11] V. Skwarek, M. Monecke: Niedrigstenergie-Ortungsverfahren nach dem Prinzip der Schwarmintelligenz. VDE-IoT-Konferenz 7.-8.11.2016, Mannheim.

Exoskelettale Wirbelsäulenstruktur zur Aufnahme und Umleitung von Kräften zur Rückenentlastung

T. Meyer, R. Weidner

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Tobias.Meyer@hsu-hh.de, Robert.Weidner@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

In diesem Beitrag wird ein exoskelettaler Ansatz zur Realisierung eines körpergetragenen Unterstützungssystems vorgestellt. Dieser besteht aus einer vielgliedrigen exoskelettalen Wirbelsäule, um den Rücken des Trägers im Bedarfsfall kräftetechnisch zu unterstützen, ohne den Bewegungsfreiraum einzuschränken. Dazu werden zunächst die Eigenschaften und das Bewegungsverhalten der Wirbelsäule behandelt und daraus konstruktive Anforderungen an ein entsprechendes System abgeleitet. Anschließend werden zwei alternative Lösungsansätze und deren Funktionsmuster vorgestellt, sowie generelle Aspekte der Systemgestaltung erörtert. Zuletzt werden mehrere Anwendungsszenarien aus Beruf und Alltag diskutiert, in welchen das System eingesetzt werden kann.

Abstract

“Exoskeletal spine structure for receiving and redirection forces to back relief”

This paper presents an exoskeletal approach for realizing a wearable support system. It consists of a multi-unit exoskeletal spine to support the back of the user without limiting the range of motion. First of all the properties and the movement behavior of the spine are introduced and main design requirements of the corresponding system will be determined. Then two alternative approaches and their functional models are presented. General aspects of the system design are discussed. Recently several application scenarios of business and everyday life are introduced, in which the system can be used.

Keywords: Exoskelettales System, Lasthandhabung, Wirbelsäule, Unterstützungssystem

1 Einleitung

In Zeiten des demographischen Wandels besteht eine der großen Herausforderungen der Gegenwart und Zukunft in der Bewältigung des steigenden Durchschnittsalters der Bevölkerung. Aufgaben, wie etwa das Handhaben körpereigener und externer Lasten, stellen viele junge und ältere Angestellte produzierender und logistischer Betriebe vor Herausforderungen. Junge Arbeitnehmer sollten präventiv unterstützt werden, um das Risiko für Erkrankungen am Muskelskelett zu reduzieren. Ältere Arbeitnehmer sind häufig aufgrund körperlicher Einschränkungen nicht mehr in der Lage, die Aufgaben in gleicher Quantität und Qualität zu erfüllen, wie es etwa jüngere Angestellte sind. Die Ursachen und Arten physischer Einschränkungen sind manigfaltig, jedoch dominieren Einschränkungen, die aus dem menschlichen Alterungsprozess heraus entstehen („natürliche“ Entwicklung von Einschränkungen), sowie Einschränkungen, die durch einem vorzeitigen muskuloskelettalen Verschleiß aufgrund von unergonomischen Tätigkeiten bedingt sind. Eines der am häufigsten auftretenden Krankheitsbilder sind Rückenbeschwerden

[1]. Oft sind diese Beschwerden auf zwei Ursachen zurückzuführen: Die muskuloskelettale Überlastung des Rückens durch unergonomische Handhabung von Lasten (zu schwer oder falsch/ungünstig zu heben) sowie durch längerfristig falsche Körperhaltungen im Alltag [2]. Ein möglicher Ansatz ist der Einsatz von automatisierten Lösungen, um durch die Abnahme von Tätigkeiten den Menschen zu entlasten. Jedoch existieren in vielen Industriezweigen Tätigkeiten, für deren Verrichtung ein menschlicher Mitarbeiter unabdingbar ist (z.B. aufgrund seiner besonderen kognitiven Fähigkeiten). In diesen Fällen kommen unterstützende Systeme zum Einsatz, um bspw. die ergonomischen Bedingungen zu verbessern. Diese sollen es ermöglichen manuelle Tätigkeiten über einen längeren Zeitraum in einer gleichbleibenden Qualität verrichten zu können, ohne langfristige Schäden in Form von muskuloskelettalen Erkrankungen zu erleiden. Diese „Unterstützungssysteme“ können vielerlei Formen besitzen wie z.B. Hubwagen oder stationäre Balancer-Systeme [3]. Eine engere Interaktion (eher schon charakterisiert durch eine Integration in einem hybriden System) weisen exoskelettale Systeme auf, wie z.B. das System HAL zur Ganzkörperunterstützung von Cyberdyne [4], das Bein-Exoskelett zur Unterstützung von Gangbewegungen von ReWalk [5], das Lucy-System für die Unterstützung manueller Tätigkeiten in oder über Kopfhöhe [6] oder ein Papier-Lamellensystem, dass sich in die menschliche Kleidung integrieren lässt [7]. Bei derartigen Systemen wird der Torso in Längsrichtung i.d.R. von einer steifen oder halbsteifen Struktur, welche vornehmlich parallel zur menschlichen Wirbelsäule angebracht ist, zur Lastumleitung überspannt. Diese Rückenstrukturen bilden, sofern sie dies überhaupt realisieren können, die Bewegungsmöglichkeiten des menschlichen Torsos (bzw. die der Wirbelsäule) nur unvollständig nach, sodass es zwangsläufig zu Einschränkungen bei gewissen Oberkörperbewegungen kommt (z.B. frontale und laterale Flexion der Wirbelsäule). Auch steht die Unterstützung des Rückens bei derartigen Systemen zumeist nicht im Fokus, sondern vielmehr wird die Struktur zur einfachen Umleitung von Kräften genutzt. Entsprechende Systeme unterstützen den Nutzer meist bei der Handhabung von externen Lasten sowie bei der Verbesserung der Mobilität (Kraftsteigerung), i.d.R. aber nicht bei der Bewältigung des eigenen Körpergewichts. Da der Rücken aber das komplette Eigengewicht des Oberkörpers und der oberen Extremitäten trägt, ist eine direkte Unterstützung der Rückenfunktionen sinnvoll und, sofern bereits ein entsprechender Rückenschaden eingetreten ist, notwendig. Im vorliegenden Beitrag werden beschriebene Defizite aktueller Systeme aufgegriffen und ein exoskelettaler Ansatz zur Unterstützung der menschlichen muskuloskelettalen Wirbelsäulenstruktur sowie dessen aktueller Umsetzungstand aufgezeigt.

2 Grundlagen

Die Wirbelsäule ist die strukturelle Basis des menschlichen Körpers. Sie stellt das Bindeglied zwischen Kopf, den Armen und den Beinen dar. Zudem überträgt sie die Kräfte zwischen diesen Körperbereichen. Die Wirbelsäule besteht aus insgesamt 24 freien Wirbelkörpern, welche über 25 sogenannte Bewegungssegmente untereinander und an ihren Enden verbunden sind. Diese Bewegungssegmente befinden sich zwischen zwei Wirbelkörpern und bestehen aus Zwischenwirbelscheibe (Discus intervertebralis, auch „Bandscheibe“), paarigen Wirbelbogenge lenken (Artt. zygapophysiales), dem Bandapparat und den die Wirbel überspannenden Muskeln. [8].

Die benachbarten Wirbel besitzen einen relativen Drehpunkt zueinander, der zwischen dem Dornenfortsatz und der Zwischenwirbelscheibe auf Höhe des Bewegungssegments zwischen zwei Wirbelkörpern liegt. Die relative Lage des Dreiecks zu den Wirbelkörpern, welcher

auch als Momentanpol der Wirbelkörper bezeichnet werden kann, wird hier in gewissen Grenzen als weitgehend konstant angenommen. [9]

Da die relativen Drehpunkte der Wirbel und somit auch die neutrale Faser der Wirbelsäule innerhalb des Wirbelsäulenvolumens liegen, kommt es bei einer Flexion des Rückens auf der Rückseite der Wirbelsäule zu einer Abstandsänderung der einzelnen Wirbel (bzw. deren Dornfortsätze) zueinander und somit zu einer effektiven Längung des Rückens. Nach Messungen von Schober und Ott [8] (siehe Abbildung 2.1) mit auf die Haut aufgebrachten Markern beträgt diese Distanzzunahme in der Lendenwirbelsäule in Summe etwa 5 cm. Gemessen wurde von einem auf dem Dornfortsatz des S1-Wirbels liegenden Punkt und einem zweiten 10 cm kranial gelegenen Punkt. Die Distanzzunahme über den Bereich der Brustwirbelsäule lässt sich zwischen einem Punkt auf dem Dornfortsatz des siebten Halswirbels (C VII, Vertebra prominens) und einem 30 cm abwärts gelegenen Punkt messen. Bei maximaler Vorneigung kommt es zwischen diesen Punkten zu einem Längenzuwachs von bis zu 8 cm. Somit tritt bei einer Flexion des Rückens eine Längenzunahme von etwa 13 cm auf. Die tatsächliche Längenzunahme ist dabei von der individuellen Körpergröße der Person abhängig. [8]

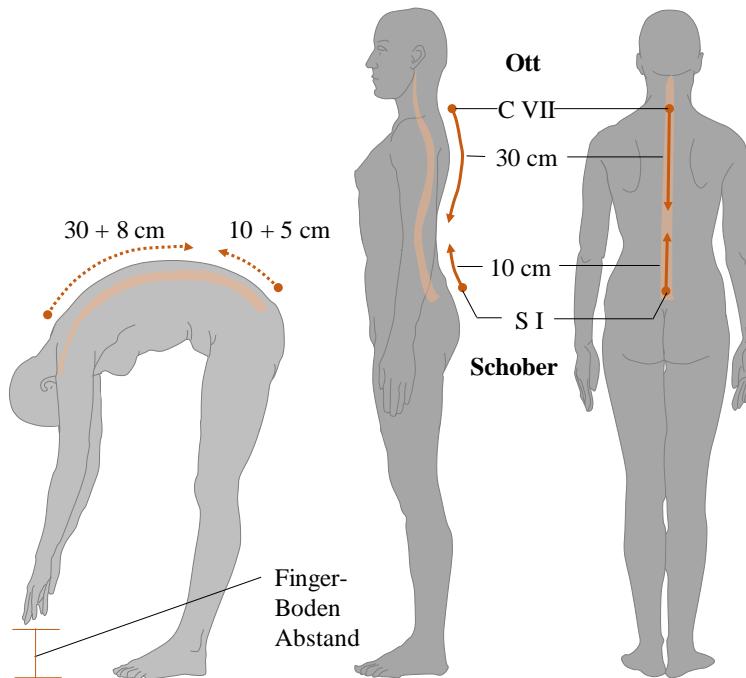


Abbildung 2.1: Messung der Ventralflexion von Brust- und Lendenwirbelsäule nach Schober und Ott [8]

Die somit vorliegenden konstruktiven Randbedingungen wirken sich unmittelbar auf die Gestaltung anziehbarer Unterstützungssysteme aus. Eine zentrale Herausforderung bei der Entwicklung, insofern es Systeme sind, die zur Funktionserfüllung ortsfest am menschlichen Körper befestigt werden sollen, liegt in der systemseitigen Realisierung der Änderung der Rückenlänge bei Beugevorgängen.

3 Ansatz zur Realisierung

Ein System, welches eine mechanische Parallelstruktur der Wirbelsäule darstellt, muss nicht nur eine auf das Maß der Ventralflexion abgestimmte Längung aufweisen, sondern zusätzlich die Lateralflexion und die Rotation um die Hochachse des Körpers zulassen. Auf diese Weise

können zum einen unnötige durch das System verursachte Zugspannungen über die exoskelettale Wirbelsäule vermieden und zum anderen ein uneingeschränkter Bewegungsfreiraum für den Nutzer gewährleistet werden. Des Weiteren müssen die Kräfte vom System auf den Körper des Nutzers im Grundzustand so gering wie möglich gehalten werden, um das natürliche Bewegungsmuster des Nutzers nicht zu verfälschen. Gewünscht ist daher eine auf dem Rücken des Nutzers angeordnete exoskelettale Struktur, deren einzelne Glieder relativ ortsfest zu den darunter liegenden Rückenwirbeln sind, die dem Nutzer die volle Bewegungsfreiheit des Oberkörpers erlaubt und ihn nicht durch ungewollte Systemkräfte in seinen Bewegungen beeinflusst. Gleichzeitig soll das System im Bedarfsfall den Rücken des Nutzers durch gezielte Krafteinleitung in den Oberkörper unterstützen können. So kann der Oberkörper etwa in vorgebeugter Haltung durch eine über die Anbindung des Systems erfolgende, vorderseitige Krafteinleitung gestützt und somit der Rücken entlastet werden. Ein Lösungsansatz inkl. Wirkprinzip stellt die in Abbildung 3.1 dargestellte vielgliedrige Exostruktur in Form einer exoskelettalen Wirbelsäule dar – A mit gerader und B mit gebeugter Wirbelsäule. Die einzelnen Exo-Wirbelkörper sind so miteinander verbunden, dass sie sich auf einer gemeinsamen Kreisbahn gegeneinander bewegen. Die exoskelettale Struktur ist modular aufgebaut. Sie besteht aus seriell angeordneten Elementen, die eine definierte Verbindung besitzen. Über einen Schlitten, der in einer Führungsbahn geführt wird, ist eine relative Verschiebung möglich. Die Gestaltung des Schlittens und insbesondere der Führungsbahn beeinflusst maßgeblich das Bewegungsmuster. Durch eine geometrische Veränderung lässt sich der Momentanpol anpassen.

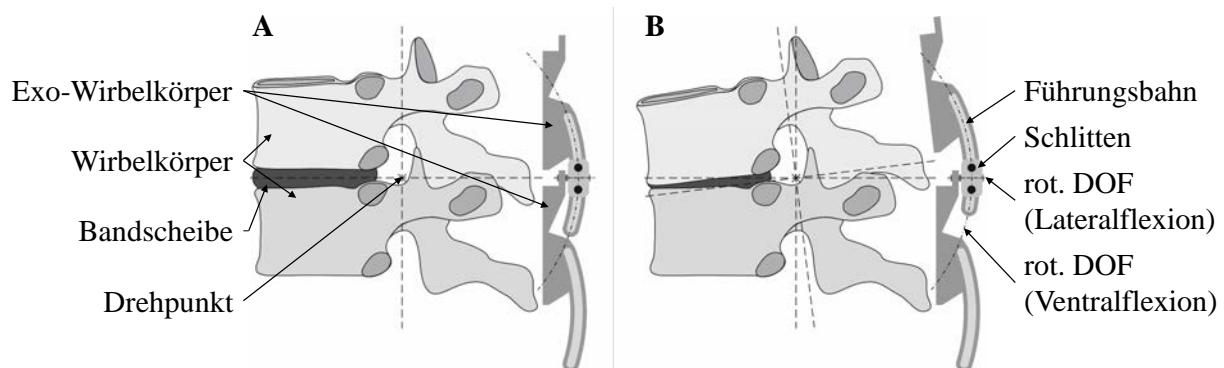


Abbildung 3.1: Drehpunkt-synchrone Anordnung der Exo-Wirbelkörper

Der somit vorliegende, außermittige rotatorische Freiheitsgrad zwischen zwei Exo-Wirbelkörpern führt bei einer Winkelveränderung auch zu einer translatorischen Abstandsänderung zwischen den Exo-Wirbeln. Abstands- und Winkelveränderung sind dabei proportional. Der Mittelpunkt des Kreisbogens, auf dem sich zwei benachbarte Exo-Wirbel bewegen (Momentanpol der Exo-Wirbel) ist Deckungsgleich mit dem rotatorischen Zentrum der korrespondierenden, darunter liegenden menschlichen Wirbelkörper. Die exoskelettale Wirbelsäule erfährt durch dieses mechanische Verhalten bei einer Ventralflexion des Rückens eine Längung, die der Längung des Rückens des Nutzers entspricht. Durch diese Bewegung verbleibt das System ortsfest auf dem Rücken des Trägers, ohne diesen durch Kräfte zu beeinflussen. Lateralflexion sowie Torsionsbewegungen des Torsos werden durch einen weiteren rotatorischen Freiheitsgrad ermöglicht, dessen Rotationsachse in der Ebene des zuvor erwähnten Kreisbogens liegt, und durch den Mittelpunkt desselben verläuft.

4 Systembeschreibung

Das vorgestellte Konzept und die nachfolgend beschriebenen Funktionsmuster sind als modulare und erweiterbare Systemplattformen konzipiert. Ausgehend von der zentral gelegenen exoskelettalen Rückenstruktur soll das System neben der bloßen Rückenunterstützung auch als Basis für unterschiedliche Anbauten und Erweiterungen dienen mit denen z.B. Arme und/oder Beine unterstützt werden können. Das Gesamtsystem soll durch seinen modularen Aufbau sowohl gesamttheitlich als auch bzgl. seiner Komponenten durch den Austausch einzelner Systemmodule (z.B. über eine austauschbare Körperanbindung) optimal an den Nutzer und die zu bewältigende Aufgabe angepasst werden können. Um ein System zu konstruieren, welches die im vorherigen Kapitel genannten mechanischen Anforderungen bezüglich einer flexionsabhängigen Längung und Stauchung erfüllt, sind mehrere konzeptionelle Ansätze möglich. Zwei grundlegend unterschiedliche Herangehensweisen lassen sich hiervon ableiten:

- Annahme hoher Ortsfestigkeit des relativen Drehpunktes zwischen zwei Wirbeln, sowie
- Annahme eines Drehpunktes, der während der Flexion des Rückens einer örtlichen Verlagerung unterworfen ist, also in begrenztem Maß zwischen den Wirbeln wandert.

Ansatz 1: Ortsfester Drehpunkt

Der erste Ansatz setzt voraus, dass die relativen Drehpunkte aneinander grenzender Rückenwirbel eine hohe relative Ortsfestigkeit aufweisen, die örtlichen Abweichungen des relativen Wirbeldrehpunktes verglichen mit dem Abstand zur exoskelettalen Wirbelsäule also vernachlässigbar klein ist. Daher wird bei diesem Ansatz der Drehpunkt zwischen zwei Wirbeln zur Vereinfachung als ortsfest angenommen. Ein ortsfester Drehpunkt bzw. eine ortsfeste Drehachse stellt den konstruktiven Idealfall da. Zwar lässt sich zur Realisierung der Exostruktur kein Scharniergelenk nutzen, da in diesem Fall die Drehachse des Gelenks nicht mit dem Drehpunkt der darunter liegenden Wirbel in Deckung gebracht werden kann (Drehpunkt liegt innerhalb des Wirbelsäulenvolumens und ist daher nicht zugänglich). Allerdings kann eine Überdeckung realisiert werden, wenn die auf den Rücken aufgebrachte Exo-Struktur relative Drehpunkte außerhalb ihres eigenen Volumens besitzt, und diese wiederum mit den relativen Drehpunkten der Wirbelkörper in Deckung gebracht werden können.

Realisieren lässt sich ein solcher außerhalb gelegener Drehpunkt über die gegenseitige Führung zweier benachbarter Exo-Wirbelkörper (im Folgenden bezeichnet als Wirbelkörper 1 und 2) mit mindestens je zwei Kontaktstellen auf einer gemeinsamen Kreisbahn. Zur Erzeugung einer solchen „Kreisbogenführung“ sind verschiedene Ansätze möglich, wie etwa das Führen von zwei mit Exo-Wirbelkörper 1 verbundenen Stiften/Zapfen in einer kreisbogenförmigen Nut von Exo-Wirbelkörper 2. Alternativ ist die Nutzung eines kleineren zapfenförmigen Kreisbogen-elements an Exo-Wirbelkörper 1 möglich, welches ebenfalls in einer größeren, kreisbogenförmigen Nut von Exo-Wirbelkörper 2 läuft. Der Radius und die Lage des Führungs-Kreisbogens muss dabei so gewählt werden, dass der Mittelpunkt (in welchem die Momentanpole beider Exowirbelkörper liegen) des Kreisbogens beim Aufsetzen des Systems auf den Rücken des Trägers deckungsgleich mit dem Drehpunkt der darunter liegenden Wirbel ist. Aufgrund individueller körperlicher Unterschiede und einer daraus resultierenden Tiefenabweichung der Rückenwirbel-Drehpunkte muss das System so gestaltet sein, das sich die Elemente der Exo-Wirbel, welche die Führungsbahnen enthalten, individuell austauschen lassen. So lassen sich über eine Anpassung des Radius des Führungskreisbogens Drehpunkte der Exo-Wirbel in unterschiedlichen Körpertiefen realisieren. Die Anpassung des Systems an den Nutzer erfolgt bei diesem Prinzip zunächst über eine Auswahl der Führungselemente nach Augenmaß und eine

anschließende Optimierung des Systemverhaltens durch einen gezielten Austausch einzelner Führungselemente. Abbildung 4.1 zeigt ein Funktionsmuster für diesen Ansatz, bestehend aus sechs Exo-Wirbelkörpern, welche in Reihe miteinander verbunden sind und auf einem Kreisbogen gegeneinander geführt werden. Der ortsfeste Drehpunkt der Exo-Wirbelpaare, welcher auch den Mittelpunkt des Kreisbogens darstellt, liegt bei diesem Funktionsmuster 40 mm unterhalb der Kontaktfläche der Exo-Wirbel mit dem Nutzer (Durchmesser des Führungsbogens somit 80 mm). Dadurch liegt der Mittelpunkt auf einer Tiefe im Rücken, auf welcher die Drehpunkte der Rückenwirbel liegen.

