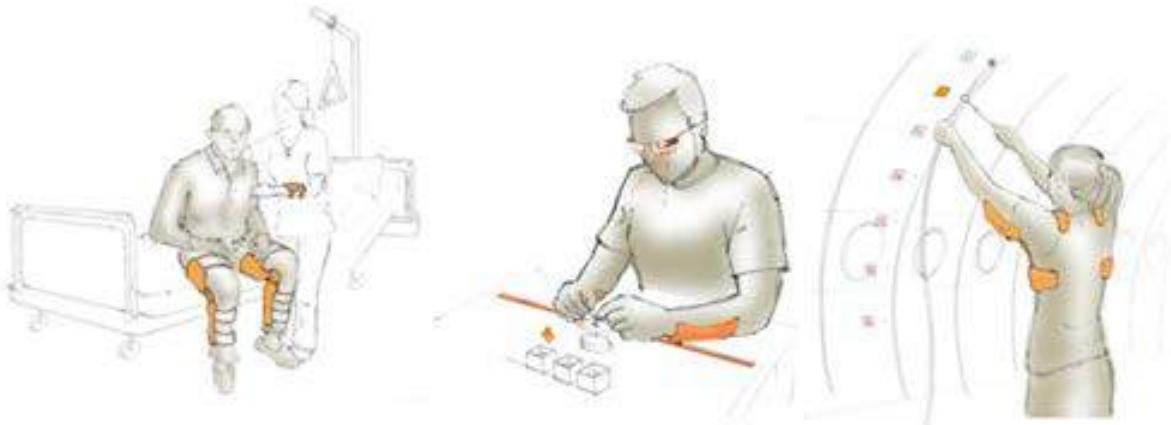


Erste Transdisziplinäre Konferenz zum Thema

Technische Unterstützungssysteme, die Menschen wirklich wollen



Hamburg

2014

Herausgeber

Robert Weidner und Tobias Redlich

Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik

Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85

22043 Hamburg, Deutschland

ISBN: 978-3-86818-073-2

Copyright Helmut-Schmidt-Universität 2014

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,

das Laboratorium Fertigungstechnik (LaFT) der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg begrüßt Sie im Dezember 2014 herzlich in Hamburg zur Ersten Transdisziplinären Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“. Im Rahmen dieser disziplinübergreifenden und partizipativen Konferenz werden Wissenschaftler, Praktiker und potentielle Nutzer aus verschiedenen Disziplinen und Branchen zusammengeführt, um gemeinsam die Grundlage für eine bedarfsoorientierte Technikentwicklung zu schaffen. Deren Kernidee ist, dass der Mensch auch in Zukunft in vielen Bereichen durch Technik weder ersetzt werden kann noch sich ersetzt zu werden wünscht. Die gesellschaftliche Akzeptanz technischer Unterstützungssysteme stellt den Ausgangspunkt dieser Konferenz dar.

Wir freuen uns auf interessante Beiträge von Wissenschaftlern und Studierenden unterschiedlicher Fachbereiche und von Mitarbeitern aus unterschiedlichen Industriezweigen sowie auf die Arbeit in den gemeinsamen Workshops, bei denen aktuelle Forschungsfragen erörtert und diskutiert werden.

Wir bedanken uns bei allen Beitragenden und Mitwirkenden. Ein besonderer Dank gilt der Akademie der Wissenschaften Hamburg für die Förderung der Konferenz sowie der Helmut-Schmidt-Universität für die Bereitstellung der Räumlichkeiten.

Hamburg, den 02. Dezember 2014



Dr.-Ing. Robert Weidner



Dr.-Ing. Tobias Redlich

Wissenschaftlicher Ausschuss der Konferenz

Prof. Dr. Michael Decker

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie

Prof. Dr. Bernd Kuhlenkötter

Institut für Produktionssysteme, Technische Universität Dortmund

Prof. Oliver Röhrle, Ph.D.

Institut für Mechanik (Bauwesen), Universität Stuttgart

Prof. Dr. Raúl Rojas

Institut für Informatik, Freie Universität Berlin

Prof. Dr. Christopher Schlick

Institut für Arbeitswissenschaft, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Jun.-Prof. Syn Schmitt

Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft, Universität Stuttgart

Prof. Dr. Jens P. Wulfsberg, Dr. Tobias Redlich, Dr. Robert Weidner

Laboratorium Fertigungstechnik, Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg

Inhaltsverzeichnis

Technik, die die Menschen wollen.....	1
(R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg)	
Wo brauchen und wollen Ältere Technik?.....	9
(T. Birken, H. Pelizäus-Hoffmeister, P. Schweiger)	
Beschreibung eines kompetenzorientierten Ansatzes für die Gestaltung technischer Unterstützungssysteme.....	19
(K. Paetzold, V. Nitsch)	
Prototyping von intuitiven und interaktiven Benutzerschnittstellen	30
(P. Kulms, H. v. Welbergen, S. Kopp)	
„Bestmögliche Gestaltung“?	39
(K. Liggieri)	
NASFIT – Intelligente Assistenzsysteme zur Funktionsunterstützung und Therapieüberwachung bei neuromuskulären Störungen	47
(A. Hein, T. Kirste, F. Feldhege, A. Mau-Moeller, R. Bader, U.K. Zettl, O. Burmeister)	
Medizinische Hilfsmittel zur Kompensation sensorischer Defizite	56
(S. Dannehl, L. Doria, M. Kraft)	
Ein methodischer Ansatz für die Entwicklung angepasster und altersgerechter Produkte am Beispiel einer Aufstehhilfe.....	66
(O. Sankowski, B. Wollesen, D. Krause)	
Alter(n)sgerechte Lernsettings in fertigungstechnischen Kontexten	78
(M. Thüsing, M. Jeretin-Kopf, R. Haas, C. Armbruster)	
Programmieren von produktionstechnischen Unterstützungssystemen durch Vormachen	89
(D. Akoulov, R. Weidner, J. P. Wulfsberg)	
Interaktive Einbindung von Mitarbeitern in das Lösen von Optimierungsproblemen am Beispiel der Logistikplanung.....	100
(N. Mattar, P. Kulms, S. Kopp)	
Konzept zur Abbildung assistierender Technologien in Modellfabriken	110
(A.-K. Schmidt, N. Lehmann, R. Isenberg)	
Partizipative Technikentwicklung für ein selbstbestimmtes Leben im Alter.....	121
(J. Müller, M. Berger, C. Kunze)	
Assistenzsysteme für manuelle Industrieprozesse	130
(A. Bächler, T. Hörz, G. Krüll, S. Autenrieth, L. Bächler, T. Heidenreich, P. Kurtz)	
Akzeptanzerhöhung durch den Einsatz von Rapid-Prototyping Technologien für angepasste Unterstützungssysteme.....	142
(K. Hähnel, H. Freyer, S. Ulrich, R. Bruns, A. Breitfeld, J. Wulfsberg)	
Potentiale des Einsatzes von Generativen Fertigungsverfahren bei der Herstellung von individualisierten Komponenten für Mensch-Roboter-Hybridsysteme	153
(T. Meyer, A. Breitfeld, J. Wulfsberg, H. Freyer, R. Bruns)	

Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“

Mitarbeiter im Mittelpunkt der Produktion	163
(<i>K. Schwake, J. P. Wulfsberg</i>)	
Rechtliche Herausforderungen der Entwicklung und Implementierung von technischen Unterstützungssystemen in Beruf und Alltag.....	172
(<i>N. Bialeck, H. Hanau, M. Schuler-Harms, D.-S. Valentiner</i>)	
Bewertungsmethode (CMEM) zur Auswahl von Unterstützungssystemen.....	183
(<i>J. P. Graesch, R. Isenberg</i>)	
Auswirkungen technischer Unterstützungssysteme auf die Betriebsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung.....	196
(<i>W. Weidner</i>)	
Technikkritik aus Sicht der philosophischen Anthropologie	206
(<i>J. Sombetzki</i>)	
Steigerung der Akzeptanz neuer Technik am Beispiel kooperativer Roboter	220
(<i>R. R. Brauer, N. M. Fischer, G. Grande</i>)	
Kontextspezifität der Akzeptanz von Assistenzsystemen am Beispiel einer Datenbrille	229
(<i>N. M. Fischer, R. R. Brauer, G. Grande, M. Unger, S. Wilke</i>)	
Wunsch und Wirklichkeit bei der Nutzung von Robotik und Navigation im Operationssaal	236
(<i>A. Bettermann</i>)	
Erfolg durch Akzeptanz der Mitarbeiter: Intelligente Assistenzsysteme in der Produktion, am Beispiel der Textilindustrie	246
(<i>J. Lemm, M. Löhner, N. Dartsch, Y.-S. Gloy, T. Gries, N. Ziesen, R. Häußling</i>)	
Mensch-Roboter-Kollaboration - Von der industriellen Produktion bis zum Anwendungsgebiet Rehabilitation	253
(<i>C. Thomas, B. Kuhlenkötter, M. Klöckner</i>)	
Realitätsnahe Information älterer Menschen mit dem VATI-Online-Navigator	262
(<i>A. Hoff, G. Thiele, J. Lässig, A. Schulz</i>)	
Perturmed	270
(<i>H. Töpfer, D. Kujat, R. Colin, T. Stocker, R. Ritzmann, K. Freyler, A. Gollhofer</i>)	
Technische Pflegeassistenz für die NutzerInnen von HEUTE.....	281
(<i>D. Buhr, L. Haug, T. Heine</i>)	
Technische Unterstützungssysteme im Hochleistungssport	289
(<i>K. Mattes, N. Schaffert</i>)	
Die intelligente Wohnung als Baustein im Internet der Dinge	298
(<i>J. Bauer, A. Ketschau, M. Michl, J. Bürner, J. Franke</i>)	
Intelligente Automatisierung für energiesparende Privathaushalte - ein Simulatorwerkzeug	308
(<i>J. Haase, D. Meyer, M. Eckert</i>)	
SMART-iBrush - Individuelle Unterstützung der Zahncleanigung durch Messung von Bewegung und Druck mit einer intelligenten Zahnbürste.....	315
(<i>G. Al-Falouji, D. Prestel, G. Scharfenberg, R. Mandl, A. Deinzer, W. Halang, J. Margraf-Stiksrud, B. Sick und R. Deinzer</i>)	

Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“

Unterstützung von Wartungsarbeiten durch verteilte AR-Assistenzsysteme.....	328
(A. Junghans, K. Wodrich, M. Jeretin-Kopf, R. Haas)	
Integration der Kompetenzentwicklung in die Montage mit Hilfe von Assistenzsystemen ..	339
(C. Dollinger, C. Lock, G. Reinhart)	
Modulare Unterstützungssysteme in der Luft- und Raumfahrtindustrie.....	347
(R. Weidner, Z. Yao, J. P. Wulfsberg, R. A. Goehlich, S. Mehler)	
Unterstützung des Menschen in der Arbeitswelt der Zukunft.....	359
(C. Hözel, V. Knott, J. Schmidtler, K. Bengler)	
Mobile Informationsassistenz für die Montage.....	370
(M. Aehnelt, S. Bader)	
Akzeptanzverbesserung autonomer Assistenzroboter durch Verhaltensadaptivität	381
(P. Nauth)	
Alleine	388
(A. Llarena, B. Fischer, J. Álvarez-Ruiz, R. Rojas)	
OnScreenDualScribe: Kleine Tastatur mit großer Wirkung	400
(T. Felzer)	
Kostenminimierte, additiv gefertigte Handprothese für den Einsatz in Entwicklungsländern	410
(I. S. Yoo, F. Hawelka, S. Reitelshöfer, J. Franke)	
Ein bio-inspirierter 3-Finger-Greifer mit Formgedächtnisaktorik	420
(F. Simone, P. Motzki, B. Holz, S. Seelecke)	
AMEE: Ein Roboterhund mit kognitiven Fähigkeiten.....	427
(J. Ruhnke, B. Bettzüche)	
Anthropomorphe Bewegungssteuerung für eine sichere und effiziente Mensch-Roboter-Kooperation in der Montage	438
(C. M. Schlick, S. Kuz, J. Bützler)	

Technik, die die Menschen wollen

Unterstützungssysteme für Beruf und Alltag

R. Weidner, T. Redlich, J. P. Wulfsberg

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Robert.Weidner@hsu-hh.de, Tobias.Redlich@hsu-hh.de, Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Häufig stoßen Unterstützungssysteme nicht auf die von ihren Entwicklern bzw. den marktein-führenden Unternehmen erwartete Akzeptanz. Dieser Beitrag thematisiert und systematisiert technische Lösungen, die Hilfsbedürftigen tatsächlich helfen können, weil sie sie nutzen wollen. Dem hier beschriebenen Ansatz liegt die Idee zu Grunde, dass Menschen technische Unter-stützungssysteme wollen, deren Grad der Unterstützung nicht höher bzw. geringer ist als es die individuellen Umstände erfordern. Dieser Grad hängt demnach nicht davon ab, was tech-nisch möglich oder ökonomisch sinnvoll erscheint, sondern ob er individuell als adäquat wahr-genommen wird.

Abstract

Technical systems which people really want - Support System for Work and Life

Support systems often do not achieve market acceptance as expected by developers and com-pañies. This paper focuses on a systematic analysis of technical solutions that can assist people, because they really want to use them. The approach is based on the idea that the level of support is supposed not to be higher and not be lower than the individual circumstances require it. The adequate level of assistance and support thus depends not on what appears to be technically possible and economically viable, but whether on what is perceived individually as adequate.

1 Einleitung

Im Jahr 2030 werden in Deutschland 37 % der Erwerbstätigen zwischen 50 und 65 Jahre alt sein und über 37 % der Bevölkerung der Altersgruppe über 60 Jahre angehören [1]. Dies stellt sowohl Menschen als auch Unternehmen vor Herausforderungen. Die (älteren) Menschen wün-schen sich eine dauerhafte Erhaltung ihrer Gesundheit, um länger selbstständig am alltäglichen Leben partizipieren zu können. Unternehmen jeglicher Art stehen vor der Herausforderung ge-eignetes Personal zu finden, das langfristig verfügbar ist und die tätigkeitsspezifischen Anfor-derungen erfüllen kann. Eine mögliche Strategie, um erstens die beruflichen Anforderungen länger erfüllen zu können und zweitens die Teilhabe alternder bzw. körperlich eingeschränkter Personen in allen Lebensbereichen besser zu gewährleisten liegt in der Entwicklung und Be-reitstellung technischer Unterstützungssysteme.

Entsprechende Systeme, die den Menschen präventiv und operativ, angepasst an individuelle Bedürfnisse und spezifische Tätigkeiten unterstützen, stellen einen vielversprechenden Ansatz

dar. Sie müssen die individuellen Anforderungen des Menschen (z.B. Größe, Funktionalitäten und Bedienbarkeit) sowie der Unternehmen (z.B. Qualität, Auslegung und Verfügbarkeit) erfüllen und dürfen den Menschen beim Gebrauch nicht behindern, einschränken und verletzen. Im vorliegenden Beitrag werden zunächst die Ausgangssituation und bereits entwickelte Systeme bzw. Ansätze zur Unterstützung des (älteren) Menschen im Berufs- und Alltagsleben aufgezeigt. Darauf aufbauend werden wesentliche Forschungsfragen abgeleitet und Ansätze für zukünftige Unterstützungssysteme aufgezeigt.

2 Ausgangssituation

In nahezu allen Lebenssituationen ist eine zunehmende Verbindung bzw. Interaktion von Mensch und Technik spürbar. Teilweise wird diese Entwicklung als „Technikabhängigkeit“ konnotiert. Überwiegend wird Technik allerdings in „guter“ Absicht z.B. zur Erhöhung von Komfort und Bequemlichkeit sowie aufgrund der gegenüber dem Menschen vorteilhaften bzw. überlegenen Eigenschaften technische Systeme (Ausdauer, Wiederholgenauigkeit und Präzision u.a.) genutzt.

Verschiedene Anwendungen können als Indiz für eine zunehmende Bindung zwischen Mensch und Technik betrachtet werden:

- elektronische Geräte wie das Handys und der Rechner,
- Implantate, wie Zähne und Hüftgelenke (Medizintechnik),
- Kommunikationstechnik, wie das intelligente Haus und Drahtlosnetzwerke,
- Produktionssysteme bspw. bei Ansätzen wie der Mensch-Roboter-Kollaboration und
- Geräte für Hilfs- und Pflegebedürftige, wie der computergestützte Rollstuhl und die Greifzange.

Bei den genannten Anwendungen konnte ein stetiger Veränderungsprozess beobachtet werden – Mensch und Technik sind schrittweise „zusammengewachsen“. Die entsprechende Entwicklung im Bereich der Produktion kann wie folgt dargestellt werden:

- Der Mitarbeiter führt seine Arbeit eigenständig unter Zuhilfenahme von Werkzeugen durch.
- Der Mitarbeiter wird durch den Einsatz von vollautomatisierten Systemen, wie Industrieroboter entlastet, indem das technische System eine fest programmierte Aufgabe verrichtet.
- Der Industrieroboter wird stetig weiterentwickelt und mit Sensorik ausgestattet, um die technische Intelligenz und dadurch die Flexibilität zu verbessern.
- Entwicklung neuer Ansätze für die Mensch-Roboter-Kollaboration. Schrittweise Zusammenlegung von Arbeitsaufgaben von Mensch und Roboter in einem Arbeitsraum, in der Regel jedoch zeitlich getrennt. Die Aufgabenverteilung erfolgt nach den individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten.
- Hybridisierung von biomechanischen und technischen Elementen in einem System (Mensch, technische Systeme, Werkzeuge und weitere Funktionalitäten) mit Hoheit beim Menschen (Unterstützungssysteme nach dem Ansatz des Human Hybrid Robot – HHR). Hierbei werden die Elemente seriell und/oder parallel angeordnet, um den Mitarbeiter aufgaben- und personenangepasst zu unterstützen. Die Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen sowie der technischen Elemente können bei diesem Ansatz zeitgleich genutzt werden.

Entlang dieses Entwicklungsstrangs können folgende zwei verschiedene Arten von Hilfesystemen voneinander abgegrenzt werden:

- technische Systeme, die eine Person substituieren und dadurch zu einer Entlastung führen (Technik führt die Aufgabe für den Menschen aus) sowie
- technische Systeme, die den Menschen bei der Ausführung seiner Aufgaben unterstützen ohne ihn dabei zu ersetzen (Mensch behält die Hoheit und wird durch die Technik angemessen unterstützt).

Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Argumente und Systematisierungen wird dieser Arbeit die folgende Definition von Unterstützungssystemen zu Grunde gelegt:

Bei einem technischen System handelt es sich um ein Unterstützungssystem, wenn

1. es den Menschen bei Tätigkeiten unterstützt, ohne ihn ganz oder teilweise zu substituieren,
2. dem Menschen die Hoheit über die Ausführung überlässt (Sollwertvorgabe durch Bediener, keine Zwangsvorgaben),
3. es sich bei dem Menschen um den Systembediener handelt und
4. vom System keine Gefahr für den Bediener und Dritte ausgeht.

3 Ansätze und Systeme aus dem Stand der Technik

3.1 Berufsleben

Im Bereich der Produktion existieren sowohl die genannten Substitutionslösungen als auch technische Unterstützungssysteme im Sinne der o.g. Definition. Eine Unterstützung kann durch Hilfsmittel und Werkzeuge realisiert werden. Werkzeuge können hierbei z.B. Drehmomentschlüssel und Akkuschrauber darstellen.

Bei der Ausführung von Arbeiten in gefährlichen Umgebungen und im Bereich der Chirurgie lassen sich Telemanipulatoren als Hilfsmittel einsetzen, die durch den Menschen gesteuert werden. Bei Handhabungsaufgaben mit großen Lasten und großen Bauteilen finden durch den Menschen bediente Balancer bzw. Hebehilfen ihren Einsatz. Der Ansatz der Mensch-Roboter-Kollaboration kann im Zwischenbereich zwischen den frei programmierbaren Automaten und den manuellen Arbeitsplätzen eingeordnet werden. Mit diesem Ansatz wird angestrebt, die Arbeitsaufgaben zwischen Mensch und Maschine in einem Arbeitsraum aufzuteilen, so dass ein simultanes Arbeiten möglich ist. Technische Systeme übernehmen i.d.R. kraftraubende Handhabungsaufgaben sowie Aufgaben mit vielen Wiederholungen. Die kooperierenden Arbeiten von Mensch und Maschine an einem Werkstück sind dabei im Stand der Technik strikt räumlich oder zeitlich getrennt. Erste Ansätze für eine räumliche und zeitliche Kooperation werden aktuell erforscht [2]. Die Automatisierung wird vor allem bei Aufgaben mit hohem Wiederholcharakter und geringer Produktvarianz vorangetrieben. Einsatz hierbei finden verstärkt Roboter mit serieller und paralleler Kinematik, die unter Umständen durch eine sensorgestützte Sollwertvorgabe im Regelkreis ergänzt werden. Technische Systeme wie Roboter und Hebehilfen entlasten den Mitarbeiter durch Übernahme verschiedenster Tätigkeiten und können somit die Ergonomie verbessern bzw. gewisse Aufgaben überhaupt erst ermöglichen.

Darüber hinaus wurden eine Reihe unterschiedlicher Assistenzsysteme mit verschiedenen Schwerpunkten entwickelt, z.B. Assistenz mit Hilfe von Datenbrillen. Vereinzelt kommen im produzierenden Umfeld auch (einfache) Exoskelette zur Kraftsteigerung zum Einsatz.

Ein neue Systemlösungen stellen Unterstützungssysteme nach dem Ansatz des Human Hybrid Robot (HHR) dar [3]. Dieser Ansatz stellt eine logische Weiterentwicklung der klassischen Mensch-Roboter-Kollaboration dar. Diese Systeme sind durch eine serielle und/oder parallele

Kopplung von biomechanischen und technischen Elementen charakterisiert, um die individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten gleichzeitig nutzen zu können (intelligente Kopplung des Menschen mit technischen Systemen, Werkzeugen und Funktionalitäten).

Zusammenfassend lässt sich in den vergangenen Jahren auch im industriellen Bereich eine enge Verknüpfung von Mensch und Maschine feststellen. Die Entwicklung ist vereinfacht in Abb. 1 dargestellt.

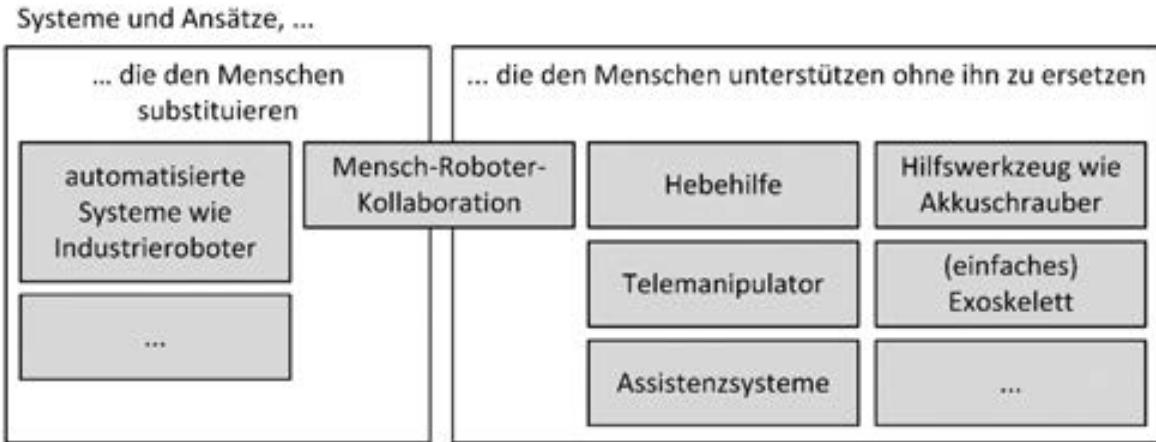


Abb. 1: Unterstützungssysteme für das Berufsleben

3.2 Alltagsleben

Auch für das Alltagsleben existieren zahlreiche Substitutionslösungen wie auch technische Unterstützungssysteme im Sinne der Definition.

Zu den Systemen, die Menschen aller Altersgruppen unterstützen können zählen Treppenlifte, Elektrofahrräder, Spurhalteassistenten im Automobil, Exoskelette, Rollatoren, Elektrozahnbürsten etc. Als Substitutionslösungen können in diesem Bereich insbesondere autonome Maschinen wie Staubsaugroboter oder Serviceroboter, selbstfüllende Kühlschränke oder autonome Kraftfahrzeuge angesehen werden (vgl. Abb. 2).

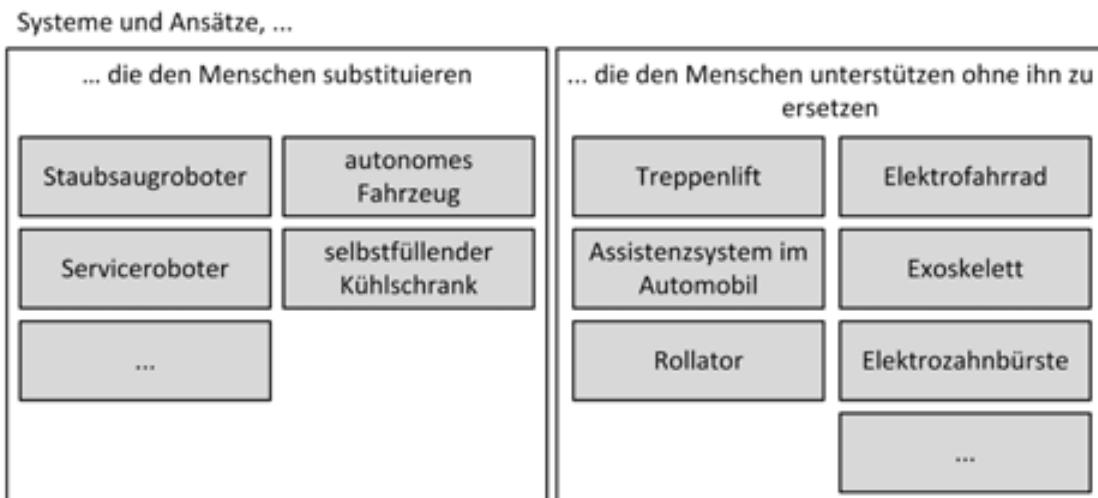


Abb. 2: Systemlösungen für die Unterstützung im Alltagsleben

4 Handlungsbedarf und Forschungsfragen

In der Vergangenheit wurden unterschiedliche Systemlösungen für die Unterstützung sowie für die Entlastung durch Abnahme von Aufgaben (Substitution des Menschen durch Maschinen) entwickelt. Die Technologieentwicklung wurde in der Regel technologiegetrieben auf Basis einer vorab (grob) durchgeführten Bedarfsanalyse durchgeführt. Hierbei wurden Nutzer teilweise bereits frühzeitig in den Entwicklungsprozess einbezogen, doch die Entscheidung nach der Art der Technik war bereits zuvor getroffen (Abb. 3 oben). Dies konnte dazu führen, dass eine Technologie entwickelt wurde, die nach technischen und ökonomischen Kriterien, einen Vorteil bieten könnte, aber durch den (potentiellen) Anwender zum einen nicht akzeptiert (passiv) und zum anderen nicht genutzt (aktiv) wird. Um das eigentliche Potenzial neuer Technologien besser ausschöpfen zu können, besteht die Möglichkeit, die beschriebene Vorgehensweise so zu modifizieren (Abb. 3 unten), dass bereits früher Anforderungen und Bedürfnisse von Nutzern aufgegriffen und einbezogen werden können (partizipativer Ansatz). Dies hat wiederum zur Folge, dass vor der Technikentscheidung eine umfangreiche Bedarfsanalyse gemeinsam mit dem Nutzer durchzuführen ist.

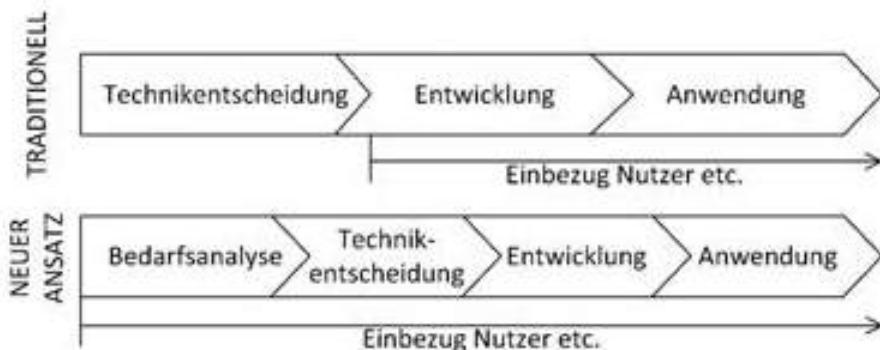


Abb. 3: Gegenüberstellung von Ansätzen für eine Technologieentwicklung

Bei einer derartigen Modifikation des Entwicklungsvorgehens gelangt der (potentielle) Nutzer stärker in den Mittelpunkt. Diese Vorgehensweise lässt nicht nur die Entwicklung bedarfsgerechter Technologien zu erwarten. Durch die Berücksichtigung von nicht ausschließlich ökonomischen (Unternehmensgewinn, Kostenreduktion, Effizienzsteigerung), vielmehr aber weiterer gesellschaftlich relevanter Zielgrößen (z.B. Akzeptanz, Lebensqualität, Selbstständigkeit, Freiheit, Glück) kann ein globales Optimum im Sinne zusätzlicher volkswirtschaftlicher Leistungssteigerung bzw. gesellschaftlicher (non-monetärer) Wertschöpfung erreicht werden.

Aus den beschriebenen Gründen ergeben sich folgende wesentliche Forschungsfragen:

- Wo wünscht sich der (ältere) Mensch eine Unterstützung?
- Wie könnte eine Unterstützung aussehen bzw. welche Art von Systemen lassen sich hierfür einsetzen?
- Wie kann die passive Akzeptanz und die aktive Aneignung entsprechender Systeme gesteigert werden?
- Wie können die Nutzerinnen und Nutzer in die Technikentwicklung integriert werden?
- Wo liegen Grenzen und was sind Potenziale entsprechender Systeme?

5 Unterstützungssysteme der Zukunft

Die im vorherigen Abschnitt beschriebene Änderung in der Vorgehensweise bedingt eine Anpassung der Entwicklungsschritte. Darüber hinaus wird die Entwicklung allgemeingültiger und Szenario unabhängiger Technologie angestrebt, d.h. die Entwicklung einer Technik, die sich in unterschiedlichen Kontexten im Alltags- und Berufsleben nutzen lässt. Um nun wirklich Technik entwickeln zu können, die durch die breite Bevölkerung akzeptiert und genutzt wird, wird auf Basis des ermittelten Bedarfs Unterstützungsfunktionalitäten definiert (Abb. 4). Diese sind in Hardware- und Software-Module umzusetzen. Hierbei sind Standards für u.a. Schnittstellen einzuhalten, um eine Kombinier- und Austauschbarkeit zu gewährleisten. Mit Hilfe der vorentwickelten Module, die sich in einem Baukastensystem zusammenfassen lassen, können ortsungebundene und ortsfeste Unterstützungssysteme aufgebaut werden. Diese können sowohl den kompletten menschlichen Körper als auch nur Teilbereiche davon unterstützen. Die Konfiguration erfolgt dabei individuell angepasst an die Person bzw. an die auszuführende Aufgabe.

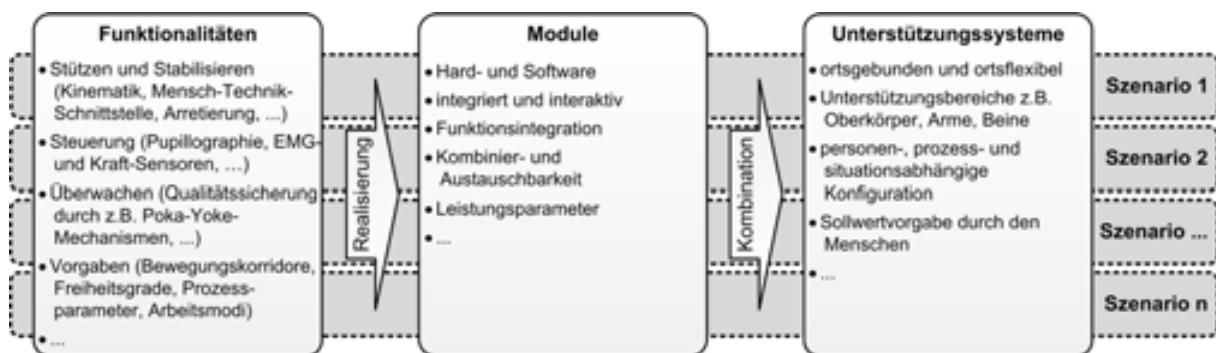


Abb. 4: Angestrebtes Entwicklungsvorgehen [4]

Die technischen Systeme sollen zusätzlich so gestaltet werden können, dass sich der Unterstützungsgrad, das heißt die „Stärke“ und der „Umfang“, individuell einstellen lässt. Unterscheiden lassen sich dabei der

- personenabhängige (d.h. in Abhängigkeit zu den individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie Wünsche und Bedürfnisse)
- aufgabenabhängige (d.h. in Abhängigkeit der prozessrelevanten Anforderungen und personenunabhängig) und
- zeitabhängige (d.h. in Abhängigkeit von z.B. Arbeitszeit und -dauer)

Unterstützungsgrad. Verdeutlicht wird dieser Zusammenhang beispielhaft in Abb. 5 oben am Beispiel der Produktion. Betrachtet wird hierbei neben einer aufgabenabhängigen Unterstützung, die erforderlich ist, um überhaupt die Qualitätsanforderungen erfüllen zu können, zum einen ein Unterstützungsgrad in Abhängigkeit des Alters der Mitarbeiter (hierfür wird angenommen, dass gewisse Funktionseinbußen im Alter vorliegen) und zum anderen aufgrund von zirkadianer Leistungsschwankungen. Durch an die Person und Aufgabe anpassbare technische Systeme ergeben sich prinzipiell unterschiedliche Lösungsansätze mit verschiedenen Unterstützungsgraden. Drei Beispiele sind in Abb. 5 unten illustriert:

- Szenario 1: geringe Unterstützung, sodass weder altersabhängige, tagesabhängige noch aufgabenrelevante Aspekte kompensiert werden können.

- Szenario 2: mittlerer Unterstützungsgrad, sodass aufgabenrelevante Anforderungen erfüllt werden können, aber nicht alle altersbedingten Funktionseinbußen und tagesabhängige Leistungsschwankungen ausgeglichen werden.
- Szenario 3: maximal mögliche Unterstützung, sodass teilweise ein zu hoher Grad der Unterstützung vorherrschen kann.

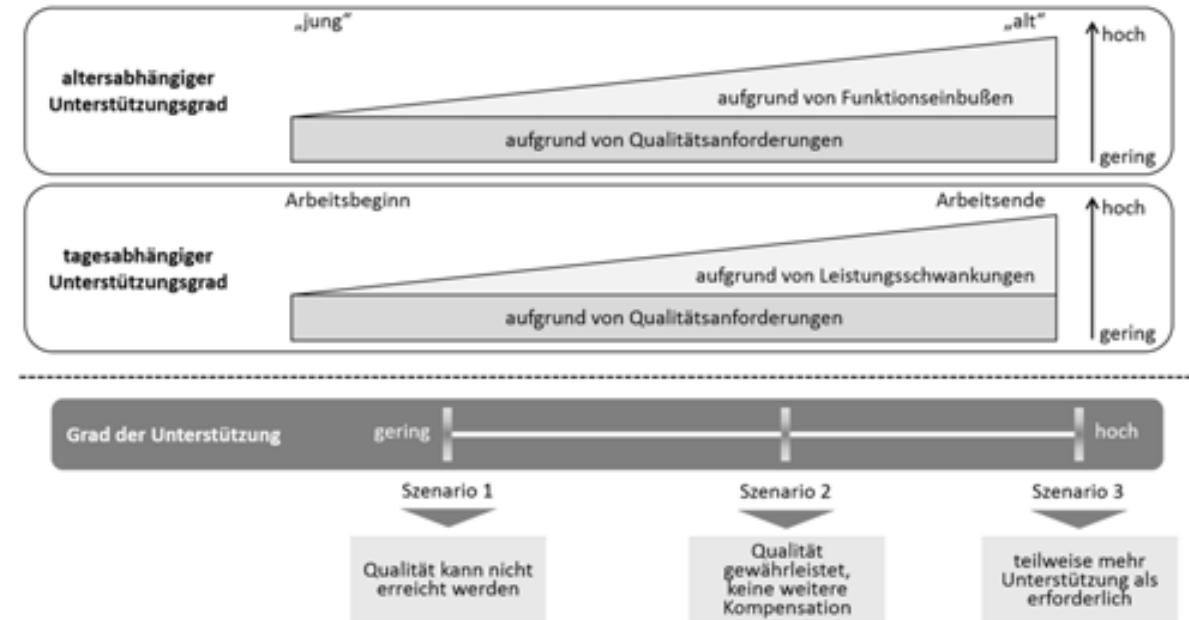


Abb. 5: Exemplarische Unterstützungsgrade inkl. denkbarer Szenarien am Beispiel der Produktion

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die demografischen Entwicklungen, die zunehmende Arbeitsdichte, das verlängerte Erwerbsleben und die gestiegenen Anforderungen führen zu einem erhöhten Unterstützungsbedarf im Berufs- und Alltagsleben. Zu deren Kompensation wurden in der Vergangenheit bereits eine Reihe von Systemen und Ansätzen entwickelt, die den Menschen entlasten und unterstützen sollen. Hierbei handelt es sich um Systeme, die zum einen den Menschen unterstützen ohne ihn zu ersetzen und zum anderen um Systeme, die den Menschen durch Abnahme der Aufgaben entlasten (Substitution). Häufig besitzen derartige Systeme eine geringe gesellschaftliche Akzeptanz. Dies kann auf das Entwicklungsvorgehen zurückgeführt werden – (potentielle) Nutzerinnen und Nutzer werden zwar in den Entwicklungsprozess einbezogen, um die individuellen Anforderungen aufzugreifen, die Entscheidung welche Art von Technologie entwickelt werden soll, ist jedoch bereits vorab gefällt wurden.

Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein neuer Ansatz für die Entwicklung von „Technik, die die Menschen wirklich wollen“ aufgezeigt. Ausgangspunkte der Technikentwicklung entsprechend dieses Ansatzes sind die individuelle wie auch gesellschaftliche Akzeptanz. Hierfür wird zum einen eine Vorgehensweise vorgeschlagen, mit der potentielle Nutzer früher in den Entwicklungsprozess berücksichtigt werden können und zum anderen die technischen Systeme so gestaltet werden, dass sie sich an den jeweiligen Nutzer und Aufgabe anpassen lassen. Hiermit verbunden ist auch die Möglichkeit, den Unterstützungsgrad individuell anpassen zu können.

7 Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: „12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung“. Berlin, 2008.
- [2] Thomas, C.; Busch, F.; Kuhlenkötter, B. und Deuse, J.: „Ensuring Human Safety with Offline Simulation and Real-time Workspace Surveillance to Develop a Hybrid Robot Assistance System for Welding of Assemblies“. In: Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability, Springer, S. 464-470, 2011.
- [3] Weidner, R.; Kong, N. und Wulfsberg, J.P.: Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. In: Production Engineering 7(6), S. 675-684, 2013.
- [4] Weidner, R. und Wulfsberg, J.P.: 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.

Wo brauchen und wollen Ältere Technik?

Eckpunkte einer sozialwissenschaftlich fundierten Forschungsstrategie
zur bedarfsorientierten Technikentwicklung für den Alltag Älterer

T. Birken, H. Pelizäus-Hoffmeister, P. Schweiger

Universität der Bundeswehr, Institut für Soziologie und Volkswirtschaftslehre

Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg

Thomas.Birken@unibw.de, Helga.pelizaeus-hoffmeister@unibw.de,

Petra.schweiger@unibw.de

Kurzzusammenfassung

Um technische Unterstützungssysteme zu entwickeln, „die die Menschen wirklich wollen“, muss an deren konkreten Bedürfnissen und Wünschen in ihrer Alltagspraxis angesetzt werden. Der jeweilige *Nutzungskontext* und die *Techniknutzungsmotivationen* der Menschen haben – so unsere These – wesentlichen Einfluss darauf, ob ein Produkt akzeptiert wird oder nicht. In diesem Beitrag wird – am Beispiel altersgerechter Produktentwicklung – eine Forschungsstrategie präsentiert, mit der – auf der Basis soziologischer Konzeptionen und unter Einsatz einer Kombination verschiedener Erhebungs- und Auswertungsmethoden – strukturiert die Anwendungsfelder für technische Systeme erhoben werden können, die in den unterschiedlichen, gruppen-spezifischen Nutzungskontexten und Techniknutzungsmotivationen der Älteren gründen.

Abstract

Where do older people need and want technology? – Key elements of a social science-based research strategy for demand-oriented technology development for the everyday life of the elderly

In order to develop technical support devices “which people really want”, their specific needs and desires in the conduct of everyday life must be taken into account. The particular context of use and people’s motives for using technical devices essentially influence whether a product is accepted or not. Using the example of age-appropriate product development we present a research strategy which is based on sociological concepts and a combination of different data collection and analysis methods. Thus, different application areas for technical systems can be identified, which are based in group-specific usage contexts and motivations of elderly for using technology.

1 Einleitung

Bedarfsgerechte Technologien können hervorragend dazu beitragen, gerade ältere Menschen in ihrem Alltag bei einer selbstbestimmten und selbstständigen Lebensführung zu unterstützen und damit zugleich den Betreuungsaufwand zu senken. Bei der Technikentwicklung zeigt sich allerdings, dass Ingenieure den technischen Innovationsschüben häufig größere Bedeutung zuschreiben als der Nachfrage. Die technische Machbarkeit wird in den Mittelpunkt gerückt, wäh-

rend die Perspektive potenzieller Nutzer zu wenig Beachtung findet [1]. Dies hat zur Konsequenz, dass im Bereich technischer Unterstützungssysteme für ältere Menschen in den letzten Jahren viele Produkte am Bedarf vorbei entwickelt wurden, die von den Älteren entsprechend nicht in einem befriedigenden Maße akzeptiert und genutzt werden.

Unsere zentrale These lautet, dass ein technisches Produkt nur dann akzeptiert und in den Alltag integriert wird, wenn bei seiner Entwicklung die Bedeutungs- und die Verwendungszusammenhänge, in die die Technik eingepasst werden soll, berücksichtigt werden. Mit anderen Worten: Es müssen sowohl die *konkreten Bedürfnisse* der Älteren, die von ihrem alltäglichen Kontext abhängig sind, und die Deutungen, mit der sie die Technik verstehen – als *Techniknutzungsmotivationen* bezeichnet –, bekannt sein und berücksichtigt werden, um ein bedarfsorientiertes Produkt zu entwickeln. Um in beiden Bereichen das notwendige Hintergrundwissen zu generieren, bietet die Soziologie erfolgversprechende theoretische Konzeptionen und Methoden an. Mit deren Hilfe ist es möglich, einen systematischen Überblick sowohl über an konkreten Bedürfnissen orientierte Einsatzfelder für Technik im Alltag Älterer als auch über vorherrschende Motivationen für den Technikeinsatz (bzw. seine Vermeidung) zu erarbeiten. Auf der Basis dieser Erkenntnisse sollte es zudem möglich sein, konkrete technische Funktionen und Lösungsansätze abzuleiten, die in ganz neuen Produktideen münden können.

Die als wichtig erachteten subjektiven (Be-)Deutungen von Technik spielen auch in bereits existierenden Modellen zur Technikakzeptanzforschung eine Rolle. Sie werden meist unter dem Konzept der subjektiven Einstellung subsumiert. Allerdings zeigt sich bei ihnen, dass die der Einstellung zugrundeliegenden Variablen wie beispielsweise Geschlecht, Bildung, kultureller Kontext, Einkommen etc. meist nicht in die Erklärungsmodelle mit einfließen, mit der Konsequenz, dass wenig über konkrete Nutzergruppen ausgesagt werden kann. Im Hinblick auf die Produktentwicklung ist zudem zu beachten, dass die vorherrschenden Akzeptanzmodelle in der Regel als Evaluationsinstrumente eingesetzt werden, wenn wesentliche Produktentscheidungen bereits gefallen sind. Eine nutzerzentrierte Ermittlung der Bedürfnisse ist über diese Instrumente also nicht möglich.

Im Gegensatz dazu wird im vorliegenden Beitrag eine Forschungsstrategie vorgestellt, mit deren Hilfe sowohl die Handlungspraxen der Älteren zur Bewältigung der Herausforderungen ihres Alltags – mit den darin implizierten Problemlagen – als auch deren Techniknutzungsmotivationen erhoben werden können, um darauf aufbauend Anknüpfungspunkte für technische Entwicklungen abzuleiten. Als Forschungsstrategie soll hier die durch sozialwissenschaftliche Konzepte theoretisch angeleitete Kombination unterschiedlicher sozialwissenschaftlicher Erhebungs- und Auswertungsmethoden verstanden werden. Die Entwicklung dieses Forschungsansatzes erfolgt im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes ATASeN (Anwendungsfelder für Technik im Alltag von Senioren aus Nutzersicht), einem wissenschaftlichen Vorprojekt zur „Mensch-Maschine-Interaktion für den demografischen Wandel“.

Im ersten Schritt (2) werden die grundlegenden theoretischen Vorannahmen auf der Basis des aktuellen sozialwissenschaftlichen Stands der Forschung präsentiert. Daran schließt sich die Beschreibung des methodischen Instrumentariums an, das eine enge Zusammenarbeit zwischen Sozialwissenschaftlern und Ingenieuren beinhaltet (3). Im Fazit (4) werden die mit dieser Forschungsstrategie verbundenen Chancen in wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Hinsicht angedeutet.

2 Konzeptueller, soziologischer Rahmen

Um all die Tätigkeiten systematisch zu erfassen, die zur Bewältigung der Anforderungen des Alltags im Alter wesentlich sind, wird hier auf das *Konzept der alltäglichen Lebensführung (ALF)* zurückgegriffen, das der subjektorientierten Soziologie entstammt. Als Lebensführung wird dort die Gesamtheit aller (synchronen) Tätigkeiten im Alltag eines Menschen bezeichnet, die dazu beitragen, dass dieser die alltäglichen Herausforderungen eines selbstständigen Lebens – mehr oder weniger – erfolgreich bewältigen kann. Damit wird der Fokus auf die *Praxisebene* gerichtet. Es wird das in den Blick genommen, was tagaus-tagein die sprichwörtliche „Tremühle“ des Alltags bildet. Dabei kann es sich beispielsweise um das Bettenmachen, das Waschen oder das Kaffeekochen handeln, aber auch um regelmäßiges Telefonieren mit der Freundin oder das Fensterputzen. Diese Tätigkeiten lassen sich spezifischen Bereichen zuordnen – wie beispielsweise sozialer Austausch, Speisenzubereitung etc. –, die hier als *Handlungsfelder* bezeichnet werden und die Bereiche abstecken, die für den praktischen Alltag und das Wohlbefinden unverzichtbar sind. So sind es vor allem die Routinen des Alltags, die im Fokus der Betrachtung liegen, aber auch deren (diachrone) Veränderungen über die Zeit, da diese Hinweise für sich mit zunehmendem Alter verändernde Rahmenbedingungen liefern können.

Diese Routinen des Alltags entwickeln (mit der Zeit) eine strukturelle Eigenlogik, die den Handlungs- und Tagesablauf sichert und damit zu Stabilität und Kontinuität beiträgt. Insofern tragen sie einerseits zur Entlastung bei. Andererseits aber gilt gleichzeitig, dass die Bereitschaft zur Veränderung von Routinen oft eher gering ist. Es wird angenommen, dass gerade Alltagsroutinen, die schon über sehr lange Zeiträume bestehen, nur schwer veränderbar sind [1, 272]. Diese „Starrheit“ in der alltäglichen Lebensführung ist auch auf Kontextbedingungen zurückzuführen, die sich nicht immer ändern lassen und/oder an denen die Älteren bewusst festhalten. Zur systematischen Beschreibung dieser Bedingungen wird hier das *Konzept der Lebenslage* eingeführt, das u.a. von Clemens [2] und Naegle [3] in die Alter(n)ssoziologie und Gerontologie eingeführt und von Elsbernd, Lehmeyer und Schilling [4] weiterentwickelt wurde. Die Lebenslage beschreibt die materiellen und immateriellen Lebensverhältnisse von Personen(gruppen), die sich aus ökonomischen, sozialen, kulturellen und politischen Lebensbedingungen zusammensetzen. Diese Bedingungen sind einerseits *objektives Ergebnis* gesellschaftlicher Entwicklung, unterliegen aber andererseits zugleich der *subjektiven Wahrnehmung und Deutung* durch die Individuen. Da Lebenslagen die je spezifischen Ressourcen bzw. Restriktionen der Individuen auf unterschiedlichen Dimensionen beschreiben, können sie zugleich als *Handlungsspielräume* begriffen werden, die die Individuen zur Gestaltung ihrer Existenz vorfinden. In ihrer Bedeutung für das alltägliche Handeln sind sie immer abhängig von den jeweiligen subjektiven Perspektiven der Betroffenen. Dennoch stecken die objektiven Bedingungen das Feld ab, in dem die Menschen im Rahmen ihrer Lebensführung agieren oder (im Falle einer subjektiven Fehldeutung der realen Spielräume) auch scheitern können.

Folgende sechs Bedingungen (Dimensionen) der Lebenslage erachten wir als relevant für ältere Menschen:

1. Einkommen, Vermögen bzw. ökonomische Versorgung,
2. Wohnverhältnisse und Infrastruktur (Wohnraum, Zugang zur Wohnung, Quartier, technische Gebrauchsgüterausstattung),
3. gesundheitliche Lage (gesundheitliche Verfassung, Selbstpflege, Zugang zu medizinischer und therapeutischer Versorgung, beanspruchte Pflegeleistungen),

4. familiäre und soziale Beziehungen (Familienstand, erweiterte Kernfamilie, soziale Netzwerkbeziehungen, nicht unmittelbar pflegerische Unterstützungsleistungen),
5. Bildung und Kultur (formaler Bildungsabschluss, berufliche Erfahrungen, Mediennutzung, bürgerschaftliches Engagement, sportliche und kulturelle Aktivitäten),
6. Erfahrungen mit Technik.

Konzeptionell wird davon ausgegangen, dass die Ausprägungen auf den unterschiedlichen Dimensionen nicht zufällig verteilt sind, sondern dass strukturelle Zusammenhänge existieren. Entsprechend wird postuliert, dass sich auf der Basis empirischer Untersuchungen spezifische *Lebenslage-Typen* definieren lassen, die sich durch jeweils spezifische Kombinationen an Merkmalsausprägungen auszeichnen.

Werden nun die Handlungsfelder betrachtet, die im Alltag der Älteren eine wichtige Rolle spielen, dann zeigt sich, dass die damit verbundenen Tätigkeiten durch die objektiven und subjektiv gedeuteten Handlungsspielräume (Lebenslagen) beeinflusst werden. Und es entstehen dort sogenannte *Problemlagen*, wo eine Tätigkeit auf der Basis der vorhandenen Ressourcen/Restriktionen nicht erfolgreich bewältigt werden kann. Und gerade diese Problemlagen bieten wichtige Anknüpfungspunkte für die Entwicklung technischer Hilfsmittel.

Die reine Funktionalität eines Produktes sagt allerdings noch nichts darüber aus, ob es von den Älteren akzeptiert und in den Alltag integriert wird oder nicht. Es bedarf zugleich der Ermittlung der Einstellungen der Älteren hinsichtlich des Einsatzes (oder der Vermeidung) technischer Geräte in ihrem Alltag und deren Berücksichtigung, um erfolgversprechende Produkte zu entwickeln. Insofern werden parallel zur Bedarfsermittlung die sogenannten *Techniknutzungsmotivationen* Älterer erhoben [1]. Darunter werden die Handlungsorientierungen beim Technikeinsatz verstanden, die sich unterschiedlichen Bereichen (Dimensionen) zuordnen lassen. Es wird zwischen der instrumentellen, der ästhetisch-expressiven, der kognitiven und der sozialen Dimension unterschieden. Der *instrumentellen Dimension* werden die Motive zugerechnet, bei denen (arbeitserleichternde) Funktionen der Technik im Mittelpunkt stehen. Gilt der Technikeinsatz als Anlass für Freude und Wohlgefallen, wird die *ästhetisch-expressive Dimension* angesprochen. Sollen mit Hilfe des Technikeinsatzes die eigenen technischen Fähigkeiten und Fertigkeiten trainiert bzw. verbessert werden, dann wird das Motiv der *kognitiven Dimension* zugeordnet. Wird Technik eingesetzt, um sozial eingebunden zu sein, dann ist diese Motivation der sozialen Dimension zuzuordnen. Da die Techniknutzungsmotivationen immer auch abhängig sind von den jeweiligen individuellen, sozialen, kulturellen und ökonomischen Kontextbedingungen, lassen auch sie sich in Beziehung zu den oben aufgeführten Lebenslage-Dimensionen setzen.

Werden die verschiedenen Techniknutzungsmotivationen mit den Problemlagen kombiniert, dann lassen sich Gruppen identifizieren, die sich durch ihre je spezifischen Bedürfnislagen und Motivationen auszeichnen. Erst auf dieser umfassenden Datenbasis kann über die Entwicklung von Produkten nachgedacht werden, die eine große Chance haben, auch akzeptiert zu werden. Der theoretische Bezugsrahmen wird in folgender Graphik veranschaulicht.

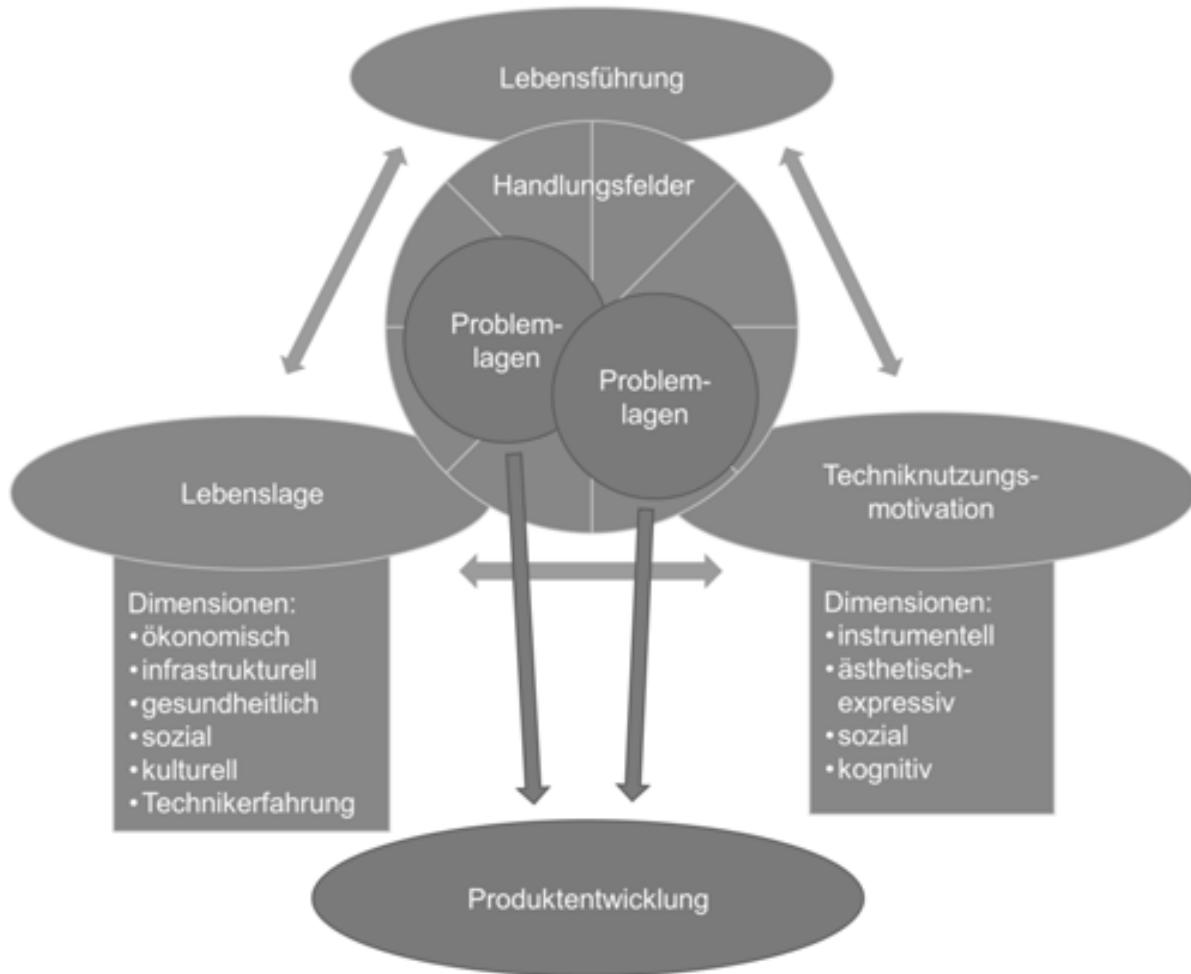


Abb. 1: Von der mehrdimensionalen Analyse zur Produktentwicklung

3 Methodisches Vorgehen

Auf der Basis der beschriebenen konzeptionellen Überlegungen wurde eine Forschungsstrategie für die empirische Bearbeitung der sich daraus ergebenden Forschungsfragen entwickelt. Der Begriff der Forschungsstrategie bezeichnet in der sozialwissenschaftlichen Methodendiskussion eine Verknüpfung unterschiedlicher Erhebungs- und Auswertungsverfahren, die es ermöglicht, einen Forschungsgegenstand differenzierter und umfänglicher zu erfassen, als dies bei der Beschränkung auf eine einzelne Methode der Fall wäre [5]. Mit der Entwicklung einer Forschungsstrategie, die als eigenständiger konzeptioneller Schritt im Rahmen der Durchführung des Forschungsvorhabens zu begreifen ist, wird das Ziel verfolgt, dem zentralen Leitanspruch der „Gegenstandsangemessenheit“ sozialwissenschaftlicher Forschung in besonderer Weise gerecht zu werden. Eine Forschungsstrategie stellt entsprechend ein auf die je spezifische Fragestellung und die dieser zugrunde liegenden theoretischen Konzeptualisierung abgestimmtes Erhebungs- und Auswertungsverfahren dar.

Zur Bearbeitung der Forschungsfragen wurde ein vierstufiges Erhebungs- und Auswertungsverfahren entwickelt. Im ersten Schritt werden die Lebensführungs- und Lebenslageaspekte sowie die Techniknutzungsmotivationen der Untersuchungspersonen erhoben und analysiert. Im Zuge dieses Erhebungsschrittes werden zudem die zentralen Problemlagen in der alltäglichen

Lebensführung bestimmt, die aus der Perspektive der Untersuchungspersonen die größte Relevanz besitzen und den größten Leidensdruck verursachen. Im zweiten Schritt werden in enger Zusammenarbeit zwischen Sozialwissenschaftlern und Ingenieuren – auf der Basis der Ergebnisse aus Schritt 1 – erste Ideen zu möglichen technischen Lösungen zur Bewältigung der Problemlagen generiert. In Schritt 3 erfolgt die ebenfalls interdisziplinär angelegte Feinanalyse dieser Problemlagen, die Aufschluss über weitere Ansatzpunkte für die technische Produktentwicklung und Anforderungen an die Produktgestaltung gibt. Schritt 4 besteht aus der Analyse der bis dahin gewonnenen Ergebnisse aus Ingenieurssicht, um die erhobenen Bedürfnisse in technische Funktionen und Anforderungen zu überführen.

In Schritt 1 und 3 sind mehrdimensionale Forschungsfragen zu beantworten, die unterschiedliche Fokussierungen aufweisen und gleichzeitig den Einsatz einer je spezifischen sozialwissenschaftlichen Methodenkombination erforderlich machen.

3.1 Schritt 1: Analyse von Lebensführung, Lebenslage und Techniknutzungsmotivationen

Es wird von der Grundüberlegung ausgegangen, dass die Produktentwicklung für ältere Menschen nur dann zu befriedigenden Ergebnissen führen kann:

- wenn die Produkte von ihren potentiellen Nutzern tatsächlich als geeignetes Mittel zur Bewältigung subjektiv relevant erscheinender Einschränkungen ihrer Handlungsspielräume im Rahmen der alltäglichen Lebensführung bewertet werden,
- wenn sich die praktische Nutzung der Technik in die alltägliche Lebensführung integrieren lässt, ohne die gängigen Alltagsroutinen zu stören,
- wenn die Handhabungsanforderungen der zu entwickelnden Produkte mit den spezifischen Techniknutzungsmotivationen ihrer Nutzer vereinbar erscheinen.

Aus diesem anspruchsvollen Anforderungsprofil ergibt sich die Notwendigkeit einer mehrschichtigen Analyse der Bedürfnisse, Einstellungen und Problemlagen der potenziellen Nutzer, für die die Produkte entwickelt werden sollen.

Diese Analyse erfolgt im Rahmen einer Erhebung der Lebenslage, der Lebensführung und der Techniknutzungsmotivationen der Untersuchungspersonen in deren häuslichem Umfeld. Die Entscheidung, die interessierenden Daten vor Ort – methodologisch formuliert: *im Feld* – zu erheben, folgt aus der konzeptionellen Grundannahme, dass sich Technikentwicklung an den Erfordernissen der alltäglichen Lebensführung der potentiellen Nutzer zu orientieren habe. Da diese Lebensführung unauflösbar an ein spezifisches Habitat gebunden ist, das sich bei älteren Menschen in der Regel zunehmend auf die eigene Wohnung als zentralem Lebensmittelpunkt verengt, erscheint es sinnvoll, eben jenes Habitat selbst zum Ausgangspunkt der Datenerhebung zu machen.

Dieses Vorgehen erlaubt darüber hinaus einen Zugang zu den Lebensumständen der Befragten, der nicht nur auf die Form versprachlicher Repräsentationen – in Form von Verbaldaten aus einem *Interview* – beschränkt bleibt, sondern um (potentiell multisensorische) *Beobachtungen im Feld* ergänzt wird. Im Sinne einer „Ethnographie der Nähe“ [6] besteht das grundlegende Ziel dieses Vorgehens darin, Lebensführung dort verstehend zu erschließen, wo sie sich tagtäglich vollzieht.

Im Rahmen der Erhebungen werden zunächst sukzessive die unterschiedlichen Handlungsfelder mit den darin implizierten Tätigkeiten ermittelt, aus denen sich die alltägliche Lebensfüh-

rung der Befragten zusammensetzt. Dabei geht es nicht nur um die schlichte Benennung einzelner Tätigkeiten, sondern immer auch um die Rekonstruktion ihrer je spezifischen Kontextbedingungen: die (Be-)Deutung der Tätigkeiten aus Sicht der Untersuchungsperson (verstanden als ihr kultureller *Subtext*) und die Art ihrer Einbettung in übergeordnete sachliche, zeitliche, soziale und materiale Rahmenbedingungen (verstanden als ihren *Kontext*). Um diese im Rahmen des Interviews angemessen erheben zu können, orientiert sich die Interviewführung an den Grundprinzipien einer *sinnverstehend-hermeneutischen Interviewmethodik* [7]. Der Anspruch besteht dabei darin, den subjektiven Blick der Befragten auf ihre eigene Lebensführung zu erheben, diese also „mit ihren Augen“ zu erfassen.

Der Einsatz eines *Interviewleitfadens* stellt dabei sicher, dass trotz der methodisch intendierten Offenheit des Interviewverlaufs alle relevanten Bereiche der Lebensführung thematisiert werden. Darüber hinaus dient er als Gerüst für die Erhebung der unterschiedlichen Lebenslagedimensionen, die im Rahmen des Interviews ebenfalls erfolgen wird. In Anlehnung an oben genannte Konzeption werden die Ressourcen und Restriktionen der Untersuchungspersonen in den sechs Dimensionen der Lebenslage ermittelt. Da die objektiven Lebensbedingungen wie auch ihre subjektiven Wahrnehmungen und Deutungen für die Definition von Problemlagen wichtig sind, müssen bei der Datenerhebung beide Ebenen berücksichtigt werden. Dies wird über einen bewussten, kontinuierlichen Wechsel zwischen beiden Analyseperspektiven im Rahmen der Interviewführung erreicht: Es werden also sowohl die objektiven Bedingungen als auch die korrespondierenden subjektiven (Be-)Deutungen erhoben.

Als drittes Element – neben Lebensführung und Lebenslage – werden die Techniknutzungsmotivationen der Untersuchungspersonen erhoben. Deren Thematisierung erfolgt sowohl im Kontext der Beschreibung spezifischer Tätigkeiten der alltäglichen Lebensführung als auch explizit, indem nach der Ausstattung des Haushalts mit unterschiedlichen Klassen technischer Geräte gefragt wird und die jeweiligen Nutzungsweisen erhoben werden [1].

Die auf diese Weise gewonnenen Daten bildet einerseits die Basis für die Anfertigung von Einzelfallbeschreibungen, die zu einem späteren Zeitpunkt als Grundlage für eine fallvergleichende und fallkontrastierende Analyse [8] und – darauf aufbauend – einer Lebenslage-Typisierung dienen sollen. Andererseits wird im Rahmen der Interviews aber auch systematisch nach Problemlagen Ausschau gehalten, die aus der Perspektive der Befragten im Hinblick auf deren Lebensführung von besonderer Relevanz sind. Als Problemlagen definieren wir – wie oben eingeführt – Tätigkeiten, die sich aufgrund eingeschränkter Handlungsspielräume der Untersuchungspersonen in ihrer praktischen Umsetzung als problematisch erweisen. Analytisch lassen sich dabei drei unterschiedliche Arten von Problemlagen unterscheiden:

1. wiederholt auftretende Probleme bei Tätigkeiten in einem oder mehreren Handlungsfeldern, die daraus resultieren, dass die Handlungsspielräume nicht ausreichen, um die Tätigkeit „sorgenfrei“ bzw. ohne große Belastung zu verwirklichen,
2. durch bestehende Restriktionen wird die eigentlich gewünschte Tätigkeit durch eine (subjektiv als weniger befriedigend empfundene) „Ersatzhandlung“ substituiert,
3. aufgrund zu geringer Handlungsspielräume kann eine Tätigkeit im Rahmen der alltäglichen Lebensführung überhaupt nicht mehr verwirklicht werden, obwohl dies als Verlust von Lebensqualität erlebt wird.

Besonders im Hinblick auf die zweite und dritte Art von Problemlagen wird deutlich, worin die Stärken eines sinnverstehenden Zugangs bei der Analyse der individuellen Lebensführung liegen: Erst im Rahmen einer Interviewführung, die aufgrund ihrer bewusst dialogischen Anlage ein Eintauchen des Fragenden in die Sinnwelten des Befragten ermöglicht, lassen sich sowohl Handlungen als auch Nicht-Handlungen vor dem Hintergrund ihrer je spezifischen subjektiven Deutungen thematisieren. Dadurch wird sowohl das gesamte Spektrum potentieller Problemlagen zugänglich, als auch eine Einschätzung des damit jeweils verbundenen Leidensdrucks möglich.

Der subjektiv empfundene Leidensdruck dient als ein zentrales Auswahlkriterium für die Definition der Problemlagen, die in der dritten Stufe der Erhebung einer Feinanalyse unterzogen werden. Diese Orientierung an den subjektiven Relevanzen der Untersuchungspersonen dient einerseits der Stabilisierung des „Arbeitsbündnisses“ zwischen Forschern und Beforschten, ist aber auch als Ausdruck einer partizipatorischen Forschungshaltung zu verstehen, die auf die Erhöhung der Teilhabechancen gesellschaftlicher Akteure abzielt [9]: Es soll sichergestellt werden, dass die Produktentwicklung auch tatsächlich an realen Problemlagen des täglichen Lebens der Zielpopulation ansetzt.

3.2 Schritt 2: Entwicklung erster Ideen für technische Lösungen

Auf der Basis der Erkenntnisse aus Schritt 1, die in einer umfassenden Beschreibung der diagnostizierten Problemlagen in ihrem jeweiligen Kontext münden, werden erste Ideen für technische Lösungen generiert, die aus Sicht der Forscher zur Bewältigung der Problemlagen beitragen können. Dieser Schritt wird interdisziplinär, in enger Zusammenarbeit zwischen Sozialwissenschaftlern und Ingenieuren, durchgeführt. Die Entwicklung erster Produktideen dient der Vorbereitung des dritten Arbeitsschrittes, in dessen Rahmen diese von den befragten Älteren evaluiert werden.

3.3 Schritt 3: Interdisziplinäre Feinanalyse der Problemlagen

Die zuvor bestimmten Problemlagen werden nun einer Feinanalyse unterzogen. Zu diesem Zweck werden die Untersuchungspersonen im Rahmen eines weiteren Termins gebeten, die problematischen Handlungen praktisch zu vollziehen, soweit die spezifischen Beschränkungen ihrer Handlungsspielräume dies erlauben. Untersuchungsfeld ist dabei wieder das häusliche Umfeld als natürliches Habitat der Lebensführung: Statt Problemstellungen in einer Laborsituation zu simulieren, geht es also darum, die betreffenden Handlungen „*in vivo*“ zu analysieren. Bei der Analyse des (im Zweifel auch nur begonnenen oder partiellen) Handlungsvollzugs kommt auf der Seite der Forschung wiederum eine Kombination visueller und sprachbasierter Verfahren zum Einsatz. Das Vollzugsgeschehen wird auf der Basis eines Analyseschemas systematisierend beobachtet – in Form der *teilnehmenden Beobachtung* –; gleichzeitig werden die Untersuchungspersonen aber auch darum gebeten, zu beschreiben, womit genau sie im Vollzug der Tätigkeit zu kämpfen haben. Dieses Verfahren wird als „*Thinking aloud*“-Methode [10] bezeichnet. Die Verschriftlichung der jeweiligen Problembeschreibungen erfolgt im Anschluss synthetisch, indem die Ergebnisse der Beobachtungen und die Schilderungen der Untersuchungspersonen miteinander abgeglichen werden.

Im Anschluss an die Erhebung der Problemlagen werden die in Schritt 2 entwickelten Ideen zu technischen Unterstützungssystemen mit den Untersuchungspersonen – in Form einer „prospektiven Technikbewertung“ – diskutiert und gegebenenfalls verändert, verbessert und erweitert. Dieses Vorgehen trägt der Grunderkenntnis der Technikakzeptanzforschung Rechnung, dass die subjektive Bewertung der Nützlichkeit und Bedienbarkeit einer technischen Innovation durch die Nutzer wesentlich für ihre erfolgreiche Adaption ist.

3.4 Schritt 4: Transformation der Ergebnisse in technische Funktionen

Die erarbeiteten Erkenntnisse zu den Problemlagen und zur prospektiven Technikbewertung werden nun von den Ingenieuren in eine technische Anforderungsliste übersetzt. Grundlegend beim Entwurf der technischen Produkte ist die strikte Orientierung an einer *Unterstützungshierarchie* in dem Sinne, dass zwischen motivierenden, unterstützenden und kompensatorischen Unterstützungssystemen unterschieden wird und dass zunächst Produkte eingesetzt werden, die dazu beitragen, die Aktivität der Älteren möglichst lange zu erhalten. Kompensatorische Technik soll erst dann eingesetzt werden, wenn andere Unterstützungssysteme nicht mehr ausreichen. In das Lastenheft für die Produktentwicklung gehen sowohl Aspekte aus den im Rahmen der ersten Stufe der Erhebungen gewonnen Ergebnisse der Analyse von Lebensführung, Lebenslage und Techniknutzungsmotivation als auch originär technische Anforderungen an die zu entwickelnden Produkte ein.

4 Fazit

Anwendungsfelder für technische Unterstützungssysteme werden im Rahmen der vorgestellten Forschungsstrategie auf der Basissoziologischer Konzepte und Methoden konsequent und umfassend aus der Nutzerperspektive erschlossen. Dies ermöglicht eine strukturierte Beschreibung der Bedürfnisse älterer Menschen in unterschiedlichen Handlungsfeldern, die in den jeweiligen – gruppenspezifischen – Lebenslagen, Lebensführungen und Techniknutzungsmotivationen gründen. Durch den Einbezug einer soziologisch orientierten Forschungsstrategie geht diese Nutzerbeschreibung einerseits über das hinaus, was gegenwärtig in Akzeptanzmodellen bearbeitet wird. Andererseits ist die konsequente Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Sozialwissenschaftlern die Voraussetzung dafür, dass die Erkenntnisse anwendungsorientiert aufbereitet und für die Produktentwicklung verfügbar gemacht werden können. So kann eine stärkere Nutzerorientierung in der Produktentwicklung unterstützt, Entwicklungsprozesse effektiver gemacht und das Entwicklungsrisiko reduziert werden.

5 Literatur

- [1] Pelizäus-Hoffmeister, H.: Zur Bedeutung von Technik im Alltag Älterer. Theorie und Empirie aus soziologischer Perspektive, VS Verlag, 2013.
- [2] Clemens, W.: Lebenslage und Lebensführung im Alter – zwei Seiten einer Medaille?, Hrsg.: Backes, G.; Clemens, W. und Künemund, H.: Lebensformen und Lebensführung im Alter, VS Verlag, S. 43-58, 2004.
- [3] Naegle, G.: Lebenslagen älterer Menschen. Hrsg.: Kruse, A.: Psychosoziale Gerontologie: Bd 1: Grundlagen, Hogrefe, S. 106-128, 1998.
- [4] Elsbernd, A.; Lehmyer, S. und Schilling, U.: So leben ältere und pflegebedürftige Menschen in Deutschland. Lebenslagen und Technikentwicklung, Jacobs Verlag, 2014.