Die Führungen der Exo-Wirbel bestehen aus zwei deckungsgleich verlaufenden Nuten, in denen zwei parallel verlaufende, zu einander versetzte Führungsstifte laufen (gleitend gelagert). Diese Stifte, die den Exo-Wirbeln ihr definiertes Drehverhalten verleihen (für Ventralflexion), sind in einem Schlitten montiert, welcher über ein weiteres Lager mit einem rotatorischen Freiheitsgrad mit dem benachbarten Exo-Wirbel verbunden ist. Dieser Freiheitsgrad, dessen Rotationsachse stets zum Mittelpunkt des Führungskreisbogens zeigt, erlaubt der Exo-Wirbelsäule die Nachempfindung von durch den Nutzer ausgeführten Lateralflexionen. Aus fertigungstechnischen Gründen wurden zunächst Exo-Wirbel gefertigt, die größer sind als die Rückenwirbel, wodurch je Exo-Wirbel etwa zwei Rückenwirbel überspannt werden. Erste Vorversuche haben gezeigt, dass das System dennoch die erwartete Funktionalität (also das rückensynchrone Verlängern der Exo-Struktur) in einem ausreichenden Maß gewährleistet. Die Aktuierung der Rückenwirbel erfolgt zunächst über Bowdenzüge. Als an die Bowdenzüge angebundene Aktoren dienen pneumatische Muskeln, da sich deren Kontraktion gut über den angelegten Luftdruck steuern lässt.

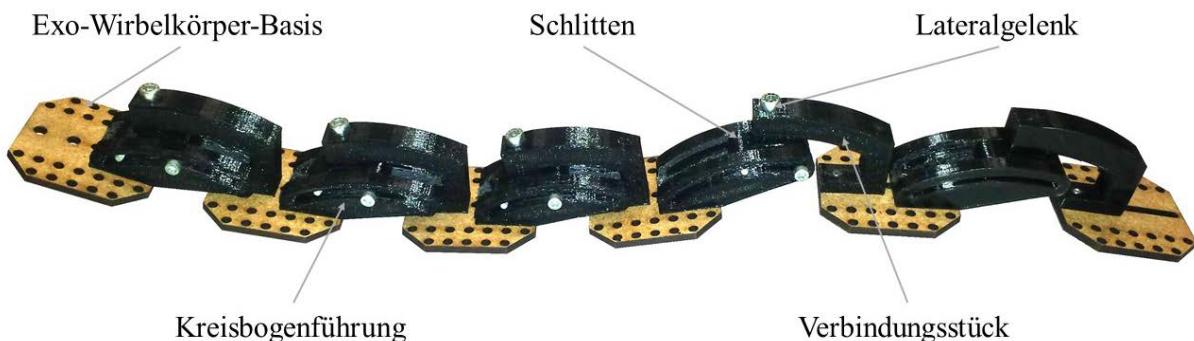


Abbildung 4.1: Exoskelettale Wirbelsäule mit Kreisbogenführung - ohne Aktuatoren

Ansatz 2: Wandernder Drehpunkt

Wird entgegen des ersten Ansatzes ein Drehpunkt angenommen, der sich über den Verlauf der Rückenflexion verlagert (wenn die Positionsabweichung nicht klein gegenüber dem Abstand des Drehpunktes zur Exostruktur ist), so ist eine Exostruktur zu bevorzugen, welche ihrerseits zwischen ihren einzelnen Elementen Drehpunkte besitzt, welche sich über die Winkelbewegung auf die gleiche Weise definiert verlagern. Somit kann gewährleistet werden, dass die Drehpunkte zwischen den Rückenwirbeln und den Exo-Wirbeln trotz örtlicher Verlagerung über den Verlauf der Rückenflexion deckungsgleich bleiben.

Um einen definiert wandernden Drehpunkt (Momentanpol) realisieren zu können, muss Exo-Wirbel 1 (hier als räumlich mobil angenommen, dabei aber relativ ortsfest zum Rückenwirbel) mit je einem Führungspunkt auf zwei unterschiedlichen Bahnen gegen Exo-Wirbel 2 (hier als

räumlich ortsfest angenommen) geführt werden. Die Führungsbahnen müssen so gewählt werden, dass der resultierende Momentanpol von Exo-Wirbel 1 während der Rückenflexion deckungsgleich mit dem Drehpunkt der korrespondierenden Wirbelkörper bleibt. Abbildung 4.2 zeigt ein Funktionsmuster für den zweiten Ansatz, welches über mehrere Führungsbahnen und zugehörige Führungsstifte ein Rotationsverhalten mit wanderndem Momentanpol erzeugt. Die Führungsbahnen sind in zwei parallel stehende Platten der Exo-Wirbel eingebracht, zwischen denen das Verbindungselement des benachbarten Exo-Wirbels mit seinen zwei Führungsstiften sitzt. Um das Wanderverhalten des Momentanpols nachträglich anpassen zu können, sind die Führungsplatten austauschbar gestaltet, so dass Platten mit anderen Führungsbahnverläufen eingesetzt werden können. Dadurch dass sich über die beschriebene Führungstechnik komplexe Momentanpolverläufe realisieren lassen, ist dieser Ansatz auch geeignet, um eine größere Anzahl an Rückenwirbeln mit nur einem Exo-Wirbel zu überspannen und dennoch das Bewegungsverhalten des Rückens so nachzubilden, dass keine Einschränkung der natürlichen Beweglichkeit auftreten.

Die Winkelveränderung zwischen den einzelnen Exo-Wirbelkörpern resultiert, wie beim vorherigen Ansatz auch aus einer aktuierten Kontraktion der Exo-Wirbelkörperanordnung. Die Führungsbahnen zwingen die Anordnung dabei in eine dem Maß der Kontraktion zugehörige Winkelstellung. Der Aufbau verfügt über einen weiteren, rotatorischen Freiheitsgrad, welcher eine Lateralflexion des Rückens ermöglicht. Als Aktoren wurden bei dem vorliegenden Funktionsmuster pneumatische Muskeln verwendet. Diese sind beidseitig angeordnet und überspannen den Spalt zwischen den Exo-Wirbeln. Auf diese Weise kann der Rücken über die zwei Aktoren sowohl bei der Ventralflexion als auch bei der Lateralflexion unterstützt werden, indem entweder der rechte, der linke oder beide pneumatischen Muskeln angesteuert werden.

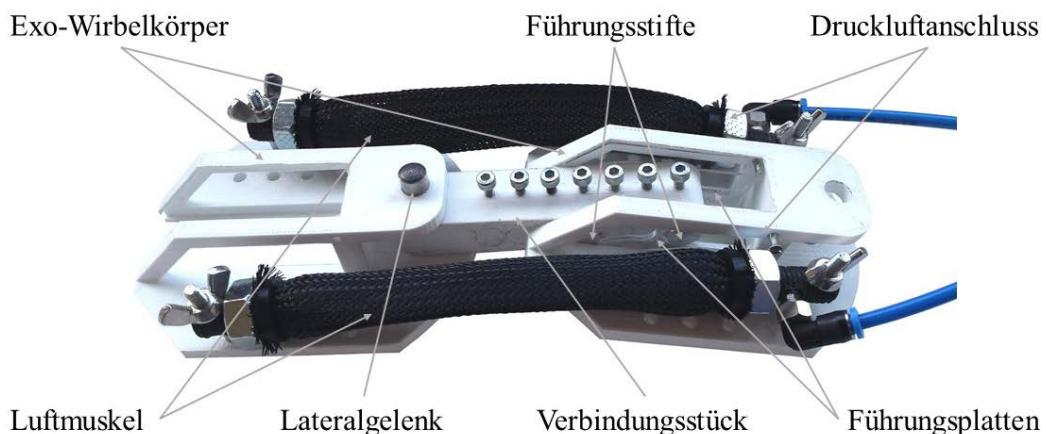


Abbildung 4.2: Exoskelettale Wirbelkörper für komplexe Momentanpol-Trajektorien

Aktuierung

Beide der vorgestellten Funktionsmuster greifen zurzeit auf einen luftmuskelbasierten Antrieb zurück. Dieser kann auf kleinem Raum große Kräfte erzeugen, bietet aber gleichzeitig im aktiven Zustand noch genügend Restflexibilität, um einen hohen Trage- und Anwendungskomfort des Systems zu gewährleisten. Über dies besteht der Luftmuskelaktuator überwiegend aus weichen, flexiblen Elementen, was einen unkomplizierten Einbau und Betrieb in den Bereichen der Exostruktur ermöglicht. Des Weiteren ist die Verwendung weicher Aktuatoren von Vorteil, da die Exostruktur stärkeren Dehn- und Biegebewegungen unterworfen ist. Aber auch andere

elektrische, pneumatische und hydraulische Aktuatorssysteme sind denkbar. Da eine modulare Gestaltung des Systems angestrebt wird, in der auch die Aktoren austauschbar sein sollen, kann eine anwendungskontextabhängige Auswahl des Aktuatorprinzips erfolgt (z.B. elektrisch bei mobilem Einsatz des Systems, pneumatisch bei Einsätzen in Werkstätten mit Druckluftversorgung).

Die Aktuierung der Exostruktur kann dezentral zwischen den einzelnen Exo-Wirbelkörpern erfolgen oder alternativ zentralisiert werden, wobei die erzeugten Kräfte aus einer zentralen Aktoeinheit z.B. über Bowdenzug an die nötigen Stellen geleitet werden. Des Weiteren lassen sich alle Wirbel einzeln oder in Gruppen aktuieren, was bei Wirbelgruppen sinnvoll ist, die zeitgleich ein ähnliches Bewegungsmuster aufweisen. Außerdem lässt sich über die gruppierte Aktuierung mehrerer Exo-Wirbel die System- und Steuerungskomplexität maßgeblich reduzieren.

Anbindung

Die Anbindung des Systems an den Oberkörper des Nutzers kann auf verschiedene Arten erfolgen. Zu differenzieren ist hierbei grundsätzlich zwischen Hartschalen-Lösungen, welche auf steife Strukturelemente zurückgreifen (z.B. eine den Oberkörper umschließende und zum Erhalt der Bewegungsfreiheit segmentierte Hülle, ähnlich einem „exoskelettalen Brustkorb“) und weichen Anbindungen. Bei letzteren kann es sich etwa um ein Kleidungsstück z.B. in Form einer Jacke oder Weste handeln, welche aus einem ausreichend stabilen, eng anliegenden Textil besteht. Das Textil muss in der Lage sein vom System verursachte Zugkräfte zu übertragen und in den Oberkörper einzuleiten sowie die Möglichkeit bieten, das System rückenseitig zu integrieren, um es beim Anlegen des Textils deckungsgleich über der Wirbelsäule positionieren und fixieren zu können. Die Gestaltung der Anbindung kann vielfältig erfolgen, jedoch müssen die Beweglichkeit und eine gleichmäßige Krafteinleitung in den Oberkörper gewährleistet werden.

Systemkontrolle

Für die Steuerung des Systems durch den Nutzer bestehen ebenfalls mehrere Möglichkeiten. Abhängig von der Art der mit dem System zu verrichtenden Aufgabe ist eine manuelle Kontrolle des Systems denkbar, bei der das System auf Knopfdruck bestimmte Unterstützungsfunctionen bietet (z.B. Rücken stabilisieren oder aufrichten). Dieser Form der manuellen Bedienung steht die Ausstattung des Systems mit einer rudimentären Intelligenz gegenüber, welche basierend auf Messwerten von in das System integrierten Sensoren (z.B. EMG-Sensoren oder Kraftsensoren) die Arbeitssituation und die Nutzerintention erkennt und den Nutzer bei seinen Tätigkeiten bedarfsgerecht unterstützt.

5 Anwendungsszenarien

Eine Exostruktur, die die oben beschriebenen Eigenschaften besitzt, ist für eine Vielzahl von Anwendungszenarien aus den unterschiedlichsten Bereichen geeignet. Zu diesen zählen beispielsweise industrielle Anwendungen aus der Produktion und Montage mit manuellen Tätigkeiten, bei denen Lasten im Zusammenhang mit einer unergonomischen Haltung des Oberkörpers gehandhabt werden müssen (z.B. Einbau von Autositzen). Auch Anwendungen aus dem Bereich des Gebäudebaus sind vorstellbar, da dort ebenfalls zahlreiche Tätigkeiten vorhanden sind, welche in einer gebeugten Körperhaltung ausgeführt werden (z.B. Maurer).

Neben der Anwendung im industriellen Umfeld besteht im Bereich der Pflege großer Bedarf an einer den Rücken unterstützenden Exostruktur. Pflegekräfte, welche etwa Patienten umbetten müssen, sind starken, bisweilen gesundheitsschädlichen Belastungen des Rückens ausgesetzt. Ein System zur Rückenentlastung und Steigerung der physischen Kräfte des Pflegepersonals könnte hierbei Abhilfe schaffen. Aber auch auf Patientenseite bietet eine exoskelettale Rückenstruktur großes Potential, etwa als Patienten unterstützendes System im Rahmen von Rehamabnahmen z.B. nach einer Rückenverletzung. Auch Personen, welche durch eine Lähmung die Kontrolle über Ihre Rückenmuskulatur verloren haben, können von einem derartigen System profitieren, eine geeignete Form der Steuerung vorausgesetzt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein neuartiger Ansatz zur Realisierung körpergetragener Unterstützungssysteme vorgestellt, welche in der Lage sind, den Rücken des Anwenders in einer Vielzahl von Anwendungsszenarien zu unterstützen. Aufbauend auf einer allgemeinen Beschreibung der Wirkweise der menschlichen Wirbelsäule wurden Ansätze zur Unterstützung des Rückens während z.B. der Handhabung von Lasten aufgezeigt und beschrieben. Hierzu zählen Ansätze mit seriell angeordneten Exo-Wirbelkörpern mit ortsfesten und wandernden Drehpunkten. Eine Aktuierung, Situationserkennung und Anbindung an den Systemnutzer kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Systeme, die auf den gezeigten Ansätzen basieren, lassen sich für verschiedene Anwendungen einsetzen. Diese reichen von Einsätzen in der Produktion über den Bereich der Pflege (sowohl bei Personal als auch bei Patienten) bis hin zur bewegungstechnischen Neu- oder Wiederbefähigung körperlich eingeschränkter Personen, z.B. bei Querschnittslähmung.

In naher Zukunft wird die Integration von Exostruktur und Körperanbindung erfolgen, wobei in einem vorgelagerten Schritt zunächst die Entwicklung der Anbindung erfolgen muss. Nach erfolgter Integration werden in kleineren Probandenversuchen Funktions- und Effektivitätstests zur Prinzipvalidierung durchgeführt, deren Ergebnisse als Grundlage für die Weiterentwicklung des Systems dienen werden.

7 Danksagung

Diese Forschung stammt vornehmlich aus dem Projekt „smart ASSIST – Smart, Adjustable, Soft and Intelligent Support Technologies“, Förderkennzeichen 16SV7114, welches durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau im Schwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion vor dem Hintergrund des demographischen Wandels“ gefördert und durch die VDI/VDE INNOVATION GmbH betreut wird.

8 Literaturverzeichnis

- [1] F. Knieps, H. Pfaff: BKK Gesundheitsreport 2015 – Langzeiterkrankungen – Zahlen, Daten. Fakten mit Gastbeiträgen, Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Berlin, 2015.
- [2] FACTS: Gefahren und Risiken bei der manuellen Handhabung von Lasten am Arbeitsplatz. Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Belgien, 2007.

- [3] A. Karafillidis, R. Weidner: Grundlagen einer Theorie und Klassifikation technischer Unterstützung. In: R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme, Springer-Verlag, Berlin, S. 66-89, 2015.
- [4] E. Guizzo, H. Goldstein: The Rise of the Body Bots. In: IEEE Spektrum, IEEE, S. 50-56, Oktober 2015.
- [5] M. Talaty, A. Esquenazi, J. E. Briceno: Differentiating Ability in Users of the ReWalk Powered Exoskeleton. In: IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, 2013.
- [6] M. Bohla, R. A. Goehlich, R. Isenberg, I. V. L. Krohne, R. Weidner: Wearable Support Systems and Human-Robot Collaboration in the Industry 4.0 Production, In: Proceedings of the 33rd International Manufacturing Conference, S. 1-8, Ireland, September 2016.
- [7] R. Weidner, T. Meyer, A. Argubi-Wollesen, J. P. Wulfsberg: Modular and wearable support system for industrial production, Applied Mechanics & Materials, Vol. 840, S. 123-131, 2016.
- [8] M. Schünke, E. Schulte, U. Schumacher: Prometheus - LernAtlas der Anatomie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2005.
- [9] D. Wottke: Die große orthopädische Rückenschule: Theorie, Praxis, Didaktik. Springer-Verlag, 2004.

RehaInteract

Ergebnisse einer benutzerzentrierten Systementwicklung und abschließenden Akzeptanztestung

**J. Liebach¹, M. Wolschke¹, A. Smurawski¹, M. John², G. Kock², A. Grohnert³, J. Piesk⁴,
M. Polak⁴**

¹Reha-Zentrum Lübben
Postbautenstraße 50, 15907 Lübben (Spreewald)
J.Liebach@rehazentrum.com, M.Wolschke@rehazentrum.com,
A.Smurawski@rehazentrum.com

²Fraunhofer Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS
Innovationszentrum Telehealth Technologies
Kaiserin-Augusta-Allee 31, 10589 Berlin
Michael.John@fokus.fraunhofer.de, Gerhard.Kock@fokus.fraunhofer.de

³Technische Universität Berlin
Komplexe und Verteilte IT Systeme (CIT)
Einsteinufer 17, 10587 Berlin
Anne.Grohnert@tu-berlin.de

⁴Nuromedia GmbH
Schaafenstraße 25, 50676 Köln
Jens.Piesk@nuromedia.com, Marco.Polak@nuromedia.com

Kurzzusammenfassung

Im Projekt „RehaInteract“ wurde eine Therapie- und Trainingsplattform zur Rehabilitierung der unteren und oberen Extremitäten entwickelt. Das Training setzt sich zusammen aus einer Gangschule und Übungen für den Oberkörperbereich, die in eine spielerische Umgebung integriert wurden. Dieser Beitrag stellt die Erfahrungen des benutzerzentrierten Entwicklungsprozesses von RehaInteract sowie die Ergebnisse der Akzeptanztestungen dar. Das System wurde im Zeitraum Nov. 2015 - März 2016 am Reha-Zentrum Lübben mit 30 Nutzern evaluiert. Hierbei wurden die Praktikabilität und die Nutzerakzeptanz der entwickelten Systemkomponenten Trainingsgerät, Nutzeroberfläche und die Qualität der Assistenz- und Feedbackfunktionen untersucht. Einleitend werden die einzelnen Komponenten der Therapie- und Trainingsplattform vorgestellt.

Abstract

“RehaInteract – Main results of the user centered system development process and the final project evaluation“

In the RehaInteract project, a multimodal gait training and exercises for upper limbs have been developed and integrated into an interactive therapy environment to make the rehabilitation

process after the hospital stay more attractive, enable patients to undergo rehabilitation independent of the time and place, and facilitate telerehabilitation by doctors and therapists. This article describes the prototype that was developed and presents results of user tests conducted at the rehabilitation center in Lübben. The results give an initial indication of the acceptance of the RehaInteract system.