- [5] Pflüger, J.: Triangulation in der arbeits- und industriesoziologischen Fallstudienforschung, Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, Springer VS, S.155-173, 2012.
- [6] Götz, I.: Ethnografien der Nähe – Anmerkungen zum methodologischen Potenzial neuerer arbeitsethografischer Forschungen der Europäischen Ethnologie, AIS-Studien 3, Sektion Arbeits- und Industriesoziologie in der DGS, S.101-117, 2010.
- [7] Kaufmann, J.-C.: Das verstehende Interview. Theorie und Praxis, Universitätsverlag, 1999.
- [8] Kelle, U. und Kluge, S.: Vom Einzelfall zum Typus. Fallvergleich und Fallkontrastierung in der qualitativen Sozialforschung, VS Verlag, 2010.
- [9] Unger, H. v.: Partizipative Forschung. Einführung in die Forschungspraxis, Springer VS, 2014.
- [10] Ericsson, K.A. und Simon, H.A: Protocol analysis. Verbal reports as data, Bradford Books, 1993.

Beschreibung eines kompetenzorientierten Ansatzes für die Gestaltung technischer Unterstützungssysteme

K. Paetzold, V. Nitsch

Universität der Bundeswehr München,

Institut für Technische Produktentwicklung, Institut für Arbeitswissenschaften

Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg

kristin.paetzold@unibw.de, verena.nitsch@unibw.de

Kurzzusammenfassung

Technologien können ältere Menschen hervorragend bei einer selbständigen Lebensführung unterstützen. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass defizitorientierte Ansätze zur Nutzerbeschreibung stigmatisieren und daher wenig Akzeptanz finden. Hinzu kommt, dass sich ein rein kompensatorischer Technikeinsatz negativ auf das Kompetenzprofil des Menschen auswirkt. Vorgestellt wird ein Ansatz zur Nutzerbeschreibung, der Ressourcen und Restriktionen des Menschen, seine Leistungsfähigkeit genauso wie seine Lebens- und Handlungssituation abbildet. In Kombination mit einer Unterstützungshierarchie wird es möglich, Anforderungen an die Technikunterstützung zu vervollständigen. Zudem unterstützt das Vorgehen dabei, neue Anwendungsfelder zu erschließen. Der Nutzen soll an einem modularen Konzept zur Unterstützung von Mobilität im häuslichen Umfeld verdeutlicht werden.

Abstract

Description of a competence-oriented approach to the development of technical assistance systems

Technology can be tremendously helpful in assisting the elderly to lead an independent lifestyle. However, using a deficit-oriented approach to characterizing these user groups can stigmatize them and adversely affect their ability to conserve their competencies. Hence, this article advocates an alternative approach to characterizing elderly user groups, which emphasizes their competencies and takes their general life situation as well as context-specific performance motivation into account. It is embedded in a support hierarchy, which reflects medical and cognitive-psychological research findings and allows for the derivation of specific development guidelines. The approach is illustrated with a modular concept of mobility support.

1 Einleitung

Der Mensch als Nutzer technischer Systeme wird immer stärker als ein den Produktentwicklungsprozess beeinflussender Faktor erkannt. Dies ist nicht allein darauf zurückzuführen, dass gerade bei Produkten für ältere Menschen verschiedene Stakeholder Interessen haben (der Senior als Nutzer, Familienangehörige, Pflegepersonal, Krankenkassen), denen es gerecht zu werden gilt. Dies ist mit unterschiedlichen Erwartungen an das Verhalten von Produkten verbun-

den. Produkte werden zunehmend komplexer. Sie haben eine starke Erweiterung ihrer Funktionalität erfahren. Exemplarisch seien Mobiltelefone, Digitalkameras oder auch Werkzeugmaschinen genannt. Neben den von den Geräten erwarteten Funktionen kommen sicherheits- oder komfortbeschreibende Funktionen dazu. Zudem bestehen Produkte häufig nicht mehr nur aus dem technischen System sondern stellen sich als hybride Leistungsbündel aus technischen System und Dienstleistungen dar. Damit wird die Leistungsfähigkeit unserer Produkte bzw. die Effizienz ihrer Nutzung zunehmend durch die Kompetenzen und die Leistungsfähigkeit des Nutzers determiniert.

Der Ingenieur entwickelt ein Produkt nach dem Finalitätsprinzip. Seine auf die Zukunft gerichtete Tätigkeit setzt ein Zielsystem für die Entwicklung voraus, welches auch eine möglichst ganzheitliche Beschreibung des Menschen beinhalten muss, um im Sinne einer Mensch-Maschine-Integration den Menschen bestmöglich zu unterstützen. Bereits die Definition des Systemzwecks ist heute häufig reduziert auf Leistungseinschränkungen der Älteren. Nicht nur, dass diese defizitorientierte Betrachtungsweise leicht zur Stigmatisierung führt, die Nutzung technischer Systeme im Alltag Älterer kann nicht auf rein rationale Gründe reduziert werden, dies vernachlässigt wesentliche Einflussfaktoren. Hierzu gehört nicht nur, dass aufgrund von Multimorbidität im Alter nicht auf einzelne Leistungseinschränkungen fokussiert werden kann, es gilt auch zu berücksichtigen, dass der Mensch individuelle Kompensationsmechanismen entwickelt, die die Techniknutzung beeinflussen. Daneben sind es vor allem „weiche“ Faktoren wie Bildung, soziale Integration, Erfahrungen aber auch psychologische Faktoren (Motivation), die den Umgang mit Technik und damit auch die effiziente Produktnutzung determinieren.

Aus diesen Überlegungen resultiert die Notwendigkeit nach einer ganzheitlichen Menschbeschreibung, auf die dann das Produkt in seinen Funktionalitäten hin ausgelegt werden muss. Ziel ist es, ein tieferes Nutzerverständnis zu entwickeln, um die Bedürfnisse und Wünsche des Menschen zu verstehen und zu interpretieren. Es bedarf weiterführend auch Strategien, um dieses Verständnis in konkrete Anforderungen für die Produktentwicklung zu transformieren bzw. Produktideen und Produkte anhand der Menschbeschreibungen zu validieren. Aus der Berücksichtigung der Aspekte wird einerseits eine verbesserte Akzeptanz der Produkte erwartet, was die Wirtschaftlichkeit der Unternehmen stärkt aber auch einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen mit sich bringt. Andererseits liegt in einer solchen ganzheitlichen Menschbeschreibung das Potential für neuartige Produktideen, die den Menschen bestmöglich in seiner Lebens- und Handlungssituation unterstützen.

2 Berücksichtigung des Nutzers in der Produktentwicklung – Stand der Technik

Nutzer und Entwickler haben sehr unterschiedliche Sichtweisen auf Produkte (Abb. 1). Der Entwickler definiert einen Systemzweck so dass die Nutzung des zu entwickelnden Produktes die Situation des Nutzers entlastet. In diesem Sinne definiert er dazu notwendige Funktionen, sucht nach Lösungsansätzen und konkretisiert und detailliert diese, bis im Ergebnis ein Produkt vorliegt.

Der Nutzer hingegen sieht ein Produkt zunächst als einen isolierten Gegenstand, den er auf Basis seiner Erfahrungen und seiner Kompetenzen interpretiert. Hieraus erschließt er sich den Zweck des Produktes, der sich im ungünstigsten Falle nicht mit dem vom Entwickler zugrunde

gelegten Systemzweck entspricht. Dieser kann zudem von Nutzer zu Nutzer variieren. Mit diesem Interpretationsprozess geht auch seine Entscheidung einher, ob das Produkt für sich selbst nutzbar und notwendig ist.

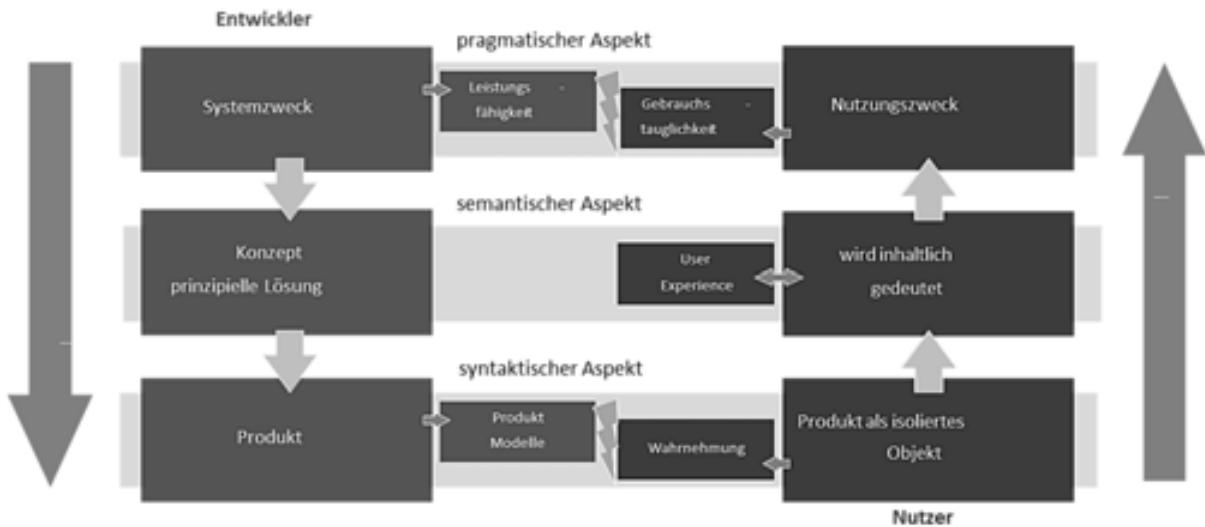


Abb. 1: Unterschiedliche Sichtweisen in der Betrachtung eines Produkts

Beiden Prozessen, sowohl der Produktentwicklung als auch der -interpretation geht der Schritt des Erkennens und Interpretierens von Wünschen und Bedürfnissen voraus. Mit der Erarbeitung der Anforderungen werden diese im Rahmen der Entwicklung explizit gemacht. Im Umkehrschluss sind dem Nutzer seine Wünsche und Bedürfnisse möglicherweise bekannt, er muss aber die Transferleistung erbringen, diese Bedürfnisse mit einem Produkt bzw. dessen Nutzung in Verbindung zu bringen und damit auch für sich selbst explizit zu machen. Speziell für die Produktentwicklung sind heute keine Methoden oder Strategien bekannt, wie Nutzerbedürfnisse erkannt und dann auch in konkrete Anforderungen transformiert werden können. Mit der Reduktion auf Leistungseinschränkungen, für die nach technischen Kompensationsmöglichkeiten gesucht wird [z.B. 1], werden wesentliche Aspekte in der Menschbeschreibung, nämlich seine Lebenssituation, also sein soziale Hintergrund, seine Biographie, seine Erfahrungen etc. sowie seine Handlungssituation, also seine Motivation zu handeln, signifikant vernachlässigt. Um das Nutzerverhalten besser zu verstehen, finden bislang in der Produktenwicklung insbesondere zwei Ansätze Verwendung: Methoden der Akzeptanzforschung und Methoden der Nutzerpartizipation.

2.1 Methoden der Akzeptanzforschung

Ansätze, die die Lebens- und Handlungssituation des Nutzers durchaus berücksichtigen, liefert die Akzeptanzforschung. Ziel dieser Methoden ist es zu analysieren, welche Bereitschaft Individuen zur tatsächlichen Nutzung von Produkten aufbringen. Grundlage bilden Technologieakzeptanzmodelle, die auf der Theorie des überlegten Handelns basieren. Besonders erwähnt sei die „Unified Theory of Acceptance and use of technology“ (UTAUT, siehe Abb. 2). Als Basis einer Produktbewertung werden Aussagen zur wahrgenommenen Nützlichkeit und zur wahrgenommenen Einfachheit im Sinne einer Kosten-Nutzen-Betrachtung herangezogen. Der

UTAUT-Ansatz ist deswegen von Interesse, weil hier mehrere Theorien der Akzeptanzforschung zu einem integrierten Modell zusammengefasst sind [2]. Neuere, darauf aufbauende Konzepte greifen zudem die Wechselwirkungen zwischen Nutzer und Technologien auf. Hier sei besonders auf die Arbeiten von Leonard-Barton verwiesen [3], der davon ausgeht, dass zwischen beiden eine wechselseitige Anpassung erfolgt.

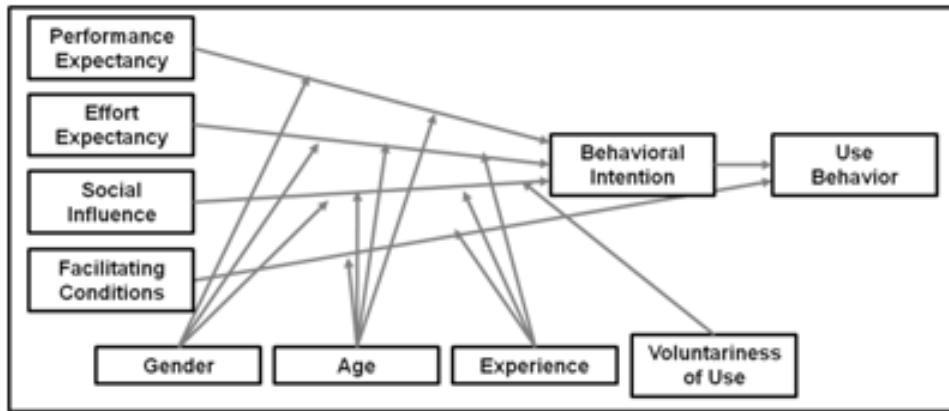


Abb. 2: UTAUT-Modell zur Bestimmung von Akzeptanz [2]

Für die Produktentwicklung selbst sind die Erkenntnisse aus der Akzeptanzforschung nur bedingt nutzbar. Sie haben den Nachteil, dass der Bezug zum Produkt verloren geht. Letztendlich bewertet man mit den Methoden nur, ob ein Produkt akzeptiert wird oder nicht [4]. Damit sind Rückschlüsse auf die Funktionalität und resultierende Anforderungen nicht möglich. Diese wären aber essentiell, um in der Entwicklung auf eine höhere Akzeptanz fokussieren zu können.

2.2 Methoden der Nutzerpartizipation

In der Produktentwicklung finden zudem Ansätze der Nutzerpartizipation Verwendung (Abb. 3). Diese stellen einerseits Methoden bereit, um den Nutzer stärker in die Ideen- und Lösungsfindung für Produkte einzubeziehen aber auch, um diese zu bewerten. Konzepte der Nutzerpartizipation sowie Methoden, die die Umsetzung und Anwendung solcher Konzepte unterstützen sind in DIN 9241 zusammengefasst [5]. Daneben gibt es in der Literatur Ansätze, wie diese allgemein gehaltenen Methoden für spezifische Nutzergruppen angepasst werden können. Exemplarisch sei hier auf Reinicke verwiesen, die dies für ältere Menschen tut [6]. Aspekte wie „Joy of use“ oder Emotionen im Umgang mit Produkten gewinnen immer mehr an Bedeutung in der Produktentwicklung. Mit den Methoden des „User Experience“ (UX) Designs versucht man, dem Rechnung zu tragen, indem Erkenntnisse aus der zumeist kognitiv fokussierten Akzeptanzforschung aufgegriffen und um emotionale Komponenten erweitert werden [7]. Nach DIN 9241-210 [5] erfassen UX-Methoden das Nutzererlebnis, also die Wahrnehmung und Reaktion einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder erwarteten Benutzung eines Produktes resultieren. Sie umfasst sämtliche Emotionen, Vorstellungen, Vorlieben, Wahrnehmungen, psychologischen oder physiologischen Reaktionen, Verhaltensweisen und Leistungen vor, während und nach der Nutzung [5]. Mit UX wird also die Wirkung eines Produktes auf den Nutzer beschrieben, welche Umstände beim Nutzer aber zu dieser Situation geführt haben, ist nicht erklärt. Ursachen für die subjektive Wirkung des Produkts, die aus der konkreten Lebens- und Handlungssituation resultieren, bleiben somit häufig unerkannt.

Die Schwierigkeiten in der Anwendung der vorgestellten Methoden werden deutlich, wenn man den Prozess der Interpretation von Produkten detaillierter betrachtet.

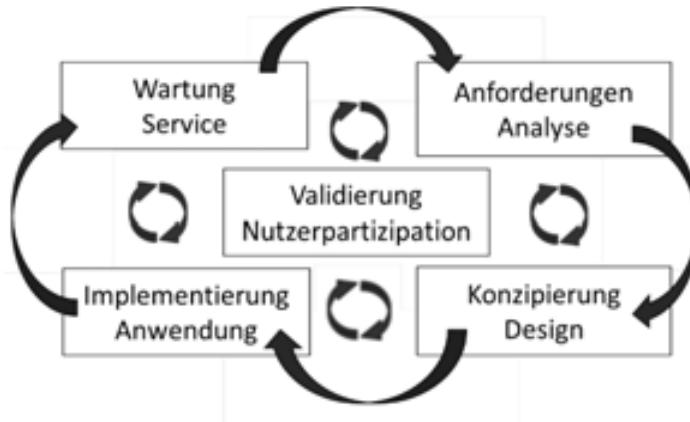


Abb. 3: Methoden der Nutzerpartizipation

Im ersten Kontakt des Nutzers mit einem Produkt wird auf eine Syntax zurückgegriffen, die auf Formensprache, Symbolik etc. zurückgreift und dem Nutzer einen ersten Hinweis auf die Verwendung gibt. Methoden des Technischen Designs [8] oder auch aus dem Human Factors Bereich [10] bauen auf dieser Betrachtungsweise auf.

Mit dem Aufnehmen dieser Faktoren verbunden ist immer auch deren Interpretation, also das Rückschließen auf die Funktion des Produktes. Dieser Interpretation liegt eine Semantik zugrunde, die die Erfahrungen, Kompetenzen, soziale Integration etc. des Nutzers (Lebenssituation) widerspiegeln. Zudem wird er mit dem Produkt in einer bestimmten Situation konfrontiert, aus der eine Motivation zum Handeln hervor geht (Handlungssituation). Die Lebens- und Handlungssituation des Nutzers fließt zwar implizit in die Bewertung des Produkts ein, kann jedoch nicht explizit gemacht werden, wodurch hier keine Aussagen für die Produktgestaltung abgeleitet werden können.

3 Modellansatz zur ganzheitlichen Menschbeschreibung für die Produktentwicklung

Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt, ist eine ganzheitliche Menschbetrachtung für die Produktentwicklung erforderlich, um Wünsche und Bedürfnisse sowie deren Randbedingungen zu erfassen und zu interpretieren. Dies geht nicht ohne die Berücksichtigung von Erkenntnissen zum Menschen aus anderen Fachgebieten wie z.B. den Human- und Geisteswissenschaften. Diese Erkenntnisse bedürfen aber einer Aufbereitung, die für den Entwicklungingenieur verständlich und nutzbar ist. Die besondere Schwierigkeit in der Integration von Fachwissen aus diesen Gebieten liegt darin, dass hier sehr unterschiedliche Termini verwendet und Begriffe unterschiedlich interpretiert werden. Die hier verwendeten Begriffe sind das Resultat einer intensiven Zusammenarbeit mit Soziologen und Psychologen, die Diskussion zu den Begriffen darf aber noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden.

3.1 Ganzheitliches Modell zur Menschbeschreibung

Technik kann den Menschen nur unterstützen, wenn diese vom Menschen nicht nur akzeptiert sondern auch in seinen Alltag integriert wird. In diesem transdisziplinären Sinne soll der Mensch und die Technik als sich bedingende Bestandteile eines Systems verstanden werden.

Im Fokus steht damit die Mensch-Maschine-Interaktion, in deren Folge sich Verhaltensweisen entwickeln, die eine selbständige und selbstbestimmte Lebensführung gewährleisten.

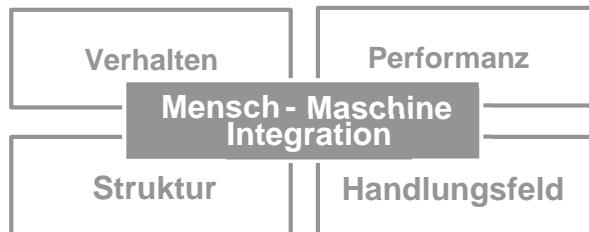


Abb. 4: Modell zur ganzheitlichen Menschbeschreibung

Aus dem allgemeinen Systemverständnis heraus können sowohl der Mensch als auch das Produkt durch eine Dualität aus Funktions- und Strukturbeschreibung abgebildet werden, woraus Verhaltensweisen sowohl des Menschen als auch des Produktes und vor allem in ihrer Interaktion miteinander resultieren. Vom Produkt wird dabei eine Performance erwartet, die geeignet ist, den Menschen in seiner Lebensführung zu unterstützen. Im Umkehrschluss beeinflussen Ressourcen und Restriktionen des Menschen den Grad der Unterstützung. Zu guter Letzt bedürfen sowohl das Verhalten als auch die Performance im System der Mensch-Maschine-Interaktion eines konkreten Anwendungsfalls, welches durch das Handlungsfeld determiniert wird. Mit diesen 4 Perspektiven werden unterschiedliche Sichten auf das System Mensch-Maschine dargestellt (siehe Abb. 4). Entscheidend dabei ist, dass diese Sichtweisen nicht unabhängig voneinander sind.

3.2 Definition der Einflussfaktoren auf das Modell zur Menschbeschreibung

Für ein genaueres Verständnis und im Sinne einer ganzheitlichen Mensch-Maschine Integration ist eine Detaillierung des Modellansatzes erforderlich. Hierzu sind zunächst die einzelnen Einflussfaktoren und die prinzipiellen Verknüpfungen zu bestimmen, auf deren Basis dann eine Konkretisierung erfolgen kann.

Strukturbeschreibung: In der Strukturbeschreibung ist sowohl der Mensch als auch das Produkt zu berücksichtigen. Die Strukturbeschreibung des Menschen umfasst sowohl die körperliche Konstitution als auch die *Lebens- und Handlungssituation*. Die einzelnen beschreibenden Faktoren lassen sich über Konzepte aus der Soziologie [vergleich Beitrag von Pelizäus/Birkner auf der Konferenz] und der Psychologie [u.a. 9] ableiten. Um eine Aussage zur funktionalen Kompetenz, also der Fähigkeit der Alltagsbewältigung ableiten zu können, wird auch die Handlungsmotivation des Nutzers, welche die Wahl und Art der Ausführung von Aktivitäten maßgeblich beeinflusst, berücksichtigt. Unter anderem spielen hier die Selbstwirksamkeit (die Überzeugung, dass man in der Lage ist, eine Aktivität auszuführen) und die Zielorientierung (die Annahme, dass eine Aktivität für die Erreichung eines bestimmten Ziels notwendig ist) des Nutzers eine wichtige Rolle [9]. Sind diese Aspekte erfasst, können entsprechende Maßnahmen zur technischen Unterstützung der gewählten Kompetenz abgeleitet werden. In Kombination mit Methoden des UX Designs können schließlich Produktattribute identifiziert und integriert werden, die vom Nutzer hinsichtlich ihrer pragmatischen und hedonischen Qualität, also der wahrgenommenen Fähigkeit des Produkts, Handlungsziele zu erreichen und der Fähigkeit des Produkts, das Bedürfnis nach Verbesserung der eigenen Fähigkeiten zu befriedigen und anderen selbstwertdienlichen Botschaften zu kommunizieren. Somit werden positive Erlebnisse

mit dem Produkt verknüpft, die schließlich zur Nutzung des Produkts motivieren [7]. Aus der Lebens- und Handlungssituation kann die *Techniknutzungsmotivation* abgeleitet werden, die ebenfalls wichtige Impulse liefert, wie Produkte interpretiert und genutzt werden.

Aus dem Konstrukt dieser Strukturparameter ergeben sich Verhaltensweisen des Menschen im Sinne einer Funktionsbeschreibung, die nicht nur seine Techniknutzungsmotivation erklären, sondern auch sein Vorgehen in der Interpretation von Produkten sowie sein konkretes Nutzungsverhalten. Zudem definieren diese Parameter die Ressourcen bzw. Restriktionen des Nutzers, die wiederum beschreiben, welche Problemlagen aus definierten Handlungsfeldern zu erwarten sind.

Im Fokus dieses Beitrages steht die Ergänzung des ganzheitlichen Menschmodells um Aspekte zum Produkt. Die Struktur von Produkten soll auf den *Komplexitätsgrad des Produktes* aufbauen. Dazu wird unterschieden nach:

Einfache technische Systeme auf dem untersten Level umfassen solche Hilfsmittel, die das tägliche Leben erleichtern, ohne den Alltag des Nutzers signifikant zu verändern. Die Unterstützung ist passiv, sie basiert auf bekannten und alltagsüblichen Produkten, die im Sinne des Universal Designs die Handhabung der Geräte vereinfachen oder ein sicheres Agieren im Umfeld möglich machen (Rollator, Gehstock). Geregelte technische Systeme auf einem nächsten Level bieten die Möglichkeit, Veränderungen im Verhalten der Patienten zu erkennen und so entgegenzuwirken, dass die gewohnten Aktivitäten weiterhin ausgeführt werden können. Diese aktiven Systeme unterstützen in der Alltagssituation, indem spezifische Leistungseinschränkungen kompensiert werden (Treppenlift, elektromotorische Fahrräder). Auf dem höchsten Level für eine technische Unterstützung sind adaptive Systeme einzurordnen. Hierbei wird davon ausgingen, dass Parameter aus der Umgebung und vom Nutzer so aufgenommen und interpretiert werden, dass der Nutzer selbst durch eine geeignete Aktorik in die Lage versetzt wird, Aktivitäten im Alltag weiter auszuführen (Exoskelette). Neben konkreten Produkten ist als technische Unterstützung auch denkbar, die Lebensumgebung so zu gestalten, dass die Umgebung im Sinne einer Handlungsunterstützung agiert. Auch hier kann eine ähnliche Hierarchie wie für Produkte definiert werden. Eine einfache Lösung wäre die Integration von Sensoren beispielsweise in Fußmatten, die dafür sorgen, dass automatisch das Licht angeht, wenn man im Dunkeln darauf tritt. Unter Nutzung der Strategien aus dem Bereich Internet der Dinge, kann die Unterstützung soweit getrieben werden, dass also die gesamte Umgebung vernetzt wird und zur Unterstützung in Alltagssituationen beiträgt (Aufstehen vom Sofa aktiviert den Rollator, der sich zum Nutzer bewegt).

Verhaltensbeschreibung: aus der Lebens- und Handlungssituation in Kombination mit der Leistungsfähigkeit des Menschen resultiert nicht nur sein Vorgehen in der *Interpretation von Produkten* sondern auch ein wichtiger Aspekt des *Nutzungsverhaltens* von Produkten. Letzteres wird aber natürlich auch geprägt durch die gewählte Technikunterstützung also speziell den Komplexitätsgrad von Produkten. In diesem Kontext gilt es auch zu berücksichtigen, dass gerade Produkte durch unterschiedliche *Stakeholder* genutzt werden, also nicht nur durch den älteren Menschen sondern gegebenenfalls auch durch Pflegepersonal oder z.B. Familienangehörige, die wiederum andere Anforderungen an die Nutzung der Produkte haben können.

Die **Performance** der Mensch-Maschine-Integration resultiert aus der Kopplung aus dem gewählten oder verfügbaren Produkten und dem *Nutzungsverhalten* des Nutzers. Hierbei spielen Fragen der Motivation, die aus der Interpretation der Handlungssituation resultieren, eine Rolle.

Mit dem Komplexitätsgrad eines Produktes geht ein wahrgenommener Grad an Zuverlässigkeit und entsprechende Anforderungen hinsichtlich der Sicherheit eines Produktes einher, die wiederum die Nutzungsbereitschaft beeinflussen. Bei der Entwicklung von Produkten zur Unterstützung älterer Menschen übernimmt der Entwickler zudem eine große Verantwortung, da durch die Kompensation von Leistungsfähigkeiten deren Verlust weiter forciert wird, was am Ende zu einer Verschlechterung der Lebensqualität beiträgt. Um einem solchen Teufelskreis im Verlust der Leistungsfähigkeit zu entgehen, gilt es, eine medizinisch und gerontologisch begründete *Unterstützungshierarchie* zu berücksichtigen. Zunächst soll das technische System den Nutzer nur dazu anregen, es zu verwenden und damit den Alltag erleichtern. Ziel ist es, die eigene Leistungsfähigkeit zu stärken. In der nächsten Ebene unterstützt das Produkt vorhandener Fähigkeiten in spezifischen schwierigen Situationen. Ziel ist es, Restleistungsfähigkeit möglichst lange zu erhalten bzw. kompensative Fähigkeiten zu trainieren. Erst wenn Fähigkeiten nicht (mehr) ausreichend vorhanden sind, sollen diese vom Produkt kompensiert werden, um weiterhin eine selbständige Lebensführung sicher zu stellen.

Handlungsfeld: Sowohl das Verhalten als auch die Performance einer Mensch-Maschine-Integration benötigen eine Anwendung, dies kann exemplarisch die Erhaltung von Mobilität im häuslichen und nahen häuslichen Umfeld sein. Dieses Handlungsfeld gilt es, detailliert zu untersuchen, um das Nutzerverhalten zu identifizieren und grundsätzlich zu beschreiben. Dies muss sowohl aus einer abstrakten Ebene des Verhaltens erfolgen, aber auch auf einzelne Aktivitäten heruntergebrochen werden. Für die Mobilität im häuslichen Umfeld entstand auf diese Art und Weise ein *Funktionskatalog*, aus dem dann typische Aktivitäten und Grundmuster im Handeln abgeleitet werden können. Durch die Kopplung mit der Handlungs- und Lebenssituation sind hieraus *Problemlagen* ableitbar. Problemlagen sind solche Situationen in einem Handlungsfeld, welche für den Menschen zur Barriere werden. Von Bedeutung ist dabei der subjektive Leidensdruck eines Menschen, wobei nach drei Formen von Barrieren unterschieden werden muss: (1) eine Aktivität wird vollzogen, obwohl sie schwer ist; (2) die Aktivität selbst wird vermieden oder (3) das Handlungsfeld, in dem die Tätigkeit auftritt wird nicht mehr aktiv betrieben.

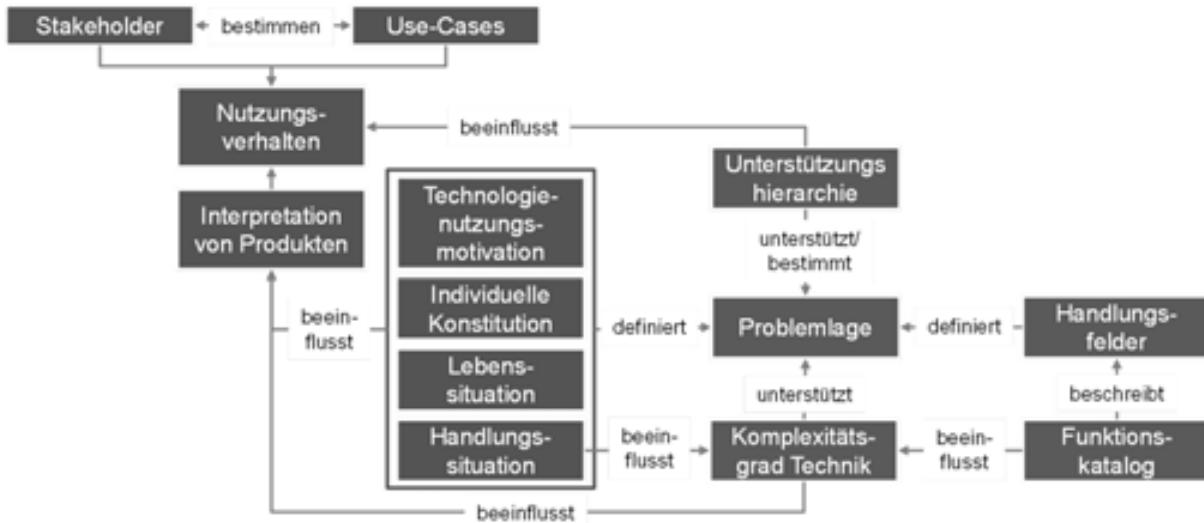


Abb. 5: Modell zur ganzheitlichen Menschbeschreibung

Die hier beschriebene Konkretisierung der vier Sichten auf die Mensch-Maschine-Integration führt zu einer ersten Präzisierung des Modells zur ganzheitlichen Menschbeschreibung, welches in Abbildung 5 dargestellt ist. Um dieses Modell nutzbar zu machen, bedarf es nicht nur einer weiteren Konkretisierung der einzelnen Einflussfaktoren, die im Kap. 3.2 schon genannt und z.T. detailliert sind sowie der Darstellung der einzelnen Abhängigkeiten. Es gilt auch, das Modell in eine Form zu überführen, die für die Produktentwicklung weiter verwendet werden kann. Da sich die Mensch-Maschine-Integration als ein komplexes Konstrukt mit vielfältigen Elementen und sehr unterschiedlichen Arten von Relationen darstellt, wird hierzu auf Methoden des Modellbasierten Systems-Engineering zurückgegriffen. Das dargestellte Modell wird im nächsten Schritt mithilfe von SYStem Modeling Language (SYSML) modelliert.

3.3 Nutzung der ganzheitlichen Menschbeschreibung

Die dargestellte Menschbeschreibung dient einerseits dazu, neuartige Produktideen bzw. neue Lösungsansätze zur Bewältigung von Alltagssituationen abzuleiten und andererseits die Anforderungen für die Produktentwicklung zu konkretisieren sowie Lösungsansätze für spezifische Produkte zu überprüfen.

Ziel der Unterstützung älterer Menschen durch Produkte ist es, diese in ihrer Lebenssituation zu unterstützen, indem die Technik an den Nutzer bzw. seine Lebens- und Handlungssituation angepasst wird. Ausgangspunkt für die Ideenfindung sind Wünsche und Bedürfnisse der Nutzer. Wie im Kap. 2 dargestellt, reduziert der Ingenieur heute die Bedürfnisse auf die Kompensation von Leistungseinschränkungen. Durch die ganzheitliche Betrachtung des Menschen in der Nutzung von Produkten eröffnet sich die Möglichkeit, Aspekte aus der Lebens- und Handlungssituation gezielt in die Ideenfindung mit einzubeziehen. Der Modellansatz kann die Transformation von „weichen“ und impliziten Bedürfnissen erleichtern. Hierdurch wird nicht nur die mögliche Akzeptanz bereits in den frühen Phasen thematisiert. Es ist zusätzlich zu erwarten, dass durch die weitreichende Betrachtung völlig neue Ansätze zur Unterstützung entstehen. Der dargestellte Modellansatz wird gegenwärtig am Handlungsfeld Mobilität im häuslichen Umfeld validiert. Bereits aus der Analyse des Handlungsumfeldes in Kombination mit Analysen zur Lebenssituation und zur individuellen Konstellation wurde deutlich, dass im häuslichen Umfeld Mobilität eine andere Ausprägung hat. Es steht nicht das Bewegen von A nach B im Fokus sondern die Verrichtung von alltäglichen Tätigkeiten wie Putzen, Kochen, Körperhygiene etc. auf relativ engem Raum bei denen primär der Oberkörper sowie die Arme beansprucht werden. Diese Erkenntnis bringt automatisch die Suche nach neuen Lösungsansätzen mit sich.

In diesem Kontext ist zu berücksichtigen, dass Unterstützung nicht allein durch das technische System als Produkt erfolgen muss, sondern dass dieses auch durch Dienstleistungen ergänzt werden kann. Damit verbunden ist eine Erweiterung des Modellansatzes dahingehend, dass Dienstleistungen in ihrer Struktur zu spezifizieren und über geeignete Relationen in das Modell einzubinden sind, um daraus Performance-Aussagen abzuleiten.

Eine weitere Herausforderung für die Produktentwicklung ist die Konkretisierung und Vervollständigung von Anforderungen für den Entwicklungsprozess. Durch die Integration der Menschbeschreibung mit der Produktbeschreibung werden die Voraussetzung für die Überführung von Bedürfnissen und Rahmenbedingungen in konkrete technische Parameter geschaffen, die für die Tätigkeit des Ingenieurs von Bedeutung sind. Wesentlicher Ansatzpunkt hierfür ist

die funktionale Beschreibung der Handlungsfelder, die Zuordnung von allgemeinen Lösungsprinzipien zu einzelnen Teilfunktionen in den Handlungsfeldern und die Auswertung der Verknüpfungen zwischen den Menschbeschreibungen und den Produktbeschreibungen.

Eine der großen Herausforderungen für eine effiziente Entwicklung von Produkten ist die Beherrschung der Vielfalt nicht nur bei den Anforderungen sondern auch bei den Nutzern selbst. Auf Basis der Nutzung der Konzepte aus der Soziologie und Psychologie ist die Voraussetzung gegeben, Nutzer bezüglich ihrer Handlungs- und Lebenssituation und ihrer Techniknutzungsmotivation zu klassifizieren. Damit können Unterstützungsstrategien gezielter ausgearbeitet werden, die sich dann wiederum auf spezifische Besonderheiten innerhalb der Nutzunggruppen adaptieren lassen.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Dargestellt wurde ein Ansatz zur ganzheitlichen Beschreibung des Menschen in der Mensch-Maschine-Integration, der dazu beitragen soll, neben der Leistungsfähigkeit des Menschen auch „weiche“ Faktoren, die die Techniknutzung determinieren, mit einzubeziehen. Hierdurch wird die Voraussetzung geschaffen, den Menschen in seinem Handlungsumfeld gezielter durch Technik zu unterstützen, es lassen sich nicht nur neue Produktideen ableiten sondern vor allem auch Bedürfnisse in Anforderungen transformieren und Anforderungen um die Lebens- und Handlungssituation zu erweitern. Die Konkretisierung des Ansatzes in Kooperation zwischen Soziologen, Psychologen und Ingenieuren soll auch dazu genutzt werden, Produkte für Senioren hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz zu bewerten. Die Ableitung entsprechender Validierungsverfahren ist Gegenstand weiterer Forschungen.

4 Literatur

- [1] Weißmantel, H. und Biermann, H.: Seniorengerechtes Konstruieren: SENSI – Das Design seniorengerechter Geräte. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1995.
- [2] Venkatesh, V.; Morris, M. G.; Davis, G. B. und Davis, F. D.: User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27 (3), S. 425-478, 2003.
- [3] Leonard-Barton, D.: Implementation as mutual adaptation of technology and organization. In: *Research Policy* 17, S. 251-267, 1988.
- [4] Birken, T.: IT-basierte Innovation als Implementationsproblem. Evolution und Grenzen des Technikakzeptanzmodell-Paradigmas, alternative Forschungsansätze und Anknüpfungspunkte für eine praxistheoretische Perspektive auf Innovationsprozesse. ISF München, 2014.
- [5] DIN EN ISO 9241-210:2011-01 Ergonomie der Mensch-System Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (Ergonomics of human-system interaction - Part 210: Human-centred design for interactive systems). Berlin: Beuth Verlag, 2010.
- [6] Reinicke, T.: Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung. Technische Universität Berlin, Dissertation an der Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme, Berlin, 2004.
- [7] Hassenzahl, M.; Burmester, M. und Koller, F.: Der User Experience (UX) auf der Spur: Zum Einsatz von www.attrakdiff.de. Usability Professionals, Hrsg.; Brau, H.; Diefenbach, S.; Hassenzahl, M.; Koller, F.; Peissner, M. und Rose, K., S. 78-82, 2008.

- [8] Steffen, D.: Design als Produktsprache - Der „Offenbacher Ansatz“ in Theorie und Praxis. Frankfurt, Verlag Form GmbH, 2000.
- [9] Martens, T.: Was ist aus dem Integrierten Handlungsmodell geworden? Item-Response-Modelle in der sozialwissenschaftlichen Forschung. Hrsg.: Kempf, W. und Langeheine, R. Berlin: Regener, S. 210-229, 2012.
- [10] Helander, M. G. und Khalid, H.: Affective and Pleasurable Design. Handbook of Human Factors and Ergonomics. Hrsg.: Salvendy, G3. Auflage. New Jersey: John Wiley & Sons, S. 543-572, 2006.

Prototyping von intuitiven und interaktiven Benutzerschnittstellen

Schnelles und einfaches Design von Anwendungen mit virtuellen Agenten

P. Kulms, H. v. Welbergen, S. Kopp

Universität Bielefeld, AG Kognitive Systeme und soziale Interaktion, Technische Fakultät
Exzellenzcluster Cognitive Interaction Technology (CITEC)
Inspiration 1, 33619 Bielefeld
pkulms@techfak.uni-bielefeld.de, hvanwelbergen@techfak.uni-bielefeld.de, skopp@techfak.uni-bielefeld.de

Kurzzusammenfassung

Virtuelle Agenten ermöglichen intuitive Kommunikation. Durch Sprache, Gestik und Mimik entsteht in der Interaktion ein sozialer Charakter, der zum Beispiel in Assistenzsystemen von Vorteil ist [1]. Wir präsentieren ein Tool für das Kombinieren unseres virtuellen Agenten Billie mit normalen Benutzerschnittstellen-Elementen, so dass entstehende Interfaces über Natürlichkeit, Robustheit und Exaktheit verfügen. Unsere Lösung bietet Designern eine Zustandsgraph-basierte Modellierung der Interaktionslogik und nutzt Qt für das Benutzerschnittstellen-Design. Damit versuchen wir den Programmieraufwand für das Design zu reduzieren. Eine Nutzerstudie mit acht Teilnehmern zeigt, dass es trotz geringer Erfahrung mit den Komponenten möglich ist, einen beispielhaften Prototypen zu vervollständigen.

Abstract

Prototyping of intuitive and interactive user interfaces: Easily designing virtual agent applications

Through the use of speech, gestures, and facial expressions the interaction with a virtual agent user interface is intuitive and social which is advantageous for virtual assistive systems [1]. Our tool enables the combination of the virtual agent Billie with regular user interface elements, such that resulting interfaces feel natural, robust, and accurate. Our solution provides interaction modeling based on statecharts and uses Qt for interface design, thus reducing the programming effort. A user study with eight participants shows the tool's feasibility, even with only little experience with the components.

1 Einleitung

Virtuelle Agenten sind interaktive Assistenten, die in vielfältigen Szenarien Anwendung finden. Sie werden beispielsweise als Tutoren in Lehr- und Lernumgebungen, Museumsführer, Therapeuten, Figuren in Computerspielen, oder als soziale Begleiter eingesetzt. Je nach Anwendungsgebiet ergeben sich distinkte Anforderungen an den Input des Agenten, zum Beispiel wenn es seine Aufgabe ist, den aktuellen emotionalen Zustand seines Gegenübers zu erkennen und darauf aufbauend fundierte Schlüsse zu ziehen. Die zugrunde liegende Idee ist, dass die

Kombination aus natürlichsprachlicher Kommunikation und einer computeranimierten Figur eine Interaktion ermöglicht, die idealerweise intuitiver ist als klassische WIMP-Interfaces (Windows Icons Menus Pointer). Es entstehen ähnliche emotionale und kognitive Reaktionen wie in Gegenwart eines Menschen [2]. Aus diesem Potenzial sowie den vielfältigen Szenarien ergeben sich für Entwickler (Softwareentwickler, Computergrafiker) und Designer (Interface-Designer, Usability-Spezialisten, Medienwissenschaftler, Psychologen, Pädagogen) Anforderungen, die bisher kaum unterstützt und vereinheitlicht werden. Es mangelt an Möglichkeiten, die Interaktion selbst zu modellieren. Bei strukturlosem Entwerfen der Anwendungen besteht die Gefahr, dass die einzelnen Zustände unzureichend aufeinander abgestimmt werden. Obgleich zahlreiche Wege existieren, Zustände und Übergänge separat formal darzustellen, ist es hilfreich, diesen elementaren Aspekt als notwendiges Grundgerüst der Anwendung zu integrieren. Der Agent ist in vielen Szenarien Teil eines größeren Interfaces mit weiteren Benutzerschnittstellen-Elementen. In der Regel fehlt es jedoch an einer Architektur, um den Agenten innerhalb einer klassischen Benutzerschnittstelle darzustellen. Designer mit weniger Programmiererfahrung stehen hier vor der komplexen Aufgabe, zunächst die Schnittstelle der Agenten-Software zu bearbeiten, anstatt sich der eigentlichen Aufgabe widmen zu können. Wir präsentieren ein Multimodal Interaction Prototyping Tool (fortan MIPT), ein integriertes Werkzeug zur Lösung solcher Probleme. Sowohl in der Forschung als auch in der Praxis ist Mensch-Computer Interaktion seit jeher ein stark interdisziplinäres Feld. Wir erwarten daher zusätzlich, dass unser Ansatz die Kollaboration von Spezialisten mit verschiedenen Fähigkeiten vereinfachen könnte, weil Designer befähigt werden, stärker in den Bereich virtuelle Agenten vorzustoßen. Als Beispiel dient ein einfacher Prototyp für einen intelligenten Kaffeeautomaten.

2 Problemstellung

Prototyping ist ein wesentlicher Schritt bei der Gestaltung komplexer interaktiver Systeme. Je stärker der Fokus auf der Interaktion anstelle der Benutzeroberfläche liegt, desto größer ist der Mehrwert von lauffähigen anwendungsnahen Prototypen. Ist das Prototyping zu komplex, können sich Designer nicht selbstständig an dem Prozess beteiligen. Für gängige Benutzerschnittstellen gibt es daher Lösungen. Freie und mächtige Programme wie Qt [<http://www.qt-project.org>] bieten die Möglichkeit, lauffähige Entwürfe relativ einfach und schnell zu erstellen. Ein integrierter Benutzerschnittstellen-Designer unterstützt hier intuitives Entwerfen von Benutzeroberflächen. Das Verhalten einer Benutzeroberfläche zu explorieren ist jedoch anspruchsvoller. Ein Survey zeigte, dass 86% der befragten Designer eher Schwierigkeiten mit dem Verhalten einer Oberfläche als mit der grafischen Umsetzung haben [3]. Derartige Probleme können sich im Umgang mit Agenten leicht vervielfachen, da die Technologie per se komplex ist und für die geübte Nutzung Programmierkenntnisse erfordert. In Kapitel 2.1 wird daher neben einer Beispielanwendung aus unserer Arbeitsgruppe der exemplarische Aufbau eines Systems kurz umrissen, damit die Funktionsweise unseres Tools verständlich wird (Kapitel 3). Die zentrale Problemstellung wird in Kapitel 2.2 zusammengefasst. Kapitel 4 beschreibt eine Nutzerstudie und weitere Erprobung von MIPT, Kapitel 5 diskutiert das Potenzial und bietet einen Ausblick.

2.1 Virtuelle Agenten

Virtuelle Agenten stellen eine besonders interaktive Form von Benutzeroberflächen dar. Sie ermöglichen eine multimodale Interaktion und können zudem mit künstlichen Formen von Motivation, Zielen, oder Wünschen ausgestattet sein, um Kooperation mit Menschen zu unterstützen [4]. Die Arbeit an virtuellen Agenten ist keine Aufgabe für einzelne Softwareentwickler; vielmehr vereinen die interdisziplinären Teams Wissen aus den Bereichen Informatik und Geisteswissenschaften, um den verschiedenen Perspektiven auf ein derartiges System gerecht zu werden. In der Arbeitsgruppe Kognitive Systeme und soziale Interaktion wird u. a. der virtuelle Agent Billie (Abb. 2) verwendet. In einem bereits evaluierten Szenario dient Billie als Assistent, der ältere Menschen und solche mit kognitiven Einschränkungen dabei unterstützt, Termine zu verwalten [1]. Das System nutzt Sprachsynthese, Blickverhalten, Kopfbewegungen und Gesten zur intuitiven Kommunikation. Neben Billie wird ein Kalender eingeblendet. Die dort angezeigten Termine werden basierend auf dem Sprachinput des Nutzers aktualisiert. Zusätzlich verfolgt ein Eye-Tracker, ob Billie die Aufmerksamkeit des Nutzers hat und adressiert wird. In einer Studie mit der nicht-autonomen Variante des Systems konnte gezeigt werden, dass beide Nutzergruppen dazu bereit und fähig waren, mit dem Agenten zu kommunizieren [1]. Obwohl ältere Nutzer zunächst zögerlich eingestellt waren, konnte für diese Gruppe interessanterweise ein aus der interpersonalen Interaktion bekanntes Phänomen beobachtet werden: das spontane Erzählen von Anekdoten aus dem eigenen Leben. Damit erfüllt Billie nicht nur erfolgreich einen explizit assistierenden Zweck für Menschen mit Gedächtnisproblemen, sondern hat theoretisch das Potenzial eines sozialen Begleiters für eine Zielgruppe, die besonders auf soziale Kontakte angewiesen ist. Dieser Aspekt muss in Langzeitstudien bestätigt werden.

```
<bml xmlns="http://www.bml-initiative.org/bml/bml-1.0" character="Billie" id="bml1">
  <gaze id="gazel" start="1" end="10" influence="NECK" target="camera"/>
</bml>
```

Abb. 1: Einfaches BML-Beispiel für das Blickverhalten des Agenten. Der Agent blickt für 9 Sekunden direkt in die Kamera und benutzt die Augen und den Hals.

Billies Verhalten ist flexibel. Die Manipulation erfolgt durch eine auf XML basierende Skriptsprache (BML: Behavior Markup Language; Abb. 1). BML ermöglicht Designern die Synchronisation von verbalem und nonverbalem kommunikativen Verhalten [5]. Umgesetzt wird das Verhalten von einem Realizer [6]. Der Realizer plant und führt das in BML spezifizierte Verhalten zur Laufzeit aus. Die Manipulation des Agenten soll der Dynamik menschlicher Kommunikation Rechnung tragen und eine Interaktion mit natürlichen Abläufen ähneln, in der wechselseitige Dialoge entstehen, bis hin zu gegenseitiger abgefederter Unterbrechung. Neue BML-Erweiterungen ermöglichen zusätzlich das synchronisierte Abspielen von Audio- und Videodateien. Es obliegt dem Designer den Agenten so zu gestalten, dass sein Verhalten innerhalb des Kontexts stimmig ist und die gewünschten Effekte erzielt werden. Eine Vielzahl von Faktoren müssen berücksichtigt werden, zum Beispiel die äußere Erscheinung (Geschlecht, Alter, kultureller Hintergrund), Expressivität, Erwartungshaltung der Nutzer, Aufgabenstellung. Integrierte Design-Systeme für virtuelle Agenten sind mittlerweile ein Fortschritt bei dem Unterrangen, den Zugang zu dieser Technologie zu vereinfachen, doch sie umfassen nur einen (oder mehrere) Agenten, keine weiteren Interface-Elemente [7].



Abb. 2: Der virtuelle Agent Billie der AG Kognitive Systeme und soziale Interaktion

2.2 Resultierende Anforderungen

Die Manipulation des Agenten ist augenscheinlich nicht gleichzusetzen mit der erweiterten Kontrolle über die gesamte Benutzeroberfläche, es gibt also ein Steuerungsproblem. Hinzu kommt, dass in der Regel keine fest definierte Schnittstelle für externe Elemente der Benutzerschnittstelle existiert (Schaltflächen, Textfelder, etc.), d. h. es gibt ebenfalls ein Gestaltungsproblem. Da eine solche Schnittstelle jedoch benötigt wird, sobald eine funktionale Umgebung gestaltet werden soll, folgt daraus, dass nur mit dem System vertraute Entwickler in der Lage sind, Prototypen zu generieren. Innerhalb von Arbeitsgruppen, die Anwendungen für virtuelle Agenten entwickeln, kann demnach niemals eine echte Rollenverteilung stattfinden. Ein weiteres Problem ist das Fehlen von Design-Werkzeugen, die schnelles Generieren funktionsfähiger Benutzerschnittstellen unterstützen. Selbst wenn das Gestaltungsproblem gelöst werden kann, bleiben zentrale Fragen offen und können erneut nur von Entwicklern beantwortet werden: Wie ist der Eintritt in verschiedene Interaktionszustände definiert? Wie sind Ereignisse mit dem Agenten gekoppelt? Wie kann aus der laufenden Arbeit heraus ein lauffähiger Prototyp generiert werden? Wie viel Vorwissen benötigen Designer?3 Prototyping mit MIPT

MIPT besteht aus drei Hauptkomponenten:

1. der Realizer (für den Agenten Billie)
2. ein grafischer Editor für Zustandsgraphen (für das Interaktionsdesign, umgesetzt mit StateChart XML)
3. QtDesigner (für das Design der Benutzerschnittstelle).

Damit beinhaltet ein Prototyp zwei verschiedene Dateitypen: eine Zustandsgraph-Datei sowie eine oder mehrere .ui-Dateien aus Qt. Für einen lauffähigen Prototypen muss der Realizer im Hintergrund gestartet und die Dateien korrekt miteinander gekoppelt werden.

3.1 Interaktionsdesign mit StateChart XML (SCXML)

Die Interaktion mit der Benutzerschnittstelle wird mit einem Zustandsgraphen modelliert [8]. Zustandsgraphen bieten nützliche Erweiterungen im Vergleich zu Zustandsmaschinen, zum Beispiel Modellierung von Hierarchien, Nebenläufigkeit, und sind dadurch kompakter und ausdrucksstärker. Für das Design der Zustandsgraphen nutzen wir eine standardisierte, XML-basierte Sprache: W3C SCXML [<http://www.w3.org/TR/scxml>]. Verschiedene Werkzeuge unterstützen das (grafische) Design und die Ausführung von SCXML. Wir nutzen scxmlgui [<https://code.google.com/p/scxmlgui/>] und Apache SCXML [<http://commons.apache.org/proper/commons-scxml/>]. In unseren Zustandsgraphen können *Ereignisse* (lösen Zustandsübergänge aus) an Nutzer-Aktionen oder Sensor-Input gekoppelt werden, zum Beispiel das Betätigen einer Schaltfläche, die Erfassung des Nutzers in der Umgebung via Kamera, oder eine

Swipe-Geste auf einem Touchscreen. Zustandsgraph *Aktionen* werden an den Entry oder Exit eines neuen Zustands gekoppelt, oder direkt an ein *Ereignis*. *Aktionen* senden BML-Kommandos an den Realizer, damit Billie zum Beispiel spricht oder eine Geste zeigt, und um Teile der Benutzerschnittstelle zu ändern (Abb. 3). Zusätzlich zum reaktiven Verhalten, das basierend auf *Ereignisse* und *Aktionen* modelliert wird, kann das SCXML Datenmodell als Speicherstruktur genutzt werden, um Verhalten mit mehr Intention zu erzeugen.

Sensoren und Benutzerschnittstellen-Elemente (z. B. Textfelder) können ihren Inhalt in den Speicher schreiben, der aktualisiert wird. Bedingte Transitionen können erfolgen, indem der Speicherinhalt als *Wächter* für ein *Ereignis* funktioniert. So würde eine Transition zum Zustand ‘TooMuchCoffee’ im Prototyp der Kaffeemaschinen (Abb. 4) nur dann stattfinden, wenn die vom Nutzer konsumierte Kaffeemenge größer ist als 9 Einheiten. Die bisher georderten Einheiten wurden in früheren Interaktionen im Speicher abgelegt. Wir können ebenfalls mit BML auf den Speicher zugreifen. Wenn der Nutzer zum Beispiel seinen Namen in ein Textfeld eingibt, können wir den Eintrag im Speicher auslesen und Billie begrüßt den Nutzer mit „Hallo Herwin“ (Abb.4).

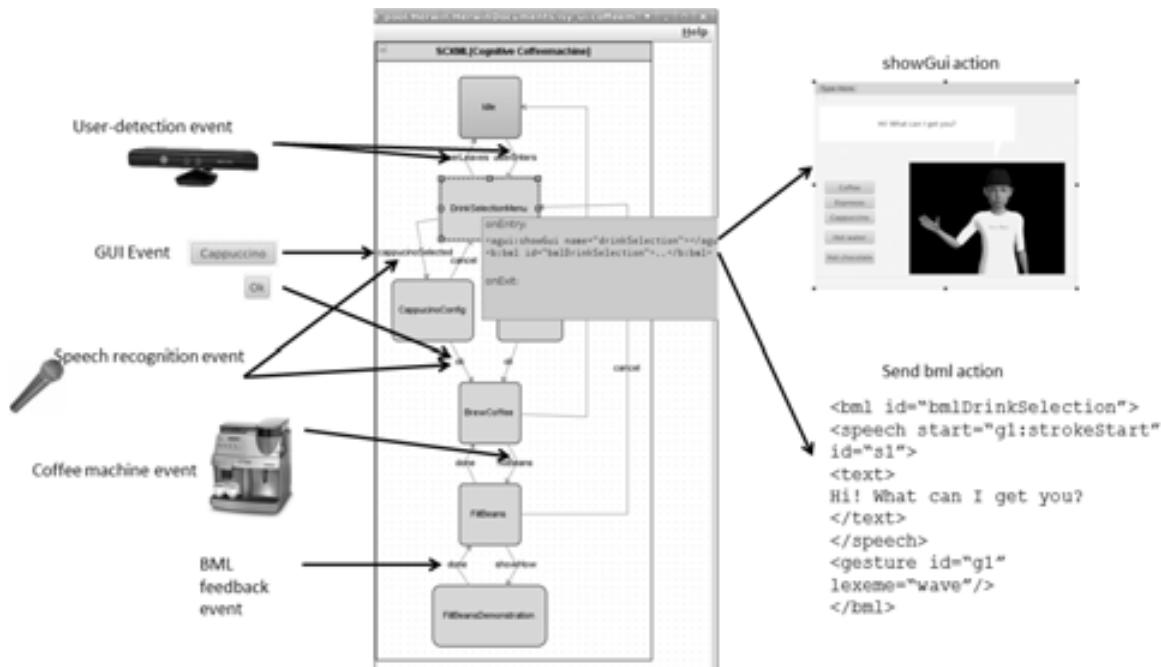


Abb. 3: Interaktionsentwurf. *Ereignisse* (links) sind an Transitionen im Zustandsgraphen gekoppelt (mitte). Die Darstellung und Bearbeitung wird unterstützend in einem grafischen Editor angeboten. Die Information im Zustandsgraphen senden als *Aktionen* BML an Billie, der als Widget in der Benutzerschnittstelle Platz findet.

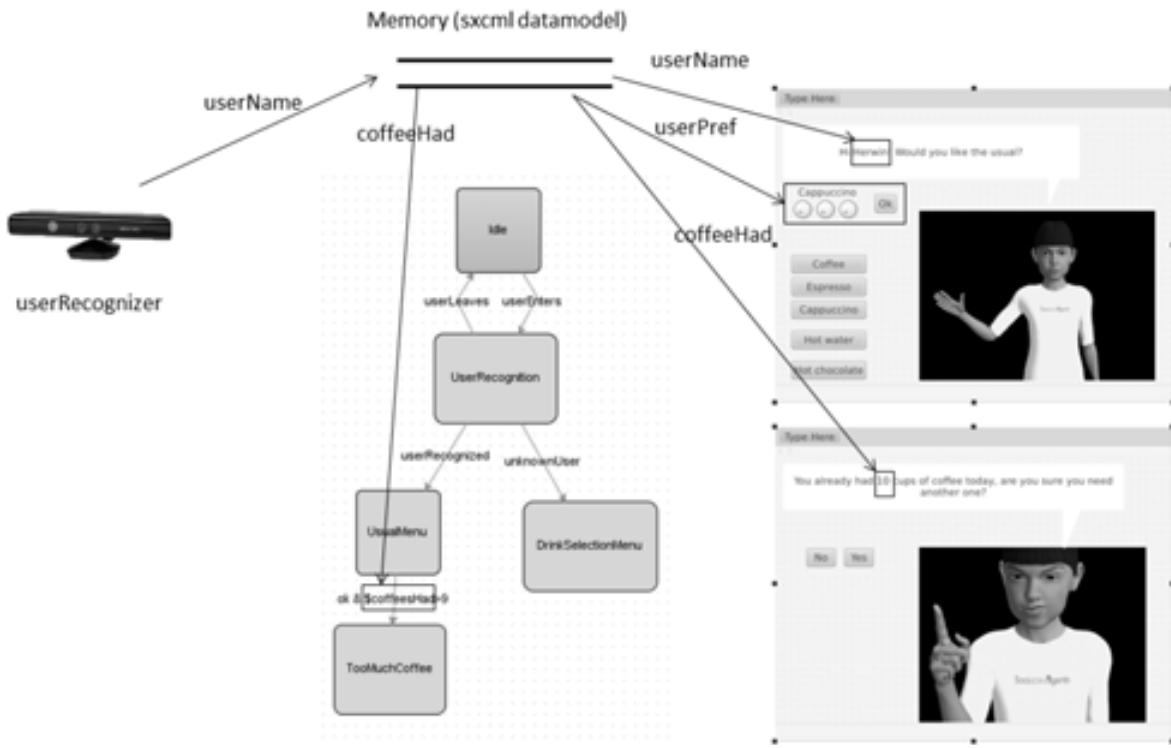


Abb. 4: Prototyp einer intelligenten Kaffeemaschine. Das Beispiel zeigt die Nutzung des Speicherinhalts in SCXML. Nachdem ein ‘UserDetection’-Ereignis auftritt, wird die User-ID mit dem Inhalt im Speicher abgeglichen. Das System weiß, dass der Nutzer schon zu viel Kaffee geordert hat. Billie reagiert entsprechend besorgt.

3.2 Kopplung mit der Benutzerschnittstelle

Es gibt viele exzellente Werkzeuge für das Design von Benutzerschnittstellen. Wir nutzen QtDesigner in unseren Designprozess. Designer können so ein bekanntes Programm für die Gestaltung der Oberfläche nutzen. Zusätzlich zu den typischen Qt-Widgets (Schaltflächen, Textfelder, Slider) bieten wir ein dediziertes Widget für Billie. Durch das Widget kann ein Fenster für Billie positioniert und in der Größe variiert werden. Das Widget ist jedoch nicht obligatorisch für ein Fenster, wodurch das Design für die Interaktion mit verschiedenen Fenstern ermöglicht wird, die Billie einbetten oder nicht einbetten. Wenn SCXML ausgeführt wird (siehe Kapitel 3.1), werden Fenster mit Hilfe von *Aktionen* verändert. Wird ein neues Fenster geladen, werden alle Elemente automatisch an den Zustandsgraphen gebunden (Abb. 5). Zum Beispiel können alle Buttons *Ereignisse* im Zustandsgraphen feuern und jede Eingabe in Textfelder wird automatisch in das Datenmodell des Zustandsgraphen übertragen. Die *Aktionen* und der Speicherinhalt werden anschließend mit Hilfe des Zustandsgraphen-Editors für das Interaktionsdesign genutzt.

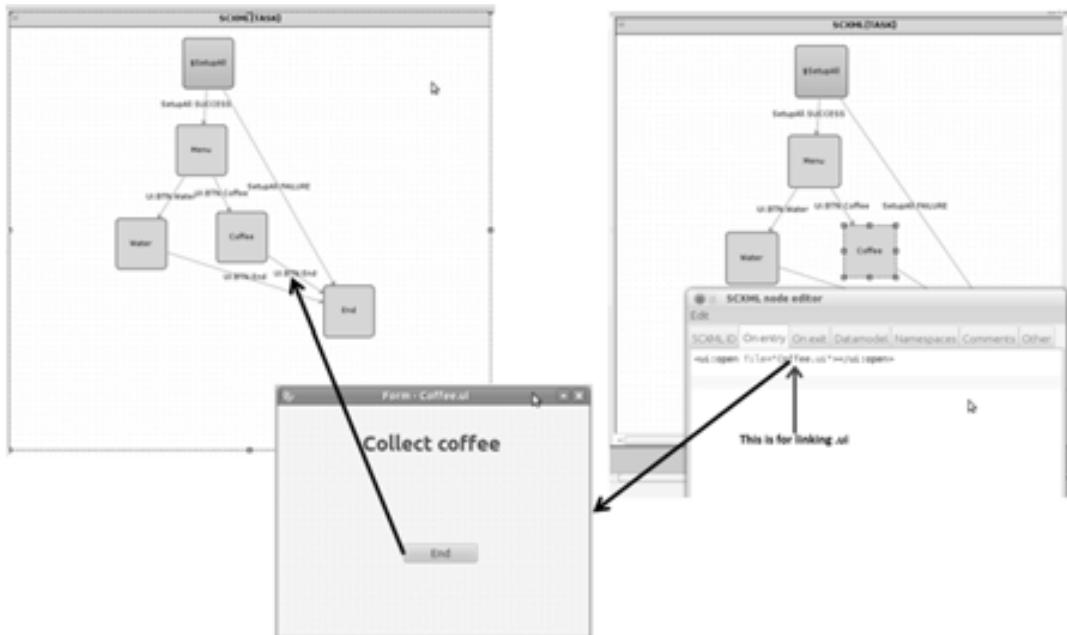


Abb. 5: Das „Collect coffee“ Benutzerschnittstellen-Fenster wird mit einem ‘Bei Eintritt’-Ereignis im ‘Kaffee’-Zustand geöffnet. Wenn das Fenster geöffnet wird, wird der Button automatisch an den Zustandsgraphen gebunden und der Buttonpress erzeugt innerhalb des Interaktionsdesigns eine Transition zum Endzustand.

4 Evaluation

In einer assistierten Nutzerstudie wurde analysiert, wie MIPT von Nutzern aufgenommen wird, die keine Erfahrung mit dem Agenten Billie und seiner Architektur haben. Um die Dauer der Prozedur zu verkürzen, wurde das Benutzerschnittstellen-Design in Qt ausgeklammert und ein einfaches Fenster vorgegeben. Somit lag der Fokus auf dem Interaktionsdesign, einem zentralen Bestandteil von MIPT. Da der Realizer von Billie in MIPT im Hintergrund läuft, nutzten die Teilnehmer hauptsächlich den SCXML-Editor und eine Dokumentation für MIPT. Acht Teilnehmer (Alter zwischen 22 und 32 Jahren) nahmen an der Studie teil. Sie gaben an, keine oder geringe Erfahrungen mit SCXML, Qt und virtuellen Agenten zu haben.



Abb. 6: Bewertungen der Aufgaben und Dokumentation in der Nutzerstudie (1: stimme überhaupt nicht zu, 5: stimme voll zu).

Die Teilnehmer wurden gebeten, ein Prototyping-Tool zu testen und anschließend zu bewerten. Ihnen wurde ein einfacher und unvollständiger Prototyp bestehend aus einer Benutzerschnittstelle und einem Zustandsgraphen vorgegeben. Die Gesamtaufgabe war, den Prototypen unter Zuhilfenahme einer Dokumentation (Wiki-basiert, Text und Screenshots) zu vervollständigen. Die hierfür nötigen Schritte wurden in vier Teilaufgaben gegliedert: 1. Starten von MIPT mit

dem Zustandsgraphen und Nachvollziehen der Struktur. 2. Verbindung zur Benutzerschnittstelle innerhalb des Zustandsgraphen herstellen. 3. Transition zwischen zwei Zuständen einbauen. 4. BML-Kommando für eine verbale Nachricht an Billie senden. Zwei Versuchsleiter waren anwesend; einer von ihnen kontrollierte die vorgenommenen Änderungen, führte durch die Prozedur und stellte sicher, dass die Teilnehmer ausreichend Verständnis entwickeln konnten. Der zweite Versuchsleiter beobachtete und machte Notizen. Nachdem die Bearbeitung abgeschlossen war, füllten die Teilnehmer einen kurzen Evaluationsbogen aus. Darin notierten sie ihre Zustimmung zu drei Aussagen: „Die Aufgaben waren verständlich“, „Die Aufgaben waren einfach“, „Die Dokumentation war verständlich“ (5-Punkt Likert-Skalen). Zusätzlich wurde die benötigte Zeit gemessen. Eine Teilaufgabe galt als nicht erfüllt, wenn sie von einem Versuchsleiter zu Ende gebracht werden musste.

Die durchschnittliche Bearbeitungszeit für die Gesamtaufgabe betrug 28:28 Minuten. Alle Teilnehmer konnten den Prototypen ohne signifikante Probleme fertigstellen, jedoch nicht ohne Hilfestellung, zum Beispiel Hinweise auf bestimmte bereits gelesene Teile der Dokumentation. Die Aufgaben und die Dokumentation wurden insgesamt tendenziell positiv bewertet (Abb. 6). Auffällig war die tragende Rolle der Benutzerfreundlichkeit des Zustandsgraph-Editors. Traten kleine Probleme auf bei Auswahl und Öffnen der Zustände und Transitionen, musste überprüft werden, ob die Informationen korrekt eingetragen wurden, d. h. Verbesserungen beim Drag & Drop, der Informationsdarstellung und Fehlerhandhabung sind nötig. Abschließend ist erwähnenswert, dass die Teilnehmer die Manipulation des Agenten Billie besonders interessant bewerteten, was gelegentliche und spontane Rückmeldung zeigte. 5 Zusammenfassung und Ausblick

Wir konnten zeigen, dass Nutzer grundsätzlich in der Lage sind, Arbeitsschritte in MIPT nachzuvollziehen und durchzuführen. Trotz positiver Rückmeldung von den Studienteilnehmern stehen wir noch am Anfang unserer Bemühung, ein integriertes Prototyping-Tool für Designer bereitzustellen, für die virtuelle Agenten normalerweise eine Technologie mit zu hohen Einstiegshürden sind. Detailliertere Untersuchungen zu den einzelnen Schritten des Prozesses, insbesondere dem Interaktionsdesign sind nötig, um das Tool an die Anforderungen der Nutzer anzupassen. Da MIPT eine Reihe von Prozessen vereint, bei denen Designer ihrer Aufgabe entsprechend beliebig weit in die Tiefe gehen können, wird es eine Herausforderung sein, die logische Verbindung zwischen diesen Prozessen konzeptionell ersichtlich zu machen und technisch zu vereinfachen. Laufende Arbeitsschritte an MIPT konzentrieren sich auf die Erweiterung des Inputs. Zunächst sollen Designer die Möglichkeit haben, einfache Touch-Anwendungen bauen zu können. Später soll eine zusätzliche Erweiterung für Gesten und einfache sprachliche Kommandos („Ja“, „Nein“, „in Ordnung“, etc.) stattfinden. Des Weiteren wollen wir die Evaluation von Prototypen unterstützen, indem die Interaktion aufgezeichnet und mit Markern (automatisch, basierend auf Ereignissen, Transitionen, aber auch arbiträr, basierend auf misslungener Interaktion mit Billie) versehen werden kann.

Wo liegen die natürlichen Grenzen unserer auf Zustandsgraphen basierten Lösung? Zustandsgraphen mit einem Datenmodell können alles darstellen, was eine Programmiersprache ausdrücken kann (Turing-Vollständigkeit). In der Praxis jedoch können womöglich nicht alle Interaktionsprozesse plausibel mit Zustandsgraphen modelliert werden. Es wäre zum Beispiel umständlich, probabilistische Modelle von modernen Dialogsystemen in diese Form zu übertragen. Wir evaluieren derzeit verschiedene Szenarien um diese Frage zu beantworten. Eine

weitere Lösung könnte sein, mehrere Ansätze zu kombinieren, so dass ein bestimmter Teil bzw. Level des Dialogs mit einer Zustandsmaschinen und ein anderer Teil mit einem konventionellen Dialogsystem umgesetzt wird. Zustände für Begrüßung, Dialog, weitere Interaktion und Verabschiedung wären auf einem hohen Level realisiert, wobei ein Dialogsystem die Kommunikation während des Dialog-Zustandes bedient.

5 Danksagung

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Spaltenclusters „it's OWL“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut, sowie von der DFG innerhalb des Exzellenzclusters Cognitive Interaction Technology (CITEC). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

6 Literatur

- [1] Yaghoubzadeh, R.; Kramer, M.; Pitsch, K. und Kopp, S.: Virtual agents as daily assistants for elderly or cognitively impaired people. *Intelligent Virtual Agents*; Springer: Berlin Heidelberg, S. 79-91, 2013.
- [2] Krämer, N. C.: Soziale Wirkungen virtueller Helfer. Kohlhammer: Stuttgart, 2008.
- [3] Myers, B.; Park, S. Y.; Nakano, Y.; Mueller, G. und Ko, A.: How designers design and program interactive behaviors. *Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing*, S. 177-184, 2008.
- [4] Wachsmuth, I.; Mensch-Maschine-Interaktion. *Handbuch Kognitionswissenschaft*, Hrsg.: Stephan, A.; Walter, S.; J. B. Metzler: Stuttgart, Weimar, S. 361-364, 2013.
- [5] Kopp, S.; Krenn, B.; Marsella, S.; Marshall, A. N.; Pelachaud, C.; Pirker, H.; et al.: Towards a Common Framework for Multimodal Generation: The Behavior Markup Language. *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Virtual Agents*, Hrsg.: Gratch, J. et al.; Springer: Berlin, Heidelberg, S. 205-217, 2006.
- [6] van Welbergen, H.; Reidsma, D. und Kopp, S.: An incremental multimodal realizer for behavior co-articulation and coordination. *Proceedings of the 12th International Conference on Intelligent Virtual Agents*, Hrsg.: Nakano, Y. et al.; Springer: Berlin, Heidelberg, S. 175-188, 2012.
- [7] Hartholt, A., Traum, D., Marsella, S. C., Shapiro, A., Stratou, G., Leuski, A., et al.: All together now: Introducing the Virtual Human Toolkit. In *Intelligent Virtual Agents*, S. 368-381, 2013.
- [8] Harel, D.: Statecharts: A visual formalism for complex systems. *Science of Computer Programming*, 8, S. 231-274, 1987.
- [9] Kronlid, F.; Lager, T.: Implementing the information-state update approach to dialogue management in a slightly extended SCXML. *Workshop on the Semantics and Pragmatics of Dialogue*, 2007.

„Bestmögliche Gestaltung“?