Keywords: eHealth, Telemedizin, Assistenzsystem, Rehabilitation, Schlaganfall

1 Einleitung

Im deutschen Gesundheitssystem ist die Rehabilitation und somit auch die Nachhaltigkeit von Rehabilitationsprogrammen ein zentraler Faktor [1]. Nach einem Schlaganfall oder einer schweren Rückenmarksverletzung müssen Patienten grundlegende Bewegungen wie Gehen, Stehen oder Greifen wieder neu erlernen [2]. Die dafür notwendige Rehabilitation ist nach einem stationären Aufenthalt nicht abgeschlossen. In der ambulanten Rehabilitation sowie der Nachsorge ist die Weiterführung des Trainings auch im alltäglichen Bereich maßgebend für den Heilungsprozess. Ein ambulantes Rehatraining ist allerdings bisher nur in entsprechenden Einrichtungen absolvierbar, was für den Patienten zu einem erheblichen Aufwand führen kann durch aufwendige Wege und den damit verbundenen Kosten [3].

Um den Rehabilitationsprozess patientenzentrierter zu gestalten und Training im häuslichen Umfeld zu ermöglichen, werden ganzheitliche Therapieplattformen, sogenannte telemedizinische Assistenzsysteme, benötigt [4]. Diese Systeme gewährleisten die medizinische Begleitung und Beaufsichtigung des Trainings mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien. Gleichzeitig motivieren und unterstützen sie den Patienten während der Trainingsausführung durch geeignete Feedbacktechnologien. Auf Basis von sensorischen Daten werden die Ausführungen der therapeutischen Übungen des Rehabilitanden in Echtzeit ausgewertet und sowohl dem Patienten als auch dem betreuenden Arzt oder Therapeuten zur Verfügung gestellt. Im Projekt „RehaInteract“ wurde eine Therapie- und Trainingsplattform zur Rehabilitierung der unteren und oberen Extremitäten entwickelt. Das Training setzt sich zusammen aus einer Gangschule zum Trainieren der Beine und Übungen für den Oberkörperbereich, die aufgrund motivationaler Zwecke in dafür konzipierte Spiele integriert wurden [5]. In einer 3D-Welt wird ein Avatar animiert durch die Bewegungen des Patienten. Medizinische Parameter wie Schritt-länge oder Gleichgewicht werden honoriert durch Punkte. Diese Parameter sind in einem personalisierten Trainingsplan durch den betreuenden Arzt zusammengestellt und können im Trainingsverlauf durch das medizinische Fachpersonal adaptiert werden.

2 Stand der Technik und Novitäten

Für den Consumer Markt gibt es bereits einige Assistenzsysteme, die auf Bewegungssensorik basieren. Einer der ersten bekannten Fitnesstracker, in dem das Training in Form von Spielen realisiert wird, ist die Wii Fit von Nintendo oder das Kinect-System für Xbox von Microsoft, auf dessen Daten Bewegungen in Echtzeit analysiert und dem Benutzer mittels visuellem oder akustischem Feedback zur Verfügung gestellt werden. Zahlreiche Studien wurden durchgeführt, um zu evaluieren, ob solche kommerziell verfügbaren Systeme auch im Bereich der Rehabilitation eingesetzt werden können mit dem Ergebnis, dass diese Form der spielesbasierten Nachsorge durchaus das Potenzial besitzt im medizinischen Bereich genutzt zu werden [6, 7]. Aktivitätssmesser in Form von Armbändern, welche vor allem Strecke, Schritte, Zeit sowie Puls

messen und daraus den Kalorienverbrauch ermitteln, gibt es bereits von einer Vielzahl kommerzieller Anbieter. Für den medizinischen Kontext jedoch gibt es bisher sehr wenige Assistenzsysteme basierend auf Bewegungssensorik, die die hohen medizinischen Anforderungen einer verlässlichen Erfassung und Verarbeitung von Bewegungsdaten erfüllt und zugleich für den Benutzer einfach handhabbar ist [8]. Im Bereich der Adipositasprävention wird mit teilweiser Kostenerstattung durch gesetzliche Krankenkassen im ABC-Programm ein Bewegungssensor eingesetzt, der die körperliche Aktivität des Benutzers ermittelt und die Daten an die Klinik übermittelt [9]. Jedoch handelt es sich um ein Einzelgerät, dass nur Bewegung (Schritte) misst und ähnlich komplex wie vergleichbare Schrittzähler in der Bedienung ist. Die Auswertung der Daten und das Feedback an den Patienten geschehen dabei durch den Betreuer selbst. Für die frühzeitige Erkennung von Parkinson wird derzeit in dem Forschungsprojekt eGait ein Sensorschuh entwickelt, der die Analyse des menschlichen Ganges auf Basis von Bewegungsdaten durchführt [10]. Von der CIBEK technology & trading GmbH wurde das Assistenzsystem „MeinPAUL“ entwickelt, welches seit mehr als 6 Jahren über 100 ältere Menschen bereits im häuslichen Umfeld unterstützt [11]. Integriert sind Funktionalitäten zur Gebäudesteuerung (z.B. Licht, Steckdosen, Fenster) und zur Überwachung wie der Inaktivitätserkennung auf Basis verschiedener sensorischer. Das Fraunhofer FOKUS hat ein Gesamtsystem für die telemedizinisch assistierte Rehabilitation entwickelt. Das Gesamtsystem MeineReha® besteht aus einer häuslichen und mobilen Komponente. Neben dem Training in den eigenen vier Wänden ist so auch ein Üben im Freien oder am Arbeitsplatz möglich [12].

3 Nutzerzentrierte Entwicklung

Das multimodale, sensorgestützte Therapiesystem im Projekt RehaInteract wurde in einem nutzerzentrierten Prozess entwickelt und in einer abschließenden Akzeptanztestung evaluiert. Nutzerzentriert im Kontext der Entwicklung bedeutet, dass während des Entwicklungsprozesses in wiederholten Untersuchungen potentielle Endnutzer, hier Patienten mit Schädigungen der oberen und unteren Extremitäten, zum jeweiligen Stand der Entwicklung befragt werden und sie so eine Technologie mitgestalten, die letztendlich für sie bestimmt ist.

Die nutzerzentrierte Entwicklung ermöglicht das Erfassen und dementsprechend die Integration der Anforderungen und Bedürfnisse der späteren Zielgruppe an die zu entwickelnde Technologie. Werden die späteren Anwender einer Technologie von Beginn eines Entwicklungsprozesses an in die Entwicklung eingebunden, indem man sie regelmäßig befragt, wie sie Entwicklungsstufen z.B. eines Prototyps weiterentwickeln würden, damit sie das spätere fertige Produkt oder die spätere Dienstleistung tatsächlich auch nutzen, werden Fehler „wie am Markt vorbei“ zu entwickeln vermieden und die tatsächlichen Bedürfnisse der Endanwender in jedem Entwicklungsstadium berücksichtigt und umgesetzt. Des Weiteren ermöglicht das nutzerzentrierte Entwickeln von Technologie die Vermeidung sogenannter Kinderkrankheiten von Produkten, da diese schon im Entwicklungsprozess auffallen würden. Die Entwickler von Produkten und Dienstleistungen können somit stärker an den Bedürfnissen ihres Zielmarktes orientiert entwickeln und erhöhen somit die Akzeptanz bereits im Entwicklungsprozess und die Chance auf eine erfolgreiche Produkt- oder Dienstleistungseinführung.

Zu Beginn des Entwicklungsprozesses wurden die Bedürfnisse und Vorstellungen unterschiedlicher Nutzergruppen erhoben, indem zunächst ein fiktives Szenario präsentiert wird, das vom Projektkonsortium entwickelt wurde. Die Probanden der ersten Befragung sollen sich in ein

geschildertes Szenario hineinversetzen und dann Anforderungen an die zu entwickelnde Technologie zusammentragen. Da zu diesem Zeitpunkt ein Demonstrator oder Teile davon naturgemäß noch nicht zur Verfügung stehen, wird hierbei viel an die Phantasie der Befragten appelliert. Die so gewonnenen ersten Anforderungen wurden anschließend statistisch aufbereitet und in einem Bericht an die Entwickler weitergereicht, die ihrerseits dann diese Anforderungen in die Technologie einarbeiteten. Auf diese Art und Weise wurde sichergestellt, dass die Endnutzer von Beginn an bei der Systementwicklung beteiligt sind und somit Produkte und Dienstleistungen entstehen, die eine größtmögliche Nutzerakzeptanz aufweisen. Sobald erste evaluierbare Demonstratoren entwickelt waren, wurden weitere Befragungen und Tests mit der Zielgruppe durchgeführt, so dass Feedbackschleifen zwischen Entwicklern und Anwendern entstanden, die eine Harmonisierung zwischen den Wünschen und Bedürfnissen der Anwender und der technischen Möglichkeiten der Entwickler zur Folge haben. Das integrierte Therapiesystem wurde dann in einem 3-monatigen Testzeitraum abschließend evaluiert, um nochmalige Entwicklungshinweise zu generieren und vorhandene Schwächen aus Anwendersicht zu überwinden. Einige Ergebnisse dieser Akzeptanztests werden in Kapitel 6 dargestellt werden.

4 Systemaufbau von RehaInteract

Die Trainingsumgebung RehaInteract besteht aus einem Bildschirm, auf dem die spielerisch-interaktive Benutzeroberfläche dargestellt wird, einem PC, auf dem das Echtzeit-Feedback während der Trainingsausführung berechnet wird, und verschiedenen Sensorsystemen, die entweder im Raum installiert oder in Therapie- und Alltagsgegenstände integriert sind (siehe Abbildung 4.1).



Abbildung 4.1: Schuh mit Sensorsohle, Wollie-Handpad, Kinect-Sensor

Für die Bewegungserkennung kommen neben einer Kinect zwei Schuhe mit sensorbestückten Sohlen zum Einsatz. Ein Sensorpaar ist in Schuhsohlen verbaut, welches aus jeweils drei Druckkraftsensoren besteht, die den einwirkenden Druck im vorderen, mittigen und hinteren Fußbereich unabhängig voneinander messen. Durch die Anordnung können Schritte und Abrollbewegungen beim Laufen detailliert ausgewertet werden. Während des Projektes wurde ein Wandschienensystem entwickelt, die sogenannte Wollie-Action, welches durch integrierte Druckkraftsensoren sowohl Druck als auch Zug messen kann. Das System besteht aus an einer Wand montierten Schienen und Handpads, den Wollies, die in den Schienen angebracht sind und vom Rehabilitanden mitgeführt werden können. Zur Unterstützung der Bewegungsauswertung wird ein optischer Sensor, die Kinect, hinzugenommen. Dieses System liefert die Positionsdaten der Gelenke des menschlichen Körpers. Durch die Anwendung eines biomechanischen Modells werden Bewegungen und Körperhaltungen untersucht, sodass fehlerhafte Ausführungen zur sofortigen Korrektur angezeigt werden können. Die individualisierten Trainings-

einheiten sind definiert und zusammengestellt im Trainingsplan, welcher zur Trainingsausführung durch die Applikationsschicht geladen wird und die Übungen personalisiert durch individuell eingestellte Übungsparameter. Die Interaktion mit dem Benutzer wird über eine Visualisierungs-Komponente bereitgestellt. Nach Start der Applikation kann ein vordefinierter Trainingsplan ausgewählt werden, der neben den einzelnen Übungsparameter auch die möglichen Trainingsszenarien enthält. Im Projekt wurden drei unterschiedliche Trainingseinheiten entwickelt, die als Zielpunkte auf einer Landkarte dargestellt und ausgewählt werden können. Zur Vermeidung fehlerhafter Bewegungsausführungen wird der Benutzer während des Trainings durch verschiedene Feedbacktechnologien unterstützt.

5 Therapieprototyp, Feedbacktechnologien und Assistenzfunktionen

Zur Motivation der Patienten wurden in dem Projekt RehaInteract spielerische Konzepte eingesetzt. Zu jeder Übung wurde mindestens ein Spielszenario entwickelt, dass die Bewegungsabläufe der Übungen bestmöglich spielerisch abbilden. Exemplarisch wurden für die Therapieübung *Beinschwung* das Spielszenario *Blumen berühren*, für die Therapieübung *Vor- und Rückwärtsgehen* das Spielszenario *Fluss überqueren*, und für die Therapieübung *Dreizack* das Spielszenario *Drachenfliegen* entwickelt.

Aus Patientensicht besteht die Trainingsumgebung RehaInteract vorrangig aus einem grafischen Programm, das die spielerische Ausübung von momentan drei verschiedenen Übungen erlaubt. Beim *Vor- und Rückwärtsgehen* (siehe Abbildung 5.1) und beim *Beinschwung* geht es primär um die Aktivierung der unteren Extremitäten (Gangschule) und bei der dritten Übung – dem *Dreizack* (siehe Abbildung 5.2) – vorrangig um die Aktivierung der oberen Extremitäten.



Abbildung 5.1: Spielszenario „Fluss überqueren“

Die Gangschule wurde als Überquerung eines Flusses umgesetzt (Abbildung 5.1), in dem ein Avatar von Stein zu Stein geht. Zur Unterstützung ist längs am Rand des Flusses ein Seil gespannt, an dem sich der Avatar festhalten kann. Dieses Seil symbolisiert die Wollie-Action und je nachdem, ob der Rehabilitand daran zieht oder drückt, bewegt sich auch das Seil entsprechend in diese Richtung. So sieht der Nutzer zu jeder Zeit seine aktuell ausgeführten Bewegungen projiziert auf den Avatar und die Umgebung.

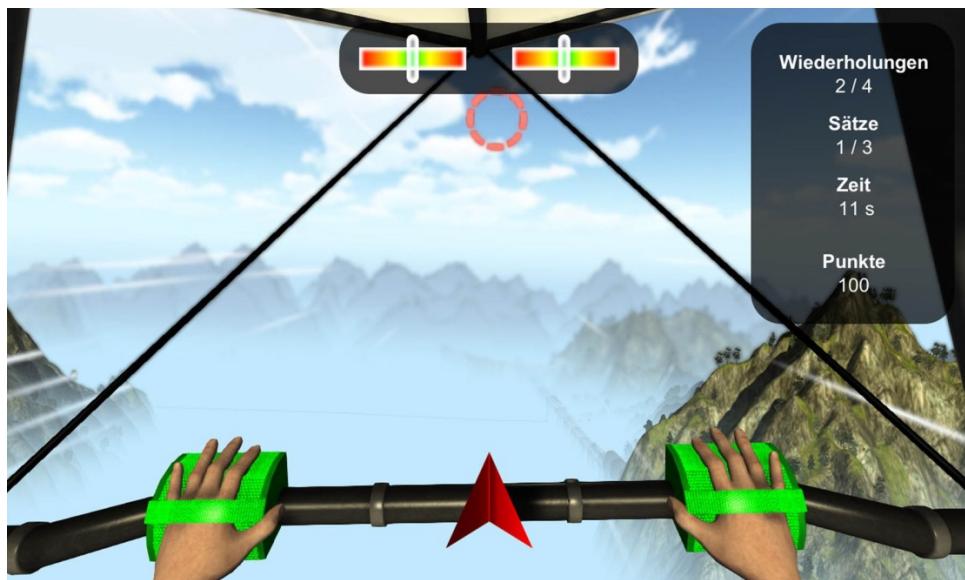


Abbildung 5.2: Spielszenario „Drachenfliegen“

Die Spielwelt der Übung *Dreizack* nimmt der Rehabilitand aus der Ich-Perspektive wahr (Abbildung 5.2). Der Patient animiert einen Gleiter durch zwei der Wollie-Sensoren und fliegt somit durch eine Landschaft. Ziel ist es nun durch auftauchende Ringe zu fliegen, die nach und nach in unterschiedlicher Höhe am Horizont erscheinen. Die Flughöhe und Richtung kann entsprechend der Übung durch Druck und Zug geändert werden. Die erforderliche Bewegungsrichtung wird durch das Einblenden von Pfeilen im Voraus angekündigt, so dass der Patient genug Zeit hat rechtzeitig zu reagieren.

In jedem Spiel erhält der Nutzer Punkte für das Erreichen des jeweiligen Ziels. Diese Punkte sind die symbolische Darstellung der Ergebnisse der Auswertung der medizinischen Parameter. Zudem werden fehlerhafte oder verletzende Ausführungen durch akustisches und visuelles Echtzeit-Feedback übermittelt, sodass eine sofortige Korrektur durch den Rehabilitanden stattfinden kann. Zur Unterstützung sind im oberen Bildschirmrand sowohl die Sohlen als auch die Wollies durch Farbskalen dargestellt, die die Druck- bzw. Zugkraft in Farben kodieren. So kann der Nutzer als auch gegebenenfalls ein anwesender Therapeut genau erkennen, welche Kraft auf welchen Sensor gegenwärtig einwirkt. Die visuelle Darstellung der Bewegungen durch einen Avatar sowie die Kodierung der Ergebnisse der Parameter-Auswertung mit Farben und Punktsystem in einer dreidimensionalen Spielwelt können intuitiv vom Rehabilitanden und medizinischem Fachpersonal erfasst werden und gewährleisten Einfachheit beim Gebrauch des Systems.

6 Ergebnisse der Akzeptanztestung am Reha-Zentrum Lübben

Die abschließenden Tests wurden mit N=30 Probanden durchgeführt, die jeweils einen Fragebogen ausfüllten und zusätzlich während der Testung gefilmt wurden. Die Probandenanzahl N=30 gründet sich auf statistischen Überlegungen. Die Mindestanzahl an Probanden, um überhaupt einigermaßen stabile Aussagen zur Grundgesamtheit der anvisierten Zielgruppe treffen zu können, ist N=10. Ab einer Probandenanzahl von mind. N=10 kann man daher Ergebnisse von Untersuchungen auf die entsprechende Grundgesamtheit generalisieren, wobei bei dieser Gruppengröße sämtliche Ergebnisse immer noch mit Vorsicht interpretiert werden müssen. Nach oben wird N von ökonomischen Überlegungen begrenzt, denn logischerweise steigen mit

der Anzahl an Testpersonen auch sämtliche Kosten (Zeit, Personal, Geld etc.). Für die Evaluationsarbeiten am Reha-Zentrum Lübben hat sich aus diesen Überlegungen die Gruppengröße N=30 als praktikabel herauskristallisiert, denn sie ermöglicht statistisch belastbare Aussagen bei gleichzeitiger Berücksichtigung ökonomischer Grenzen.

Die Auswertung der erhobenen Informationen erfolgte anschließend durch die Ermittlung verschiedener statistischer Kennwerte und der Auswertung eines eigens entwickelten Kategorien-systems für die Videoaufnahmen. Die Testungen selbst wurden vom medizinischen Personal des Reha-Zentrums Lübben durchgeführt. Die Probanden nahmen freiwillig an den Untersuchungen teil und bekamen Aufgaben gestellt, die sie mit Hilfe der entwickelten, technologischen Komponenten Trainingsgerät und Nutzeroberfläche lösen sollten. Zusätzlich wurde untersucht, inwieweit die entwickelten Feedbackmechanismen von den Probanden zur Zielerreichung genutzt wurden. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen wurden dann weitere Entwicklungshinweise abgeleitet. Es werden nicht alle Ergebnisse dargestellt, sondern nur solche, die für die weitere Entwicklung des Gesamtsystems substantielle Hinweise lieferten.

Die Darstellung der folgenden Ergebnisse orientiert sich an der Struktur der entwickelten Nutzeroberfläche mit den spielerisch umgesetzten therapeutischen Übungen, die jeweils in den einzelnen Spielen *Drachenfliegen*, *Blumen berühren* und *Fluss überqueren* umgesetzt wurden. Anschließend werden Ergebnisse zum Gesamtsystem präsentiert. Zur besseren Übersichtlichkeit werden innerhalb der einzelnen Ergebnisdarstellungen zu den Spielen und dem Gesamtsystem jeweils Ergebnisse zum Trainingsgerät, der Nutzeroberfläche und den jeweilig eingearbeiteten Feedbacksystemen zusammengefasst. Die getestete Stichprobe unterteilte sich in ca. 48% Männer und ca. 52% Frauen. Im Durchschnitt waren die Probanden ca. 42 Jahre alt, wobei die jüngste Probandin 16 Jahre alt und die älteste 59 war.