Zur Untersuchung von Mensch-Maschine-Schnittstellen in der Ergonomie

K. Liggieri

Mercator Research Group: Räume anthropologischen Wissens
Ruhr-Universität Bochum
Dorstenerstr. 125, 44809 Bochum
Kevin.Liggieri@rub.de

Kurzzusammenfassung

Das Interface als Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine lässt nicht nur Informationen durch, sondern über-bringt diese auch, wodurch sich die Signale transformieren. Das Interface selbst ist somit kein passiver Durchgang/Oberfläche, sondern im etymologischen Sinne als „Hinführer“ produktiv. Für die gelingende Produktivität muss jedoch eine bestmögliche Gestaltung der Schnittstelle angestrebt werden. Damit ist das Interface jedoch nicht einfach ein Objekt, sondern ein Effekt. Wir haben es beim Interface nicht mit einem neutralen Mittler zu tun, sondern selbst mit einem Agenten, der Sinn stiftet und so die Bedingung der Möglichkeit von Kommunikation zwischen zwei unterschiedlichen Systemkomponenten generiert.

Abstract

„Usability Engineering“? – An Analysis of human-machine-interfaces in ergonomics

The interface as an interface between man and machine not only processes information but also translates it, thereby transforming the signals. The interface itself is thus not a passive passage/surface but productive itself. However, to guarantee this productivity, an optimum design of the interface must be sought for. Thus however, the interface is not just an object, but (also) an effect. It is not just a neutral mediator, it is rather an agent that provides meaning and therefore generates the condition of the possibility of communication between two different system components.

1 Inter-Face – Zur Problematik des Zwischengesichts

„Hier konnte niemand sonst Einlaß erhalten, denn dieser Eingang war nur für dich bestimmt. Ich gehe jetzt und schließe ihn.“ (Franz Kafka, *Vor dem Gesetz*)

Janus, der Doppelköpfige (*biceps*) oder Zweigesichtige (*bifrons*), ist der Gott der Durchgänge. In der antiken Mythologie schützte er Ein- und Ausgang. Wie die Tür hat auch er zwei Seiten – eine nach außen und eine nach innen gerichtete. In den *Fasti* Ovids sagt Janus von sich selbst: „Über des Himmels Portal wach' ich mit den huldigen Horen, Ein- oder Ausgang hat Jupiter selber durch mich. Janus heißt ich darum.“ Seine Hand erst „vollzieht aller Eröffnung und Schluss [...]. Und wie bei euch der Pförtner vorne an der Schwelle eures Hauses seinen Platz hat und den Ein- und Ausgang überwacht, so sehe ich, als Pförtner an der Himmelshalle, Ost und West zugleich.“[1]

Janus (Dianus) verkörpert wie Jupiter den Himmelsgott und gilt wohl als eine der rätselhaftesten Göttergestalten des alten Roms. Als Gott des Anfangs begleitete er den Menschen, wenn dieser etwas Neues beginnt und dabei ungeahnte Wege beschreitet. Mit seiner bipolaren Art agiert Janus dialektisch als Symbol aller Gegensatzpaare: innen und außen, Mythos und Vernunft, rechts und links, konservativ und progressiv.

Dieser doppelgesichtige Gott ist nur scheinbar verbannt aus unserer säkularisierten Zeit, denn auch die technologisierte Moderne hat ihre eigene mythische Gottheit des Ein- und Ausgangs, des Zu- und Aufschließens sowie des Ein- und Umschreibens: Das Zwischengesicht (*Interface*).

Das Interface ist seinem Namensgeber dem Ingenieur James Thomson zufolge ein Gebilde zwischen dynamischen Begrenzungen, das erst durch die damit einsetzende Differenzierung Liquidität und Bewegung ermöglicht (in: *Notes and Queries – On Gases, Lquids, Fluids: Unpublished notes bearing on [chemist and physicist Thomas] Andrew`s experiments*, 10. Mai 1869). Das Interface definiert und separiert für Thomson somit Bereiche des ungleichen Energievertriebs innerhalb einer Flüssigkeit in Bewegung und einem statischen Objekt. Diese Macht der Trennung sowie des Zusammenfügens, welches nur im Tun Wirklichkeit beansprucht, wohnt auch modernen Interfaces inne.

Interfaces sind vielseitig, es können zum einen Ausgabesysteme in allen Varianten sein (Bankautomaten, Computerbildschirme, Telefontastaturen, etc.), so verstanden bilden sie ein Netzwerk von „bedeutenden Flächen“, die für den User bestenfalls intuitiv und benutzerfreundlich sein sollen, zum anderen sind es aber auch Durchgänge, die durch Kontrolle und Macht Zugänge ge- oder verwehren. Schnittstellen sind allgemein gesprochen dazu da, eine Kommunikation zweier sich fremder Systeme überhaupt erst zu ermöglichen. Das kann natürlich die angesprochene Bedieneinheit zwischen Mensch und Maschine sein oder eine (Maschine-Maschine-)Kommunikationsschnittstelle zwischen zwei unterschiedlichen Kommunikationsstandards, die ihre Daten (z.B. Bits im digitalen Fall) auf verschiedene Weise verpacken/anordnen/strukturieren und so nicht vom anderen Standard interpretiert werden können. Man denke für die Hauptaufgabe eines Interfaces an das Beispiel eines menschlichen Übersetzers zwischen zwei Menschen, die nicht dieselbe Sprache sprechen.

Will man Hookway folgen so bildet eine Theorie des Interface immer eine Theorie der Kultur. „If culture is an enacted reconciliation of human beings with the social, biological, material, technological, and other realms, the interface describes a cultural moment as much as it does a specific relationship between human users and technological artifact.“[2] Die Benutzung eines Interfaces ist somit gleichbedeutend mit der Partizipation an Kultur.

Im Folgenden soll im ersten Schritt eine systematische Beschreibung des Interfaces bei Mensch-Maschine-Interaktionen vorgenommen werden, darauf aufbauend muss sich die epistemologische Frage nach der besonderen Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine (sowie der Akzeptanz technischer Artefakte) gestellt werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass gerade das Interface als Leitbegriff für eine bestmögliche Gestaltung beim Zusammenwirken von Mensch und Maschine durch Anpassung der Maschine an den Menschen hinsichtlich Leistung, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit Wichtigkeit erlangt. Schaut man auf die Beschreibung von Mensch-Maschine-Schnittstellen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von 2014, so erkennt man, dass „[d]ieses Zukunftsfeld neuen Zuschnitts [Mensch-Ma-

schine-Kooperation] [...] eine integrierte Forschungsperspektive auf das komplexe Zusammenspiel menschlichen und technischen Wandels [liefert]. Angesichts immer unmittelbarer an den Menschen heranrückender Technologien und einer fortschreitenden Technisierung der Lebenswelt gilt es, neuartige Konstellationen von Mensch und Technik in ihrer ganzen Vielschichtigkeit in den Blick zu nehmen“ Dabei soll der Mensch als Maßstab jedoch nicht aufgeben werden. Vor allem für die Gegenwart ergibt sich durch einen epistemologischen Blick auf die Bedeutung und Gestaltung des Interfaces ein ungeahntes Potential in der Interaktion von Mensch und Technik in Bezugnahme auf Technikwissenschaft und -geschichte. Neben der Frage welche Problematisierungsdiskurse sich bei diesem in den 1960er Jahren neu aufkommenden „Dialog“ zwischen Mensch und Maschine ergeben und wie sich dabei *akzeptable* Interfaces gestalten, muss ebenso nach der Rolle des technischen Objekts gefragt werden, dessen sozialer Status sich durch optimierende Schnittstellen immer mehr modifiziert.

2 Eine theoretische Betrachtung des Interface

In der postkybernetischen Wissensordnung nach 1960 wird gerade von der anthropotechnischen Ergonomie (Rainer Bernotat/Rüdiger Seifert) angestrebt einen gemeinsamen Code für Menschen und Maschinen als Handlungsaktanten zu finden, denn nur gleiches kann mit gleichem kommunizieren. Als Unterschied zur Kybernetik der 1940-1960er Jahre erkennt die arbeitswissenschaftliche Anthropotechnik die Verschiedenheit der beiden Entitäten Mensch und Maschine und umreißt so die schwierige Schnittstellengestaltung. Weder darf die Maschine zu anthropomorph noch der Mensch als Maschine zu reduktionistisch gesehen werden. Vielmehr muss man beide – und das zeigt das Interface in Reinkultur – von der Interaktion her denken. Somit definiert und annulliert die Schnittstelle Differenzen, indem sie zwei Bereiche trennt und wieder verbindet. Die Schnittstelle stellt hierbei eine besondere Ausformung der technologischen Entwicklung dar, weil sie den Menschen weder schlicht prothetisch kompensiert (Organprojektion), noch ihn einfach in der Maschine verschwinden lässt. Man kann das Interface demnach eher als technologische Relation verstehen, die die Zugangsweise ermöglicht wie Menschen mit Maschinen und vice versa umgehen und diese wie auch sich selbst definieren. Die „Definitio“, die als „Abgrenzung“ lesbar ist, wird allerdings von der Schnittstelle evoziert wie subvertiert, womit die statisch gedachten Größen Mensch/Maschine bzw. Subjekt/Objekt ins Wanken geraten und ihre Zuschreibung nur in der prozessualen Relation des Interfaces besitzen. Nur in diesem fluiden Raum werden Mensch und Maschine zu Handlungsträgern sowie Subjekten der Interaktion. Das Durchgangsstadium der Schnittstelle bleibt als epistemisches Ding jedoch selbst nicht einsehbar für den Akteur, da hier etwas „zwischen“ (*inter*) zwei Systemkomponenten „getan“ (*facere*) wird, welches einer Black-Box anheimfällt. Das Interface ist somit ein Gesicht, welches sich uns auf dem ersten Blick zwar lesbar zeigt, am Ende aber – wie unser eigenes Gesicht – immer entzogen und unzugänglich ist. „[...] gewisse Körperteile kann ich nur in eigentümlicher Verkürzung sehen, und andere (z.B. der Kopf) sind überhaupt für mich unsichtbar. Derselbe Leib, der mir als Mittel aller Wahrnehmungen dient, steht mir bei der Wahrnehmung seiner selbst im Wege und ist ein merkwürdig unvollkommen konstituiertes Ding.“[3] Auch das Interface ist für den User das „Mittel aller Wahrnehmung“, es selbst jedoch invisibilisiert sich, löst sich auf als reines Medium, Kanal und Übermittler. Es zeigt sich nur als Drittes, welches zwischen Mensch und Maschine scheinbar neutral Informationen prozessiert und damit „Dialoge“ evoziert. Für den reibungslosen Dialog (im Sinne eines gemeinsamen

Codes) muss der Mensch wie die Maschine aneinander angepasst werden, daher müssen Nachrichten und Informationen so codiert und decodiert werden, dass sie für Empfänger und Sender beidseitig lesbar werden. Damit ist das Interface neben Janus als Türöffner auch noch Götterbote Hermes, der als mythologischer Nachrichtenübermittler die Beschlüsse von Zeus an die Menschen bringt und übersetzt. Er symbolisiert als Gott der Wege den heiligen Kanal zwischen unsterblichen Göttern und dem sterblichen Mensch. Schon hier erkennt man die problematische Aufgabe eines Datenverkehrs, der von zwei vollkommen unterschiedlichen Systemen ausgeht. Die übermittelten Botschaften sind folglich keine bloßen Mitteilungen, sondern fordern Ein-sicht und Verständnis (Hermeneutik): Die Nachrichten müssen für die Gegenseite verständlich und lesbar gemacht werden. Das hermeneutische Interface ist folglich jenes co- und decodierbares Tableau auf dem Information erst lesbar gemacht wird. Kommunikation (lat. Communica-tio: Mitteilung, aber noch mehr communicare: gemeinsam machen, vereinigen) als Verbin-dung, Zusammenhang oder Verständigung ist stets wechselseitig zu denken, da ein Kreislauf zwischen mindestens zwei Systemen (hier Mensch/Maschine), die aktiv am Prozess beteiligt sind, stattfindet. Information muss für eine Übertragbarkeit oberhalb des reinen Zufalls wie dem weißen Rauschen liegen und ist demnach (nach der „Mutter aller Informationstheorien“ von Shannon/Weaver) das Entgegennehmen einer Nachricht von einem Sender, der den gleichen Zeichensatz zur Informationsübertragung benutzt, wie der Empfänger. Für eine gelungene Kommunikation muss auf beiden Seiten, die Information *sinnvoll* eingeordnet und interpretiert werden. Die Basis hierfür liefert jedoch erst das akzeptable und zu akzeptierende Interface. Die zentrale Frage, die schon seit dem Ende des 19. Jahrhundert immer mehr in den Fokus rückt, bündelt sich besonders in der Ergonomie nach 1960: Wofür muss der Mensch, wofür die Maschine eingesetzt werden und wie gestaltet man die Schnittstelle im Gesamtsystem mög-lichert effektiv? Wie gelingt es zwei scheinbar vollkommen unterschiedlichen Entitäten so mit-einander zu kommunizieren, dass es zur optimalen Schnittstelle zwischen Effizienzsteigerung, Akzeptanz technischer Artefakte und Benutzungsfreundlichkeit kommt?

Schaut man auf die Probleme der Kommunikation, die mit selbstregulierten und informations-verarbeitenden Maschinen aufkommt, so stellt sich die Frage nach einer gemeinsamen Sprache und die Suche nach Vereinbarkeiten zwischen Menschen und Automaten verschärft. Der Ky-bernetiker Karl Steinbuch verwies mit Hinblick auf diese Problematik 1968 noch darauf, dass die „Grundlagen für das Zurechtfinden in der zukünftigen [...] Welt“, „eine Erziehung [bietet], die auf Logik, Semantik und Kybernetik aufgebaut ist.“[4] Der Mensch müsse sich durch ky-bernetische Pädagogik an die Maschine anpassen, um ihre Verfahrensweisen lesen und in einen reziproken Austausch mit ihr einzusteigen zu können. Diese kybernetische Annahme, dass der Mensch sich als komplexe Funktionsmechanik nicht prinzipiell von Maschinen unterscheidet, wird in den 1960er Jahren als problematisch oder zumindest verbesserungswürdig betrachtet. Die kybernetische Vision, in der „Lebewesen in einer Systemarchitektur verortet werden“, kein „Objekt, Raum oder Körper [...] mehr heilig und unberührbar [ist]“, und jede „beliebige Kom-pONENTE mit jeder anderen verschaltet werden [kann], wenn eine passende Norm oder ein pas-sender Kode konstruiert werden kann, um Signale in einer gemeinsamen Sprache auszutau-schen“, wird immer vehementer kritisch hinterfragt. Der Gedanke, dass der Wissende schlicht zur „Rechenmaschine“ wird und „Schaltkreise des Denkens“ im „Fleisch“ bestimmt können werden, folglich also Zahl und Mensch überlappen und eine Physiologie des Berechenbaren entsteht, in der das Nervensystem zur „logische[n] Maschine par excellence“ heran wächst[5],

war für eine empirische Ergonomie nicht nachvollziehbar bzw. in Experimenten problematisch verifizierbar. Es kann hier nicht weiter ausgeführt werden, dass Mechanisierung und Kybernetisierung, im Allgemeinen die technologisierte Steuerbarkeit des Menschen im Hinblick auf eine Integration in den „Regelkreis“ bei der veränderten Mensch-Maschine-Stellung der 1960er Jahre defizitär bleiben musste. Das Interface agiert im Unterschied zum materialistischem Blick der Kybernetik zwischen einer zu einseitigen Anpassung des Menschen an die Maschine (*human factor*) und einer einseitigen Anpassung der Maschine an den Menschen (*Anthropotechnik*). Damit ist es als dritter, scheinbar externer Vermittler mehr in den epistemischen und praktischen Prozess involviert, als es auf den ersten Blick scheint. Will man mit Serres argumentieren, so ist das Interface der Parasit, dessen anwesende Abwesenheit erst den Dialog möglich macht. Ähnlich wie der Parasit ist auch das Interface ein Mittler, den man notwendigerweise für jede Intersubjektivität einschließt, um ihn auszuschließen: „Es gibt ein Drittes vor dem Zweiten; es gibt einen Dritten vor dem anderen. [...] Ich muss durch eine Mitte hindurch bevor ich ans Ende gelange. Es gibt stets ein Medium, eine Mitte, ein Vermittelndes.“[6] Ein erweitertes Beispiel wäre ein Gateway, welches Informationen zwischen zwei unterschiedlichen Protokollen vermittelt. Die Aufgabe ist ähnlich zu Schnittstellen, da jeder Kommunikationsstandard sein eigenes Protokoll sowie seine eigene Struktur wie die Bits angeordnet werden besitzt. Ein Gateway kann Informationen entsprechend in andere Protokolle konvertieren und lesbar bzw. interpretierbar machen.

3 Bestmögliche Gestaltung von Schnittstellen

Ähnlich wie ein Paratext (als unbestimmte Zone zwischen innen und außen) wirkt auch das Interface im Unsichtbaren, im Selbstverständlichen. Diese intuitive Selbstverständlichkeit ist jedoch ein aufwändiger und komplexer Prozess, der die problematische Verbindung zwischen Mensch und Maschine einfach – und das meint in diesem Kontext *natürlich* – aussehen lassen will. Die Unmöglichkeit den Anderen zu verstehen, wird beim Mensch-Maschine-Dialog nochmals auf eine höhere Ebene gehoben, da hier zwei vollkommen unterschiedliche Systeme miteinander kommunizieren müssen. Diese Unmöglichkeit wird jedoch vom Interface nicht eingestanden und bestmöglich kompensiert, da eine Schnittstelle umso besser ist, je weniger sie auffällt.

Da bei der Interface-Gestaltung meist Hersteller und User auseinander getreten sind, greift der Designer (oft Ingenieure) nur noch auf reine (normierte) Daten des Benutzers zurück, wobei selbst durch die Laborexperimente (Simulation) der praktische Bezug zur Lebenswelt des Users fehlt. Ergonomische Mensch-Maschine-Systeme werden daher konzipiert, indem man Konzepte und Methoden benutzerzentriert entwickelt, diese prototypisch realisiert und sie unter Beteiligung der Nutzer in Feld- sowie Laborstudien evaluiert. Der Benutzer bleibt zwar im Modus eines *rapid prototyping* scheinbar im Zentrum und arbeitet in zahlreichen Experimenten an der Entwicklung mit, ist jedoch praktisch nur in Form abstrakter Datenmenge vorhanden. „Die Entwicklung und Gestaltung von Schnittstellen für Mensch-Maschine-Systeme erfordern, neben der Kenntnis der Aufgabe und der Arbeitsumgebung, auch eine Vorstellung über die kognitiven Anforderungen an zukünftige Benutzer. Ein Grund dafür liegt in der zunehmenden Informationsdichte und dem ansteigenden Automatisierungsgrad von technischen Systemen. Daraus ergibt sich die Frage, welche Art von Schnittstelle die kognitiven Prozesse bei der Inter-

aktion am besten unterstützt und wie diese prospektiv gestaltet werden kann.“[7] Diese für Interface bekannte Benutzermodellierung macht den Menschen auf der einen Seite für das Interface als Vermittler lesbar, somit berechenbar, auf der anderen Seite optimiert es aber auch die Interaktion mit der Maschine (als Eingabe durch bzw. Ausgabe an den Menschen), da diese mögliche Optionen des Menschen eher voraussagen und analysieren bzw. sich dazu verhalten kann. In der Entwicklung von Mensch-Maschine-Interaktionen stellen folglich die Gestaltung, die Analyse sowie Optimierung der Benutzungsoberflächen eine wichtige Aufgabe dar. Das Ziel hierbei ist eine adäquate Unterstützung der Entwicklungs- und Entscheidungsprozesse, da eine erhöhte Automatisierung sowie Komplexität technischer Systeme eine Verlagerung der Handlungsebene menschlicher Tätigkeiten zur Folge hatte. Das Werkzeug modifizierte sich zum Denkzeug und der Operateur (lat. „Arbeiter“; „Verrichter“) wurde im Diskurs einer ergonomischen Effektivität zum Überwacher und Vermittler im Interface, der nur noch in kritischen Fällen eingreift. Für genau diese kritischen Kausalitäten muss jedoch die Schnittstelle optimal gestaltet sein. In diesem Sinne stellen moderne Interfaces eine Vielzahl von graphischen Anzeigen und Interaktionselementen zu Verfügung, um den User bei seiner Aufgabenbearbeitung zu unterstützen. Diese Unterstützung ist jedoch zweischneidig, da sie den Menschen zwar ergänzt, aber zugleich aus dem System mangels fehlendem Prozesswissen exkludiert (*Out-of-the-loop-Problem*). Die Aufgabe der Informationsverarbeitung und -sichtbarmachung stellt dazu noch hohe Anforderung an die menschliche Kognition, da der Mensch nur eine bestimmte Zahl unterschiedlicher Signale selektiv wahrnehmen und verarbeiten kann. Das ermöglichen eines Verstehens und Aufnehmens ist dabei die zentrale Aufgabe des Interfaces, welches Signale nach ihrer Wichtigkeit anordnen und ausgeben muss. Der menschliche Wahrnehmungsapparat (z.B. visuelle Informationsaufnahme und -verarbeitung) ist hierbei stark vom Interface und Surface sowie dessen übersichtliche Gestaltung abhängig. Wenn man über eine bestmögliche Gestaltung nachdenkt, muss man von dem Interface, welches wie oben erwähnt, für den User meist unzugänglich oder zumindest invisibel ist, zur Materialisierung der Schnittstelle hinübergehen: *Der Benutzeroberfläche*. Dieses Surface soll gebrauchstauglich (d.h. technisch, ökonomisch, ökologisch und ergonomisch) sein.

Im Folgenden soll der Problemstellung entsprechend nur auf die zu gestaltenden Elemente des technischen Systems (also der Ergonomie) konzis eingegangen werden, da diese im engeren Sinne die Interaktion zwischen Mensch und Maschine ermöglichen. Bei dieser Interaktion wird neben der übenden Anpassung, die der Mensch den Maschinen entgegenbringt, auch die Maschine auf die Berücksichtigung der menschlichen Leistungsfähigkeiten und -grenzen „eingestellt“, folglich stellt die sichere und verlässliche Handhabung zentrale Faktoren dar. Die Schnittstelle und damit die Bedienelemente werden einem *User-centered design* unterstellt, wobei in der Entwicklung iterativ-inkrementell vorgegangen wird. Dieses *Usability Engineering* der Geräte arbeitet u. a. mit Metaphern und Analogien zu bekannten lebensweltlichen Aktivitäten (Bsp.: Schreibtisch-Metapher, Papierseite, etc.). Durch diese Benutzbarkeit wird nicht nur die Handhabung des technischen Artefaktes einfacher, sicherer und zuverlässiger, auch die Akzeptanz und das menschliche Vertrauen in die Maschine wächst: Es entstehen adaptive Mensch-Maschine-Systeme.

Nach diesen kurz anzitierten Gestaltungskriterien von Schnittstellen, soll ein kleiner (wenn auch sehr schematisierter) Überblick über die Stationen der Mensch-Maschine-Schnittstelle nach Sheridan gegeben werden. Wissenshistorisch betrachtet, wird deutlich wie der „Mensch“

noch in den 1950er Jahren mit sensomotorischer Koordination als Regler von Anzeigen und Bedienelementen auftrat, schon in den 70er Jahren kamen Überwachungsfunktionen dazu, die sich in den 1980er Jahren zu einer Stellung als Dialogpartner bezüglich Schnittstellengestaltung, Fehlervermeidung und Anforderungssimulation erweiterten. Der Mensch, der mit der Maschine interagiert, hat sich also vom Handwerker, Regler über den Überwacher bis zum heutigen interaktiven Problemlöser und kognitiven Partner autonomer Agenten und semantischer Technologien ebenso verändert wie die Maschine. Durch das Interface und dessen reibungslose Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, und durch das (arbeits- sowie datenaufwendige) selbsterzeugte „Verschwinden“ dieses heiligen Verbindungskanals als Medium, kamen sich Mensch und Maschine notwendigerweise immer näher. Subjekt und Objekt wurden nicht nur durch das Interface bestmöglich verbunden, sie wurden immer mehr auch in ihren Handlungen voneinander abhängig.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die anthropologischen wie technischen Grenzen subvertiert werden und es zu hybriden Quasi-Objekten (Mensch-Maschine-Systemen) kommt. „Dieses Quasi-Objekt ist kein Objekt, und es ist dennoch eines, denn es ist kein Subjekt [...]; es ist zugleich auch ein Quasi-Subjekt, weil es Subjekte markiert oder bezeichnet.“[8] Obwohl das vom Interface produzierte Mensch-Maschine-System in diesem ontologischen Zwischenstadium *handelt*, kommt es bei den technischen Quasi-Objekten nicht zu einer naiven Hybridisierung zwischen Mensch und Maschine, sondern eher zu einer Relation der Gleichheit und des reziproken Austauschs, wobei Mensch und Maschine als gleichwertige Handlungskontanten entworfen werden. „The hope is that, in not too many years, human brains and computing machines will be coupled together very tightly and that the resulting partnership will think as no human brain has ever thought and process data in a way not approached by the information-handling machines we know today.“[9] Anders jedoch als der Pionier der Mensch-Maschine-Interaktion Joseph C.R. Licklider hier in seiner *Man-Computer Symbiosis* (1960) die Verschmelzung von Mensch und Maschine andeutete, vollzieht sich mit immer effektiver und optimaler gestalteten Interfaces eine wortwörtliche Medialisierung im Zuge des Usability Engineering, da das nicht mehr spürbare Medium die vorhandene Differenz zwischen den beiden konträren Akteuren (Mensch/Maschine) einebnnet, indem es zum einen Mensch wie Maschine komplementär gestaltet, und zum anderen die Interaktion von beiden störungsfrei (scheinbar „von selbst“ und vielleicht sogar „als Selbst“) geschehen lässt. Durch Effektivität und Effizienz stellt sich beim User Zufriedenheit und damit Akzeptanz (Identifikation mit dem Objekt, Abbau von „Fremdheit“ des technischen Artefaktes) ein, folglich wird durch Usability Engineering das technische Objekt nicht mehr als solches wahrgenommen und bekommt neben seinem Aktantenstatus (als Handlungsträger) auch noch Subjektstatus (als Emotionsträger) zugesprochen (die Apple-iPhones sind nur eines der Beispiele hierfür).

4 Janus und Hermes als Aktanten des MediaLEN

Das Interface als Medium, Mitte und Vermittler agiert in einem Zwischenraum, wobei es nicht nur einfach Informationen durchlässt, sondern hermeneutisch *über-bringt*, wodurch sich die übermittelten Signale transformieren: Das Interface selbst ist somit kein passiver Durchgang/Oberfläche, sondern im etymologischen Sinne als „Hinführer“ produktiv: Es ist ein „fruchtbare[r] Nexus.“[10]

Um am Ende nochmals Hookway aufzugreifen, kann man sagen, dass auf der einen Seite die Benutzung eines Interfaces gleichbedeutend mit der Partizipation an Kultur ist, auf der anderen Seite ist das User-Subjekt immer auch Unter-Worfenes (*subicere*); es ist abhängig vom Output der Benutzeroberfläche, die das Interface ihm bereitstellt. Damit ist das Interface jedoch nicht einfach ein Objekt, sondern ein Effekt: Die Relation geht den Entitäten voraus. Der User erfährt seine Subjektivation erst durch diesen prozessualen Effekt eines Hindurch-Schreitens und Benutzens, erst hierdurch wird er User und Akteur. Wir haben es also beim Interface nicht mit einem harmlos neutralen Mittler zu tun, sondern selbst mit einem Agenten, der Sinn stiftet und so die Bedingung der Möglichkeit von Kommunikation zwischen zwei unterschiedlichen Systemkomponenten generiert, damit ist das Interface gleichzeitig Janus der Türöffner und Hermes der Nachrichtenbote: Beides – das sollte man mit bedenken – sind Götter in der antiken Mythologie.

5 Literatur

- [1] Ovid: Die Fasten, herausgegeben, übersetzt und kommentiert von Bömer, F.; Band I: Einleitung, Text und Übersetzung, Heidelberg., S. 67., 1957.
- [2] Hookway, B.: Interface, Cambridge , S. 15, 2014.
- [3] Husserl, E.: Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie. Zweites Buch, Hrsg.: von Marly Biemel. Haag, S. 159., 1952.
- [4] Steinbuch, K.: Falsch programmiert. Über das Versagen unserer Gesellschaft in der Gegenwart und vor der Zukunft und was eigentlich geschehen müßte, Stuttgart, S. 146, 1968.
- [5] Vgl. Haraway, D.: Ein Manifest für Cyborgs. Feminismus im Streit mit den Technowissenschaften”, in: Dies. Die Neuerfindung der Natur. Primaten, Cyborgs und Frauen, Frankfurt a. M. (1995), S. 33-72, hier S. 50, McCulloch, W.: „Warum der Geist im Kopf ist“ (1951), in Ders., Verkörperungen des Geistes, Wien (2000), S. 93-158, hier. S. 94, sowie Ders. „Durch die Höhle des Metaphysikers“ (1948), in Ders., Verkörperungen des Geistes, S. 67-80, hier S. 72.
- [6] Serres, M.: Der Parasit. Die fünf Sinne. Eine Philosophie der Gemenge und Gemische, Frankfurt a. M, S. 97, 1993.
- [7] Dzaack, J.: Analyse kognitiver Benutzermodelle für die Evaluation von Mensch-Maschine-Systemen, Düsseldorf, S. III., DISS 2008.
- [8] Serres: Der Parasit, S. 346.
- [9] Licklider, J.C.R.: Man-Computer Symbiosis, in: Wardrip-Fruin, N./Montfort, N. (Hgg.), The New Media Reader, Cambridge, S. 74-82, hier: S. 74., 2003.
- [10] Dagonet, F.: Faces, Surfaces, Interfaces, Paris, S. 49, 1982.

NASFIT – Intelligente Assistenzsysteme zur Funktionsunterstützung und Therapieüberwachung bei neuromuskulären Störungen

A. Hein, T. Kirste

Universität Rostock, Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

Albert-Einstein-Straße 22, 18059 Rostock

albert.hein@uni-rostock.de, thomas.kirste@uni-rostock.de

F. Feldhege, A. Mau-Moeller, R. Bader, U.K. Zettl

Universitätsmedizin Rostock

Doberaner Straße 142, 18057 Rostock

frank.feldhege@med.uni-rostock.de, anett.mau-moeller@med.uni-rostock.de, rainer.bader@med.uni-rostock.de, uwe.zettl@med.uni-rostock.de

O. Burmeister

Charles Sturt University

Bathurst NSW Australia 2795

oburmeister@csu.edu.au

Kurzzusammenfassung

Ziel des Verbundprojektes NASFIT ist die Entwicklung eines Assistenzsystems zur Verbesserung der Therapie und des Therapiemonitorings bei Patienten mit spastischen Paresen der unteren Extremität in Folge von neuromuskulären Erkrankungen wie etwa Schlaganfall und Multipler Sklerose. Das Assistenzsystem basiert auf einer neuartigen orthetischen Versorgung mit integrierter Sensorik zur Erfassung der körperlichen Aktivität und Gelenkbeweglichkeit der Patienten im häuslichen Umfeld und einem EMG-System zum Monitoring der Muskelaktivität sowie einer Elektrostimulation zur Detonisierung der betroffenen Muskulatur. Um bereits früh im Entwicklungsprozess sicherzustellen, dass das System Bedürfnisse und Werte der Patienten widerspiegelt, werden diese mittels Value Sensitive Design in den Designprozess miteinbezogen.

Abstract

NASFIT – Intelligent assistant systems for functional support and therapy monitoring for neuromuscular disorders

Aim of the NASFIT project is the development of an assistant system for improving the therapy and therapeutical monitoring of patients with spastic paresis of the legs originating from neurological disorders like stroke and multiple sclerosis. The assistant system is based on a novel orthosis with integrated sensors for measuring physical activity and joint mobility in the patients' home environments and an EMG system for monitoring muscle activity as well as functional electrical stimulation for detoning affected muscles. To ensure that the system reflects

the patients' needs and values, they are involved in the design process via Value Sensitive Design.

1 Motivation

Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates sind häufig Folgen von Störungen des zentralen oder peripheren Nervensystems. Diese führen zu Veränderungen an der Muskulatur, wodurch Mobilität und Koordination beeinträchtigt werden. Ein Beispiel sind spastische Paresen (zentrale Lähmungen) welche durch neuromuskuläre Störungen bzw. zerebrale Schädigungen hervorgerufen werden können. Diese können in Folge frühkindlicher Hirnschädigungen als auch im Erwachsenenalter wie beispielsweise im Verlauf einer Multiplen Sklerose auftreten oder durch einen Schlaganfall verursacht werden. Die Parese beeinträchtigt die individuelle Mobilität und stellt dadurch ein wichtiges Symptom der Erkrankung dar (u.a. durch eine spastische Tonusstörung der Beine bedingt), welches die Lebensqualität erheblich einschränken kann. Die Spastik kann darüber hinaus auch schwerwiegende Komplikationen wie zum Beispiel arthrotische Veränderungen großer Gelenke, Kontrakturen und Fehlstellungen von Gliedmaßen und Dekubitalgeschwüre bei hochgradiger Immobilität verursachen. Auch die Körperpflege kann wesentlich beeinträchtigt sein [1, 2].

Es gibt bis heute leider keine Möglichkeit die vielfältigen Ursachen der Spastik direkt zu behandeln. Deshalb werden im Wesentlichen die Symptome therapiert. Dies geschieht etwa durch Physio- oder medikamentöse Therapien, im fortgeschrittenen Verlauf oft auch operative und orthopädiotechnische Maßnahmen. Die Bewertung Spastik und somit die Art und Form der Behandlung werden durch den behandelnden Arzt aufgrund zeitlich begrenzter Beurteilung des Patienten im ambulanten bzw. stationären Bereich z.B. mit Hilfe des Ashworth Scale oder Numeric Rating Scale festgelegt. Die Planung der therapeutischen Maßnahmen, insbesondere der medikamentösen Therapie könnte mittels eines integrierten Versorgungskonzepts, welches die kontinuierliche Erfassung der Bewegungsaktivität (Mobilität) und der fluktuierenden Spastik im Haus des Patienten über einen längeren Zeitraum ermöglicht, sehr viel genauer erfolgen [3]. Unter Laborbedingungen konnten erste Versuche mit Bewegungssensorik und Elektromyographie (EMG) bereits vielversprechende Resultate zeigen [4, 5].

2 Arbeitsziele

Das Verbundprojektes NASFIT (Intelligente Assistenzsysteme zur Funktionsunterstützung und Therapieüberwachung bei neuromuskulären Störungen) [6] hat sich zum Ziel gesetzt ein Assistenzsystems zum Monitoring und zur Verbesserung der Therapie bei Patienten mit spastischen Paresen der unteren Extremität in Folge von neurologischen Erkrankungen wie Schlaganfall (Apoplex), Multipler Sklerose (MS), Infantiler Cerebralparese (ICP) oder Schädel-Hirn-Trauma (SHT) zu entwickeln. Dazu wird Bewegungssensorik zur Erfassung der körperlichen Aktivität und Gelenkbeweglichkeit, ein EMG-System zum Monitoring der Muskelaktivität, eine Elektrostimulationskomponente zur Detonisierung der betroffenen Muskulatur sowie eine neuartigen Softorththese als Trägersystem zu einem Assistenzsystem für das häusliche Umfeld des Patienten zusammengeführt.

Daraus ergeben sich folgende Arbeitsziele:

- Erfassung des Mobilitätsgrades bei medikamentöser, orthopädietechnischer und physiotherapeutischer Versorgung an Patienten mit neuromuskulärem Handicap der unteren Extremität
- Entwicklung und Implementierung einer intelligenten Sensorik zur Erfassung der Alltagsaktivität und Gelenkbeweglichkeit
- Entwicklung eines Softorthesen-Systems zur Integration der Sensorik-, der Elektrostimulations- und EMG- Einheit
- Aufbau eines modularen Assistenzsystems durch Integration der oben genannten Funktionseinheiten und Entwicklung einer Algorithmik zur Auswertung der Sensor- und EMG-Daten
- Entwicklung einer Elektrostimulations- und EMG-Einheit zur Detonisierung bzw. Erfassung des Muskeltonus
- Objektive Bewertung des therapeutischen Fortschritts spastischer Patienten mittels Assistenzsystems und anhand definierter Qualitätsindikatoren

Die vielfältigen technischen, medizinischen und therapeutischen Anforderungen machen eine fachübergreifende Zusammenarbeit notwendig. Am Projekt beteiligt sind daher neben den entwickelnden Ingenieuren und Informatikern Mediziner der Fachrichtungen Orthopädie und Neurologie als auch industrielle Kooperationspartner aus den Bereichen der Orthetik und Orthopädietechnischen Versorgung sowie Elektronik.

Aus der Interdisziplinarität ergibt sich hiermit als ein Schwerpunkt des Projekts die Anforderungsanalyse: Im Rahmen technischer Machbarkeit und unter Berücksichtigung der Erfordernisse der Mediziner als auch der Bedürfnisse der Patienten müssen die Zielparameter für die Algorithmik sowie die Anforderungen an Hardware und Orthese erarbeitet werden.

3 Festlegung der Systemanforderungen

Im Mittelpunkt der Entwicklung von Funktion und Form des Assistenzsystems stehen medizinische und wissenschaftliche Gesichtspunkte. Um die Akzeptanz des späteren Gesamtsystems bei allen späteren Nutzern sicherzustellen, müssen bereits frühzeitig im Projektverlauf Bedürfnisse von Patienten und medizinischem Personal berücksichtigt werden. Gerade durch die notwendigerweise lange Tragedauer im Alltag ist es wichtig, die Patienten intensiv in den Entwicklungsprozess mit einzubeziehen, um eine spätere Akzeptanz sicherzustellen. Welche Bedeutung die Berücksichtigung von Nutzerwerten spielt, wurde in der Literatur umfangreich dokumentiert, etwa im Bereich der Softwaredesigns durch das Werteorientierte Design (Value Sensitive Design = VSD) [7, 8], parallel dazu auch in anderen Disziplinen wie den Ingenieurwissenschaften [9, 10].

Daher wurden im Projektverlauf VSD-Methoden eingesetzt, um schon in der Planungsphase Nutzerbedürfnisse berücksichtigen zu können. Auf diese Weise soll bereits früh im Entwicklungsprozess sichergestellt werden, dass der tatsächliche Entwurf wichtige Werte und somit Designaspekte aller am Projekt beteiligten, also Entwicklern, Patienten und Medizinern, wiederspiegelt.

Algorithmik

Einen wesentlichen technischen Bestandteil des Systems bilden die Algorithmen um klinisch relevante Kennwerte im Bewegungsverhalten der Patienten zu identifizieren. Solche Algorithmen basieren auf statistischen Modellen, die Korrelation zwischen gemessenen Sensordaten und den Zielparametern beschreiben. Häufig werden diese Modelle mittels Maschinenlernverfahren implementiert, wie etwa Neuronalen Netzen oder Support Vectormaschinen, beziehungsweise unter Einbeziehung von Domänenwissen explizit und physikalisch exakt ausmodelliert.

Um ein solches Modell zu entwickeln, müssen zunächst Zielparameter und abhängige Variablen identifiziert werden. Das erfordert eine enge Zusammenarbeit von Medizinern und Entwicklern. Mediziner besitzen das notwendige Hintergrundwissen, um relevante Variablen wie "Lebensqualität", "Mobilität" und "Beweglichkeit" zu definieren. Jedoch variiert der Schwierigkeitsgrad den Wert der Zielvariablen aus den gemessenen Sensordaten zu inferieren erheblich. Diese Komplexität einzuschätzen gehört im Allgemeinen nicht zur Ausbildung eines Mediziners. Für eine erfolgreiche Entwicklung ist es daher notwendig, sich auf Variablen zu konzentrieren, die sowohl klinisch relevant als auch mithilfe von Sensoren identifizierbar sind.

Bei derartigen Inferenzproblemen ist die Machbarkeit für gewünschten Zielparameter nicht im Voraus bekannt. Daher basiert die Auswahl von Messgrößen in der Regel auf der Intuition und Erfahrung der Modellentwickler. Daher ist es wichtig, dass die Modellentwickler die Möglichkeit bekommen, ihrerseits die ursächlichen Prozesse zu verstehen, die den Korrelationen aus Messung und Zielvariablen zugrunde liegen.

Im Projekt wurde dazu ein iterativer ad-hoc Ansatz gewählt. Im Laufe mehrerer Treffen wurden von den beteiligten Medizinern die spezifischen Pathologien, Symptome mit Bezug zum Bewegungsverhalten und für sie interessante Zielvariablen erläutert. Im Gegenzug hatten die Entwickler die Möglichkeit mit freiwilligen Patienten zu sprechen und an Untersuchungen teilzunehmen, um einen Eindruck aus erster Hand zu bekommen, wie genau die physische Ausprägung der Symptome mittels Sensoren erfasst werden könnte. basierend auf den klinischen Informationen und den Untersuchungen mit Freiwilligen wurden dann von Entwicklerseite spezifizierte Zielparameter vorgeschlagen, welche dann wiederum durch die Mediziner modifiziert und kommentiert werden konnten.

Folgende Messgrößen und Zielgenauigkeiten wurden festgelegt:

- Tägliche Aktivitätsverteilung $\pm 10\%$
- Relativer Gelenkwinkel in Ruhe $\pm 5^\circ$
- Anzahl der Spasmen pro Tag $\pm 10\%$
- Zeitliches Vorkommen der Spasmen $\pm 1\text{min}$

Um ein Maß für die allgemeine Lebensqualität in Bezug auf Mobilität zu ermitteln, soll die Menge der täglichen Aktivität bestimmt werden. Zu diesem Zweck wird eine Low-Level-Aktivitätserkennung durchgeführt, welche die Tätigkeiten *liegen*, *sitzen*, *stehen* und *gehen* sowie die dazugehörigen Übergänge identifiziert. Als weiteres wesentliches Maß wurde der Bewegungsumfang des betroffenen Knies festgelegt. Dieser wurde als relativer Gelenkwinkel und dessen Änderungsrate definiert (beide Werte erfordern die Berechnung der Orientierung der Sensorkomponenten). Ebenfalls sollen einschießende Spasmen im Tagesverlauf erkannt und Zeitpunkt des Auftretens, Dauer und – falls möglich – Intensität aufgezeichnet werden. Um die

Auswertung durch den behandelnden Arzt zu erleichtern, werden neben graphischer Aufbereitung kumulative Werte wie tägliche Aktivität/Inaktivität, Mittelwerte, Varianzen, Extrema und Ereigniszahlen errechnet um die Interpretation der Daten zu vereinfachen.

Hardware

Die objektive Erfassung körperlicher Aktivität über einen längeren Zeitraum in der häuslichen Umgebung von Patienten wird seit einiger Zeit durch die fortschreitende Miniaturisierung und kostengünstige Verfügbarkeit von Inertialsensorik ermöglicht. Mehrere evaluierte Sensorsysteme für diesen Zweck sind inzwischen am Markt verfügbar (z.B. activPAL Aktivitätsmonitor). Die Erfassung von Gelenkbewegungen und –winkeln erfolgt bisher häufig im Laborumfeld spezialisierter Ganglabore mithilfe komplexer optischer Motion Capturing Systeme. Seit kurzem arbeiten einige Forschergruppen an neuartigen Sensortechniken, welche die Messung der Bewegungen einzelner Gelenke mithilfe von Inertialsensorik bei geringerem technischem Aufwand ermöglichen sollen. Die Bewertung des Grades einer Spastik erfolgt größtenteils durch direkte ärztliche Untersuchung beziehungsweise mithilfe von Patientenfragebögen. Eine Kurzzeitmessung der Muskelaktivität, wie sie beispielsweise in der Sportwissenschaft Anwendung findet, ist für die Objektivierung von Spastik zu aufwendig.

Um die zuvor definierten Zielgrößen objektiv über einen längeren Zeitraum messen zu können verbindet das NASFIT System all diese Lösungsansätze. Die Bewegungen von Ober- und Unterschenkel werden mithilfe zweier, lateral an der unteren Extremität befestigter, Bewegungssensoren erfasst. Beide Sensoreinheiten enthalten triaxiale Akzelerometer-, Gyroskop- und Magnetfeldsensoren. Gleichzeitig erfolgt eine dauerhafte Aufzeichnung der Muskelaktivität der größten Muskeln mithilfe einer zweikanaligen EMG-Sensorik. Die Steuerung der Sensortechnik und Speicherung der Rohdaten erfolgt durch einen Mikroprozessor auf einer microSD Speicherkarte in einem Basisgerät. Die Stromversorgung erfolgt vollständig Batteriebetrieben. Auf Funkverbindungen zwischen Einzelkomponenten wird vorerst verzichtet. Der aktuelle Prototyp der Messhardware ist in Abb. 1 dargestellt.



Abb. 1: Prototyp der Messtechnik ohne Orthese, Sensorik aufgeklebt

Orthese

Nach mehreren Iterationsschritten wurde festgelegt, dass ein geteiltes Orthesensystem als Träger für die Messtechnik zur Anwendung kommen soll. Die Trennung von Ober- und Unterschenkel ermöglicht einen offenen Bereich für Knie und Kniekehle, was von vielen Anwendern in Tragetests für einen längeren Tragezeitraum präferiert wurde.

4 Patientenbeteiligung am Entwicklungsprozess

Neben den bereits in der Planungsphase des Projektes stattfindenden Treffen mit einzelnen ausgewählten Patienten zur Anforderungsdefinition ist die möglichst häufige Einbeziehung der Patienten in den weiteren Entwicklungsprozess ein wesentlicher Aspekt des Projektes. Neben der kontinuierlichen Begleitung der einzelnen Arbeitsphasen durch einen sehr engagierten Modellpatienten wird angestrebt in den experimentellen Abschnitten ein möglichst breites Spektrum an Patienten und somit zukünftigen Nutzern mit einzubeziehen. Dies spiegelt sich sowohl in der Experimentalplanung als auch in Interviews und Langzeitversuchen wider.

Bewegungsparcours

Aus Entwicklersicht ist das Kernziel des Experimentaldesigns hochqualitative Daten aus den Bewegungs- und Elektromyographiesensoren für typisches Bewegungsverhalten zu gewinnen, sowohl von tatsächlichen Patienten als auch einer gesunden Kontrollgruppe. Darauf basierend können initiale Versionen der benötigten Modelle aufgebaut werden.

Die Aufzeichnung initialer Experimentaldaten erfolgte mit Hilfe erprobter, kommerzieller Messtechnik. Die Erfassung von Bewegungsdaten wurde dabei mit einem Motion Capturing Anzug durchgeführt (XSens MVN Biomech). Die Messung des Kniegelenkwinkels und der Muskelaktivitäten des M. rectus femoris und M. biceps femoris erfolgte mit einem Kabellosen EMG mit zusätzlichem mechanischen Goniometer (Noraxon). Gleichzeitig wurden die Aktivitäten mit Hilfe eines activPAL Aktivitätsmonitors und einer Videokamera aufgezeichnet.

Mit dieser Referenzmesssystemen wurden Bewegungsdaten von 10 gesunden Probanden im Labor (9 männlich, 1 weiblich; Alter $30,4 \pm 7,7$ Jahre; Gewicht $74,2 \pm 13,8$ kg; Körpergröße $1,79 \pm 0,09$ m) und 2 MS Patienten (2 männlich; Alter: $45,5 \pm 5,0$ Jahre; Gewicht $76,0 \pm 8,5$ kg; Körpergröße $1,78 \pm 0,09$ m; Expanded Disability Status Scale (EDSS) $3,5 \pm 0$) sowie 9 weiteren MS Patienten an der Universitätsmedizin Rostock (5 männlich, 4 weiblich; Alter: $50,3 \pm 7,8$ Jahre; Gewicht $77,6 \pm 20,6$ kg; Körpergröße $1,72 \pm 0,11$ m; EDSS $4,9 \pm 1,0$). Alle Patienten hatten vor der Teilnahme an der Studie eine Einverständniserklärung unterzeichnet. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Rostock zustimmend bewertet.

Die Teilnehmer folgten dabei einem eigens für diese Messungen entwickelten Bewegungsparcours unter Anweisungen. Der Bewegungsparcours sollte durch Wiederholung verschiedener Bewegungsabfolgen, wie zum Beispiel das Hinlegen und Aufstehen oder das Essen einer kleinen Mahlzeit, verschiedene Alltagssituationen simulieren. Zusätzlich wurden die Teilnehmer mit kleinen Aufgabenstellungen abgelenkt, um möglichst unbewusste und somit natürlichere Bewegungen zu ermöglichen. Die dabei erfassten Daten dienen der Validierung des Sensorsetups und dem initialen Training sowie der Evaluation der Mustererkennungsalgorithmen. Neben diesen erwarteten Resultaten konnten jedoch auch Erkenntnisse für den weiteren Entwurfsverlauf gewonnen werden. Die Bewegungsmuster der Patienten weichen zum Teil sehr

stark von der gesunden Kontrollgruppe ab, z.B. beansprucht allein die Durchführung des Parcours mehr als doppelt so viel Zeit. Des Weiteren nimmt die spastische Parese eine von Patient zu Patient stark individuelle Ausprägung an, ebenso variiert der Körperbau sehr, was sich auf die Gestaltung der Trägerorthese auswirkt. Es konnten Erfahrungen im An- und Ablegen von Sensorik gesammelt werden, welche insbesondere auf den Entwurf der Hardware als auch Planung der Langzeitstudien wichtig ist. In Bezug auf die Alltagsaktivität wurde erkannt, dass speziell auch der Wechsel zwischen Tätigkeiten einen wichtigen Indikator darstellen kann (häufigere Tätigkeitswechsel deuten auf höhere Mobilität hin). Weiterhin wurde erkannt, dass sich der maximale aktive Bewegungsumfang des Kniegelenks je nach Körperlage (sitzen/stehen/liegen) teilweise stark unterscheidet, da die Bewegung von den Patienten als unterschiedlich anstrengend empfunden wird. Dies muss in den Algorithmen berücksichtigt werden.

VSD-Interviews

Im Rahmen der Bewegungsaufzeichnung wurde mit allen Patienten ein VSD-Interview mit zum Teil ergebnisoffenen Fragen danach durchgeführt, welche Werte den Teilnehmern in Hinblick auf die fertige Orthese wichtig erscheinen. Mehrere Werte konnten dabei identifiziert werden und fließen in die Entwicklung des Orthesenprototypen mit ein.

Die Auswertung der VSD-Interviews brachte neben der Klärung einiger Designfragen ein insgesamt besseres Verständnis für die Bedürfnisse der Patienten hervor. Es wurden auch einige interessante Fakten die wir zuvor nicht bedacht hatten aufgedeckt. Beispielsweise hatten die Befragten den Wunsch geäußert, die Orthese während des Waschens und Duschens abnehmen und wieder anlegen zu dürfen, und fühlten sich auch in der Lage dies selbstständig durchführen zu können (ein Patient schlug vor, die korrekte Position auf der Haut mit einem Stift zu markieren). Ein anderes Beispiel in Bezug auf Schlafen war, dass das Basisteil des Gerätes etwa in einer Umhängetasche frei beweglich sein sollte, nicht drücken, ohne scharfe Ecken oder Kanten, und dass Kabel und Stecker robust genug sein sollten, um sie nicht aus Versehen abzureißen. In Bezug auf die Ergonomie sollte die Orthese den Bewegungsumfang nicht beeinträchtigen und sehr leicht und dünn sein. Sie sollte nicht die Haut reiben, irritieren oder einschneiden, auch wenn der Träger für längere Zeit sitzen muss. Ein praktischer Hinweis war, dass das Material kein Wasser oder Schweiß absorbieren sollte, um somit auch im Sommer getragen werden zu können. Alle Patienten wollten die Orthese unter ihrer normalen Alltagskleidung tragen, aber optische Diskretion wurde als weit weniger wichtig erachtet, als ursprünglich von uns angenommen. Viele weitere Aktivitäten wurden zusammengetragen, die wir zuvor nicht berücksichtigt hatten: Autofahren, Fahrradergometertraining, Wassergymnastik, oder Laufbandtraining. Darüber hinaus gab es viel praktisches Feedback durch die Patienten. Mehrere hatten bereits Erfahrung mit Mobilitätsmessungen (z.B. mit ActivPal Sensoren) oder Langzeit-EKG, was die hohe Qualität der Kommentare erklärt. Ein Patient hatte sogar Erfahrung mit Elektrostimulation und schlug vor, dies am Besten direkt ins Gerät zu integrieren (was ohnehin zu einem späteren Zeitpunkt im Projekt vorgesehen ist). Generell war der Kooperationswillen sehr hoch. Jeder Teilnehmer wäre mit sehr wenigen Vorbehalten bereit, das Gerät für eine ganze Woche am Körper zu tragen,

Tragetests

Um die Einzelkomponenten des Therapiesystems hinsichtlich der Akzeptanz des Anwenders zu optimieren wurden projektbegleitende Tragetests durchgeführt. Für die Optimierung der Softorthese wurden verschiedene Designvarianten getestet. Dabei wurden Material, Form, Versteifungs- und Fixierungselemente an speziell auf Maß angefertigten Orthesen variiert. Die Tragetests erfolgten an gesunden Probanden aus dem Umkreis des Projektkonsortiums sowie an ausgewählten MS Patienten. Mithilfe von Fragebögen wurden die Orthesen ausgewählt, welche eine stabile Positionierung der Messtechnik bei hohem Tragecomfort ermöglichten.

Um mögliche Problemstellen in der Anwendung der Messtechnik zu identifizieren wurden die so optimierten Softorthesen mit Mustern der Messtechnik ausgestattet und an einer weiteren Probandengruppe über eine Tragezeit von einer Woche erprobt. Dabei hat sich beispielsweise gezeigt, dass die ursprünglich geplante Länge des Verbindungskabels zwischen den Bewegungssensoren etwas zu kurz gewählt war, da diese bei einigen Probanden im Laufe des Versuchs rissen.

Langzeitversuche und klinische Studie

Nach der kürzlichen Fertigstellung der Messtechnik werden derzeit Trageversuche mit aktiver Sensorik durch Mitarbeiter des Projektkonsortiums, sowie durch ausgewählte MS Patienten durchgeführt. Diese dienen vordergründig der Erprobung der Stabilität des Sensorsystems und der Identifikation von Problemstellen, welche vor dem Einsatz an einer größeren Patientengruppe im Rahmen einer klinischen Studie gelöst werden müssen.

In einer randomisierten und kontrollierten Studie soll die Effektivität einer regelmäßigen Elektrostimulation zur Reduktion der Spastik von Patienten mit neuromuskulären Störungen untersucht werden. Neben standardisierten Labortests zur Messung des Therapieeffektes soll in dabei evaluiert werden, ob und nach welcher Zeit diese Therapieeffekte auch zuverlässig mit der hier vorgestellte Monitoring-Orthese erfasst werden können. Mit den Ergebnissen dieser Studie erfolgt die Integration einer eigenen Elektrostimulationseinheit in das Therapiesystem, dessen Effektivität in einer weiteren Cross-Over Studie evaluiert werden soll.

5 Ergebnisse und Ausblick

Basierend auf den Ergebnissen der Anforderungsanalyse, der Bewegungsaufzeichnung mittels Messparcours und der Patienteninterviews erfolgen sowohl die Entwicklung der Aktivitätserkennungsalgorithmen und der Modelle zur Bestimmung der Beweglichkeit, als auch der Entwurf der Messhardware und der Orthese. Es fanden parallel dazu mehrere Tragetests mit Funktionsmustern des Orthesensystems an Probanden sowie Patienten statt.

Vorläufige Resultate zeigen eine Accuracy von 94,6% und eine Precision von 93,7% für die Klassifizierung der physischen Aktivitäten. Die Kniewinkelberechnung liefert derzeit einen mittleren quadratischen Fehler (MSE) von $6,95^\circ$ mit Maschinenlernverfahren und $5,05^\circ$ mit kinematischem Modell gegenüber dem Referenzsystem.

Funktionsfähige Prototypen des vorgestellten Assistenzsystems werden derzeit in Langzeittragetests erprobt. Eine umfassende klinische Feldstudie mit Patienten ist in Vorbereitung.

Die frühzeitige Einbeziehung von Patienten in den Entwicklungsprozess hat sich von Beginn an als sehr konstruktiv herausgestellt. Wir als Entwickler konnten so aus erster Hand Erfahrungen und Feedback gewinnen und in die Gestaltung des Assistenzsystems mit einfließen lassen.

Der zunächst zusätzliche Aufwand wird um ein Vielfaches an wertvollen Erkenntnissen aufgewogen, die unter anderem auch dazu dienen können spätere potentielle Probleme etwa in umfangreichen Feldstudien zu vermeiden. Wir planen auch im weiteren Verlauf des Projektes diesen Ansatz weiter zu verfolgen und hoffen somit zu gewährleisten, dass das zukünftige Assistenzsystem von allen Seiten Akzeptanz finden wird.

6 Danksagung

Das Verbundprojekt NASFIT wird gefördert durch das BMBF über den Projektträger VDI/VDE/IT im Rahmen des Förderprogramms IKT 2020 (VKZ V4UKF026).

7 Literatur

- [1] Flachenecker, P.; Henze, T. und Zettl, U.K.: Spasticity in patients with multiple sclerosis - clinical characteristics, treatment and quality of life. *Acta Neurol Scand.* doi: 10.1111/ane.12202., 2013.
- [2] Zettl, U.K.; Henze, T.; Essner, U. und Flachenecker, P.; *Burden of disease in multiple sclerosis patients with spasticity in Germany: mobility improvement study (Move I)*; in *The European journal of health economics: HEPAC: health economics in prevention and care*. Epub Dec 1, 2013.
- [3] Fleuren, J.F.M.: Assessment of spasticity: from EMG to patients' perception; Doctoral Thesis, University of Twente, Twente, 2009.
- [4] Van den Noort, J.C.; Scholtes, V.A. und Harlaar, J.: Evaluation of clinical spasticity assessment in cerebral palsy using inertial sensors; in *Gait & Posture*, Vol. 30, No. 2.; S. 138-143, 2009.
- [5] Van den Noort, J.C.; Scholtes, V.A.; Becher, J.G. und Harlaar, J.: Evaluation of the catch in spasticity assessment in children with cerebral palsy; in *Archives of physical medicine and rehabilitation*, Vol. 91, No. 4.; S. 615-623, 2010.
- [6] Hein, A.; Feldhege, F.; Mau-Möller, A.; Bader, R.; Zettl, U. und Kirste, T.: *NASFIT – Intelligente Assistenzsysteme zur Funktionsunterstützung und Therapieüberwachung bei neuromuskulären Störungen*, in *Ambient Assisted Living 7. AAL-Kongress 2014 Berlin, Germany, January 21-22., 2014*, VDE Verlag, Berlin, Germany, 2014.
- [7] Burmeister, O. K.; Weckert, J. und Williamson, K.: Seniors extend understanding of what constitutes universal values. *Journal of Information, Communication & Ethics in Society*, 9(4), S. 238-252, 2011.
- [8] Flanagan, M.; Howe, D. und Nissenbaum, H.: Values in design: Theory and practice. In: Van Den Hoven, J. und Weckert, J. (Eds.), *Information technology and moral philosophy* (pp. 322-353). Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- [9] Gordijn, J. und Akkermans, H.: Value based requirements engineering: exploring innovative e-Commerce ideas. *Requirements Engineering Journal*, 8(2), S. 114-134, 2003.
- [10] Van Gorp, A.: Ethical issues in engineering design: Safety and sustainability. In Kroes, P. und Meijers, A. (Eds.), *Simon Stevin series in the philosophy of technology* (Vol. 2). TU Delft, Netherlands: Delft University of Technology and Eindhoven University of Technology, 2005.

Medizinische Hilfsmittel zur Kompensation sensorischer Defizite

Können medizinische Hilfsmittel zur Kompensation sensorischer Defizite eingesetzt werden und wird dadurch eine höhere Adhärenz in der Nutzung erreicht?

S. Dannehl, L. Doria, M. Kraft

Technische Universität Berlin; Fachgebiet Medizintechnik
Dovestraße 6; Sekr. SG 11; 10587 Berlin
susanne.dannehl@tu-berlin.de

Kurzzusammenfassung

Medizinische Hilfsmittel werden häufig bei altersbedingten Gesundheitseinschränkungen der Mobilität verwendet. Die Adhärenz (Therapiemitarbeit) ist jedoch gering, wodurch Patientensicherheit und Wirtschaftlichkeit der Versorgung gefährdet sind. Die Adhärenz kann gesteigert werden, wenn technische Unterstützungssysteme genutzt werden, um Patienten bei sensorischen Defiziten zu entlasten. Zudem können die Gebrauchstauglichkeit und die Befähigung zur Alltagsbewältigung dadurch verbessert werden.

Anwendungsszenarien bestehen bspw. in der Charcot-Erkrankung bei diabetischem Fuß mit fehlender Belastungssensibilität sowie bei Störung des Gleichgewichtssinnes im Altersschwindel-Syndrom. Diese Patienten benötigen neben der Stützfunktion der Hilfsmittel auch sensorische Feedbackinformationen.

Es werden transdisziplinäre Lösungskonzepte vorgestellt, die sensorbasierte Funktionserweiterungen für konfektionierte Hilfsmittel beinhalten und die Mensch-Technik-Interaktion nutzergerecht gestalten.

Abstract

Technical Support Systems to Improve Sensory Impairments and Adherence in Therapeutic Appliances

Technical aids are often used in health problems of the elderly. A common issue in therapy with technical aids is a low level of adherence. An option to enhance adherence is to add functions of sensory perception, which is impaired by health problems. Two concrete application scenarios in frequent cases in health care for the elderly are described to explain the planned technical support systems. Based on innovative technical solutions for sensory feedback, interactive communication tools and user-centered design an improved acceptance and adherence are ensured in an integrated therapeutic approach.

1 Einleitung

Medizinische Hilfsmittel werden u. a. bei altersbedingten Gesundheitseinschränkungen der Mobilität verwendet. Die tatsächliche Verwendung weicht im Alltag jedoch häufig von den

Therapieempfehlungen ab, wodurch die Patientensicherheit und Wirtschaftlichkeit der Versorgung gefährdet sind. Die Adhärenz (die Therapiemitarbeit oder Compliance) beschreibt die Vereinbarung und Einhaltung medizinischer Empfehlungen, wobei ein Zusammenwirken von Patienten und Behandlern erforderlich ist. Die Einhaltung der Therapieempfehlungen kann verbessert werden, wenn die bisherigen Hilfsmittel auch genutzt werden, um Patienten durch technische Unterstützungssysteme bei sensorischen Defiziten in der Bewegungsfähigkeit zu entlasten. Es gibt bereits medizinische Hilfsmittel, die sensorische Defizite kompensieren, bspw. der Blindenstock oder Hörhilfen. Die Motivation, technische Unterstützungssysteme mit sensorischen Funktionen in Mobilitätshilfsmittel zu integrieren, liegt darin, bei älteren Nutzern die Hilfsmittelversorgung mit einer höheren Adhärenz der Patienten zuverlässig und sicher zu gestalten.

Die Zielsetzung umfasst die Verbesserung der bisher gebräuchlichen Hilfsmittel durch zusätzliche Rückmeldungen von sensorischen Informationen, bei deren Erfassung bzw. Wahrnehmung für die Patienten erkrankungsbedingt Einschränkungen bestehen. Diese interaktive technische Funktionserweiterung erleichtert zum einen die Nutzung der Hilfsmittel und erreicht zum anderen einen Mehrwert für die Patienten in der Anwendung, bspw. Training der Körperbalance oder Vermeidung von Komplikationen. Für die Hilfsmitteloptimierung sind zudem die Sicherheit der Verwendung, die Gebrauchstauglichkeit und der Komfort bei der Nutzung relevant, um die Akzeptanz zu gewährleisten. Die Forschungsziele werden in der folgenden Grafik zusammengefasst (Abb. 1).

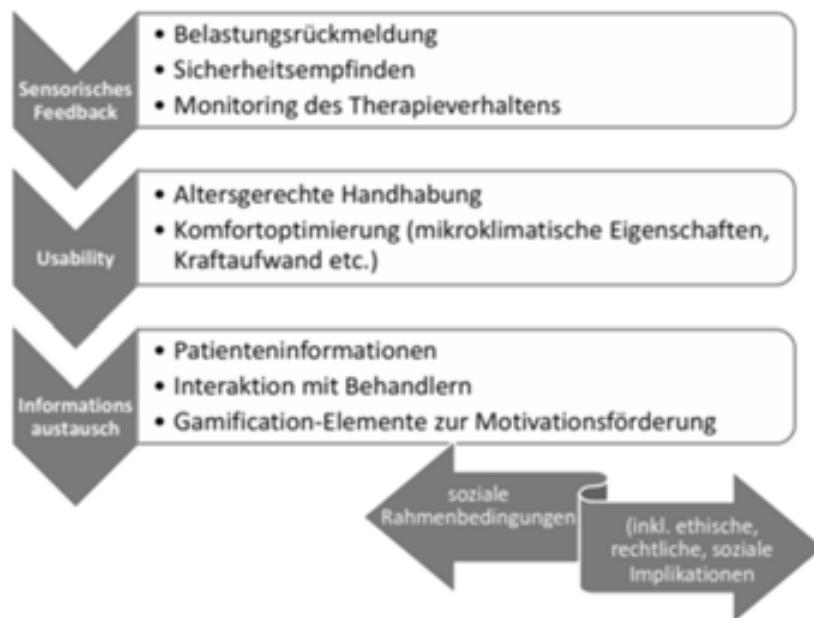


Abb. 1: Grafische Zusammenfassung der Forschungsziele zur Adhärenzverbesserung

Die sensorischen Informationen können bei der Hilfsmittelnutzung durch innovative technische Lösungen erfasst werden und den Patienten über ein kompaktes Unterstützungssystem zurückgemeldet werden. Das Entwicklungskonzept umfasst ein sensorbasiertes Monitoring des Therapieverhaltens mit differenzierten Parametern, sowie ein direktes haptisches oder akustisches Feedback über das Hilfsmittel. Zusätzlich können die Patienten entsprechend ihrer Umsetzung der Therapieempfehlungen über eine mobile Schnittstelle weitere Informationen von den Behandlern erhalten bzw. sich austauschen. Bei der Gestaltung der grafischen Benutzeroberfläche

werden altersgerechte Gestaltungsempfehlungen und motivationsfördernde Erweiterungen (Spiel-Elemente) berücksichtigt. In die Umsetzung des Projektes werden darüber hinausgehend für die Mobilitätshilfsmittelnutzung relevante, soziale Rahmenbedingungen einbezogen, um die Erfordernisse im Alltag der Patienten bedarfsgerecht zu erfassen und die Hilfsmittel entsprechend zu optimieren.

2 Technisches Konzept für das Unterstützungssystem

Der Datenaustausch bei der Verwendung von Mobilitätshilfsmitteln wird durch ein sensorba siertes Monitoring der Nutzung und der sensorischen Parameter mit einer direkten Rückmeldung am Hilfsmittel gewährleistet. Zudem kann eine Datenübertragung und -verarbeitung mittels Anwendungsserver, sowie Betreuungsangebote an mobile Endgeräte der Nutzer ermöglicht werden. Verfügbare Sensortechnik und technische Schnittstellen werden auf ihre Eignung untersucht, um die Datenaufnahme und -übermittlung an die verwendeten Medien, sowie Verschlüsselungsverfahren zu realisieren. Die grafischen Benutzeroberflächen werden altersgerecht gestaltet und bspw. durch Spiel-Elemente zur Motivationsförderung (Gamification) ergänzt (siehe Abb. 2).

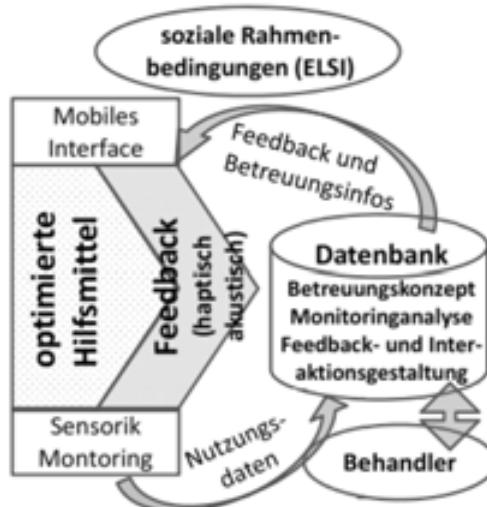


Abb. 2: Schematische Darstellung der Innovationen

Die Patienten werden durch eine Sensorik in dem Hilfsmittel (Sensorknoten) in die Lage versetzt, fehlende sensorische Informationen in Echtzeit zu registrieren und die entsprechenden Therapievorgaben (bspw. zur Teilentlastung) einzuhalten. Der Datenaustausch zwischen Patienten und Therapeuten wird zur Abstimmung des Behandlungsverlaufes (u. a. wenn Probleme in der Orthesennutzung auftreten) zusätzlich durch eine mobile Anwendung ermöglicht (zentraler Knoten). Dazu sind mobile Smartphone-Lösungen (z. B. iPhone, Android) gemäß dem Konzept *Bring Your Own Device* (BYOD) mit einer dem eigenen Kommunikationsmedium angepassten Präsentation der Daten in Form einer speziellen App nutzbar. Die Verbindung dieser mobilen Endgeräte mit geeigneten Kraft-/Drucksensoren des Sensorknotens in der Orthese erfolgt über ein drahtloses körpernahes Netzwerk (*Wireless Body Area Network - WBAN*).

Die Hauptinnovation dieser bedarfsorientierten Technikentwicklung liegt in der Anwendung neuer Sensor- und Kommunikationstechnologien mit angepassten Hardwarekomponenten und

in der Integration dieses technischen Systems in ein ganzheitliches Therapiekonzept für Patienten. Als Sensorsysteme im Sensorknoten kommen unterschiedliche Kraft- und Druckaufnehmer in Frage (z. B. FSR-Sensoren, Dehnungsmessstreifen). Technische Herausforderungen liegen in der notwendigen Robustheit (Tritt-/Stoßfestigkeit, Vermeidung von Kabelbrüchen durch Wechselbeanspruchung), dem möglichst geringen Energieverbrauch (kleine Energiespeicher, lange Versorgungszeiten) und in der sicheren drahtlosen Datenübertragung zum Sensorknoten als mobilem Kommunikationssystem (Ausfallsicherheit und Verfügbarkeit). Für die Sensorverknüpfung bestehen darüber hinaus innovativ zu lösende technische Herausforderungen hinsichtlich der begrenzten Sendeleistung, Kommunikationsbandbreite, Datensicherheit, Rechtleistung und Miniaturisierung.

Der Konferenzbeitrag stellt zwei Anwendungsfälle dar, bei denen medizinische Hilfsmittel zur Kompensation von sensorischen Defiziten für ältere Nutzer eingesetzt werden sollen.

Es werden transdisziplinäre Lösungskonzepte entwickelt, die einen ganzheitlichen Ansatz in der Hilfsmittelversorgung unter Einbeziehung aller am Prozess Beteigter erreichen sollen. Dazu wird in der Zusammenarbeit von ingenieurwissenschaftlichen, sozialwissenschaftlichen und therapeutischen Experten die Mensch-Technik-Interaktion bei Mobilitätshilfsmitteln nutzergerecht gestaltet und erweitert.

Die Projektgruppe integriert unterschiedliche wissenschaftliche Herangehensweisen, um den Lösungsraum für innovative Konzepte mit einem gleichzeitig ingenieurwissenschaftlich als auch nutzergerecht und gestalterisch hohen Anspruch zu erweitern. Das Projekt bezieht eine Breite von wissenschaftlichen Methoden aus den unterschiedlichen Fachrichtungen ein, da sich aus der bisherigen Erfahrung eine Disziplinen-spezifischen Limitierung einzelner Vorgehensweisen zeigt, die nicht den komplexen Anforderungen der Patientenversorgung gerecht werden kann.

Für die Integration und Synthese dieser Anforderungen in ein kooperatives Forschungskonzept schlagen Bergmann et al. (2010) unterschiedliche Iterationsschritte in der Problemdefinition und Zielgestaltung vor. Danach erfolgen die Problemidentifikation und die Problemstrukturierung wechselseitig mit der Problemanalyse und der Lösungsumsetzung. In allen Schritten ist eine gemeinschaftliche Bearbeitung vorgesehen, um das vorhandene Wissen umfassend in die Projektentwicklung einbringen zu können. [1] Die Entwicklung ingenieurwissenschaftlicher Lösungen ist ein Iterationsprozess. Jeder Schritt, der zur Problemlösung dient, wird so oft durchlaufen und wiederholt, bis das Ergebnis den gestellten Anforderungen entspricht. Neben der Methodik in der VDI-Richtlinie 2221 zum produkt- und branchenunabhängigen Arbeitsfluss beim Planen und Konstruieren werden in den ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen weitere Ansätze, insbesondere aus der Softwareentwicklung eingesetzt, u. a. das V-Modell und die SCRUM-Technik.

Das sozialwissenschaftliche Methodenspektrum ist sehr umfangreich. Beispielsweise werden Technologien partizipativ erforscht, um die soziale, ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit sicherzustellen und ethische, rechtliche und soziale Implikationen der technischen Innovationen berücksichtigen zu können.

In den nutzer-zentrierten Design- und Bewertungsprozessen werden u. a. Nutzerbefragungen, Kontext-Analysen, Gebrauchstauglichkeits-Tests und szenariobasierten Designs eingesetzt, um Patienten und Behandler direkt einbeziehen.