6.1 Therapiespiel „Drachenfliegen“

Das Spiel *Drachenfliegen* setzt die therapeutische Übung *Dreizack* um und dient der Kräftigung der Arme, des Oberkörpers und des Rumpfes. 70,8% der befragten Personen gaben an, dass sie sich bei der Steuerung des virtuellen Gleiters an den virtuellen Handgriffen orientierten, die die Gleiterstange ummanteln. Lediglich 12,5% der Antwortenden orientierten sich an den beiden Balken am oberen Bildrand. Der deutliche Unterschied zwischen der Häufigkeit der Verwendung der beiden Feedbacksysteme kann damit erklärt werden, dass die Testpersonen eher solche Feedbacksysteme nutzen, die eine optische Verbindung zwischen Avatar (visualisierte Handgriffe) und Trainingsgerät (Gleiter) erkennen lassen. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass die Umsetzung der realen Übung *Dreizack* durch Handpads, die an einem Schienensystem befestigt sind und des virtuellen Spiels *Drachenfliegen* für die meisten Testpersonen logisch nachvollziehbar ist. Auch der Gleiter muss mit den Händen gesteuert werden, die in Handgriffen stecken und somit den realen Handpads ähneln. 96,4% der Antwortenden bewerteten die Bedienung der Handpads beim Hoch- und Runterfliegen und 80% der Antwortenden beim nach links und rechts fliegen als logisch nachvollziehbar. Die bauliche Gestaltung der Handpads, bei denen die Hände in Schlaufen geschoben werden müssen, wurde jedoch nur von 57,1% der Antwortenden als optimal empfunden. 42,9% der Antwortenden wünschten sich eine andere Bauart der Pads. So ließen sich bei den freien Antwortmöglichkeiten häufig Hinweise finden, dass statt der Schlaufen eher waagerecht an den Pads montierte kurze Stangen zur Steuerung

des virtuellen Gleiters gewünscht würden. Dieses Ergebnis folgt der zuvor dargestellten Erklärung, dass sich eine spielerische Übung möglichst stringent an der realen Steuerung und den damit durchzuführenden therapeutischen Übungen orientieren sollte.

Des Weiteren wurde die Schnelligkeit der Reaktion der realen Steuerbefehle über die Handpads zu den virtuellen Händen des Avatars auf einer Werteskala von 1 bis 5 mit durchschnittlich 3,4 im Spiel *Drachenfliegen* bewertet, wobei 3 als optimal und 4 als eher zu langsam gilt (1=Zu schnell, 2=Eher zu schnell, 3= optimal, 4=eher zu langsam, 5= zu langsam). Betrachtet man aber nun die Häufigkeitsverteilung der gültigen Antworten, so lässt sich erkennen, dass von 59,3% der Antwortenden die Schnelligkeit der Reaktion als eher zu langsam empfunden wurde. Im Spiel *Drachenfliegen* müsste demnach die Reaktion der Bedienoberfläche auf die Steuersignale der Nutzer schneller erfolgen.

6.2 Therapiespiel „Blumen berühren“

Das Spiel *Blumen berühren* setzt die therapeutische Übung *Beinschwung* um und dient der Kräftigung der Oberschenkelmuskulatur, der Mobilisation des Hüftgelenks und dem Gleichgewichtstraining. Hier wurden den Probanden zur besseren Kontrolle des Gleichgewichts auf dem Bildschirm sichtbare Fußsohlen und ein Seil präsentiert.

30,8% der Antwortenden gaben an, die Fußsohlen zur Gleichgewichtskontrolle zu nutzen. Das Seil hingegen wurde von 70,4% der Antwortenden genutzt. Auch hier kann der deutliche Unterschied zwischen den beiden Feedbackmechanismen damit erklärt werden, dass es eine sichtbare Verbindung zwischen Avatar und dem Feedbacksystem „Seil“ gibt, wohingegen diese Verbindung bei den „Fußsohlen“ nicht vorhanden ist.

Ein deutlicher Unterschied zeigte sich ebenso im Vergleich zwischen optischen und akustischen Feedbacksystemen. Neben den optischen Feedbacksystemen „Seil“ und „Füße“ gab es im Spiel *Blumen berühren* auch eine akustische Rückmeldung an den Nutzer in Form von Sprechweisungen. Diesen akustischen Hinweisen zur Qualität der Übungsausführung folgten 53,8% der Befragten. Im Vergleich zu den 70,4%, die das Seil als Orientierung nutzten, ist dieser Wert signifikant geringer. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die optische Rückmeldung schneller ist als die akustische. Daneben lässt die Auswertung der Videostudien darauf schließen, dass sich Nutzer während der Übungsausführung meist auf nur ein Feedbacksystem konzentrieren und nicht auf zwei gleichzeitig. Auch die Auswertung der freien Antworten gibt dieser Interpretation Recht. Daraus folgt, dass Feedbacksysteme sparsam eingesetzt werden sollten, um den Nutzer nicht zu überfordern.

Auf die Frage, ob das therapeutische Ziel des Spiels *Blumen berühren* von den Probanden nachvollzogen werden konnte, antworteten sie im Durchschnitt mit *stimmt überwiegend* (1,34; von stimmt=1 bis stimmt nicht=5). Die Darstellung der erreichten Leistung nach absolvieren der Übung empfanden 60% der Befragten als plausibel präsentiert. Diese Werte könnten weiter verbessert werden, wenn das therapeutische Ziel vor einer Übung durch einen Sprecher nochmals genannt und erinnert wird und die Auswertung der erreichten Leistung einen stärkeren Bezug zu der therapeutischen Übung hätte.

6.3 Therapiespiel „Fluss überqueren“

Das Spiel *Fluss überqueren* setzt eine therapeutische Gangschule um und dient der Schulung des Gangbildes und dem Gleichgewichtstraining. Das Gleichgewicht kann über ein dargestelltes Seil und visualisierte Fußsohlen eigenständig von den Probanden kontrolliert werden. Es

wurde untersucht, inwieweit diese beiden Feedbackmechanismen, „Seil“ und „Fußsohlen“, dabei halfen, das Gleichgewicht zu halten und die Gewichtsverteilung zu kontrollieren. Die Fragebogenauswertung ergab folgendes Bild:

Das virtuelle Seil half mir dabei, meine Gewichtsverteilung permanent zu kontrollieren.

28 Probanden beantworteten diese Frage auf einer 5-stufigen Skala von *stimmt* (1) bis *stimmt nicht* (5) im Durchschnitt mit *stimmt überwiegend* (2,0). Ebenso antworteten 28 Probanden auf die Frage

Die auf dem Bildschirm sichtbaren Füße nutzte ich, um meine Gewichtsverteilung permanent zu kontrollieren.

mit im Durchschnitt *weder/noch* (2,8; von *stimmt=1* bis *stimmt nicht=5*). Das therapeutische Ziel der Gangschule, die mit der Feedbacktechnologie und der sensorgestützten Technik umgesetzt wurde, konnte von den Probanden überwiegend erkannt werden. Sie antworteten auf diese Frage im Durchschnitt mit *stimmt* (1,25; von *stimmt=1* bis *stimmt nicht=5*).

Meine erreichte Leistung wurde mir plausibel präsentiert und ich konnte mit der Darstellung etwas anfangen.

Darauf antworteten die Probanden im Schnitt mit *stimmt überwiegend* (1,7; von *stimmt=1* bis *stimmt nicht=5*). Die Diskrepanz zwischen den beiden optischen Feedbackmechanismen Seil und Fußsohlen kann damit erklärt werden, dass es ohne Übungseffekte zunächst schwierig für den Anwender ist, sich auf beide Mechanismen gleichzeitig zu konzentrieren. Daher nutzten die Probanden offensichtlich das Feedbacksystem, welches eine optische Verbindung zwischen Avatar, der ja die eigene Person repräsentiert und Feedbackmechanismus, hier das virtuelle Seil, herstellt. Es gelang den Probanden demnach leichter, ein Feedbacksystem zur Leistungsrückmeldung zu verwenden, wenn die mediale Repräsentation des eigenen Ichs eine sichtbare Verbindung zu einem medial präsentierten Feedbackmechanismus aufweist. Daraus folgt, dass die Entwicklung von Feedbacksystemen darauf ausgerichtet werden sollte, dass möglichst nur eine Form von Feedback gegeben wird, die darüber hinaus aber einen starken Bezug zur medialen Repräsentation des Anwenders herstellt.

Ein weiteres interessantes Ergebnis ergibt sich aus der Auswertung der Frage, ob den Probanden deutlich gemacht werden konnte, wie groß die Schritte sein müssten, um von Stein zu Stein zu gelangen. Hierzu wurde ein Ampelfeedback eingesetzt. Lediglich 30,8% der Antwortenden konnten mit Hilfe des Ampelfeedbacks erkennen, wie groß ihre Schritte im Spiel Fluss überqueren sein müssen, damit sie eine gute therapeutische Leistung erreichen konnten. Dies könnte verbessert werden, indem bei der Auswertung der erreichten Leistung nach absolvieren des Spiels darauf hingewiesen wird, dass bei einer erneuten Übungsausführung größere Schritte für eine bessere Leistung ausgeführt werden sollten (oder kleinere, je nach Ergebnis).

6.4 Ergebnisse zum Gesamtsystem

Die Auswertung der Bewertung von Trainingsgerät und den drei Spielen ergab, dass die Probanden die technische Verwendung von Handpads und Schuhen mit der verbauten Drucksensorik in den Einlegesohlen von *leicht* (1,8) bis *weder/noch* (2,4) beurteilten (von sehr leicht=1 bis sehr schwierig=5). Diese Werte können verbessert werden, indem die Sensibilität vor allem der Handpads weiter verbessert wird in dem Sinne, dass die ausgeübten Druck- und Zugbewegungen auf die Handpads besser auf die Spielfigur übertragen werden. Auch aus den Videoanalysen geht hervor, dass die Bewegungen der Patienten nicht immer auch Reaktionen in der Therapieumgebung zur Folge hatten (reale Steuerbefehle wurden nicht immer von dem System

erkannt und/oder an den Nutzer korrekt ausgegeben). Dies erklärt auch, warum die Probanden die Frage, wie leicht sie es technisch fanden, die Spielziele unter Verwendung der Sensorik zu erreichen im Durchschnitt mit *weder/noch* (2,3; von sehr leicht=1 bis sehr schwierig=5) beurteilten. Bei der Sensorerkennung gab es in der Testphase die meisten Schwierigkeiten. Im Durchschnitt beurteilten die Testpersonen dies mit *weder/noch* (2,6; von sehr leicht=1 bis sehr schwierig=5). Dieses Problem konnte fast immer dadurch behoben werden, dass die entwickelte Nutzeroberfläche neu gestartet wurde.

Das Auswerten der freien Antwortkategorien im eingesetzten Fragebogen ergab zudem Hinweise seitens der Probanden, wie die therapeutische Zielstellung besser erklärt und die Leistungsrückmeldung weiter verbessert werden könnte. Einige Probanden gaben zu Protokoll, dass vor dem Start der Übung ein Sprecher das therapeutische Ziel erklären könnte. Dies würde auch dabei helfen, den therapeutischen Charakter der spielbasierten Übungen stärker zu betonen und die Nutzer so dabei unterstützen, die entwickelte Technologie für therapeutische Zwecke zu nutzen. Die Leistungsrückmeldung könnte des Weiteren durch farbige Balken ergänzt werden oder allgemeiner formuliert, durch graphische Darstellungen verbessert werden. Insgesamt kann aber festgehalten werden, dass das entwickelte Gesamtsystem auf Akzeptanz seitens der Nutzer gestoßen ist, die weiter verbessert werden kann, wenn die Hinweise ihren Weg in die technische Weiterentwicklung finden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden die Entwicklungsarbeiten sowie die Funktionsweise der interaktiven Therapieplattform RehaInteract dargestellt. Einleitend wurde das Gesamtkonzept sowie die einzelnen Komponenten vorgestellt. Der Fokus dieser Arbeit lag auf dem benutzerzentrierten Entwicklungsprozess sowie den Ergebnissen der Akzeptanztestungen im Reha-Zentrum Lübben. Mit den Evaluationen konnte nachgewiesen werden, dass das System bei den Nutzern überwiegend auf Akzeptanz stößt. Einzelne Rückmeldungen der Nutzer bieten gute Hinweise, das Gesamtsystem in Folgeprojekten zu optimieren. Die Projektergebnisse sollen nach der vollständigen Auswertung der Anwendertests an Kostenträger übermittelt werden mit dem langfristigen Ziel, das entwickelte Programm in der Versorgungsstruktur des Gesundheitswesens zu verankern. Die Projektergebnisse sollen Anwendern auch über die Projektlaufzeit hinaus demonstriert werden. Hierfür halten die Projektpartner die entsprechenden Systemaufbauten vor.

8 Literatur

- [1] J. Lamprecht, J. Behrens, W. Mau, M. Schubert: Das Intensivierte Rehabilitationsnachsorgeprogramm (IRENA) der Deutschen Rentenversicherung Bund–Berufsbegleitende Inanspruchnahme und Veränderungen berufsbezogener Parameter. *Die Rehabilitation*, 50(03), S. 186-194, 2011.
- [2] S. Knecht, S. Hesse, P. Oster: Rehabilitation after stroke. *Dtsch Arztebl Int*, 108(36), 600-6, 2011.
- [3] O. Hamdi, M. A. Chalouf, D. Ouattara, F. Krief: eHealth: Survey on research projects, comparative study of telemonitoring architectures and main issues. *Journal of Network and Computer Applications*, 46, S. 100-112, 2014.

- [4] N. R. Chumbler, X. Li, P. Quigley, M. C. Morey, D. Rose, P. Griffiths, H. Hoenig: A randomized controlled trial on Stroke telerehabilitation: The effects on falls self-efficacy and satisfaction with care. *Journal of telemedicine and telecare*, 1357633X15571995, 2015.
- [5] G. Kock, M. John, B. Häusler, A. Grohnert, J. Liebach, M. Wolschke, A. Smurawski: RehaInteract—Entwicklung einer multimodalen Gangschule zur Aktivierung der unteren Extremitäten. *Zukunft Lebensräume*, 2016.
- [6] H. Sugarman, A. Weisel-Eichler, A. Burstin, R. Brown: Use of the Wii Fit system for the treatment of balance problems in the elderly: A feasibility study. In *2009 Virtual Rehabilitation International Conference* (S. 111-116). IEEE, 2009.
- [7] I. Pastor, H. A. Hayes, S. J. Bamberg: A feasibility study of an upper limb rehabilitation system using kinect and computer games. In *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (S. 1286-1289). IEEE, 2012.
- [8] J. E. Deutsch, A. Brettler, C. Smith, J. Welsh, R. John, P. Guerrera-Bowlby, M. Kafri: Nintendo wii sports and wii fit game analysis, validation, and application to stroke rehabilitation. *Topics in stroke rehabilitation*, 18(6), S. 701-719, 2011.
- [9] S. Meister, S. Becker, U. Simson: Digitale Gesundheit—Unterstützung der Adipositas-therapie durch digitale Technologien. *Adipositas—Ursachen, Folgeerkrankungen, Therapie*, 10(1), S. 38-42, 2016.
- [10] J. Klucken, J. Barth, P. Kugler, J. Schlachetzki, T. Henze, F. Marxreiter, ... & J. Winkler: Unbiased and mobile gait analysis detects motor impairment in Parkinson's disease. *PloS one*, 8(2), e56956, 2013.
- [11] L. Schelisch: Zusammenfassende Betrachtung: Potentiale technisch unterstützten Wohnens. In *Technisch unterstütztes Wohnen im Stadtquartier* (S. 241-263). Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [12] M. John, S. Klose, G. Kock, B. Seewald, J. Liebach, M. Wolschke: MeineReha® - Gesamtsystem für die Lebensbereich übergreifende Rehabilitation. In: *e-health 2013 - Informationstechnologien und Telematik im Gesundheitswesen*, Hrsg. Frank Duesberg, medical future verlag, S. 291-296, 2013.

Zur Gestaltung autonomer sozialer Assistenzsysteme für einen freudvollen und bedeutungsvollen Alltag

J. Welge¹, M. Hassenzahl², S. Schwarz³

¹Folkwang Universität der Künste, Erlebnis und Interaktion
Universitätsstraße 12, R12, 45141 Essen
julika.welge@folkwang-uni.de

²Universität Siegen, Wirtschaftsinformatik, Ubiquitous Design
Kohlbettstraße 15, 57072 Siegen
marc.hassenzahl@uni-siegen.de

³AWO Thüringen, Das ganze Leben
Juri-Gagarin-Ring 160, 99084 Erfurt
sandra.schwarz@awo-thueringen.de

Kurzzusammenfassung

Autonome soziale Assistenzsysteme für das häusliche Umfeld müssen sinnvoll und sensibel in den Alltag eingebettet werden. Der Fokus liegt dabei darauf, den Nutzer zu befähigen und seinen Alltag durch freudvolle und bedeutungsvolle Momente zu bereichern. Dies erfordert eine Form von benutzerzentrierter Gestaltung, die dies zu leisten vermag. Sie setzt auf die enge Verschränkung von Analyse und Gestaltung im Sinne eines intensiven Dialogs zwischen Benutzern und Gestaltern über mögliche zukünftige Alltagszenarien. Dieser Dialog entsteht und wird erleichtert durch das sorgfältige Erlebbarmachen und Durchspielen möglicher Gestaltungsvarianten (Experience-Prototyping und Design-Intervention). Wir demonstrieren dieses Vorgehen anhand eines Beispiels.

Abstract

“Designing assistive systems for pleasurable and meaningful moments in everyday life”
To become successful, autonomous, social robots must be embedded sensibly into the domestic environment and into peoples' daily routine. The design focus should be on enabling the user and enriching their everyday life with moments of pleasure and meaning. We illustrate a user-centred design process, that is experience-design driven, by providing the example of designing a morning routine supported by a robot. This design process relies on the intensive dialog between user and designer about possible future scenarios. In turn, this dialog is created and facilitated by meticulously turning design variants into a tangible experience through role play (i.e., experience prototyping and design intervention).

Keywords: Assistance Systems, Experience Design, Human-Robot Interaction, Social Robotics

1 Einleitung

Autonome interaktive Assistenzsysteme sollen eine zunehmend wichtigere Rolle im häuslichen Umfeld spielen. Dabei ist nicht nur ihre technische Umsetzung eine Herausforderung, sondern

auch ihre sinnvolle, sensible Einbettung in den Alltag. Selbstverständlich ist das Ziel von Assistenz immer positiv: Benutzern soll beispielsweise das längere, selbstbestimmte Verbleiben im gewohnten Umfeld ermöglicht werden. Trotzdem kann ein solch gut gemeintes System, je nach Gestaltung, nicht nur immer wieder an die eigenen Einschränkungen erinnern; es kann auch bevormundend wirken oder sogar den Abbau von Kompetenzen begünstigen. Jede Form der Assistenz verändert nicht nur die benötigten Fertigkeiten und das benötigte Wissen zum Ausüben einer alltäglichen Praktik, sondern auch deren Bedeutung für den Ausübenden [1]. Nötig scheint eine Gestaltung, die sich explizit damit beschäftigt, welche Erlebnisse im Alltag freudvoll und bedeutungsvoll sein können. Wie kann Assistenz den Alltag bereichern und ihre Benutzer befähigen, statt bloß bestehende Defizite auszugleichen? Ganz besonders delikat wird die Gestaltungsaufgabe, wenn nicht Praktisches (z.B. Hilfe im Haushalt) im Vordergrund steht, sondern die emotionale Unterstützung, wie im Fall der sozialen Robotik [2].

Im Rahmen des Projekts SYMPARTNER (16SV7221: Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF) beschäftigen wir uns mit dieser Frage. Die technische Basis unseres emotional unterstützenden Assistenzsystems ist eine Symbiose aus dem Smart-Home-System PAUL (CIBEK) und dem mobilen sozialen Companion-Roboter SCITOS (MetraLabs, TU Ilmenau). Im vorliegenden Beitrag beschäftigen wir uns mit der Frage, wie ein in der Technikgestaltung mittlerweile breit geforderter, wenn auch nicht immer leicht zu realisierender benutzerzentrierter Gestaltungsprozess (z.B. ISO 9241-210) erweitert werden muss, um explizit freudvolle und bedeutungsvolle Momente und damit die emotionalen Aspekte der Mensch-Technik-Interaktion (MTI) angemessen zu adressieren.