3 Anwendungsbeispiel 1 „adhärenzfördernde Gestaltung der Hilfsmittelversorgung bei Senioren mit Beeinträchtigungen des Gleichgewichtssinnes“

Für Senioren können schwere physische und psychosoziale Einschränkungen als Folge von Stürzen entstehen, wenn sie an gesundheitlichen Einschränkungen in der Gleichgewichtswahrnehmung leiden. Chronischer multimodaler Schwindel ist ein Beschwerdebild älterer Menschen, mit dem Mediziner häufig konfrontiert werden. Ein Viertel der über 60-Jährigen und die Hälfte der über 75-Jährigen leiden unter Schwindelsymptomen, auch als „Altersschwindel“ bezeichnet, bspw. Benommenheit, Gang- und Standunsicherheit. Diese Beschwerden erhöhen das Sturzrisiko, was für die Betroffenen mit lebensgefährdenden Komplikationen einhergehen kann. Die Entstehung des multimodalen Schwindels geht auf multisensorische Defizite wie nachlassendes Hör- oder Sehvermögen zurück, es können auch weitere Grunderkrankungen, z. B. Polyneuropathie eine Rolle spielen. Auch aufgrund von Medikamenten und einer verlangsamten zentralen Reizverarbeitung kann es zu Schwindelsymptomen kommen. Da die Gleichgewichtssensoren der Patienten Informationen nicht mehr optimal wahrnehmen und weiterleiten können, ist eine Unterstützung der Patienten über ein Feedback und zusätzliche therapeutische Anleitungen für alltagskompatible Übungen zum Gleichgewichtstraining eine wichtige Ergänzung, um die Nutzung von Mobilitätshilfsmittel nachhaltig zu gestalten und die Fähigkeiten der Patienten für die Teilhabe im Alltag zu rehabilitieren. Eine Nutzung von Mobilitäts hilfsmitteln wie Rollatoren ohne zusätzliche Unterstützungssysteme kann hingegen eine Chronifizierung und weitere Abnahme der Fertigkeiten in der Mobilität bewirken. [2]

Der Erhalt oder die Wiederherstellung der Mobilität erfordern umfangreiche Rehabilitationsmaßnahmen, bspw. die psychische Stabilisierung durch Reduktion von Sturzängsten und Kontrollverlusterleben, aber auch die körperliche Belastbarkeit zu verbessern, wobei medizinische Hilfsmittel erforderlich sind. Diese Hilfsmittel sind konfektioniert, d. h. vorgefertigt, bspw. Rollatoren, Rollmobile. Der Nutzen der Geräte hängt von ihrer Anwendung ab, sie können nur wirken, wenn sie richtig und regelmäßig eingesetzt werden. Das Ziel der bedarfsgerechten Technikentwicklung ist es, die Akzeptanz und Adhärenz der Behandlungsmaßnahmen zu verbessern, indem die Hilfsmittel einen alltagspraktischen Mehrwert bieten und die Gestaltung nutzerzentriert optimiert wird.

3.1 Zielsetzung und wissenschaftlicher Hintergrund

Die geringe Adhärenz bei medizinischen Hilfsmitteln ist nicht auf einen einzelnen Faktor zurückzuführen, sondern wird von unterschiedlichen Aspekten beeinflusst [3]. Dementsprechend ist ein integrativer Unterstützungsansatz unerlässlich, um die Therapiemitarbeit in der Nutzung von Mobilitätshilfen nachhaltig zu verbessern.

Für die Verbesserung der Therapiemitarbeit wurden Rückmeldefunktionen mit dem Datenaustausch über mobile Endgeräte bisher nur bei der Medikamenteneinnahme untersucht. Die Formate, um die Adhärenz zu verbessern, sind vielfältig, bspw. „*Health Games*“ – Computerspiele mit gesundheitsbezogener Thematik oder Erinnerungs-Apps, mit der Angehörige über eine nicht-erfolgte Medikamenteneinnahme informiert werden. Kein Angebot bietet direkte Rückmeldungen zum Therapieverhalten. Ebenfalls werden keine direkten Monitoring-Daten zur Adhärenz erfasst, die Patienten machen selbst Angaben zum Therapieverhalten. Studien belegen die Verbesserung der Adhärenz bei der Hilfsmittelverwendung durch ein Monitoring [4].

Balzer et al. (2012) erklären in einer Metaanalyse zur Sturzprophylaxe, dass der Gebrauch von Hilfsmitteln die Autonomie der Patienten mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen unterstützt, jedoch auch mit einem erhöhten Sturzrisiko in Zusammenhang gebracht werde. Entscheidend sei, dass die Hilfsmittel korrekt gehandhabt würden. Über ein Drittel der Nutzer verwenden die Geräte jedoch falsch, viele Komplikationen seien auf fehlerhafte Nutzung zurückzuführen. [5]

Mobilitätshilfsmittel sind bisher als sozio-technisches System zu eindimensional gestaltet, um den komplexen Wechselwirkungen aufgrund der körperlich bedingten Abhängigkeit von Unterstützung bei geringer Bereitschaft zur regelmäßigen Verwendung gerecht zu werden. Es fehlen in dieser Mensch-Technik-Interaktion technische Unterstützungssysteme, die über eine isolierte Lösung hinausgehend, verschiedene Komponenten der Bedarfssituation von Patienten integrieren. Dabei stehen in den geplanten Entwicklungen mobilitätschränkende, sensorische Defizite von Patienten im Fokus, die anhand von nachhaltigen technischen Lösungen patientengerecht rückgemeldet werden und das Kontrollerleben verbessern. Es kann durch die Befähigung zur Körperbalance mit Hilfe sensorischer Feedbackinformationen direkt am Hilfsmittel für die Patienten ein Mehrwert in der Nutzung erreicht werden, der nachhaltig die Mobilität verbessert, u. a. weil die Betroffenen in die Lage versetzt werden, das Hilfsmittel richtig zu verwenden. Zudem können interaktive Betreuungsangebote, Trainingsprogramme bzw. ein Austausch mit den Behandlern ergänzt werden.

3.2 Projektaufbau

Bei Mobilitätshilfsmitteln bestehen derzeit noch Anwendungsprobleme, welche die Gebrauchstauglichkeit und das Sicherheitsempfinden der Nutzer beeinträchtigen, bspw. beim Überwinden von Stufen, Absätzen etc. oder dem Zusammenklappen der Geräte für den Transport. Die Verwendung der Hilfsmittel muss zum einen ohne solche Hindernisse erfolgen und zum anderen die Patienten bei Defiziten der Körperbalance gezielt durch eine Rückmeldung unterstützen. Im Fokus der technischen Entwicklungen steht dementsprechend die altersassoziierte Beeinträchtigung der Fähigkeit zur Körperbalance, die bspw. durch Symmetrierückmeldung mittels haptischer und/oder akustischer Modalitäten an den Handgriffen unterstützt werden kann. Die Verwendung von Hilfsmitteln beinhaltet dadurch auch Trainingselemente für die Gleichgewichtskoordination. Die Nutzer werden in die Entwicklung einbezogen, um altersgerechte Anforderungen zu ermitteln und die Akzeptanz der Innovationen zu gewährleisten. Ebenfalls werden die geringe Anpassbarkeit konfektionierter Hilfsmittel oder die inadäquate Kraftbeanspruchung verbessert.

Ein Monitoring der Hilfsmittelnutzung ist inzwischen aufgrund technischer Entwicklungen gut realisierbar [6], muss aber um eine sensorische Rückmeldung zur Körperbalance ergänzt werden. Ein Datenlogger am Hilfsmittel nimmt bspw. die Kraftverteilung an den Griffen eines Hilfsmittels auf und registriert auffällige Abweichungen und gibt ein haptisches oder akustisches Feedback über das Hilfsmittel. Die Daten können darüber hinaus zur therapeutischen Betreuung sowie zur Koppelung mit anderen Funktionalitäten (Spielelemente zur Motivationsförderung) an einen Anwendungsserver weitergeleitet werden und werden abhängig von der Vernetzung dem Nutzer über ein mobiles Endgerät rückgemeldet (z.B. per Smart Phone). Dafür müssen altersgerechte Benutzeroberflächen für Patienten entwickelt und Interaktionsmöglichkeiten mit den Behandlern integriert werden.

4 Anwendungsbeispiel 2 „sensorbasierte Entlastungssteuerung bei Fußoperationen“

Fußbeschwerden gehören zu den häufigsten Beschwerden in der medizinischen Behandlung, da dieser Bereich des Körpers dauerhaft hohen Belastungen ausgesetzt ist. Besonders in höherem Alter können aufgrund von Spätfolgen einer Diabetes-Erkrankung, Durchblutungsstörungen (periphere Verschlusskrankheit) oder osteoporotischen Veränderungen die Beschwerden und die Behandlungsbedürftigkeit zunehmen und eine operative Versorgung am Fuß erforderlich machen. Oft können nur dadurch die Mobilität von Patienten erhalten und Amputationen verhindert werden. In der Nachsorge verschiedener Vorfuß- und Rückfußoperationen (z. B. Pilon-tibial-Fraktur, Calcaneus-Fraktur, Arthrodese, Charcot-Erkrankung bei Diabetes, Fußdeformitäten, Metatarsalgie) müssen die Patienten über mehrere Wochen unter Nutzung von Orthesen (von Patienten selbst genutzte, konfektionierte medizinische Hilfsmittel, „Stützschiene“) spezifische belastungsbezogene Therapievorgaben zur Gewährleistung des Behandlungserfolges einhalten. Es ist in der Regel eine mehrwöchige Ruhigstellung erforderlich, danach wird die Belastung kontrolliert bis zur Vollbelastung gesteigert. Knochen- und Sehnengewebe sind kaum durch Blutgefäße versorgt, daher unterliegt die Heilung dieser Strukturen besonderen Anforderungen. Die spezifische, mit dem Heilungsverlauf ansteigende Belastung eines operierten Knochens bzw. einer Sehne übt Reize für ein suffizientes Wachstum und eine optimierte Heilung aus, gleichzeitig besteht aber auch die Gefahr von Überlastung.

Lee et. al. (2011) fassten zusammen, dass der Heilungsverlauf stark von der Krafteinwirkung auf die Knochenstruktur abhängt. In frühen Stadien der Frakturheilung ist eine Belastung aufgrund der Entzündungsprozesse weitgehend zu vermeiden. Im späteren Verlauf kann eine wechselnde Teilbelastung den Stoffwechsel bei der Knochenneubildung jedoch unterstützen. Eine Fuß- oder Sprunggelenkorthese übernimmt dabei eine stützende und stabilisierende Funktion, zusätzlich können Gehhilfen zur Entlastung genutzt werden. [7]

Die Teilbelastung des Beins mit einer reduzierten Trittkraft ist für Patienten im Alltag jedoch schwer umsetzbar, weil deren Kontrolle nur begrenzt möglich ist. Über die Fußsohle können Menschen die Gewichtsbelastung nur ungenau erfassen. Es fehlt einem operierten Patienten die Differenzierungsfähigkeit für die zulässigen Belastungssteigerungen, sofern nicht die Schmerzgrenze erreicht wird. So kann es zu einer Überlastung kommen, sogar wenn die Patienten Gehstützen verwenden. Bei dieser Entlastungsmethode wird oftmals die Stützkraft der Patienten überschätzt, so dass sie die vorgegebene Entlastung ohne Krafttraining der oberen Extremität nicht erreichen können [8]. Damit ist für die Patienten ein hohes Risiko von Überlastungen während des Gehens verbunden, das sie ohne kontinuierliche Kontrolle nicht vermeiden können.

4.1 Zielsetzung und wissenschaftlicher Hintergrund

Die Zielstellung der Forschungsschwerpunkte zur Adhärenzverbesserung entspricht der Struktur in der Abbildung 1. Die sensorbasierte Entlastungssteuerung beinhaltet zwei wesentliche Innovationen in den Nachbehandlungsmaßnahmen bei chirurgischen Fußoperationen. Zum einen werden die Patienten durch eine Sensorik in der Orthese in die Lage versetzt, die Therapievorgaben einer Teilbelastung des operierten Fußes einzuhalten. Sie erhalten ebenfalls ein haptisches oder akustisches Feedback direkt über das Hilfsmittel, falls eine Überlastung auftritt. Zum anderen werden die Patienten mit interaktiven Betreuungsangeboten in der Nachsorge von Vorfuß- und Rückfußoperationen durch Überbrückung der räumlichen und zeitlichen Distanz

(asynchron) zu den Therapeuten unterstützt, um dem Informationsbedarf im Behandlungsverlauf gerecht zu werden und die Motivation zur Therapiemitarbeit zu erhöhen.

Dieses Konzept soll die Genesung unter Vermeidung von fehlbelastungsbedingten Komplikationen beschleunigen. Den Patienten wird durch eine multimodale Rückmeldung die tatsächliche Belastung des betroffenen Beins in Echtzeit mittels eines sensorischen Monitorings und entsprechenden Rückmeldungen transparent gemacht.

Der Datenaustausch zwischen Patienten und Therapeuten wird zur Abstimmung des Behandlungsverlaufes (u. a. wenn Probleme in der Orthesennutzung auftreten) durch eine mobile Anwendung ermöglicht.

4.2 Projektaufbau

Bisher fehlen therapeutische Gesamtkonzepte, die eine Transparenz und die eigenverantwortliche Mitarbeit während der Genesung im häuslichen Umfeld durch Rückmeldungen mit direktem Bezug zu den Behandlungsparametern ermöglichen. Für das geplante Motivationskonzept werden u. a. Interventionen aus der Zielsetzungstheorie von Locke & Latham (2002) weiterentwickelt, um durch Rückmeldungen die Verbesserung des Therapieverhaltens zu erreichen [9]. Zur Sicherung der Qualität der Betreuung und der Akzeptanz des gesamten technischen Unterstützungssystems werden Elemente der von Ware et al. (1995) vorgeschlagenen Patienten-Zufriedenheitskomponenten (u. a. Interpersonelles Verhalten, Technische Qualität der Versorgung, Outcome, Kontinuität etc.) in die Projektentwicklung einbezogen [10]. Zudem wird ein Propriozeptionstraining in Form von Eigenübungen angepasst, um damit die Reaktionsbereitschaft der stabilisierenden Muskulatur zu unterstützen und eine Sicherung des Gleichgewichts und der Stabilität der gesamten Körperspannung zu erreichen und Überbelastungen zu vermeiden.

5 Klinische und sozioökonomische Relevanz der Projektentwicklungen

Bei medizinischen Hilfsmitteln besteht ein Verbesserungsbedarf, um die verlässliche Anwendung der Geräte für die größer werdende Zahl von Senioren zu optimieren und deren Anforderungen gerecht zu werden. Dazu muss die Gestaltung konfektionierter Hilfsmittel grundlegend überarbeitet werden. Maßanfertigungen als mögliche Alternative zur Konfektionierung sind jedoch nicht finanzierbar. Derzeit ist die Adhärenz bei der Therapie mit Hilfsmitteln gering, das gefährdet u. a. die Patientensicherheit, den Therapieerfolg und die Wirtschaftlichkeit der Versorgung. Im Gesundheitswesen werden durch die beschriebenen bedarfsgerechten technischen Unterstützungssysteme Einsparungen durch die Verringerung von Komplikationen und die Vermeidung der Pflegeaufwendungen ermöglicht. Die (Mehr)Ausgaben, die bspw. auf eine stärkere Nachfrage bei den optimierten Hilfsmitteln und die technische Ausstattung zurückgehen können, werden durch die Einsparungen aufgewogen. Zudem erreichen die Patienten eine höhere Lebensqualität und eine schnellere Genesung.

Die stationäre Aufenthaltsdauer von Patienten nach operativen Behandlungen wird zunehmend kürzer. Damit verlagert sich der Genesungsprozess stärker in den häuslichen Bereich. Die Betreuung der Patienten kann über technische Unterstützungssysteme gewährleistet werden, wenn Monitoring- und Feedbackfunktionen zur Verfügung stehen und ein Austausch mit den Behandlern über interaktive Kommunikationssysteme erfolgt.

Das Informationsbedürfnis von Patienten wächst durch die zunehmende Verfügbarkeit von Daten, u. a. durch das Internet und mobile Endgeräte. Damit einhergehend ist ein verstärktes Autonomiebedürfnis nicht nur in der Patientenrolle, sondern auch als Partner der medizinischen Behandlung zu erwarten. Diese Entwicklung erfordert in hohem Maße eine Transparenz der medizinischen Empfehlungen und eine aktive Einbeziehung der Patienten in die therapeutischen Angebote. Die in den technischen Unterstützungssystemen vorgesehenen Innovationen werden diesen veränderten Ansprüchen von Patienten an die medizinische Behandlung gerecht und schaffen damit nachhaltige Versorgungsstrukturen.

Daher wird in den beschriebenen technischen Unterstützungssystemen explizit ein Konzept für den Informationsaustausch entwickelt, der die Interaktion mit Therapeuten einschließt und somit eine fachkompetente und individuell gestaltete Betreuung der Patienten ermöglicht. Mit dieser angestrebten Innovation kann es gelingen, die Patientenversorgung im häuslichen Umfeld effektiver und effizienter zu gestalten und die Bedürfnisse der Patienten abzubilden. Die Patienten werden aktiv in die Behandlung einbezogen und ihre (Mit)Verantwortung im Sinne von Befähigung (*Empowerment*) adressiert.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend wurde im Beitrag der Bedarf für technische Unterstützungssysteme mit sensorischen Funktionen in Mobilitätshilfsmittel beschrieben und die technische Umsetzung dargestellt. Der Vorteil, interaktive Feedback- und Monitoringsysteme zu integrieren, liegt darin, bei älteren Nutzern die Hilfsmittelversorgung zuverlässig und sicher zu gestalten, indem sensorische Defizite ausgeglichen werden und eine höhere Adhärenz bei der Verwendung erreicht wird.

Adhärenz ist nicht allein über eine bessere Gebrauchstauglichkeit der Hilfsmittel zu steigern. Derzeit wird die Befähigung und die Adhärenz der Patienten in der Hilfsmittelnutzung zumeist stillschweigend vorausgesetzt und eine Thematisierung erfolgt erst, wenn bereits Komplikationen aufgetreten sind (bspw. Häufung von Stürzen). Durch die gezielte Einbeziehung sensorischer Rückmeldungen zur Körperbalance oder der Teilbelastung bei der Verwendung der Hilfsmittel wird die Versorgung an die Bedürfnisse der Patienten angepasst und die Akzeptanz und die Bereitschaft zur Hilfsmittelverwendung gesteigert.

Bisher ist es nicht gelungen, Drittmittel für die Umsetzung der geplanten Projekte einzuwerben. Die besonderen transdisziplinären Schwerpunkte der technischen Entwicklungen erfordern Förderstrukturen ohne disziplinäre Ausrichtungen. Zudem ist die erforderliche Kooperation mit unterschiedlichen Forschungspartnern in der Hilfsmittelversorgung (universitäre Einrichtungen, ambulante sowie stationäre Versorgungsstrukturen, Industriepartner) in der auf Einzelprojekte bzw. größere Programmgruppen orientierten Förderstruktur schwer darstellbar.

Der Kostendruck im Gesundheitswesen und besonders im Bereich der Hilfsmittelversorgung macht verstärkte Aufwendungen für solche Forschungs- und Entwicklungsprojekte bei den klein- und mittelständisch strukturierten Medizintechnikherstellern derzeit noch unattraktiv. Diese können das erforderliche Kompetenzspektrum selbst nicht vorhalten. Die wirtschaftliche Nachhaltigkeit der beschriebenen Innovationen kann über das Präventionspotential der optimierten Hilfsmittelgestaltung und Betreuung verdeutlicht werden.

7 Literatur

- [1] Bergmann, M.; Jahn, T.; Knobloch, T.; Krohn, W.; Pohl, C. und Schramm, E.: Methoden transdisziplinärer Forschung. Ein Überblick mit Anwendungsbeispielen. Frankfurt am Main [u.a.]: Campus-Verlag, 2010.
- [2] Waldfahrer, F.: Multifaktorielle Überlastung des gleichgewichtsregulierenden Systems - Bei „Altersschwindel“ Training und Medikamente statt Rollatoren. Medical Tribune 49 (17), S. 17, 2014.
- [3] Dannehl, S.: Prospektiv-nutzergerechte Gestaltung von Medizinprodukten. Methoden zur Verbesserung der Therapiemitarbeit bei medizinischen Hilfsmitteln. Forschung für die Rehabilitationstechnik, 2, De Gruyter, 2013.
- [4] Miller, D.J.; Matsumoto, H.; Gomez, J.A.; Avendano, J.; Hyman, J.E.; Roye, D.P. Jr. und Vitale, M.G.: Electronic monitoring improves brace-wearing compliance in patients with adolescent idiopathic scoliosis. A Randomized Clinical Trial. In: *Spine*, 37 (9), S. 717-12, 2012.
- [5] Balzer, K.; Bremer, M.; Schramm, S.; Lühmann, D. und Raspe, H.: Sturzprophylaxe bei älteren Menschen in ihrer persönlichen Wohnumgebung. Schriftenreihe Health Technologie Assessment HTA, Bd. 116 DIMDI, 2012.
- [6] Roller, M.: Beschreibung eines Systems zur Messung der Tragezeit orthopädischer Hilfsmittel. In: *Orthopädie-Technik*, 12/13, S. 22-27, 2013.
- [7] Lee, C. S.; Szczesny, S. E. und Soslowsky, L. J.: Remodeling and repair of orthopedic tissue: role of mechanical loading and biologics: part II: cartilage and bone. In *Am J. Orthop.* 40 (3), S. 122-128, 2011.
- [8] Diemer, F. und Sutor, V.: Praxis der medizinischen Trainingstherapie. 2., überarb. Aufl., Thieme, 2011.
- [9] Locke, E.A. und Latham, G.P.: Building a Practically Useful Theory of Goal Setting and task motivation: A 35-year odyssey. In: *American Psychologist*, 57 (9), S. 705-17, 2002.
- [10] Ware, J. E.; Synder, M. K.; Wright, R. und Davies, A. R.: Defining and measuring patient satisfaction with medical care. Evaluation and Program Planning, 6, S. 247-26, 1995.

Ein methodischer Ansatz für die Entwicklung angepasster und altersgerechter Produkte am Beispiel einer Aufstehhilfe

O. Sankowski

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Denickestraße 17, 21073 Hamburg
o.sankowski@tu-harburg.de

B. Wollesen

Universität Hamburg, Institut für Bewegungs- und Trainingswissenschaft
Turmweg 2, 20148 Hamburg
bettina.wollesen@uni-hamburg.de

D. Krause

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Denickestraße 17, 21073 Hamburg
krause@tu-harburg.de

Kurzzusammenfassung

Die demografische Entwicklung führt zu einer überproportionalen Anzahl Hochaltriger in unserer Gesellschaft. Diese Zielgruppe mit altersphysiologisch bedingten Veränderungen der Mobilität und Kognition benötigt Produkte, die den Personen- und Alltagsanforderungen sowie individuellen Bedürfnissen gerecht werden. Besonders Produkte, die in einer engen Interaktion mit der älteren Person stehen, müssen gezielt die Fähigkeiten und das Leistungsvermögen dieser ansprechen, auf diese reagieren und eine sinnvolle Unterstützung zum Erhalt bestehender Ressourcen darstellen. Mögliche Wege diese spezifischen Anforderungen und Bedürfnisse in Kooperation mit bewegungs- und sozialwissenschaftlichen Kooperationspartnern aufzunehmen und in den Produktentwicklungsprozess zu integrieren, werden im folgenden Beitrag diskutiert.

Abstract

A Methodical Approach for the Development of Adaptable and Age-Appropriate Products Using the Example of a Raising Support

The demographic development leads to an increasing number of very old persons in our society. This group with physiological age-related changes in cognition and mobility requires products that satisfy their day-to-day demands as well as their individual needs. Especially products that are in close interaction with a person have to address the skills and capabilities in a way, that they can support and maintain the remaining resources of the elderly. Approaches, how these

specific requirements and needs can be included in the product development process, including the research findings of the human movement science (biomechanics), are discussed below.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Im Zuge der Demografie-Entwicklung steigt die Anzahl älterer Menschen stetig an. Während in früheren Jahren das Alter vor allem mit reduzierter Aktivität und Pflegebedürftigkeit assoziiert wurde, ist die heute älter werdende Generation meist aktiver und wünscht sich möglichst lange Selbstständigkeit und Unabhängigkeit.

Gleichzeitig bestehen jedoch weiterhin altersphysiologische Veränderungsprozesse (u.a. Veränderungen am Bewegungsapparat), die zu körperlichen Einschränkungen und daraus resultierenden Problemen führen können. So stürzt ab dem 65. Lebensjahr jeder dritte Erwachsene laut verschiedener Statistiken mindestens einmal pro Jahr. Als Hauptursachen gelten hierfür Muskelschwäche in den Beinen und Gleichgewichtsschwierigkeiten. Ein Sturz entsteht jedoch aus einer Bewegungssituation heraus z.B. beim Gehen durch Starten, Stoppen, Richtungswechsel oder Hindernissen ausweichen. Weiterhin können Positionsveränderungen, die eine schnelle orthostatische Anpassung benötigen, wie das Aufstehen, zum Sturz führen. Um Stürze zu vermeiden ist es daher sinnvoll technische Unterstützungssysteme zu nutzen, die beim Aufstehen als Sturzrisiko minimieren. Sie sollten die Abnahme der Muskelkraft und Beweglichkeit kompensieren, sowie Standsicherheit gewährleisten.

1.2 Entwicklung einer angepassten und altersgerechten Aufstehhilfe

Aus dem oben beschriebenen Bedarf resultiert eine Studienidee, die von den Disziplinen Produktentwicklung sowie Bewegungswissenschaft gleichermaßen verfolgt wird. Ziel ist die Entwicklung einer Aufstehhilfe, vornehmlich für den Pflegebereich, die ein umfassendes Unterstützungssystem darstellt und dabei den Fokus auf die Zielgruppe „ältere und durch nachlassende Kraft sowie verringerte Standsicherheit eingeschränkte Personen“ legt. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, ist eine umfassende Betrachtung der Rahmenbedingungen notwendig. Hierzu gehört die Abgrenzung der Nutzer. Zwar ist die primäre Zielgruppe schon benannt, weitere relevante Nutzergruppen müssen aber unter Umständen ebenfalls betrachtet werden. Dies ist notwendig da neben dem primären Nutzer, für den das Produkt in erster Linie entwickelt wird, weitere Nutzertypen ebenfalls mit dem Produkt aktiv oder passiv interagieren. Es werden somit primäre, sekundäre und tertiäre Nutzer kategorisiert [1]. Der sekundäre Nutzer nutzt das Produkt ebenfalls in seinem bestimmungsmäßigen Gebrauch, aber nicht in seiner Hauptfunktion. Bezogen auf das Beispiel der Aufstehhilfe müssen Pflegekräfte und Familienangehörige, die der älteren Person bei der Bedienung des Assistenzsystems helfen und somit ebenfalls in direkten Kontakt damit kommen, sowie auch Servicekräfte in die Betrachtung einzbezogen werden. Tertiäre Nutzer wiederum stehen mit dem Produkt nicht in direktem Kontakt, werden aber von diesem positiv oder negativ beeinflusst. Ein Beispiel für eine negative Beeinflussung der tertiären Nutzer wären störende Geräusche, die von der Aufstehhilfe ausgehen. Ein weiterer Anspruch an die Aufstehhilfe ist die Kompensation von abnehmender Muskelkraft und Beweglichkeit. Dabei muss der Grad der Kompensation sehr genau an den Nutzer angepasst sein. So beschreibt das Modell der Person-Umwelt-Passung [2] für diesen Zusammenhang

den Einfluss von technischen Anforderungen auf die Nutzerkompetenz (Abb.1). Hohe technische Anforderungen führen demnach dazu, dass vorhandene Ressourcen trainiert werden, die Grenze zur Überforderung ist dabei jedoch schmal. Geringe technische Anforderungen bieten dem Nutzer dagegen eine Erhöhung des Komforts, können aber auf Dauer durch Nicht-Nutzung noch vorhandene Bewegungskompetenzen reduzieren und damit die Mobilität der Person verschlechtern bzw. die Abhängigkeit vom Assistenzsystem erhöhen. Nur die genau angepasste und an den Nutzer abgestimmte Unterstützung bietet die Chance, Mobilität und damit Lebensqualität dauerhaft zu erhalten oder gar zu erhöhen.

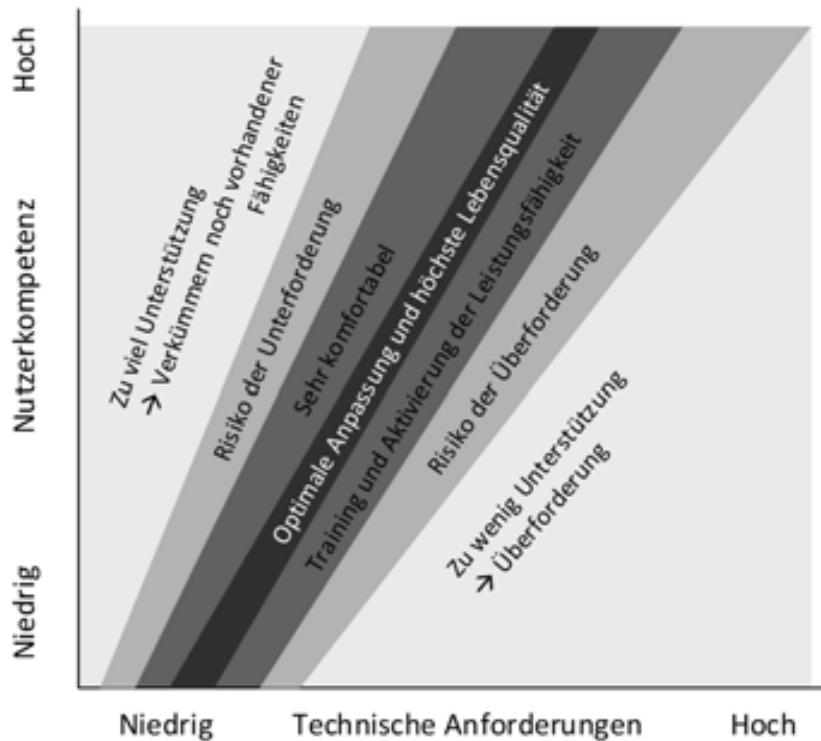


Abb. 1: Modell der Person-Umwelt-Passung (nach [2])

Die Auslegung der angepassten Unterstützung gestaltet sich dabei oftmals schwierig, da Nutzerkompetenzen sich über die Zeit verändern können. So kann die Kraft der Beine kurzfristig durch Ermüdung nachlassen oder langfristig durch gezieltes Training ansteigen. Auf diese Veränderungen sollte das Assistenzsystem durch Anpassung so weit wie möglich reagieren. Daher sollten bei der Entwicklung die sich verändernden, körperlichen Voraussetzungen direkt bei der Zielgruppe erfasst und in den Produktentwicklungsprozess integriert werden. Neben den Bewegungskompetenzen können sich auch die äußeren Randbedingungen (Untergrund, Sitzhöhe, Art des Sitzes uvm.), die von der Umgebung ausgehen, über die Nutzungszeit ändern. Dies hängt zum großen Teil vom Alltagsbedarf der Nutzer ab, d.h. in welcher Situation das System auf welche Art benötigt wird. Anforderungen, die aus dem Verhalten der Nutzer resultieren, müssen daher ebenfalls in den Entwicklungsprozess einfließen.

Aus den Ansprüchen an die Aufstehhilfe resultieren Fragestellungen für Forschungsaspekte aus Sicht der Produktentwicklung sowie der Bewegungs- und Sozialwissenschaften. Dazu gehören u.a. die Fragen, welche Nutzergruppen für die umfassende Betrachtung zu berücksichtigen sind, wie eine optimale Anpassung gestaltet werden muss und wie die Bewegungsmöglichkeiten der Nutzer integriert werden müssen, sodass die Standsicherheit gewährleistet wird. Im Folgenden

werden daher theoretische Aspekte zur Entwicklung der altersgerechten und angepassten Aufstehhilfe erläutert, daraus Forschungsfragen abgeleitet sowie ein Ausblick für das weitere interdisziplinäre Vorgehen gegeben.

2 Aspekte zur Entwicklung der Aufstehhilfe

2.1 Analyse des Aufstehens aus bewegungswissenschaftlicher Sicht - Anforderungen an das Produkt

Das Aufstehen vom Sitzen zum Stand erfordert verschiedene Körperbewegungen. Zuerst neigt sich der Oberkörper nach vorne, um den Körperschwerpunkt von der Sitzfläche zu verschieben. Gleichzeitig werden die Beine gestreckt, um die Vertikalbewegung zu erzeugen. Im Stand angekommen trägt die Haltemuskulatur dazu bei, das Gleichgewicht zu stabilisieren. Insgesamt arbeiten verschiedene Strukturen des Bewegungsapparats zusammen, um die Hüft-, Knie- und Sprunggelenksbewegungen im Aufstehprozess zu ermöglichen und die Gelenke dann in der aufrechten Position zu stabilisieren. In Abb. 2 ist ein Beispiel für die Veränderung des Drehmoments in Hüft-, Knie- und Sprunggelenk über die Zeit abgebildet. Hieran wird deutlich, wie stark die Kräfte in den Gelenken über die kurze Zeit des Aufstehvorgangs variieren. Diese vereinfachte Darstellung bezieht sich jedoch auf eine gesunde Person mittleren Alters. Umfassende Untersuchungen für ältere Personen auch unter Berücksichtigung verschiedener Restriktionen, wie z.B. Krankheiten und Standunsicherheiten, stehen bisher aus.

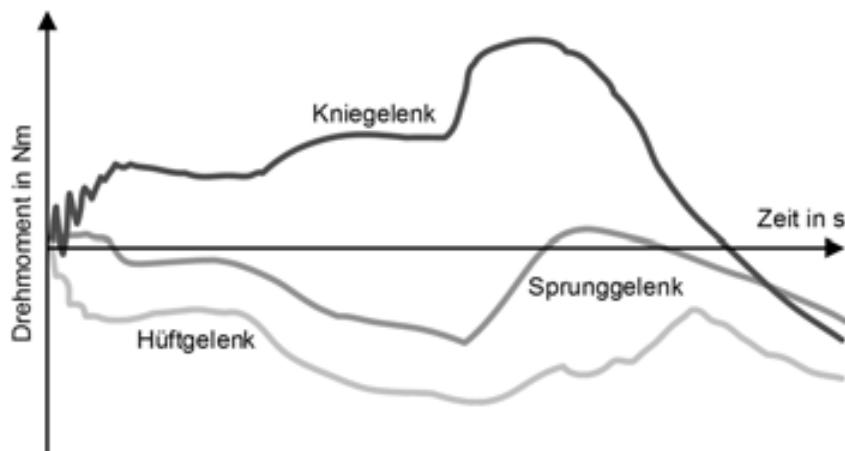


Abb. 2: Qualitativer Verlauf der Drehmomente in verschiedenen Gelenken über die Zeit für das Aufstehen einer erwachsenen und gesunden Person (nach [3])

Untersuchungen zeigten verschiedene Bewegungsprobleme älterer Personen während des Aufstehens. Akram & McIlroy [4] fassen drei häufig herausfordernde Situationen des Aufstehens aus sitzender Position zusammen: (1) die Verschiebung des center of mass (COM) nach vorne, (2) die vertikale Verschiebung des COM vom Sitzen zum Stehen und (3) der Übergang von einer größeren Unterstützungsfläche im Sitzen zu einer kleineren im Stehen. Weiterhin zeigen die Autoren auf, dass hauptsächlich zwei Problemsituationen entstehen können: (1) das sofortige wieder Absetzen auf den Stuhl, da die Kraft nicht ausreicht, um in die komplette Aufrichtung zu kommen und (2) die Stabilisierung des Gleichgewichts in der aufrechten Position durch die Kontrolle des posturalen Schwankens. Die Situationen resultieren aus den Hauptsturzrisikofaktoren Muskelschwäche und Gleichgewichtsschwierigkeiten. Weiterhin konnten die Autoren zeigen, dass ältere Menschen im Vergleich zu jüngeren mehr Zeit benötigen, um sich zu

stabilisieren, und dass der Stabilisationsprozess unabhängig von der Fußposition ist. Ein Erklärungsansatz für die Beobachtung besteht darin, dass bei älteren Personen während des Aufstehens bei gleicher Bewegungsausführung wie bei jüngeren Probanden höhere Beschleunigungs- werte und Geschwindigkeiten des COM entstehen, die zu Bewegungsproblemen führen. Weitere Untersuchungen zeigten, dass die Muskelkraft der Kniestrecker das Aufstehverhalten limitiert. Zudem zeigte sich, dass ältere Personen mehr Kraftaufwand benötigen, um die posturale Schwankungen zu kompensieren.

Yoshioka et al. [5] modellierten die minimal benötigte Muskelaktivität der Hüft- und Kniestrecker anhand von kinematischen Daten und Kraftberechnungen: Sie stellten die Gesamtkraft der Knie- und Hüftstrecker als Index dar, mit dem Ziel die minimal benötigte Kraft zum Aufstehen zu beschreiben. Nach diesem Modell beträgt die minimale Kraft zum Aufstehen 35,3-48,2 N/kg. Das Modell berücksichtigt jedoch nicht das Gesamtsystem aller Agonisten und Antagonisten, die am Aufstehprozess beteiligt sind. Auch werden hier nicht die unterschiedlichen Bewegungsphasen und notwendige Gelenkbeweglichkeit beim Aufstehen betrachtet, die für die Entwicklung einer Aufstehhilfe notwendig wären.

2.2 Vergleich und Beurteilung vorhandener Aufstehhilfen

Eine Marktanalyse entdeckte verschiedene Assistenzsysteme, die sich dazu eignen bzw. den Anspruch erheben, den Aufstehvorgang einer Person zu erleichtern. Solche Systeme gibt es in verschiedenen Ausführungen. Eine Übersicht ist in den nachfolgenden Tabellen (Tab. 1 und Tab. 2) zu finden. Insgesamt werden neun Produkte aufgelistet und nach verschiedenen Kriterien bewertet.