2 Erlebnisorientierte Gestaltung

Die Idee einer eher erlebnisorientierten Gestaltung ist in der MTI bereits recht verbreitet [3, 4]. In der Domäne der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) wird jedoch oftmals noch ein eher problem- und funktionsgetriebener Gestaltungsansatz verfolgt. Roboter für den Alltag werden als "Butler" oder "Haushälter" verstanden, sollen konkrete Arbeiten ausführen und im Notfall zur Stelle sein. Soziale Assistenzrobotik ist hier natürlich eine Ausnahme, da ihre primäre Funktion das Vermitteln von emotionalen Erlebnissen darstellt. Allerdings ist der junge Bereich der Sozialen-Assistenz-Robotik noch nicht umfassend untersucht; es finden sich nur wenige akademische Publikationen, hauptsächlich Tagungsberichte [5]. Auch Klamer und Allouch [6] betonen die Notwenigkeit, sich insbesondere mit emotionalen, hedonischen Aspekten zu beschäftigen. Titel von Veröffentlichungen wie „Wie Soziale Roboter ältere Nutzer dazu bringen, sich tatsächlich wohl zu fühlen [...]“ [7] zeigen zwar die Intention, Wohlbefinden zu schaffen. Die Frage nach dem "Wie" kann aber aus unserer Sicht nur bedingt durch das einfache Erfragen der Wünsche potentieller Nutzer beantwortet werden. Meist bestehen auch Nutzer auf das Praktische und das Beheben von Alltagsproblemen (siehe auch [8] zum "Dilemma des Hedonischen"). Emotionale Unterstützung durch einen Roboter im Alltag scheint nur schwer vorstellbar und birgt eine Menge unangenehmer Konnotation: einsam zu sein, niemanden zu haben etc.. Konkreter vorstellbar und neutraler sind hier praktische Funktionen, wie etwas zu transportieren. Dabei muss man allerdings auch hier festhalten, dass es schwerfallen kann einzuschätzen, was es für das Wohlbefinden im Alltag bedeutet, wenn ein Roboter-Haushälter darauf besteht, den Kaffee ins Wohnzimmer zu tragen oder aus Sicherheitsgründen durch die Wohnung zu patrouillieren.

Geht es in der MRI um Emotionen, dann häufig um die des Roboters, beispielsweise mit der Forderung "er solle fröhlich sein." Eher wenig weiß man darüber, was den Alltag freudvoll und bedeutungsvoll macht. Gerade dieses gilt es jedoch zu erfassen, um Alltagspraktiken zu gestalten in denen der Roboter sozial wirken kann. Auch das Gespräch mit einem fröhlichen Roboter ist eine Praktik, die es zu gestalten gilt. Erzählt man sich Witze? Unterhält man sich über gemeinsam Erlebtes? Oder über die eigene Vergangenheit? All dies sind Fragen, die sich in der alltäglichen Interaktion mit einem sozialen Roboter stellen dürften und nicht durch emotional-expressiven Ausdruck (z.B. Mimik) allein beantwortet werden können.

Im Rahmen einer Analyse zur erlebnisorientierten Gestaltung geht es nicht nur wie üblich um die exakte Beschreibung eines durchschnittlichen Alltags, sondern um das Identifizieren besonders positiver Momente. Diese Momente können dann mit Hilfe von Technik wahrscheinlicher gemacht werden. Ein Beispiel: Es geht nicht mehr nur darum, festzustellen, wie – sagen wir – 100 mögliche Nutzer morgens aufwachen, sondern darum, die zwei oder drei Menschen zu finden, die diesen Moment besonders genießen. Sagen wir 97 lassen sich unsanft von einem Wecker wecken und akzeptieren dies, während sich die drei anderen morgens von einer Freundin oder einem Freund per Telefon wecken lassen und dies sehr genießen. Der Blick auf den großen Teil der Benutzer und die Funktionalität würde darin münden, einen Wecker zu gestalten und in den Roboter zu integrieren. Auf der Basis der wenigen Anekdoten und mit Blick auf die Emotionen, kann man sich aber auch die Frage stellen, ob sich etwas von dieser freudvollen Praktik des sich gegenseitigen Weckens in das Assistenzsystem übertragen lässt? Was ist daran eigentlich freud- und bedeutungsvoll? Muss es ein Freund sein, der den Anruf tätigt? Wie ist das genau mit dem Sozialen beim Aufstehen, dem Wunsch, nicht alleine in der Wohnung aufzuwachen? Das Beantworten dieser Fragen ist der eigentliche Gestaltungsprozess. So entsteht eine Vision, die um gut zu werden, erlebbar gemacht und gemeinsam mit zukünftigen Nutzern exploriert und entwickelt werden muss.

Üblicherweise beginnt ein benutzerzentrierter Entwicklungsprozess mit einer Anforderungsanalyse, um zu klären, was die Menschen der Zielgruppe "brauchen." Potenzielle Nutzer werden befragt, beobachtet oder beispielsweise Untersuchungen in Living-Labs durchgeführt. Wir als erlebnisorientierte Gestalter (Experience-Designer) nutzen zwar ähnliche Methoden und Strukturen, achten aber auf andere Dinge. Wir suchen nach positiven Momenten, gehen dabei von psychischen Bedürfnissen aus (z.B. selbstbestimmt oder stimuliert zu sein, sich kompetent oder sozial verbunden zu fühlen), beschreiben die Praktiken, mit denen Menschen diese Bedürfnisse im Alltag befriedigen (wir haben hierzu z.B. zwei Senioren und sechs Seniorinnen, im Alter von 75 - 95 in ihren Wohnungen befragt). Aber wie genau man auch den Alltag kennlernt, diese Informationen beziehen sich immer nur auf den Ist-Zustand. Gestaltung zielt aber immer auf neue Arten, etwas zu tun. Mit einem guten Verständnis momentaner Praktiken und Kontexte, müssen Gestalter also eine detaillierte Vision eines zukünftigen Alltags erarbeiten. Das so entwickelte Idealbild ist dann nicht nur empirisch begründet, sondern beruht auf zusätzlichem Wissen aus dem Erfahrungsschatz von Gestaltern, wie z.B. eigene Anekdoten und Werte. Die Gestalter ahmen nicht nach, wie es ist, sondern entwickeln, wie es sein könnte. In diesem Sinne ist benutzerzentrierte oder auch partizipative Gestaltung keine Methode, bei der Gestalter sich zum Dienstleister der Nutzer machen, sondern vielmehr in einen intensiven Dialog mit den Nutzern über mögliche Versionen der Zukunft eintreten [9]. Die weit verbreitete Idee, dass Nutzer die einzige wirklichen Experten für ihren Alltag sind, greift hier zu kurz. Sie

mögen Experten für ihren jetzigen Alltag sein, nicht unbedingt aber für ihren zukünftigen. Weiterhin machen Menschen nicht alles ideal. Beispielsweise würde in vielen Fällen eine wenig mehr physische Aktivität sowohl Körper als auch Geist gut tun. Nur weil dies keinen Platz im Alltag vieler Menschen findet, heißt das nicht, dass Aktivität nicht wünschenswert wäre. Gestaltung erfordert also einen Dialog über Möglichkeiten und ihrer Vor- und Nachteile.

Um eine sinnvolle Konversation über Zukunftsversionen zu ermöglichen, müssen Konzepte und Möglichkeiten von Beginn möglichst real erlebbar gemacht werden. So können sie direkt mit der Zielgruppe der Senioren exploriert werden. Ein häuslicher Alltag besteht immer aus Praktiken, z.B. dem Mittagessen, dem Lesen, dem Ins-Bett-Gehen und vielen mehr. Es geht darum, zu verstehen und festzuhalten, wann eine solche Praktik besonders freud- und bedeutungsvoll ist. Letztendlich soll der Roboter solche Praktiken und Routinen formen.

3 Ein Beispiel: Das morgendliche Wecken

3.1 Vorgehensweise

Die oben beschriebene Zielvorstellung – freudvolle und bedeutungsvolle Alltagserlebnisse zu schaffen, die durch einen sozialen Roboter vermittelt werden – erfordert eine Mischung aus Analyse und Gestaltung in deren Zentrum das Erlebbarmachen möglicher Praktiken steht. Wir bedienen uns des Experience-Prototypings [10], Designimprovisationen [11], der Nutzung eines Theatrical Robots [12] und der Wizard-Of-Oz (WoZ) Methode [13]. Wir stimmen Dautenhahn zu, die betont, dass es bei der Gestaltung von MRI (wie bei jeder Gestaltungsaufgabe) keinen einzig richtigen Weg gibt [14], sondern dass man aus der Vielzahl von Methoden die jeweils geeignetste wählen und anpassen sollte. Wir haben uns zunächst ein "Labor" geschaffen, in dem wir unsere Gestaltungsvorschläge ausprobieren. Das flexible Experimentierfeld besteht aus einer Wohnumgebung (der realen Wohnung eines zuvor besuchten Senioren nachgeahmt), einem Roboter-Dummy und einem Drehbuch. Ferner haben wir dies mit Designimprovisationen [11] kombiniert – dem Ausloten von Möglichkeiten durch das Durchspielen von Situationsvarianten, bei dem den Teilnehmern konkrete Rollen zugeteilt werden. Die Senioren – als potentielle Nutzer – sind bereits in ihrer Rolle und werden gebeten, sich die Interaktion in ihrer eigenen Wohnung vorzustellen.



Abbildung 3.1: Der Dummy wird von einer Person aus seinem Inneren heraus bedient und gespielt

Der Dummy (Abbildung 3.1) – das Roboter-Simulations-Modell oder Theatrical Robot – hingegen ist in seinem Aufbau an die Ausgangssituation des Sympartner-Roboters und damit an den vorhandene technischen Möglichkeiten angelehnt. Für seine funktionale Umsetzung haben wir die Methode Wizard-Of-Oz [13] angewandt, bei der eine Person den Roboter oder Teile der Funktionalität simuliert – in unserem Fall kommen wir sogar vollends ohne "Technik" aus.

Ein Mitarbeiter bedient und spielt den Roboter aus dessen Inneren heraus. Durch eine Hülle aus Lochpapier ist die Person zwar als solche erkennbar und der Nutzer wird somit nicht wie üblicher Weise und zuvor kritisiert [15] unwissend gelassen und getäuscht, aber man sieht kein Gesicht und somit keine Mimik, von der man sich beispielsweise leichter überzeugen lassen würde, als von einem Roboter. Gleichzeitig ist diese Methode bei uns mit der Nutzung eines Theatrical Robots [12] kombiniert – eines lebensgroßen, verkörperten und simulierten Roboters, bei dem ein Mensch oftmals in einem roboterhaften Kostüm erscheint und sich nach einer Trainingszeit wie ein solcher verhält. Unsere Methode ist eine etwas ausgereiftere Form hiervon. Der Mensch ist weniger deutlich als solcher erkennbar und der Roboter erscheint nicht humanoid, sondern in einem Modell-Gehäuse in gewünschter Konfiguration. Dieses Gehäuse schränkt den Darsteller bereits durch seine Form ein und zwingt ihn automatisch zu einem Verhalten, das dem unseres Roboters ähnelt. So sind beispielsweise Bewegung, Geschwindigkeit und Sicht eingeschränkt. Die Kombination dieser beiden Methoden bietet sich in diesem Fall an, da der finale Roboter eine Größe und Form hat, die sich in etwa durch einen Menschen abbilden lässt. Der Mensch ist also nicht versteckt wie bei einem WoZ, aber auch nicht so deutlich erkennbar, wie bei einem Theatrical Robot.

Das dazugehörige Drehbuch leitet den Mitarbeiter, der den Roboter spielt. Es wird nach unseren Erfahrungen kontinuierlich weiterentwickelt. Ähnlich der Arbeit eines Autors "scripten" wir den Alltag mit dem Roboter. Das Drehbuch ist dabei ähnlich eines Spielbuches, bei dem der Leser unterschiedliche Wege gehen und so den Gang der Geschichte beeinflussen kann, bzw. noch offener als ein solches, da das Drehbuch eher generell durch den Tagesablauf des Nutzers begleitet. In das "Labor" laden wir immer wieder einzelne Personen der Zielgruppe ein, um die Erlebnisse gemeinsam durchzuspielen und so auszuprobieren. Roboter zu spielen, erlaubt schnelles und vielfältiges Testen und Weiterentwickeln von Erlebnissen, Verhalten und Interaktionen und ermöglicht Improvisation mit Teilnehmern. Während ein Senior die verschiedenen Situationen durchlebt, wird er gebeten „laut zu denken“ [16] und somit das Erlebte wiederum zu veranschaulichen. Dies dient als Grundlage für Zwischen- und Nachgespräche. Der Senior lässt so seine Eindrücke in den iterativen Gestaltungsprozess einfließen. In diesem Sinne fokussiert die Methode nicht auf das "Testen" vorgegebener Erlebnisse, sondern auf das gemeinsame, dialogische Erarbeiten von Möglichkeiten. Neben der Konversation, ziehen wir Erkenntnisse natürlich auch aus der Beobachtung der Senioren während der Interaktionen. Jedes Zögern oder Lächeln gibt hilfreiche Auskunft und kann Gegenstand eines Gespräches sein. Im Folgenden illustrieren wir diese Vorgehensweise beispielhaft anhand einer Praktik eines üblichen Tagesablaufs: dem Geweckt-Werden und Aufstehen.

3.2 Das "Aufsteh-Erlebnis" – Version 1

Der Ausgangspunkt ein emotionaleres "Aufsteh-Erlebnis" zu gestalten, war die Idee soziale Elemente einzubringen. Die Funktion eines sozialen Roboters ist es, Erlebnisse zu erzeugen, die eine nicht ausreichende Befriedigung des Wunsches nach Nähe zu anderen Menschen ein wenig kompensieren können. Dementsprechend sollte ein Aufsteh-Erlebnis erzeugt werden, das eine Mischung aus Wecker und vertrauter Person darstellt. Einer Person, die die Gardinen öffnet und „Guten Morgen, Spatz!“ ruft. Der Roboter soll also nicht nur exakt wecken, sondern auch dazu motivieren, den Tag gemeinsam und aktiv zu beginnen. Der Ablauf des Aufsteh-Erlebnisses, wie wir es mit Senioren durchgespielt haben, setzt sich zusammen aus dem sen-

siblen Wecken des Senioren durch den mobilen Roboter nach vorheriger Vereinbarung (Abbildung 3.2), praktischen Hilfen, wie dem Hochfahren der Rollläden, die durch den sozialen Roboter angeboten werden und mit Hilfe der Haussteuerung realisiert werden, gefolgt von medial untermaulten körperlichen Übungen im Bett und weiterer emotionaler Begleitung beim Start in den Tag.

Wir hatten bislang sieben Senioren (70-85 Jahre) zu Besuch in unserem Labor. Wie in anderen Studien üblich, sahen auch unsere Senioren durchweg keinen Bedarf für einen "sozialen" Roboter [17], konnten sich aber größtenteils ein Zusammenleben mit einem Roboter für eine weit entfernte Zukunft vorstellen. Dabei ging es meist darum, bestimmte Dinge aus körperlichen Gründen nicht mehr erledigen zu können und Hilfe zu erhalten. Emotionale und soziale Aspekte wurden oft ausgeklammert. Während man sich also vorstellen kann, dass ein Haushälter bedient, bleibt das Thema Einsamkeit wie erwartet entweder ein Tabu oder etwas, das ohne Technik gelöst werden muss. Nachdem die Senioren die Interaktion mit unserem Roboter erlebt hatten, konnten sie sich dies allerdings bereits besser vorstellen. Insbesondere wurde die Abwechslung im Alltag, Anregung und Gesellschaft thematisiert und als positiv empfunden. Von einem mobilen Roboter geweckt und in den Tag begleitet zu werden, wurde von den Teilnehmern weitestgehend als potentiell angenehm empfunden. Bei der spezifischen Ausgestaltung überzeugte die Art des Weckens und sogar, dass der Roboter nach Erlaubnis an das Bett heranfährt, wurde nicht als unangenehm erachtet. Obwohl es immer die Möglichkeit gab abzulehnen, empfanden einige Personen Übungen im Bett als zu "übergriffig", andere wiederum die Anregung als sehr passend.

Während wir die Erlebnisse erprobten, kam es stellenweise zu Problemen in der Interaktion, die wir beheben konnten, indem wir bei der kontinuierlichen Weiterentwicklung das Timing angepasst, die Sätze des Roboters verkürzt und Zusammenhänge vereinfacht haben. Wir haben Lücken gefüllt und Feinheiten überarbeitet, die anders empfunden wurden als erwartet. In den Gesprächen über das Erlebnis konnten weitere wichtige Themen wie Höflichkeit, Ehrlichkeit und "Eigenleben" klarer gefasst werden. Ein Eigenleben des Roboters war uns von Anfang an sehr wichtig, als eine Möglichkeit die wesenhafte Seite eines Roboters auszugestalten. In dem Aufsteh-Erlebnis äußerte es sich durch selbstständige Vorschläge des Roboters. In einem anderen Erlebnis tanzt der Roboter selbstmotiviert. Auf Grund positiver Resonanz zu diesem noch stärkeren Eigenleben haben wir es in einer späteren Aufsteh-Variante erweitert.

3.3 Das Aufsteh-Erlebnis – Version 2

Dieses Aufsteh-Erlebnis ist eine Weiterentwicklung der vorherigen Version. Die soziale Komponente wurde verstärkt und das Wecken findet auf subtilere Art und Weise statt. Der Roboter betritt das Schlafzimmer nicht und schlägt somit auch keine Übungen im Bett vor, sondern begrüßt den Senior außerhalb des Schlafzimmers.

Wir haben die dezente Ankündigung des Roboters beim Annähern an die geöffnete Tür weiter ausgebaut. Geweckt wird zunächst durch Umgebungsgerausche, die der Roboter verursacht. Diese Art des Weckens kann als "ambientes" Wecken bezeichnet werden (Abbildung 3.2). Der Roboter rollt durch die Wohnung, schaltet dabei gegebenenfalls Licht an und fährt die Rollläden hoch. Von zufriedenem Summen, über fröhliches Pfeifen bis hin zu dem Abspielen von dezenter Musik steigert sich die Geräuschkulisse langsam. Der Roboter tanzt dabei durch die Wohnung und vor der Schlafzimmertür. Öffnet sich diese, begrüßt er den Senior und begleitet ihn in den Tag. Nur wenn der Senior auf das ambiente Wecken nicht reagiert, klopft der Roboter

symbolisch an die Schlafzimmertür. Der Senior hat das Geweckt-Werden wie von uns gehofft positiv empfunden. Im Alltag von alleinlebenden Personen kann Ambient Sociability [18], also die indirekte Teilhabe am Geschehen durch das Überhören von Gesprächen oder anderer sozialer Aktion im Hintergrund, einen wichtigen Beitrag leisten, sich nicht einsam zu fühlen. So haben einige der von uns befragten Senioren berichtet, dass sie hierfür den Fernseher nutzen oder sich bewusst in der Stadt bewegen; um ohne direkte soziale Interaktion unter Menschen sein zu können.

Akzeptanz im Detail und insbesondere das Timing (Verständnis, Höflichkeit und Fluss) waren Dinge, die immer wieder erst beim Erproben überprüft und angepasst werden konnten. Mit unserer Methode konnten wir Details also schon in einem ganz frühen Stadium ausgestalten, während bei anderen Projekten noch nach umfangreichen Langzeit-Studien mit aufwändigem semi-autonomem WoZ Prototypen Dinge, wie Einleitung der Dialoge oder Wortlaut, verbessert wurden [19]. Insgesamt haben wir eine Generalisierbarkeit der Erlebnisse und Abläufe angestrebt, die eine übergreifende technische Umsetzung ermöglicht.



Abbildung 3.2: Der Nutzer wird von dem Roboter an der Tür geweckt. (Version 1; links)
Der Roboter weckt den Nutzer ambient von außerhalb des Schlafzimmers. (Version 2; rechts)

3.4 Das Aufsteh-Erlebnis – Film (2b)

Eine Auswahl der verfeinerten Erlebnisse haben wir mit einem Eins-zu-Eins-Designmodell der von uns entwickelten Roboter-Gestalt und einer professionellen Schauspieler-Seniorin in einem Video-Prototypen dargestellt. Die entstandenen Filmsequenzen zeigen einen realistischen Gesamteindruck unseres Konzepts, und dienen der weiteren Evaluation durch eine größere Stichprobe von Senioren sowie einer jüngeren Vergleichs-Gruppe (Abbildung 3.3).

Die entstandenen Filmsequenzen zeigen einen realistischen Gesamteindruck unseres Konzepts, und dienen der weiteren Evaluation, durchgeführt vom sozialwissenschaftlichen Projektpartner (SIBIS Institut für Sozialforschung Berlin) mit einer Stichprobe von Senioren ($N=120$) sowie einer jüngeren Vergleichs-Gruppe ($N=30$).



Abbildung 3.3: Der Nutzer erwacht von den Geräuschen des Roboters aus dem Nebenraum.
(links) Beim Öffnen der Tür erblickt er den Roboter tanzend und wird freudig begrüßt.
(rechts)

4 Zusammenfassung und kritische Reflexion

Für eine sinnvolle, sensible Einbettung von autonomer sozialer Assistenz in den Alltag ist eine Gestaltung nötig, die freudvolle und bedeutungsvolle Erlebnisse in den Mittelpunkt ihrer Bemühungen stellt. Um diese zu erreichen, haben wir den üblichen benutzerzentrierten Gestaltungsprozess spezifisch ausgestaltet. Der Kern ist dabei die starke Verschränkung von ist-orientierte Analyse (der momentane Alltag) und soll-orientierter Gestaltung (ein möglicher Alltag), sowie das kontinuierliche Erlebbarmachen von Konzepten durch entsprechende Methoden. In diesem Sinne ist das "Labor" eher eine Werkstatt, in der Benutzer *und* Gestalter gemeinsam Zukünftiges erleben können. Dies dient dann als Basis für Konversationen über Wohlbefinden, Technik im Alltag und der detaillierten Ausgestaltung dieser Technik. Dies ist ein *Dialog* zwischen Benutzern und Gestaltern. Nicht nur Benutzer erklären, was sie vermeintlich brauchen oder sich wünschen, sondern auch Gestalter erläutern die Ziele, die sie mit ihrem Entwurf verfolgen. Dabei wird der Roboter nicht als ein Gerät verstanden, das lediglich Funktionen bereitstellt, sondern als eine Chance, Alltagserlebnisse auszuformen und mit sozialen und motivationalen Elementen anzureichern.

Natürlich muss man all dies auch unter Vorbehalt betrachten. Beispielsweise fand das Erleben jeweils nur an einem Nachmittag im "Labor" statt. Wie sich beispielsweise ein Aufsteh-Erlebnis dann zu Hause, im Alltag, bei wiederholtem Erleben entwickelt und "anfühlt", kann so schwer abgeschätzt werden. Allerdings ist es möglich, die Simulation in das häusliche Umfeld der Senioren zu verlegen und dort weiter zu explorieren. Nach einem längeren Zusammenleben mit dem Roboter, würden sich die Vorlieben sehr wahrscheinlich im Detail ändern. So würde hier vielleicht ein kurzes ‚Wie bitte?‘ des Roboters angenehmer empfunden werden, als ‚Ich verstehe Schlagworte, wie Ja oder Nein.‘ Bestimmte Erlebnisse verlieren unter Umständen ihren Reiz, andere werden zu liebgewonnenen Ritualen. Tatsächlich bemühen wir uns bereits in der Auswahl eher auf potentiell nachhaltige Erlebnisse zu fokussieren. Wir versuchen Szenarien zu vermeiden, die kurzfristig zwar als "neu" oder "beeindruckend" erlebt werden, aber langfristig schnell ihren Reiz verlieren. Das Aufwachen hat hier unter Umständen mehr Potential soziale Erlebnisse zu schaffen, als beispielsweise das Angebot einer Spielesammlung um die Langeweile zu vertreiben. Ob dies so aber auch gelingt, muss überprüft werden.

Der beschriebene Ansatz ist ein gestalterischer. Er geht davon aus, dass gute Gestaltung in den Details liegt und versucht, diese Details im Dialog mit den Benutzern immer genauer zu fassen. Dieses Vorgehen ist bewusst "anekdatisch". Wir suchen das Detail, das intensive Gespräch mit möglichen Benutzern über Varianten der Ausgestaltung und ihrer möglichen Wirkung im Alltag und nicht so sehr den Überblick, über das, was im Schnitt akzeptiert werden würde. Sicher spielt bei der Auswahl unserer Gesprächspartner auch ihre Repräsentativität eine Rolle (obwohl wir finden, dass das Aufsteh-Erlebnis, beispielsweise, auch bei jüngeren Menschen in Varianten funktionieren würde), aber wir setzen auf gegenseitiges Verständnis und Beeinflussung in Form von Konversationen zwischen Benutzern und Gestaltern und betonen dabei den einzelnen Fall und jede Anekdote. In letzterem liegt aber auch die Überzeugung, dass das was Erlebnisse freudvoll und bedeutungsvoll macht, tatsächlich weniger stark zwischen Menschen variiert als man gemeinhin annimmt. Oder anders ausgedrückt: Ein Mensch möchte vielleicht beim Aufwachen eher allein oder eben nicht alleine sein. Möchte er nicht allein sein, können dann auch auf der Basis nur weniger Personen relativ allgemeingültige Erlebnisse beschrieben werden, die verstanden und gemocht werden. Um definitiv sagen zu können, dass diese Erlebnisse auch Anklang bei der Mehrzahl der Senioren finden, bedarf es natürlich der Evaluation durch eine

größere Stichprobe. Dies ist Teil unseres Verbundprojektes, aber nicht Ziel unserer spezifischen Arbeit und dieses Beitrages. Ein Roboter im häuslichen Umfeld stellt eine zukünftige Möglichkeit dar. Natürlich soll man diese so gestalten, dass sie von den Benutzern akzeptiert wird. Akzeptanz heißt dabei aber nicht, den Wünschen und Bedürfnisse der Nutzer lediglich zu folgen. Vielmehr ist es notwendig, gemeinsam eine Zukunft zu kreieren und darüber zu sprechen, ob diese erstrebenswert wäre.

5 Förderung

Die diesem Beitrag zugrundeliegenden Arbeiten entstanden im Forschungsverbundprojekt SYMPARTNER mit den Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 16SV7221.

6 Literatur

- [1] E. Shove, M. Pantzar, M. Watson: *The Dynamic of Social Practice*. Sage Publications, 2012.
- [2] S. Hutson, S. L. Lim, P. J. Bentley, N. Bianchi-Berthouze, A. Bowling: Investigating the Suitability of Social Robots for the Wellbeing of the Elderly. In: International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction. Springer, S. 578-587, 2011.
- [3] P. Jordan: *Designing Pleasurable Products. An Introduction to the New Human Factors*. Taylor & Francis, 2000.
- [4] M. Hassenzahl, N. Tractinsky: User Experience - a Research Agenda. *Behaviour & information Technology*, 25(2), S. 91-97, 2006.
- [5] R. Bemelmans, G. J. Gelderblom, P. Jonker, L. De Witte: Socially Assistive Robots in Elderly Care: A Systematic Review into Effects and Effectiveness. In: *Journal of the American Medical Directors Association*, 13(2), S. 114-120, 2012.
- [6] T. Klamer, S. B. Allouch: Acceptance and Use of a Social Robot by Elderly Users in a Domestic Environment. In: 4th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare. IEEE Press, S. 1-8, 2010.
- [7] T. Körtner, A. Schmid, D. Batko-Klein, C. Gisinger, A. Huber, L. Lammer, M. Vincze: How Social Robots Make Older Users Really Feel Well – A Method to Assess Users’ Concepts of a Social Robotic Assistant. In: International Conference on Social Robotics. Springer, S. 138-147, 2012.
- [8] S. Diefenbach, M. Hassenzahl: The Dilemma of the Hedonic - Appreciated, but Hard to Justify. *Interacting with Computers*, 23(5), S.461-472, 2011.
- [9] P. Wright, J. McCarthy: *Experience-Centered Design: Designers, Users, and Communities in Dialogue*. Morgan Claypool, 2010.
- [10] M. Buchenau, J. F. Suri: Experience Prototyping. In: Proceedings of the 3rd Conference on Designing Interactive Systems. ACM, S. 424-433, 2000.
- [11] B. Laurel: Design Improvisation. Ethnography Meets Theater. In: B. Laurel (Ed.): *Design Research: Methods and Perspectives*, MIT Press, S. 49-54, 2003.
- [12] B. Robins, K. Dautenhahn, J. Dubowski: Investigating Autistic Children's Attitudes Towards Strangers with the Theatrical Robot - A New Experimental Paradigm in Human-Robot Interaction studies. In: IEEE international workshop on robot and human interactive communication, S. 557-562, 2004.

- [13] J. F. Kelley: An Iterative Design Methodology for User-friendly Natural Language Office Information Applications. In: ACM Transactions on Information Systems (TOIS), 2(1), S. 26-41, 1984.
- [14] K. Dautenhahn: Methodology and Themes of Human-Robot Interaction: A Growing Research Field. In: International Journal of Advanced Robotic Systems, 4(1), S. 103-108, 2007.
- [15] N. M. Fraser, G. N. Gilbert: Simulating Speech Systems. In: Computer Speech & Language, 5(1), S. 81-99, 1991
- [16] K. A. Ericsson, H. A. Simon: How to Study Thinking in Everyday Life: Contrasting Think-Aloud Protocols with Descriptions and Explanations of Thinking. Mind, Culture, and Activity, 5(3), S. 178-186, 1998.
- [17] J. Pripf, T. Körtner, D. Batko-Klein, D. Hebesberger, M. Weninger, C. Gisinger, S. Frennert, M. Antona, I. Adami, M. Bajones, M. Vincze: Results of a Real World Trial with a Mobile Social Service Robot for Older Adults. In: The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interation. IEEE Press, S. 497-498, 2016.
- [18] J. McGonigal: Reality is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World. Penguin Press, 2011.
- [19] D. Fischinger, P. Einramhofa, K. Papoutsakisb, W. Wohlkingera, P. Mayerc, P. Panekc, S. Hofmanne, T. Koertnerd, A. Weissa, A. Argyrosb, M. Vinczea: Hobbit, a Care Robot Supporting Independent Living at Home: First Prototype and Lessons Learned. Robotics and Autonomous Systems, 75, S. 60-78, 2016.

Gestaltung eines biomimetischen, weichen Muskelhandschuhs

Z. Yao, R. Weidner, C. Linnenberg, A. Argubi-Wollesen, J. P. Wulfsberg

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

zhejun.yao@hsu-hh.de, Robert.Weidner@hsu-hh.de, Christine.Linnenberg@hsu-hh.de,
Argubi-Wollesen@hsu-hh.de, Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Die Hände sind für sehr viele Aktivitäten des täglichen Lebens erforderlich. Personen mit einer herabgesetzten Handfunktion sind daher im täglichen Leben eingeschränkt. Zur Unterstützung von Handaktivitäten lassen sich Handschuhe mit integrierter Aktuatorik einsetzen. Dieser Beitrag stellt zum einen ein Konzept für einen weichen Muskelhandschuh vor, der die biomechanischen Eigenschaften der menschlichen Hand möglichst realitätsgerecht repliziert. Zur Aktivierung werden die technischen Sehnen mit einer Formgedächtnislegierung, als künstlicher Muskel, eingesetzt, um die für die Handbewegung erforderlichen Kräfte bereitzustellen. Zum anderen werden experimentelle Ergebnisse des Muskelhandschuhs vorgestellt und die Leistungsfähigkeit abgeleitet.

Abstract

“Design of a bio-inspired, soft muscle glove“

Our hands are involved in most of our daily activities. People with a handicapped hand are therefore very restricted in daily life. Gloves with integrated actuators to support hand activities can be a charming solution for these people. This paper presents the concept and design of a soft muscle glove which mimics some biomechanical properties of the human hand and replicates the hand function as faithfully as possible. In our design Shape Memory Alloy actuators and cables serve as artificial muscles and tendons for motion initiation. The performance of the muscle glove were analyzed by several experimental tests.

Keywords: Muskelhandschuh, bio-inspiriert, Formgedächtnislegierung, Greifunterstützung

1 Einleitung

Nach Eurofound (2010) arbeiten mehr als 60% der Industriearbeiter mit repetitiven Hand- und Armbewegungen [1]. Speziell in der Montage geschieht dies in belastenden, strikt standardisierten Aufgaben in geringen Taktungszyklen (<30 sec) [2]. Belastende manuelle Tätigkeiten stellen einen Risikofaktor für Erkrankungen am menschlichen Muskelskelettsystem dar. Beispielsweise können wiederholte und kraftintensive Handbewegungen zu Funktionsstörungen der Hand führen, die das tägliche Leben und Arbeiten stark beeinflussen können [3, 4]. Erkrankungen des Muskelskelettsystems können zum einen zu einer verringerten Muskelkraft und zum anderen zu Problemen bei der Kraftübertragung (z.B. durch Verletzungen des Bindegewebes) führen. Als Resultat kann es Personen unmöglich sein, z.B. eine ausreichende Greifkraft aufzubringen, um ein Objekt eigenständig zu halten. Zur Kompensation von entsprechenden Funktionseinbußen und zur Prävention muskuloskelettaler Erkrankungen der Hände lassen sich u.a. Muskelhandschuhe einsetzen.

Dieser Beitrag stellt aufbauend auf dem Stand der Forschung einen Ansatz für einen Muskelhandschuh auf Basis einer biomimetischen Struktur mit Formgedächtnislegierung als Aktuatorik vor. Zudem werden Ergebnisse experimenteller Untersuchungen vorgestellt.

2 Stand der Forschung

Für die Rehabilitation von Erkrankungen an der Hand wurden einige tragbare Hilfsvorrichtungen entwickelt. Diese besitzen i.d.R. harte Strukturen oder Elemente wie bspw. in Hand-Exoskeletten [5, 6]. Hilfsmittel dieser Art müssen idealer Weise so ausgelegt sein, dass ihre Drehpunkte mit den Drehachsen der menschlichen Gelenke übereinstimmen. Ansonsten können die Abweichungen zu Beschwerden und Verletzungen des Nutzers sowie zu Einschränkungen der menschlichen Bewegungen führen [7]. Um diese Anforderung zu erfüllen, erfordert eine harte Struktur zusätzlichen Bauraum, was schwer im Handbereich zu realisieren ist. Um diese Schwierigkeiten zu überwinden, wurde eine weiche Struktur eingeführt. Die Systeme mit weicher Struktur sollen die Handbewegungen durch weiche Elastomer-Aktuatoren, die direkt mit den Fingern gekoppelt sind [8, 9], oder durch einen Seilzug und Motor [10, 11] unterstützen. Die Arbeiten im Stand der Technik fokussierten hauptsächlich auf eine Unterstützung zum Kraftgriff, insbesondere zu der Variante des Kraftgriffs, wobei alle Finger und der Daumen das Objekt umschließen. Ein Handschuh, der die Vielfalt aller möglichen Griffarten sowie Handbewegungen realisieren kann, ist bislang noch nicht realisiert worden.

Tabelle 2.1 fasst auszugsweise Systeme aus dem Stand der Forschung und Technik zusammen und stellt einen groben Vergleich der Kerneigenschaften (Kinematik, Baugröße, Aktuatorik, Kraftübertragung) dar.

Tabelle 2.1: Exemplarische Systeme inkl. Kerneigenschaften

	Kinematik	Baugröße	Aktuatorik	Kraftübertragung
Hand-Exoskelette in [5, 6]	hart, schwer	sperrig	Elektromotor	Seilzug
Roboter-Handschuhe in [8, 9]	weich, leicht	kompakt	hydraulischer/ pneumatischer Elastomer-Aktuator	Direktantrieb
Roboter-Handschuhe in [10]	weich, leicht	dünn	Elektromotor	Seilzug
Roboter-Handschuhe in [11]	hybrid, leicht	dünn	Elektromotor	Seilzug

Elastomer-Aktuatoren sind i.d.R. weich und relativ klein als Einzelstück. Bei einer Ausgestaltung mit mehrerer Aktuatoren pro Finger, die für die notwendigen Freiheitsgrade erforderlich sind, tritt das oben beschriebene Platzproblem wieder zutage. Existierende Elektromotoren sind auf Grund ihrer Baugröße nicht für eine direkte Kopplung mit Fingern geeignet. In diesen Anwendungsfällen werden Motoren zumeist in Verbindung mit einem Seilzug eingesetzt. Die Übertragung von Kräften mittels Seilzügen zu den Drehachsen der Finger in Verbindung mit weichen Kinematikelementen ist hinsichtlich des Gewichts, der Baugröße und des Tragekomforts als vorteilhaft im Vergleich zu harten Kinematikelementen zu bewerten. Das Potential für

ein geringeres Gewicht und eine kompakte Bauweise ist bei Systemen mit Elektromotoren dennoch eingeschränkt. Für eine bessere Bewegungstreue, was wiederum mehr Freiheitsgrade voraussetzt, sind mehrere Motoren notwendig. Als Folge dessen steigen Systemgewicht und Baugröße. Die Verringerung des Systemgewichts sowie der Baugröße bei gleichzeitig hoher Bewegungstreue ist eine große Herausforderung für Hand-Unterstützungssysteme. Daher legt dieser Beitrag hierauf sein Fokus.

3 Gestaltung einer künstlichen Sehnenstruktur

Im Folgenden wird ein Ansatz für einen weichen Muskelhandschuh vorgestellt, der den Nutzer beim Greifen und der Handhabung von Objekten hinsichtlich der Kraft unterstützt und zur Entlastung des Handgelenks beiträgt. Der Handschuh nutzt eine biomimetische Struktur und künstliche Muskeln, um ein effektives Greifen und eine gute Geschicklichkeit der Hand zu realisieren. Abbildung 3.1 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung des Muskelhandschuhs. Der Handschuh ist zur Kraftübertragung mit einer Manschette am Unterarm verbunden. Die Aktuatoren sind auf der Manschette verteilt. Jeder Aktuator ist für genau einen Seilzug, der die Kräfte überträgt, zuständig (in der Abbildung vereinfacht dargestellt). Die Befestigung und Kraftübertragung im Handschuh erfolgt über Textilbänder.

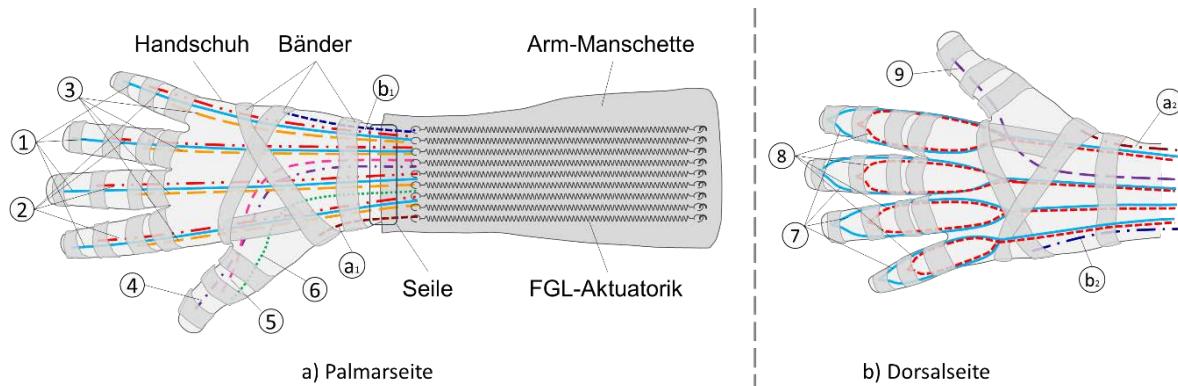


Abbildung 3.1: Vereinfachte schematische Darstellung des Muskelhandschuhs – Innenseite (links) und Außenseite (rechts) der linken Hand

3.1 Anatomie der Hand

Zum besseren Verständnis des nachstehenden strukturellen Aufbaus des Muskelhandschuhs, wird an dieser Stelle auf die anatomischen Merkmale der Hand näher eingegangen. Eine Hand besitzt einen Daumen und vier Finger (Zeigefinger, Mittelfinger, Ringfinger und kleiner Finger). Jeder Finger hat drei Fingergliedknochen (Phalanx distalis, media und proximalis), einen Metacarpalknochen (Mittelhandknochen) und drei Gelenke (distales Interphalangealgelenk (DIP), proximales Interphalangealgelenk (PIP) und Metacarpophalangealgelenk (MCP)), siehe Abbildung 3.2. Sowohl das DIP-(Fingerendgelenk) als auch das PIP-Gelenke (Fingermittelgelenk) haben einen Freiheitsgrad (Flexion und Extension), während das MCP-Gelenk (Fingergrundgelenk) zwei Freiheitsgrade (Flexion und Extension, Abduktion und Adduktion) aufweist. Der Daumen hat zwei Phalangen und einen Mittelhandknochen, mit einem Interphalangealgelenk (IP), Metacarpophalangealgelenk (MCP) und Carpometacarpalgelenk (CMC). Das IP (Daumenendgelenk) und MCP (Daumengrundgelenk) weist jeweils einen Freiheitsgrad für Flexion und Extension auf. Das CMC (Daumensattelgelenk) deckt drei Freiheitsgrade des Daumens ab: Flexion und Extension, Abduktion und Adduktion, Opposition und Reposition. Die

Opposition des Daumens ist für Handfunktionen, insbesondere für das Greifen, von elementarer Bedeutung.

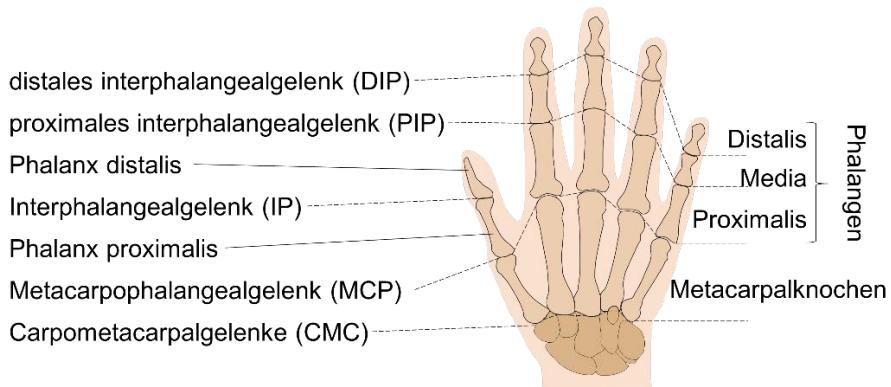


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung der Handknochen (in Anlehnung an [12])

3.2 Künstliche Sehnenstruktur

In Analogie zum anatomischen Aufbau, in dem die Sehnen den Muskel mit dem Knochen verbinden, verbindet ein Seilzug den Aktuator mit dem Handschuh (siehe Abbildung 3.1). Im Gegensatz zu der direkten Kraftübertragung durch die menschlichen Sehnen auf die Knochen wird die Zugkraft entlang des Seilzugs indirekt über den Handschuh auf die Fingeroberfläche übertragen. Für eine optimale Zugkraftübertragung sollten zum einen die Seilzüge unelastisch sein und zum anderen die Angriffspunkte möglichst weit entfernt von der entsprechenden Gelenkachse liegen, um notwendig große Drehmomente realisieren zu können. Zudem sollten die Seilzüge – die sowohl auf der Handinnen- und -außenseite für die Flexion und Extension erforderlich sind – für einen hohen Tragekomfort dünn und leicht sein.

Die Seilzüge, die für das Greifen relevant sind und die entsprechende Bewegung unterstützen, sind in Abbildung 3.1 dargestellt. Tabelle 3.1 fasst als Überblick die Seilzüge mit den zu unterstützenden Muskeln und resultierenden Bewegungen zusammen. Zu jeder Seilzuggruppe der Nummern 1, 2 und 3 gehören jeweils vier Seilzüge, die sich auf der Handinnenseite der vier Finger (Zeigefinger, Mittelfinger, Ringfinger und kleiner Finger) befinden und vor allem für das Beugen der Finger verantwortlich sind. Die Seilzuggruppe 1 ahmt jeweils die Sehnen des M. Flexor Digitorum Profundus (FDP) nach. Die Seilzüge sind für die Flexion des DIP direkt und die Flexion des PIP und MCP indirekt verantwortlich. Seilzuggruppe 2 stellt die M. Flexor Digitorum Superficialis (FDS) Sehnen dar, die die Bewegung der PIP- und MCP-Gelenke realisieren. Die Aktuatoren, die mit den Seilzügen verbunden sind, sind von einer Seite an der Manschette befestigt. Seilzuggruppe 3 stellt die künstlichen Sehnen für den Mm. Interossei (IOs) dar und ermöglicht die Flexion des MCP-Gelenks (Fingergrundgelenk). Durch die Seilzuggruppen 2 und 3 können die PIP- und MCP-Gelenke unabhängig von anderen Gelenken unterstützt werden.

Die komplexe Bewegung des Daumens wird durch drei Seilzüge realisiert. Seilzüge 4 und 5 sollen hauptsächlich das Beugen und die Opposition des Daumens und Seilzug 6 die Abduktion abbilden. Im Vergleich zu den Fingern verlaufen die Seilzüge nicht über die Mittellinie des Daumens, sondern beginnen etwas von der Mittellinie entfernt und gehen über die Handfläche zum Handgelenk. Dieser spezielle Kraftfluss der Seilzüge 4-6 ermöglicht die präzise Bewegung des CMC-Gelenks.

Tabelle 3.1: Überblick der Seilzüge auf der Handinnenseite
(siehe Nummerierung in Abbildung 3.1)

Nummer der Seilzüge	Relevante/r Muskel/n	Digiti	Phalanx	Gelenkbewegung
1	Flexor Digitorum Profundus	Finger	digitalis	DIP-, PIP- und MCP-Flexion
2	Flexor Digitorum Superficialis		media	PIP- und MCP-Flexion
3	Interossei		proximalis	MCP-Flexion
4	Flexor Pollicis Longus	Daumen	digitalis	IP- und MCP-Flexion, CMC-Opposition
5	Flexor Pollicis Brevis		proximalis	MCP- und CMC-Flexion, CMC-Opposition
6	Abductor Pollicis Brevis		proximalis	MCP-Flexion, CMC-Abduktion

Auch auf der Handaußenseite (dorsale Seite der Hand) sind Seilzüge angeordnet, um die Finger und den Daumen zu unterstützen (siehe Abbildung 3.1 rechts). Die Hauptmerkmale und Funktionen der Seilzüge auf der Handaußenfläche sind in Tabelle 3.2 zusammengefasst. Die Seilzuggruppen 7 und 8 sind für die Fingerbewegung besonders wichtig. Sie sind, um den Tragekomfort zu verbessern, in zwei „Bündel“ unterteilt. Der Seilzug 9 ermöglicht die Bewegung des Daumens in die neutrale Position.

Tabelle 3.2: Überblick der Seilzüge auf der Handaußenseite
(siehe Nummerierung in Abbildung 3.1)

Nummer der Seilzüge	Relevante/r Muskel/n	Digiti	Phalanx	Gelenkbewegung
7	Extensor Digitorum	Finger	distal	DIP-, PIP- und MCP-Extension
8	Extensor Digitorum		middle	PIP- und MCP-Extension
9	Extensor Pollicis Longus	Daumen	distal	IP- und MCP-Extension, CMC-Abduktion

Die Seilzüge a₁, b₁ und a₂, b₂ sind für die Bewegungen des Handgelenks zuständig und arbeiten unabhängig von den Seilzügen der Finger. Seilzuge a₁ und b₁ unterstützen die Flexion sowie a₂ und b₂ die Extension. Die Abduktion und Adduktion wird jeweils durch a₁ und a₂ sowie b₁ und b₂ realisiert. Durch die Abstimmung der vier Seilzüge wird das Handgelenk an der gewünschten Position behalten.

Inspiriert durch den Wirkmechanismus des Bandapparates der Hand verwendet der Muskelhandschuh unelastische Textilbänder, um die Seilzüge an der Handoberfläche zu halten. Die Bänder umschlingen jedes Fingerglied und liegen dicht an den Fingergelenken, wodurch eine effektive Kraftübertragung über die Seilzüge ermöglicht wird. Die Bänder stellen somit die

richtige Führung der Seilzüge sicher. Darüber hinaus werden durch die Bänder die Verbindungspunkte zwischen den Seilzügen und dem Handschuh definiert. Im Mittelhandbereich verlaufen die Bänder entlang des Muskelwulst am Daumen und kleinen Finger, damit der Muskelwulst bei Bewegung nicht durch die Bänder eingeschränkt wird.

4 Künstlicher Muskel

Wie bei der Vorstellung des Ansatzes beschrieben, werden künstliche Muskel als Aktuatorik für jeden Freiheitsgrad eingesetzt. Für den vorgestellten Handschuh wird eine Aktorfeder aus einer Formgedächtnislegierung (FGL) als künstlicher Muskel verwendet. Die FGL-Aktorfeder weist eine geringe Masse und eine geringe Baugröße auf.

Für eine gute Integrierbarkeit sollte der Draht und die Bauform möglichst dünn bzw. kompakt sein und zudem eine ausreichend hohe Rückstellkraft besitzen. Aus funktionaler Sicht ist eine Bauform zu bevorzugen, die einen großen Hub realisieren kann. Im Rahmen der Auslegung sind die Parameter Arbeitstemperatur des FGL-Drahts, die Drahtstärke sowie der Durchmesser und die Länge der Feder zu berücksichtigen. Der FGL-Draht für den Handschuh sollte bei Raumtemperatur leicht verformbar sein und bei einer für die Anwendung akzeptable Temperatur aktiviert werden können. Unter Berücksichtigung der oben genannten Bedingungen wird einen NiTi-Draht hierfür verwendet. Der Draht besitzt eine Umwandlungstemperatur von 55° C und einen Durchmesser von 0,32 mm. Aus dem Draht wird die FGL-Aktorfeder mit einem Durchmesser von 1,8 mm aufgewickelt.

Die FGL-Aktorfeder wird bei dem gezeigten Ansatz am Unterarm des Nutzers angeordnet. Tests haben gezeigt, dass für den Dauerbetrieb, der maximale Arbeitsweg bei ungefähr 200% der freien Federlänge liegen sollte. Für den FDP-Seilzug eines 95 mm langen Mittelfingers (gemessen von Fingerspitze zu MCP-Gelenk) wird eine maximale Auslenkung von 83 mm benötigt, um eine vollständige Flexion zu ermöglichen. Allerdings beträgt der häufigste Arbeitsweg etwa 50 mm – aus der neutralen Position (die Finger sind leicht gekrümmmt, wenn sie entspannt sind) bis zur vollen Flexion. Die freie Länge der FGL-Aktorfeder für den Muskelhandschuh wird für diese Arbeit mit 40 mm bestimmt. Diese Größen müssen individuell angepasst werden.

Unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs wird ein Pulsweitenmodulation-Signal (PWM-Signal) zur Steuerung der FGL-Stellglieder verwendet. Das PWM-Signal wird von einem Mikrocontroller erzeugt und durch ein Logikpegel-Leistungs-MOSFET an die FGL-Stellglieder weitergeleitet. Durch Änderung des Tastverhältnisses des PWM-Signals wird die an den FGL-Aktuator angelegte Leistung geregelt. Dementsprechend werden die Kraft sowie der Arbeitsweg der Feder gesteuert.

5 Umsetzung als Funktionsmuster

Das Funktionsmuster (siehe Abbildung 5.1) wurde auf Basis eines handelsüblichen Arbeitshandschuhs aus Baumwolle aufgebaut. Zur Realisierung wurden die oben beschriebenen Funktionalitäten implementiert. Die Übertragung der Zugkräfte an den Daumen, Zeigefinger, Mittelfinger und Ringfinger (auf eine Unterstützung des kleinen Fingers wurde zunächst verzichtet, weil die meisten manuellen Aufgaben mit drei oder vier Fingern durchgeführt werden können [13].) wurde über Nylon-Seilzüge mit einem Durchmesser von 0,35 mm und einer maximale

Belastbarkeit von 3,5 kg realisiert. Als FGL-Aktuatorik wurde ein NiTi-Draht, der entsprechend einer Feder aufgebaut ist, genutzt. Auf eine Sensorik zur Intensionserkennung wurde bislang verzichtet.

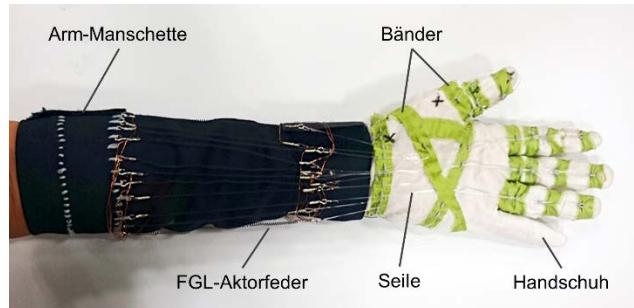


Abbildung 5.1: Funktionsmuster

6 Experimentelle Bewertung

Die Leistungsfähigkeit des Funktionsmusters wurde in experimentellen Untersuchungen analysiert (linke Hand einer gesunden Person mit vollen Handfunktionalitäten). Hierbei wurden vor allem die möglichen Griffbewegungen inkl. der erreichbaren Genauigkeit untersucht. Bei allen Untersuchungen mit Unterstützung vom Muskelhandschuh waren die Muskeln der Probandin über den gesamten Bewegungsablauf entspannt (mittels EMG-Sensorik überprüft).

6.1 Fingerbewegung

Im Mittelpunkt der Untersuchung der Fingerbewegungen stand der Vergleich des Bewegungsbereichs (Range of Motion – ROM), der vom Handschuh und den Muskeln des Systemnutzers abgebildet wird. Abbildung 6.1 zeigt einen Vergleich der Fingerflexion in verschiedenen Fingergelenken. Links ist die Flexion der DIP-, PIP- und MCP-Gelenke dargestellt, in der Mitte die Flexion für die PIP- und MCP-Gelenke sowie rechts die Flexion für die MCP-Gelenke. Die drei Arten der Flexion (von links nach rechts) wurden durch die FDP-, FDS- und IO-Seilzüge des Handschuhs eigenständig durchgeführt. Die eigenständige Bewegung von PIP und MCP ist für viele Tätigkeiten von großer Bedeutung, z.B. für das Schreiben und Drücken einer Taste. Zudem ist es dadurch auch möglich, die Greifbewegung an verschiedene Objekte anzupassen. Der Flexionsgrad der MCP- und DIP-Gelenk, der durch den Handschuh realisiert wird, ist annähernd mit der natürlichen Bewegung identisch. Der Bewegungsumfang des PIP-Gelenks ist unwesentlich geringer.



Abbildung 6.1: Fingerflexion mit verschiedenen Gelenken durch den Muskelhandschuh (obere Reihe) und ohne Unterstützung (untere Reihe) im Vergleich

Die Daumenabduktion, -opposition und -flexion sind für nahezu alle Griffarten (außer beim Hakengriff, bei dem der Daumen nicht beteiligt ist) erforderlich. Daher war es wichtig, die Daumenbewegung des Handschuhs zu untersuchen. Gemäß des Paarvergleichs in Abbildung 6.2 erzeugte der Muskelhandschuh die Hauptbewegungen des Daumens mit sehr natürlichem Bewegungsumfang.

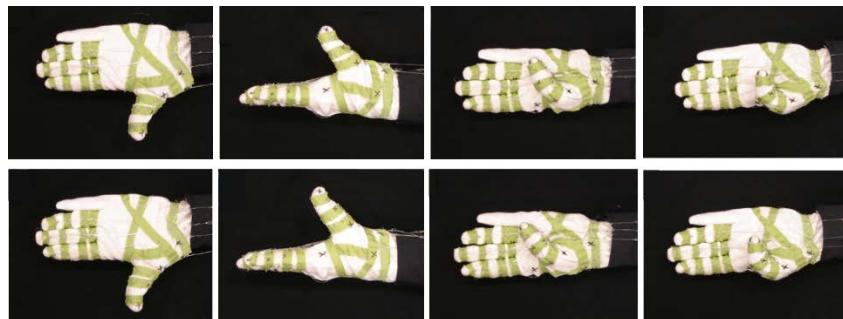


Abbildung 6.2: Daumenbewegung durch Muskelhandschuh (obere Reihe) und menschliche Muskelkraft (untere Reihe) im Vergleich

Das Zusammenwirken der Finger und des Daumens wurde durch sechs Gesten geprüft. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6.3 zusammengefasst. Der Muskelhandschuh bildet alle ausgewählten Gesten ab. Obwohl der kleine Finger nicht vom Handschuh unterstützt wird, bewegt er sich aufgrund der natürlichen Interaktion mit dem Ringfinger leicht mit.

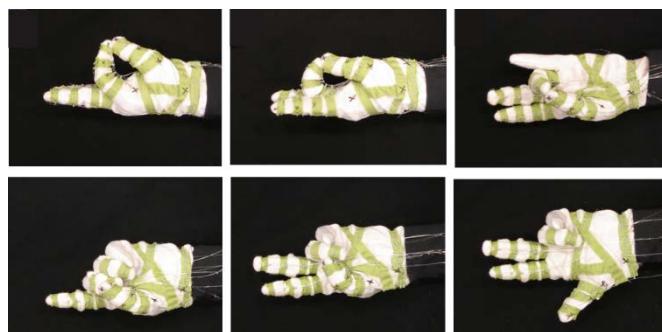


Abbildung 6.3: Durch den Muskelhandschuh erzeugte Gesten

6.2 Greifen von Objekten

Zur Überprüfung der durch den Muskelhandschuh erzeugten Greifkraft wurde eine KERN-Hängewaage CH zur Messung der Hakengriffkraft verwendet. Die Waage hatte eine Handgriffschlaufe (ca. 15,03 mm tief und 9,46 mm dick) für die Hand auf der einen Seite und einen Haken auf der anderen Seite. Die Waage war entsprechend des Arms des Systemträgers ausgerichtet und über den Haken befestigt. Zur Messung der Greifkraft wurden neun FGL-Aktorfedern, die für die Flexion des Zeige- Mittel- und Ringfinger zuständig sind, genutzt. Jeder Finger wurde durch drei Aktuatoren unterstützt. Durch die Waage wurde eine Hakengriffkraft von etwa 11 N gemessen. Um das unbeabsichtigte, aktive Greifen der Probandin auszuschließen, wurde eine Referenzuntersuchung durchgeführt; ein Griffversuch bis zu 11 N ohne Unterstützung. Bei beiden Versuchen wurden die Muskelaktivitäten mit Oberflächen-EMG-Sensoren (Myon, Schweiz) gemessen. Durch den Vergleich konnte eine aktive Beteiligung der Muskulatur ausgeschlossen werden.

Des Weiteren wurden Greiftests mit verschiedenen Objekten und Posen nach der Griff-Taxonomie aus [14] durchgeführt, um die Leistungsfähigkeit des Muskelhandschuhs zu bewerten. Die realisierte Griff-Taxonomie des Muskelhandschuhs ist in Abbildung 6.4 und Tabelle 6.1 zusammengefasst. Bei den Tests wurden die Objekte mit einem Gewicht zwischen 7,2 g und 380,6 g von der rechten in die linke Hand übergeben.

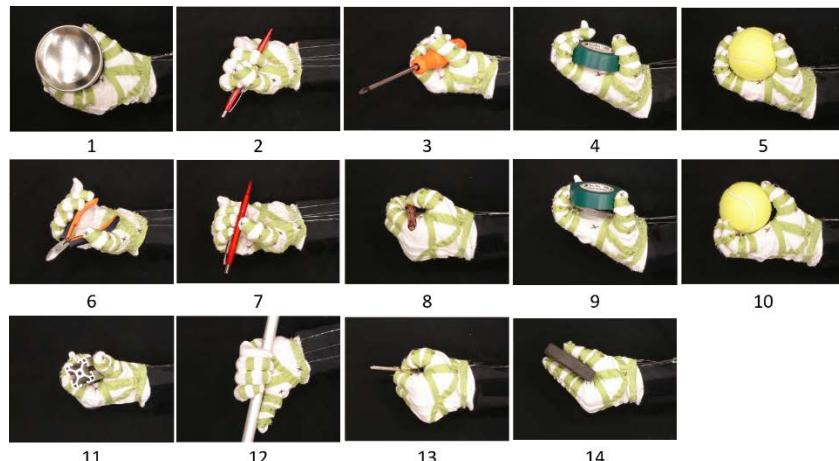


Abbildung 6.4: Realisierte Griffe in Anlehnung an Taxonomie [4]

Tabelle 6.1: Übersicht der realisierten Griffe, basierend auf der Taxonomie in [4]
(Nummer siehe Abbildung 6.4)

	Kraftgriff	Präzisionsgriff
Daumen abgespreizt	1: großer Durchmesser 2: kleiner Durchmesser 3: mittlerer Durchmesser 4: Kraftgriff, Scheibe 5: Kraftgriff, Kugel 6: distal	7: prismatisch 3 Finger 8: Schreiben, Stativ (Daumen, Zeige- und Mittelfinger) 9: Präzisionsgriff, Scheibe 10: Präzisionsgriff, Kugel
Daumen herangezogen	11: herangezogener Daumen 12: Hakengriff 13: seitlich	14: parallele Extension

6.3 Auswirkung der FDS- und IO-Seilzüge auf das Greifen

Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, ermöglichen die FDS- und IO-Muskeln eine von FDP-Muskeln unabhängige Bewegung der PIP- und MCP-Gelenke. Dies kann eine große Auswirkung auf die Greifkraft und -pose besitzen. Abbildung 6.5 fasst Ergebnisse eines durchgeföhrten Vergleichs zusammen. Bei den Griffen 1 und 2 wurden die Versuche mit inaktiven und aktiven IO-Seilzügen sowie bei den Griffen 3 und 4 mit inaktiven und aktiven FDS-Seilzügen durchgeführt. Die FDP-Aktuatoren sind bei allen vier Tests aktiv. Es hat sich gezeigt, dass sich durch die FDP- und IO-Seilzüge eine bessere Kontaktfläche zwischen der Hand und dem zu greifenden Objekt ergibt.

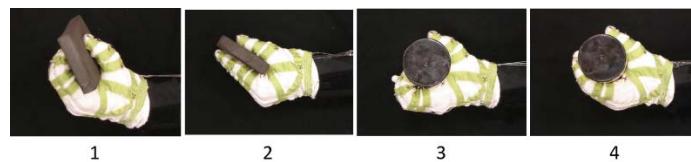


Abbildung 6.5: Vergleich von Griffen mit inaktiven und aktiven IO- (1 und 2) und FDS-Aktuatoren (3 und 4)

7 Zusammenfassung

Das Greifen von Objekten ist für die meisten Menschen selbstverständlich. Diese Funktion kann u.U. aufgrund von Handicaps eingeschränkt sein. Zur Unterstützung von Greifbewegungen lassen sich Handschuhe mit integrierter Aktuatorik einsetzen. Dieser Beitrag stellte ein Konzept für einen weichen Muskelhandschuh mit biometrischer Struktur zur Unterstützung der Greiffunktion sowie experimentelle Ergebnisse vor.

8 Danksagung

Diese Forschung stammt vornehmlich aus dem Projekt „smart ASSIST – Smart, Adjustable, Soft and Intelligent Support Technologies“, Förderkennzeichen 16SV7114, welches durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programmes „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau im Schwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion vor dem Hintergrund des demographischen Wandels“ gefördert und durch die VDI/VDE INNOVATION GmbH betreut wird.

9 Literatur

- [1] European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions (Ed.): Changes over time: first findings from the fifth European Working Conditions survey. Dublin: European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, 2010.
- [2] D. A. W. M. van der Windt: Occupational risk factors for shoulder pain: a systematic review. *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 57, Nr. 7, S. 433-442, Jul. 2000.
- [3] A. E. Barr, M. F. Barbe, B. D. Clark: Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Hand and Wrist: Epidemiology, Pathophysiology, and Sensorimotor Changes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, Vol. 34, Nr. 10, S. 610-627, Oct. 2004.
- [4] J. M. Muggleton, R. Allen, P. H. Chappell: Hand and arm injuries associated with repetitive manual work in industry: a review of disorders, risk factors and preventive measures. *Ergonomics*, Vol. 42, Nr. 5, S. 714-739, Mai 1999.
- [5] M. Fontana, A. Dettori, F. Salsedo, M. Bergamasco: Mechanical design of a novel Hand Exoskeleton for accurate force displaying. *Robotics and Automation (ICRA)*, S. 1704-1709, 2009.
- [6] P. Brown, D. Jones, S. K. Singh, J. M. Rosen: The exoskeleton glove for control of paralyzed hands. *Robotics and Automation (ICRA)*, S. 642-647, 1993.
- [7] J. L. Pons (Ed.): Wearable robots: biomechatronic exoskeletons. Hoboken, N.J: Wiley, 2008.
- [8] D. Sasaki, T. Noritsugu, M. Takaiwa, H. Yamamoto: Wearable power assist device for hand grasping using pneumatic artificial rubber muscle. *13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, S. 655-660, 2004.

- [9] P. Polygerinos, Z. Wang, K. C. Galloway, R. J. Wood, C. J. Walsh: Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 73, S. 135-143, Nov. 2015.
- [10] H. In, B. B. Kang, M. Sin, K.-J. Cho: Exo-Glove: A Wearable Robot for the Hand with a Soft Tendon Routing System. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 22, Nr. 1, S. 97-105, Mar. 2015.
- [11] M. A. Delph, S. A. Fischer, P. W. Gauthier, C. H. M. Luna, E. A. Clancy, G. S. Fischer: A soft robotic exomusculature glove with integrated sEMG sensing for hand rehabilitation. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, S. 1-7, 2013.
- [12] Bones of human hand and wrist [Online]: <http://www.anatomy-diagram.info/wp-content/uploads/2016/08/bones-of-the-hand-and-wrist-diagram-hand-bones-diagram-human-anatomy-diagram.jpg>. [Letzter Zugriffs: 10-Sep-2016].
- [13] L. A. Jones, S. J. Lederman, Human hand function. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2006.
- [14] T. Feix, J. Romero, H.-B. Schmiedmayer, A. M. Dollar, D. Kragic: The GRASP Taxonomy of Human Grasp Types. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, Vol. 46, Nr. 1, S. 66-77, Feb. 2016.

Autorenliste

Shiva Alsharif	Institut für Automatisierungstechnik Universität Bremen
Andreas Argubi-Wollesen	Laboratorium Fertigungstechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Jan C. Aurich	Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation Kaiserslautern Technische Universität Kaiserslautern
Klaus Bengler	Lehrstuhl für Ergonomie Technische Universität München
Rita Benker	Institut für Biomechanik und Orthopädie Deutsche Sporthochschule Köln
Arne Berger	Professur Medieninformatik Technische Universität Chemnitz
Thomas Berlehner	Infineon Technologies AG
Mohamad Bdiwi	Abteilung Montagetechnik und Robotik Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
Peter Biniok	Berlin
Andreas Bischof	Professur Medieninformatik Technische Universität Chemnitz
Laura Bischoff	Fakultät Psychologie und Bewegungswissenschaft Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft Universität Hamburg
Ronald Böck	Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik Lehrstuhl für Kognitive Systeme Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Susanne Boll	Institut für Informatik OFFIS
Bertold Bongardt	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz
Jonas Bornmann	Otto Bock HealthCare GmbH
Claudia Brändle	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse Karlsruher Institut für Technologie
Christopher Brandl	Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme RWTH Aachen University

*Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016*

Marco Breitfeld	Abteilung Montagetechnik und Robotik Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
Tim Bruchmüller	Institut für Produktentwicklung Karlsruher Institut für Technologie
Gert-Peter Brüggemann	Institut für Biomechanik und Orthopädie Deutsche Sporthochschule Köln
Sandra Buchmüller	Fachbereich 3 Mathematik/Informatik Universität Bremen
Rüdiger Buschfort	Rehaworks GmbH
Alfred Busse	Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg
Jan C. Aurich	Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation Technische Universität Kaiserslautern
Julia N. Czerniak	Institute of Industrial Engineering and Ergonomics RWTH Aachen University
Urban Daub	Biomechatronische Systeme Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
Kathleen Delang	Abteilung Montagetechnik und Robotik Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
Aysegül Dogangün	Personal Analytics Universität Duisburg-Essen
Amir Ebrahimi	Biomechatronische Systeme Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
Olga Egorow	Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik Lehrstuhl für Kognitive Systeme Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Anne Engler	Berliner Institut für Sozialforschung GmbH
Jörg Franke	Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
Marcus Garthaus	Institut für Gesundheitsforschung und Bildung Abteilung Pflegewissenschaft Universität Osnabrück
René Germann	Institut für Produktentwicklung Karlsruher Institut für Technologie
Jonas Gerstmann	Institut für Rehabilitationswissenschaften Humboldt-Universität zu Berlin

*Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016*

Bernhard Gill	Institut für Soziologie Ludwig Maximilians Universität München
Claude Gimenez	Airbus, Innovation & Development Manufacturing Technologies
Lisa Glashauser	Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Sebastian Glende	YOUSE GmbH Berlin
Yves-Simon Gloy	Institut für Textiltechnik RWTH Aachen University
Robert A. Goehlich	Airbus, Manufacturing Engineering
Irena Goetze	Institut für Bewegungswissenschaft Universität Hamburg
Axel Gräser	Institut für Automatisierungstechnik Universität Bremen
Torsten Grewe	Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
Anne Grohnert	Komplexe und Verteilte IT Systeme Technische Universität Berlin
Benjamin Großmann	Regensburg Robotics Research Unit Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Sarah Grube	
Jan Haase	Institut für Technische Informatik Universität Lübeck
Daniel Hamacher	Fakultät für Humanwissenschaften Sportwissenschaft – Lehrstuhl Gesundheit und körperliche Aktivität Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Marc Hassenzahl	Ubiquitous Design Folkwang Universität der Künste
Sonja Haug	Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Richard Haymerle	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften Technische Universität München
Christina M. Hein	Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik Technische Universität München
Ralph Heinemann	Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik Lehrstuhl Kognitive Systeme Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016

Kai Heinrich	Institut für Biomechanik und Orthopädie Deutsche Sporthochschule Köln
Rolf G. Heinze	Lehrstuhl für Allgemeine Soziologie, Arbeit und Wirtschaft Ruhr-Universität Bochum
Tobias Hellig	Institute of Industrial Engineering and Ergonomics RWTH Aachen University
Christoph Herder	Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation Kaiserslautern Technische Universität Kaiserslautern
Jannis Hergesell	Technische Universität Berlin
Katja Herrmanny	Personal Analytics Universität Duisburg-Essen
Anke Heß	Rehaworks GmbH
Johannes Hirsch	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse Karlsruher Institut für Technologie
Johannes Höcherl	Regensburg Robotics Research Unit Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Kevin Hölz	Institut für Produktentwicklung Karlsruher Institut für Technologie
Christoph Hubatschke	Institut für Philosophie Universität Wien
Alfred Hypki	Lehrstuhl für Produktionssysteme Ruhr-Universität Bochum
Randolf Isenberg	HAW-TI-MuP-PP University of Applied Science Hamburg
Natalie Jankowski	Institut für Rehabilitationswissenschaften Humboldt-Universität zu Berlin
Michael John	Innovationszentrum Telehealth Technologies Fraunhofer Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS
Wolfram Kaiser	Electromotive Engineering & Consulting GmbH
Athanasios Karafillidis	Laboratorium Fertigungstechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Elsa A. Kirchner	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz Robotics Group, University Bremen

Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016

Frank Kirchner	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz Robotics Group, University Bremen
Nadine Kleine	Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Maike Klöckner	Lehrstuhl für Produktionssysteme Ruhr-Universität Bochum
Thomas Knieling	Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie
Gerd Kock	Innovationszentrum Telehealth Technologies Fraunhofer Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS
Anne Koppenburger	Institut für Gesundheitsforschung und Bildung Abteilung Pflegewissenschaft Universität Osnabrück
Jens Kotlarski	Institut für Mechatronische Systeme Leibniz Universität Hannover
Mario Michael Krell	Robotics Group, University Bremen
Bettina-Johanna Krings	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse Karlsruher Institut für Technologie
Ingo Krohne	Airbus, Innovation & Development Manufacturing Technologies
Bernd Kuhlenkötter	Lehrstuhl für Produktionssysteme Ruhr-Universität Bochum
Shivesh Kumar	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz
Albrecht Kurze	Professur Medieninformatik Technische Universität Chemnitz
Annedore Kurzweg	Otto Bock HealthCare GmbH
Olena Kuzmicheva	Institut für Automatisierungstechnik Universität Bremen
Kevin Leveuvre	Professur Medieninformatik Technische Universität Chemnitz
Jacqueline Lemm	Institut für Textiltechnik RWTH Aachen University
Sven Leonhardt	Professur für die Vernetzte Systeme in der Betriebswirtschaft Westsächsische Hochschule Zwickau
Jana Liebach	Reha-Zentrum Lübben
Kevin Liggieri	Mercator Forscher Gruppe Ruhr-Universität Bochum

*Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016*

Christine Linnenberg	Laboratorium Fertigungstechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Sonia Lippke	Jacobs University Bremen gGmbH
Mario Löhrer	Institut für Textiltechnik RWTH Aachen University
Alicia Flores Lotz	Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik Lehrstuhl für Kognitive Systeme Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Tim C. Lüth	Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik Technische Universität München
Susanne Maaß	Fachbereich 3 Mathematik/Informatik Universität Bremen
Arne Maibaum	Technische Universität Berlin
Jens-Peter Majschak	Institut für Naturstofftechnik Außenstelle für Verarbeitungsmaschinen und Verarbeitungstechnik Dresden Technische Universität Dresden
Martin Mallwitz	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz
Sebastian Mangold	Institut für Produktentwicklung Karlsruher Institut für Technologie
Klaus Mattes	Fakultät Psychologie und Bewegungswissenschaft Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft Universität Hamburg
Sven Matthiesen	Institut für Produktentwicklung Karlsruher Institut für Technologie
Peter Mayer	Institut für Gestaltungs- und Wirkungsforschung Technische Universität Wien
Stefan Mehler	Lufthansa Technik, Aircraft Engineering
Alexander Mertens	Institute of Industrial Engineering and Ergonomics RWTH Aachen University
Udo Merschbecker	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften Technische Universität München
Jochen Meyer	Institut für Informatik OFFIS

Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016

Dominik Meyer	Fakultät Elektrotechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Tobias Meyer	Laboratorium Fertigungstechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Sabina Misoch	Interdisziplinäres Kompetenzzentrum Alter Fachhochschule St. Gallen/Schweiz
Christoph Müller	Institut für Architekturwissenschaften Fachbereich Architekturtheorie Technische Universität Wien
Tobias Müller	Institut für Naturstofftechnik Technische Universität Dresden
Romy Müller	Institut für Arbeits-, Organisations- und Sozialpsychologie Technische Universität Dresden
Jens Müller	Professur für Regelungstechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Christoph Müller	Institut für Architekturwissenschaften Fachbereich Architekturtheorie Technische Universität Wien
Tim Neumann	Professur für die Vernetzte Systeme in der Betriebswirtschaft Westsächsische Hochschule Zwickau
Sascha Niedersteiner	Regensburg Robotics Research Unit Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Kathrin Nülle	Institut für Mechatronische Systeme Leibniz Universität Hannover
Lukas Oehm	Institut für Naturstofftechnik Technische Universität Dresden
Tobias Ortmaier	Institut für Mechatronische Systeme Leibniz Universität Hannover
Bernward Otten	Laboratorium Fertigungstechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Kristin Paetzold	Institut für Technische Produktentwicklung Universität der Bundeswehr München

Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016

Paul Panek	Institut für Gestaltungs- und Wirkungsforschung Technische Universität Wien
Cora Pauli	Interdisziplinäres Kompetenzzentrum Alter Fachhochschule St. Gallen/Schweiz
Matthias Peipp	Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Helga Pelizäus-Hoffmeister	Fakultät für Sozialwissenschaften Universität der Bundeswehr München
Liv Petersen	Lehrstuhl für Ergonomie Technische Universität München
Michael Pfitzer	Luise-Kiesselbach-Haus Riem Kuratorium Wohnen im Alter
Jens Piesk	Nuromedia GmbH
Christian Plegge	Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE
Clemens Pohlt	Regensburg Robotics Research Unit Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Marco Polak	Nuromedia GmbH
Konstantin Polunin	Abteilung Produktionsautomatisierung RIF e.V.
Matthias Putz	Abteilung Montagetechnik und Robotik Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
Gunther Reinhart	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften Technische Universität München
Hartmut Remmers	Institut für Gesundheitsforschung und Bildung Abteilung Pflegewissenschaft Universität Osnabrück
Tobias Rogge	Biomechatronische Systeme Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
Johannes Rönnfeldt	Fakultät Psychologie und Bewegungswissenschaft Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft Universität Hamburg
Esther Ruf	Interdisziplinäres Kompetenzzentrum Alter Fachhochschule St. Gallen/Schweiz
Marco Saggiomo	Institut für Textiltechnik RWTH Aachen University

*Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016*

Nina Schaffert	Institut für Bewegungswissenschaft Universität Hamburg
Oliver Schantin	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Lutz Schega	Fakultät für Humanwissenschaften Sportwissenschaft – Lehrstuhl für Gesundheit und körperliche Aktivität Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Carola Schirmer	Fachbereich 3 Mathematik/Informatik Universität Bremen
Thomas Schlegl	Regensburg Robotics Research Unit Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Christopher M. Schlick	Institute of Industrial Engineering and Ergonomics RWTH Aachen University
Sebastian Schmidt	Institut für Produktentwicklung Karlsruher Institut für Technologie
Jonas Schmidtler	Lehrstuhl für Ergonomie Technische Universität München
Michael Schneider	Institut für Soziologie Ludwig Maximilians Universität München
Urs Schneider	Biomechatronische Systeme Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
Laura Schönijahn	Institut für Rehabilitationswissenschaften Humboldt-Universität zu Berlin
Johannes Schubert	Institut für Soziologie Ludwig Maximilians Universität München
Margarete Schuler-Harms	Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Andre Schult	Außenstelle für Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik Dresden Fraunhofer IVV
Eva Schulze	Berliner Institut für Sozialforschung GmbH
Oliver Schürer	Institut für Architekturwissenschaften Fachbereich Architekturtheorie Technische Universität Wien

Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016

Sandra Schwarz	Das ganze Leben AWO Thüringen
Anne Schweim	
Marie Schweim	
Anett Seeland	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz
Ingo Siegert	Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik Lehrstuhl Kognitive Systeme Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Marc Simnofske	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz
Roland Simon	Institut für Gesundheitsforschung und Bildung Abteilung Pflegewissenschaft Universität Osnabrück
Volker Skwarek	Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Andreas Smurawski	Reha-Zentrum Lübben
Benjamin Stangl	Institut für Architekturwissenschaften Institut für Architekturtheorie Technische Universität Wien
Frank Steinicke	Mensch-Computer Interaktion Universität Hamburg
Klaus-Martin Stephan	Neurologische Abteilung SRH Gesundheitszentrum Bad Wimpfen
Michael Storz	Professur Medieninformatik Technische Universität Chemnitz
Robert Strommer	Festo AG & Co. KG Business Opportunities
Marc Tabie	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz
Tobias Teich	Professur für die Vernetzte Systeme in der Betriebswirtschaft Westsächsische Hochschule Zwickau
Severin Teubner	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften Technische Universität München
Angelina Thiers	Fakultät für Humanwissenschaften Sportwissenschaft – Lehrstuhl Gesundheit und körperliche Aktivität Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016

Michael Tornow	Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik Lehrstuhl Kognitive Systeme Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Sören Totzauer	Professur Medieninformatik Technische Universität Chemnitz
Angelika Trübwetter	YOUSE GmbH Berlin
Michael Uhl	Institut für Produktentwicklung Karlsruher Institut für Technologie
Leon Urbas	Institut für Automatisierungstechnik Technische Universität Dresden
Luis M. Vaca Benitez	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz
Dana-Sophia Valentiner	Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Claudia Voelcker-Rehage	Institut für Angewandte Bewegungswissenschaften Technische Universität Chemnitz
Alena Wackerbarth	Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Michael Wahl	Institut für Rehabilitationswissenschaften Humboldt-Universität zu Berlin
Karsten Weber	Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Robert Weidner	Laboratorium Fertigungstechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Nora Weinberger	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse Karlsruher Institut für Technologie
Julika Welge	Erlebnis und Interaktion Folkwang Universität der Künste
Andreas Wendemuth	Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik Lehrstuhl Kognitive Systeme Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Niels Will	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz
Lena Winkler	Abteilung Montagetechnik und Robotik Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

Zweite transdisziplinäre Konferenz
„Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ 2016

Hendrik Wöhrle	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz
Bettina Wollesen	Fakultät Psychologie und Bewegungswissenschaft Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft Universität Hamburg
Mirko Wolschke	Reha-Zentrum Lübben
Jens P. Wulfsberg	Laboratorium Fertigungstechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Zhejun Yao	Laboratorium Fertigungstechnik Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
In Seong Yoo	Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Mehmed Yüksel	Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz
Jens Ziegler	Institut für Automatisierungstechnik Technische Universität Dresden
Nenja Ziesen	Institut für Textiltechnik RWTH Aachen University

Laboratorium Fertigungstechnik | Forschernachwuchsgruppe smartASSIST