Katapultsitze und Aufstehsessel sind im privaten Bereich verbreitet (Nr. 1, 2 & 3). Sie unterstützen den Aufstehvorgang, indem sie die Verschiebung des Körperschwerpunkts in der ersten Phase der Aufstehbewegung durch eine Sitzerhöhung erleichtern. Die folgenden Bewegungsabschnitte (Vertikalbewegung und Gleichgewichtsstabilisierung) muss der Nutzer aus eigener Kraft zurücklegen. Hierbei kann die Gefahr des Gleichgewichtsverlusts am Ende der Bewegung nicht ausgeschlossen werden.

Weiterhin gibt es die Assistenzsysteme, die vor allem im Reha- und Pflegebereich eingesetzt werden (Nr. 4 & 5). Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie von möglichst allen Personen und unabhängig von der Sitzfläche genutzt werden können. Diese Aufstehhilfen unterstützen, indem sie z.B. den Nutzer aktiv hochziehen oder ihn beim Aufstehen durch Griffe und Gurte sichern. Aktive Unterstützungssysteme aus diesem Bereich sind nicht darauf ausgelegt, eine angepasste Unterstützung anzubieten. Die Sicherung und komfortable Aufrichtung des Nutzers, ohne dass ein Krafteinsetz der Pflegekräfte nötig ist, steht im Vordergrund. Es besteht aber die Gefahr, dass diese Vollentlastung den Nutzer auf Dauer nicht mobilisiert, sondern das Vermögen und die Sicherheit, alleine aufzustehen, reduziert.

Tab. 1: Sammlung und Vergleich von Aufstehhilfen (Teil 1)

Produkt	Krafteingriff	Individuell einstellbar	Überall einsetzbar	Unterstützt Hinsetzen	Fallen durch Schwanken	Sonstige Anmerkungen
Katapult-Sitz (z.B. Uplift [1])	Gesäß	Nein	Von Sitzunterlage abhängig	Nein	Ja	Auslösen der Gasfeder von Sitzposition und -unterlage abhängig. Z.T. ist ein Nach-vorne-Rutschen oder Vorbeugen nötig, um die Feder auszulösen
Elektrischer Aufstehsessel (z.B. von Devita [2])	Gesäß	Nein	Nein, ortsgebunden	Nein	(Ja, aber Zurückfallen in erhobenen Sitz unkritisch)	Hochfahren des Sessels in die Aufstehposition dauert teilweise 20 Sekunden und mehr
Sit-to-Stand Support System nach Ikeuchi et al. [3]	Prototyp 1: Achseln Prototyp 2: Gesäß	Nein	(Ja, für Innenräume)	Nein		Prototyp 1: Messung der Bewegungsintention durch Bodenreaktionskräfte nicht für individuelles Verhalten ausgelegt Prototyp 2: Bewegungsbahn nicht validiert. Bei beiden Prototypen noch zu starke Einschränkungen in Hinblick auf den Nutzer
Return von Handicare [4]	(aus eigener Kraft, Gegenhalt an Schienbeinen)	Nicht nötig, nicht aktiv	(Ja, für Innenräume)	(Ja, eigene Kraft muss ausreichen)	Ja	Wenn Kräfte nicht reichen, muss die Pflegekraft helfen. Hochziehen mithilfe eines Gurtsystems aus ungünstiger Position. Bei nicht ausreichender Kraft von Pfleger und Nutzer, Zurückfallen unausweichlich.

[1] Meyra, „Katapultsitz Uplift“. URL: <http://www.meyra.de/reha-pflege-alltagshilfen/reha-und-alltag/reha-alltag-details/product-324/?cHash=1ac1b540d035b48afb2ce00894607cd>. [Stand: 15.11.2014].

[2] Devita, „Aufstehsessel Monza 360° Lift“. URL: http://shop.devita-online.de/epages/es352940.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/352940/Products/MO.06-20. [Stand: 15.11.2014].

[3] Ikeuchi, H.; Nagatoshi, M.; Miura, A. „Development of Sit-to-Stand Support System Using Ground Reaction Force“, In: Computers Helping People with Special Needs, Springer, 2014, S. 256–259.

[4] Handicare, „SystemRoMedic™ – ReTurn7500“. URL: <http://www.handicare.de/de/Transfer-und-Hebehilfen/SystemRoMedic-Transfer-und-Hebehilfen/Unterstutzen/Aufstehhilfen/ReTurn-7500/>. [Stand: 15.11.2014].

Tab. 2: Sammlung und Vergleich von Aufstehhilfen (Teil 2)

Produkt	Krafteingriff	Individuell einstellbar	Überall einsetzbar	Unterstützt Hinsetzen	Fallen durch Schwanken	Sonstige Anmerkungen
Minilift von Handicare [5]	Hände, Gegenhalt an Schienbeinen	Nein	(Ja, für Innenräume)	Ja	Nein	Komplettentlastung des Nutzers beim motorisch unterstützten Hochziehen mittels Gurtsystem. Verlust von noch vorhandenen Fähigkeiten wahrscheinlich
Knieorthese mit seriell elastischem Aktuator [6]	Kniegelenk	Nicht bekannt	Ja	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Alleinige Unterstützung des Kniegelenks für Aufstehvorgang nicht ausreichend
HAL Exoskelett für untere Extremitäten [7]	Knie und Hüfte	Nicht bekannt	Ja	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Steuerung durch Messung der Muskelkontraktionen nicht bei Muskellähmungen geeignet
Exoskelette für Querschnittsgelähmte (z.B. Rewalk [8], Indego [9])	Knie und Hüfte	Nicht bekannt, nicht vorgesehen	Ja	Ja	Sturz möglich, wenn kein Abstützen durch Krücken	Komplettunterstützung der unteren Extremitäten für Nicht-Querschnittsgelähmte überdimensioniert; Bei Nutzung Verlust von noch vorhandener Fähigkeiten
[5]	Handicare: „SystemRoMedic™ – MiniLift200“.	URL: http://www.handicare.de/Transfer-und-Hebehilfen/SystemRoMedic-Transfer-und-Hebehilfen/Aufstehhilfen/MiniLift200/ . [Stand: 15.11.2014].				
[6]	Block, J.; Hielscher, J.; Meiß, T.: „Servo am Knie“, in: Forschung, Vol. 28, No 4, 2013, S. 22–25.					
[7]	Cyberdyne: „HAL for lower limb“. URL: http://www.cyberdyne.jp/english/products/LowerLimb_nonmedical.html . [Stand: 15.11.2014].					
[8]	ReWalk: „ReWalk – Personal“. URL: http://www.rewalk.com/products/rewalk-personal/ . [Stand: 15.11.2014]					
[9]	Indego: „The Indego“. URL: http://www.indego.com/indego/en/theindego . [Stand: 15.11.2014].					

Schließlich lässt sich noch die Gruppe der Exoskelette bzw. motorisierter Orthesen unterteilen (Nr. 6 - 9). Diese zeichnen sich durch eine sehr enge Mensch-Maschine-Interaktion aus und sind dementsprechend auf einen bestimmten Nutzer zugeschnitten. Dabei fokussieren viele Exoskelette auf die Mobilisierung Querschnittsgelähmter. Sie kommen für nicht-querschnittsgelähmte Personen nicht in Frage, da ihr Grad an Entlastung zu hoch ist. Exoskelette, die auf die Anwendung durch mobilitätseingeschränkte Personen zielen, bringen die Kraft direkt auf das betroffene Gelenk auf und unterstützen dadurch die Bewegung. Es ist nicht bekannt, wie individuell die Unterstützung eingestellt und wie genau die Bewegungsintention aufgenommen werden kann. Hinzu kommt, dass hier viele Konzepte u.a. auf Grund der nicht ausreichenden mobilen Energieversorgung noch nicht marktfähig sind. So ist der Einsatz von Exoskeletten als Unterstützung für den ganzen Tag zwar als Ziel formuliert, zurzeit wird jedoch nur eine Einsatzdauer von wenigen Stunden realisiert (vergleiche hierzu die Produkte Nr.7 mit einer Einsatzdauer von maximal zwei Stunden und Nr.9 mit einer Einsatzdauer von maximal vier Stunden).

Auffällig bei der Betrachtung der aufgelisteten Assistenzsysteme ist, dass sie den individuellen Anforderungen der Nutzer nicht gerecht werden können: Sie berücksichtigen nicht oder zu wenig (1) die Ressourcen der Nutzer und bergen somit die Gefahr diesen nicht ausreichend zu unterstützen bzw. ihn zu stark zu entlasten, (2) sie besitzen keine individuellen Einstellmöglichkeiten auf Bewegungseinschränkungen durch Schmerzen oder Kontrakturen und (3) es fehlen Vorrichtungen, um die Sturzgefahr durch Schwankungen beim Aufstehen älterer Personen zu reduzieren. Zudem sind viele der in der Tabelle genannten Produkte hinsichtlich ihrer Unterstützungsleistung, Sicherung der Nutzer und Ausschluss von Fehlbedienung nicht validiert oder die Validierungsergebnisse nicht zugänglich. Hier besteht somit Bedarf diese Wissenslücken zu schließen.

2.3 Analyse der Nutzeranforderungen und Überführung dieser in den Produktentwicklungsprozess

Für ältere Menschen konzipierte Produkte auf dem Markt, sind häufig sehr stark auf die Defizite orientiert und sollen altersphysiologische Veränderungen der Kraft, Sinneswahrnehmung und Kognition kompensieren. Solche Kompensationsansätze sind nicht zeitgemäß, da sie zu Produkten führen, die stigmatisierend wirken [6]. Solche Produkte werden dann, ungeachtet der möglichen Vorteile, solange wie möglich von den älteren Menschen gemieden. Beispiele hierfür sind Rollatoren und Telefone mit großen Tasten. Das Hauptproblem dieser Kompensationsprodukte ist, dass sie die Heterogenität der Zielgruppe nicht berücksichtigen. Spezifische Leistungseinschränkungen, wie nachlassende Hand- oder Sehkraft, lassen sich nicht eindeutig bestimmten Altersgruppen zuordnen und mögliche Fähigkeitsverbesserungen, z.B. durch Erfahrungszugewinn, werden wiederum komplett ignoriert [6].

Um die Vielfältigkeit der Anforderungen und Bedürfnisse älterer Menschen besser zu verstehen und diese für die Produktentwicklung nutzbar zu machen, bietet sich eine verstärkte Nutzerzentrierung an. Dabei soll die Einbeziehung von nutzerbezogenen Daten bzw. der Nutzer selbst zum Ziel führen. Die einfachste Variante die Einbeziehung statistischer Erhebungen, wie anthropometrischer Daten, eignet sich hier auf Grund fehlender Daten für Personen über 65 Jahren nicht. Hinzu kommt die Gefahr, dass oftmals junge und nicht mit den Wünschen und Bedürfnissen älterer Menschen vertraute Produktentwickler die Erfordernisse der Zielgruppe bei der

Entwicklung nicht ausreichend zu berücksichtigen wissen. Eine direktere Integration der betrachteten Zielgruppe ist damit unumgänglich. [7]

Verschiedene Forschungszweige beschäftigen sich in diesem Zusammenhang mit dem Nutzer, seiner Einstellung, seinem Verhalten sowie seinem Wissen und seinen Ideen und wie diese für die Produktentwicklung genutzt werden können. Hier lässt sich z.B. die Akzeptanzforschung und vor allem die Marketingsicht auf die Akzeptanz einordnen. Im klassischen Sinne wird diese der nutzerzentrierten Produktentwicklung nicht direkt zugeordnet. Da die Akzeptanz aber, genauer gesagt die Einstellung des Nutzers gegenüber dem Produkt sowie seine Bereitschaft dieses tatsächlich zu nutzen, über Erfolg und Misserfolg eines Produkts entscheiden, muss sie in den Produktentwicklungsprozess miteinfließen [8]. In diesem Zusammenhang wird sehr stark untersucht, was die Akzeptanz eines Produkts ausmacht, wie sich diese aber für ein bestimmtes Produkt gewährleisten lässt bzw. welche konkreten Maßnahmen durchgeführt werden müssen, um die Akzeptanz eines Produkts zu erhöhen, bleibt unklar [9].

Zum anderen gibt es noch die Methoden und Forschungsarbeiten zur Nutzerintegration. Ziel ist es, konkrete Hinweise und Verbesserungsvorschläge für das Produkt durch die Zusammenarbeit mit der Zielgruppe zu erhalten. Die Nutzer werden dabei zu verschiedenen Zeitpunkten des Entwicklungsprozesses mit einbezogenen. Ein mögliches Werkzeug hierfür ist die Messung der Augenbewegungen. Es wird eingesetzt, um die visuelle Produktwahrnehmung der Probanden aufzunehmen. Die vorhandenen Methoden und Werkzeuge enthalten jedoch keine umfassende Betrachtung, welche Informationen, von welchem Nutzertyp, wie aufgenommen werden müssen, um die Akzeptanz des Produkts sicher zu stellen.

Schließlich bleibt noch eine weitere Frage ungeklärt, die in bisherigen Forschungsarbeiten nicht hinreichend genau geklärt ist [3]: Wie können die sich ergebenden Anforderungen der Nutzer an das Produkt in technische Merkmale übersetzt werden? Denn die Ansprüche der verschiedenen Nutzer führen zu vielfältigen Anforderungen, die wiederum in sich veränderlich sind. So unterscheiden sich Verhalten, Kraft und Trainingszustand nicht nur zwischen verschiedenen Nutzern, sondern können sich auch bei einem einzelnen Nutzer über die Zeit verändern und sich gegenseitig beeinflussen. Die resultierende Vielfalt an statischen und variablen Anforderungen darf dabei nicht zu einer entsprechend hohen Anzahl an Produktvarianten führen.

2.3 Forschungsbedarf

Um eine medizinisch zweckdienliche und gleichzeitig von den Nutzern akzeptierte Aufstehhilfe zu entwickeln, muss der aus dem Stand von Forschung und Technik abgeleitete Forschungsbedarf integriert werden. Für die beteiligten Disziplinen ergibt sich ein gemeinsamer Forschungsansatz, der in Abb. 3 zusammengefasst und anhand der Fragezeichen visualisiert ist. Unklar ist dabei, welche Nutzer inwieweit einbezogen werden müssen, welche Daten vom welchen Nutzertyp relevant sind, wie diese am besten aufgenommen und in den vorhandenen Produktentwicklungsprozess integriert werden können.

Nach Disziplinen aufgeteilt ergibt sich weiterhin folgender spezifischer Forschungsbedarf:

Aus bewegungswissenschaftlicher Sicht fehlen zur Entwicklung einer praxistauglichen Aufstehhilfe grundlegende Untersuchungen zum Einfluss

- der Gelenkbeweglichkeit
- der unterschiedlichen Körperhöhen und Massen
- der Interaktionen der Muskelketten und

- der Mechanismen der posturalen Kontrolle, die eine Stabilisierung nach dem Aufstehen ermöglichen und sowohl für das physiologische als auch pathologische Aufstehen untersucht werden.

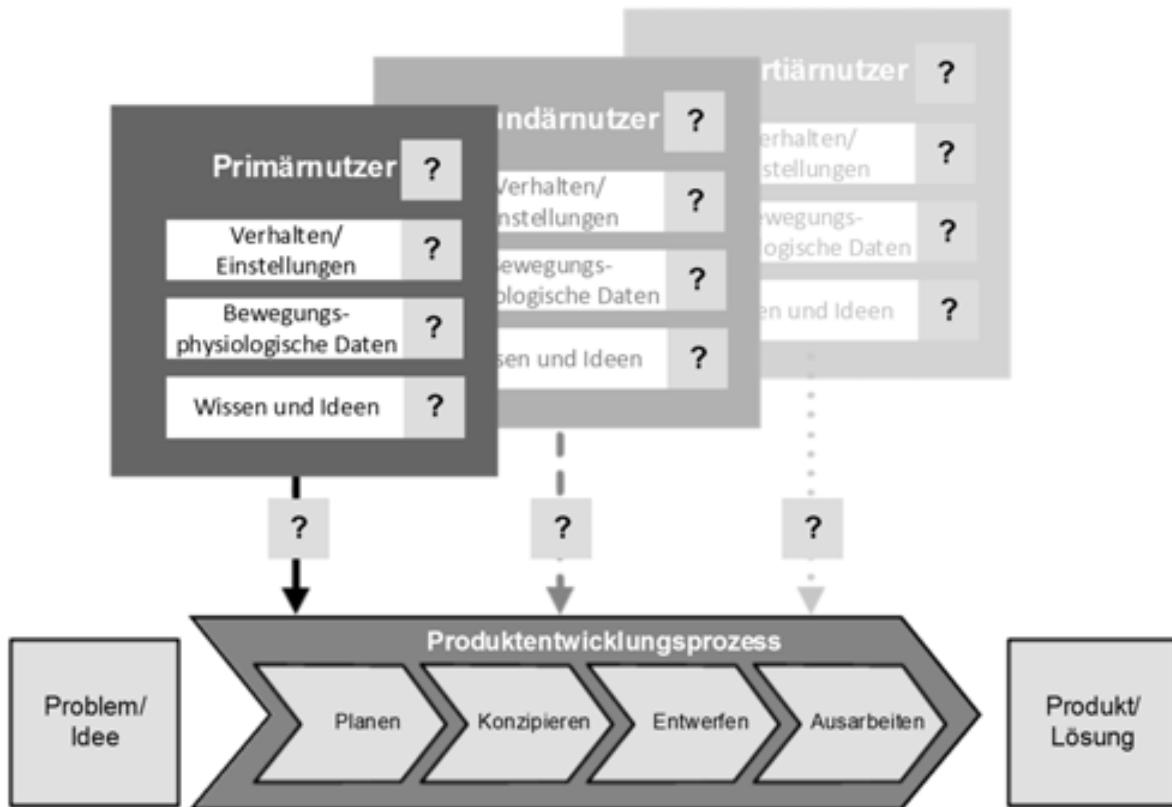


Abb. 3: Veranschaulichter Forschungsbedarf

Aus Sicht der Produktentwicklung muss untersucht werden

- wie die individuellen Anforderungen der verschiedenen Nutzer und Nutzertypen erfasst werden müssen,
- wie sich technischen Anforderungen an das Unterstützungssystem aus den bewegungswissenschaftlichen Daten sowie den Verhaltensweisen und Bedürfnissen der Nutzer ableiten lassen,
- wie die Vielfalt der statischen und variablen Anforderungen an das Produkt methodisch beherrscht werden kann
- und schließlich auch wie sich das System auf Basis der Anforderungen und unter Berücksichtigung der Nutzer validieren lässt.

3 Abschließende Schlussfolgerungen für die Studienidee

Zusammengefasst ergibt sich eine grundlegende Studienidee: Die Entwicklung einer Aufstehhilfe, die sowohl das Aufstehen unterstützt, das Zurückfallen in die Sitzposition verhindert als auch die orthostatische Anpassung inklusive der Stabilisierung im Stand (Kontrolle des posturalen Schwankens) ermöglicht.. Die Unterstützung zielt dabei auf den Primärnutzer, die ältere bzw. schwache Person, insofern, dass nur die individuell benötigte Unterstützung bereit gestellt wird, damit noch vorhandene Fähigkeiten möglichst lange erhalten bleiben oder falls ge-

wünscht auch trainiert werden. Das Gerät soll dabei vornehmlich auf die Nutzung im Pflegeheim ausgelegt werden. Daraus folgt, dass es möglichst unabhängig von Sitzgelegenheit und Sitzhöhe die Hauptfunktion „Aufstehen aus sitzender Position individuell unterstützen“ erfüllen muss. Weiterhin ergibt sich, dass das Pflegepersonal und auch Familienangehörige eine wichtige sekundäre Nutzergruppe, deren Sichtweise und falls nötig auch deren Bewegungsvorgänge untersucht und berücksichtigt werden müssen.

In Hinblick auf Forschungsbedarf und Studienidee lässt sich für die beteiligten Disziplinen abschließend ein konkretes Vorgehen für die weitere Bearbeitung ableiten.

3.1 Abgeleites Vorgehen der Bewegungswissenschaften

Abschließend ergibt sich das bewegungswissenschaftliche Vorgehen für die Studienidee. Es integriert drei Schritte, die innerhalb eines Verbundprojektes bearbeitet werden sollen:

(1) *Durchführung der Voruntersuchungen, um das Unterstützungssystem zu konstruieren.* Hierbei sollen die dargestellten Einflussgrößen auf den Aufstehprozess und die Mechanismen der Haltungskontrolle im Stehen bei Personen mit und ohne Aufstehschwierigkeiten analysiert werden. Hierzu werden Messungen innerhalb der Kinematik (2D-Bewegungsanalysen; Contemp Las-System), Dynamometrie (Kistler-Kraftmessplatte) und Elektromyografie (Myon) miteinander kombiniert. Geplant ist dabei, unterschiedliche Körper- und Sitzhöhen, Sitzpositionen sowie Unterstützungsmöglichkeiten durch den Einsatz der Arme der Probanden beim Ausstehen zu erfassen und zu vergleichen. Weiterhin werden die Nutzer nach ihren Wünschen in Bezug auf eine zu entwickelnde Unterstützungshilfe befragt und der Unterstützungsbedarf innerhalb der Zielgruppe ermittelt. Die Ergebnisse fließen in die Entwicklung des Prototyps ein.

(2) *Durchführung der Untersuchungen zur Wirkung des Prototyps*

Für den prä-post-Vergleich wird im zweiten Schritt die Wirkung des Prototyps zur Unterstützung beim Aufstehen und im Stabilisierungsprozess erfasst. Hierzu werden die Eingangsuntersuchungen (Schritt (1)) mit dem Prototyp wiederholt.

(3) *Untersuchungen zur Akzeptanz des Unterstützungssystems*

Neben den zu erfassenden physiologischen Variablen werden die Nutzer im letzten Schritt erneut zu ihren Erfahrungen und Problemen beim Einsatz des Unterstützungssystems befragt. Hierzu gehören Aspekte, wie Bedienerfreundlichkeit und Bedienungsprobleme, Ängste bei der Benutzung und allgemeines Wohlbefinden während der Nutzung (z.B. ob Schwindel auftreten oder ähnliches). Die Ergebnisse werden zur weiteren Anpassung des Prototyps genutzt.

3.2 Abgeleites Vorgehen der Produktentwicklung

Analog ergeben sich folgende Vorgehensschritte aus Sicht der Produktentwicklung, die innerhalb eines Verbundprojektes für die Entwicklung der Aufstehhilfe bearbeitet werden sollen:

(1) *Aufnahme der Bedürfnisse der Nutzer und Überführung dieser in technische Anforderungen.*

Verschiedene nutzerzentrierende Methoden werden für die Betrachtung der primären Zielgruppe vergleichend durchgeführt und gegebenenfalls angepasst, um erste Randbedingungen für das spätere Konzept aufzunehmen. Daten, die hierbei erfasst werden müssen, sind maximale und minimale Größen und Kräfte sowie relevante Krankheitsbilder, die von der Aufstehhilfe

berücksichtigt werden sollen. Anhand der ersten Daten erfolgt die Auswahl der Probanden für die bewegungsphysiologischen Untersuchungen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden mithilfe verschiedener Kriterien in Kategorien bzw. Gruppen zur Variantenbildung eingeteilt. Vorhandene Methoden und Werkzeuge hierfür werden verwendet, verglichen und falls nötig für den Einsatzzweck erweitert.

(2) Erstellung von technischen Konzepten; Auswahl mithilfe der Nutzer.

Verschiedene nutzerintegrierende Methoden werden in diesem Arbeitsschritt vergleichend durchgeführt und unter Umständen erweitert, um latentes und manifestes Wissen der Nutzer zu erfassen und dadurch ihr Verhalten und ihre Einstellungen zu vorhandenen Aufstehhilfen zu ermitteln. Die Erkenntnisse fließen in die Konzipierung von technischen Alternativen ein. Diese werden unter Zuhilfenahme der Methoden und Richtlinien verschiedener Ansätze, wie z.B. Mass Customization, Universal Design und Usability Engineering erstellt. Mithilfe der relevanter Nutzertypen und –gruppen wird ein Konzept ausgewählt.

(3) Entwicklung und Validierung des Prototyps.

Im letzten Schritt wird das ausgewählte technische Konzept als Prototyp konstruiert und mithilfe der verschiedenen relevanten Nutzertypen und –gruppen in verschiedenen Situationen validiert.

4 Literatur

- [1] Reinicke, T.: Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung, Berlin, 2004.
- [2] Lawton, M. P. und Nahemow, L.: Ecology and the aging process. In: Eisdorfer, C. und Lawton, M. P.: The psychology of adult development and aging. Washington, DC, American Psychological Association, S. 619-674, 1973.
- [3] Krüger, D.; et al.: Methodische Entwicklung mobilitätserhaltender Produkte am Beispiel einer Aufstehhilfe. In: Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung, Stuttgart, 2013.
- [4] Akram, S. B. und McIlroy, W. E.: Challenging horizontal movement of the body during sit-to-stand: impact on stability in the young and elderly. In: Journal of motor behavior, Vol. 43, No.2, S.147-153, 2011.
- [5] Yoshioka, S.; Nagano, A.; Hay, D. C. und Fukashiro, S.: The minimum required muscle force for a sit-to-stand task. In: Journal of biomechanics, Vol. 45, No.4, S. 699-705, 2012.
- [6] Williger, B. und Lang, F.: Senioren als Zielgruppe der Entwicklung. In: Stöber, C.; et al.: „Leitfaden für die altersgerechte Produktentwicklung“, Stuttgart, Fraunhofer Verl., S. 13-25, 2012.
- [7] Glende, S.: Entwicklung eines Konzepts zur nutzergerechten Produktentwicklung, Berlin, 2010.
- [8] Kornmeier, K.: Determinanten der Endkundenakzeptanz mobilkommunikationsbasierter Zahlungssysteme. Duisburg, Essen, 2009.
- [9] Birken, T.: IT-basierte Innovation als Implementationsproblem. Evolution und Grenzen des Technikakzeptanzmodell-Paradigmas, alternative Forschungsansätze und Anknüpfungspunkte für eine praxistheoretische Perspektive auf Innovationsprozesse. 2014. URL: http://www.isf-muenchen.de/pdf/Birken_2014_IT-basierte_Innovation_als_Implementationsproblem.pdf. [Stand: 03.11.2014].

Alter(n)sgerechte Lernsettings in fertigungstechnischen Kontexten

M. Thüsing, M. Jeretin-Kopf, R. Haas

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Institute of Materials and Processes (IMP)

Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe

melanie.thuesing@hs-karlsruhe.de, maja.jeretin-kopf@hs-karlsruhe.de, ruediger.haas@hs-karlsruhe.de

C. Armbruster

Pädagogische Hochschule Karlsruhe

Institut für Allgemeine Erziehungswissenschaft

Bismarckstraße 10, 76133 Karlsruhe

armbruster@ph-karlsruhe.de

Kurzzusammenfassung

Der Transfer von Erfahrungswissen wird vor dem Hintergrund des demografischen Wandels in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) in der Zukunft an Bedeutung gewinnen. Für einen erfolgreichen Wissenstransfer spielen neben organisatorischen Voraussetzungen personale Aspekte eine entscheidende Rolle. Außerdem erfolgt die Vermittlung des Erfahrungswissens häufig in informellen Lernsettings und die Akteure besitzen meist nicht die erforderlichen pädagogisch-didaktischen Kenntnisse. Damit in den Unternehmen nicht der gefürchtete Wissensschwund eintritt, ist es erforderlich, den Mitarbeitenden Kompetenzen zu vermitteln, die eine erfolgreiche Gestaltung der Lernsettings ermöglichen. Dabei ist insbesondere die Frage zu klären, welche didaktische Bedeutung den AR- und VR-Assistenzsystemen innerhalb betriebsinterner Fortbildungen künftig zukommt.

Abstract

Age-appropriate learning settings in manufacturing contexts

In view of demographic changes, the transfer of practical knowledge in small and medium-sized companies will become more important in the future. Besides organisational requirements, personal aspects play a decisive role in a successful knowledge transfer. Furthermore, practical knowledge is often imparted through informal learning settings, and the participants do not always have the required pedagogical and didactic knowledge. In order to prevent the feared loss of knowledge from occurring in business companies, it is necessary to provide the employees with competences that enable them to structure their learning settings successfully. There, the question which needs to be answered in particular is: Which future didactic importance do AR and VR assistance systems have in internal trainings?

1 Einleitung

Fast drei Viertel der Unternehmen in Deutschland bieten ihren Mitarbeitenden Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen an – dabei liegt der Bereich Maschinenbau mit über 80 % über dem Durchschnitt. Mit einer Teilnahmequote im Bereich der Weiterbildungsbereiche von 58,6 % gehört die Fachrichtung Maschinenbau zu den Spitzenreitern, wobei interne Weiterbildungsbereiche überwiegen [1]. Lernen findet dabei in informellen Lernsettings statt. Dies bedeutet, dass erfahrene und qualifizierte Fachkräfte in den Unternehmen mit der Aufgabe betraut werden, ihr Wissen und ihre Erfahrungen an Mitarbeitende weiterzugeben. Es bedeutet aber auch, dass die Gestaltung der Lernsettings zwar fachlich qualifizierten, aber pädagogisch nicht ausgebildeten Fachkräften überlassen wird.

Der Transfer von Erfahrungswissen wird vor dem Hintergrund des demografischen Wandels in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) in der Zukunft an Bedeutung gewinnen. Für einen erfolgreichen Wissenstransfer spielen neben organisatorischen Voraussetzungen personale Aspekte wie Vorurteile, Ängste und Lernbereitschaft eine entscheidende Rolle. Die Vermittlung des Erfahrungswissens erfolgt häufig in informellen Lernsettings und die Akteure besitzen meist nicht die erforderlichen pädagogisch-didaktischen Kenntnisse. Damit in den Unternehmen nicht der gefürchtete Wissensschwund eintritt und ältere Mitarbeitende nicht vom Umgang mit neuen Technologien ausgeschlossen werden, ist es erforderlich, jüngeren und älteren Mitarbeitenden Kompetenzen zu vermitteln, die eine erfolgreiche Gestaltung der Lernsettings ermöglichen. Dabei ist insbesondere die Frage zu klären, welche didaktische Bedeutung den Augmented-Reality-(AR-) und Virtual-Reality-(VR-)Assistenzsystemen innerhalb betriebsinterner Fortbildungen künftig zukommt. Die „Lernfabrik 4.X“ am Institute of Materials and Processes (IMP) an der Hochschule Karlsruhe widmet sich unter anderem dieser Fragestellung und entwickelt gemeinsam mit dem Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe Ansätze für eine betriebsinterne Weiterbildung, die sowohl didaktische Aspekte des Lernens verschiedener Generationen als auch die Implementierung neuer Kommunikations-, Informations- und Visualisierungstechnologien in Lernprozesse berücksichtigen.

Will man den Wissenserwerb und die Weitergabe des Wissens in den Unternehmen gestalten und dabei die Altersstruktur der Belegschaft berücksichtigen, stellt sich die Frage, welche Faktoren den Wissenstransfer beeinflussen. Dieser Frage wurde am IMP im Rahmen einer Studie nachgegangen, die im folgenden Abschnitt vorgestellt wird.

2 Wissenstransfer in fertigungstechnischen Unternehmen vor dem Hintergrund des demografischen Wandels

Nicht nur die Globalisierung und der Wandel hin zur Wissensgesellschaft machen die Ressource Wissen zu einem zentralen Faktor unserer Zeit, sondern auch die sich rasch entwickelnden Informations- und Kommunikationstechnologien tragen einen wesentlichen Teil dazu bei. Wissensmanagement spielt heutzutage eine immer wichtigere Rolle, und dies nicht nur in Großkonzernen. Wenn Unternehmen ihre Wissenspotentiale optimal nutzen und „der Wissensfluß entlang der Kernprozesse“ [2] optimiert wird, entsteht ein entscheidender Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz. Speziell in produzierenden kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) kann das ein entscheidender Faktor sein, denn Spezialwissen ist oft an Exper-

ten gebunden. Wenn diese Experten das Unternehmen dann verlassen, z. B. auf Grund des Ruhestands, geht mit ihnen ein großer Teil der Wissensbasis des Unternehmens verloren. Dies kann verheerende Folgen für die Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit haben. Deshalb ist es wichtig, dass gerade spezialisiertes Wissen von Experten in einer gewissen Form dokumentiert wird und im Unternehmen verbleibt, auch wenn der entsprechende Mitarbeiter nicht mehr verfügbar ist, sprich, dass der Wissenstransfer effektiv gestaltet wird

2.1 Wissenstransfer

Wissenstransfer heißt nicht nur schriftliche Dokumentation. Die Dokumentation von explizitem und leicht explizierbarem Wissen deckt nicht das gesamte Fachwissen eines Experten ab. Der Transfer des wichtigen Handlungswissens, das Teil des impliziten Wissens ist, erfordert zusätzliche Maßnahmen. Gerade in kleinen und mittelständischen technischen Unternehmen, die mit langlebigen Maschinen arbeiten und eine begrenzte Anzahl an Mitarbeitern zur Verfügung haben, herrscht eine große Abhängigkeit vom impliziten Erfahrungs- und Handlungswissen der Mitarbeiter [3].

Voraussetzung für den Erfolg eines Wissenstransfers ist, dass der Wissenssender gewillt ist, sein Wissen weiterzugeben, und über die Fähigkeiten verfügt, sein Wissen in einer Form zu explizieren, die für den Empfänger des Wissens verständlich ist. Dafür können technische Instrumente oder Vermittlungsmethoden zu Hilfe genommen werden. Dies sind oft Möglichkeiten der Kommunikation und Interaktion, einschließlich informeller Kommunikation, oder auch Imitation und Beobachtung sowie „Learning-by-Doing“ [4]. Der Wissensempfänger muss in der Lage sein, die neuen Informationen in sein bisheriges Vorwissen zu integrieren und Verknüpfungen herzustellen. Es kommt dann zum Lernprozess, wenn der Empfänger sein neu erworbene Wissen benutzt und zur Lösung von Problemstellungen einsetzt [5].

Nur wer sein Wissen und seine Fähigkeiten weiterentwickelt und mit dem Wissen anderer verbindet, kann innovationsfähig sein und mit den fortschreitenden Entwicklungen Schritt halten. Während sich große Konzerne aufwendiger technischer Lösungen bedienen, um den Wissenstransfer im Unternehmen zu fördern, können KMU das oft finanziell und personell nicht umsetzen. Allerdings müssen sie das auch gar nicht, denn KMU verfügen oft über kurze Kommunikationswege und schnellere Reaktionsmöglichkeiten. Dadurch kann Wissen viel effektiver informell ausgetauscht werden.

Mit dem demografischen Wandel spielen neben den organisatorischen Voraussetzungen für einen gelungenen Wissenstransfer auch die personellen Voraussetzungen eine entscheidende Rolle, denn mittlerweile sind Mitarbeiter aus fünf Generationen in den Unternehmen tätig. Gerade die älteren Generationen verfügen über viel Erfahrungswissen, das es auf die jüngeren Generationen zu transferieren gilt. Besonders an diesen Stellen entstehen Probleme, da es oft keinen organisierten Wissenstransfer gibt und die Kommunikation zwischen den Generationen auf Grund der unterschiedlichen Einstellungen und Werte sowie auf Grund von Vorurteilen gehemmt ist [6]. Oertel nimmt an, dass der Wissenstransfer oft behindert wird durch generationsabhängige Barrieren wie beispielsweise Altersvorurteile oder durch personelle Barrieren wie z. B. fehlende Wertschätzung für das Wissen von anderen [7].

2.2 Empirische Studie zum Wissenstransfer in fertigungstechnischen Unternehmen vor dem Hintergrund des demografischen Wandels

Ziel dieser Studie war es, das Problem des Wissenstransfers vor dem Hintergrund des demografischen Wandels in technischen kleinen und mittelständischen Unternehmen aus Baden-Württemberg zu untersuchen. Im Rahmen der Studie wurde der Frage nachgegangen, welche formalen und personellen Möglichkeiten für den Wissenstransfer in den Unternehmen gegeben sind und welchen Einfluss diese Gegebenheiten auf den stattfindenden Wissenstransfer haben. Ebenfalls betrachtet wurden die Unterschiede zwischen den Altersgruppen. Darüber hinaus wurde der Frage nachgegangen, ob Altersvorurteile den Wissenstransfer tatsächlich beeinflussen. Hierzu wurde ein Messinstrument entwickelt, mit dem die Erhebung in technischen produzierenden KMU durchgeführt wurde. Die Ergebnisse der Erhebung sollen zudem aufzeigen, an welchen Stellen Entwicklungsbedarf besteht und was die Haupteinflussgrößen sind.

Die Stichprobe setzte sich zusammen aus 70 Mitarbeitenden aus vier fertigungstechnischen kleinen und mittelständischen Unternehmen aus Baden-Württemberg. Die Datenerhebung erfolgte im Zeitraum von April 2014 bis Juni 2014. In Tabelle 1 sind die zu untersuchenden Bereiche dargestellt:

Tab 1: Formale und personelle Gegebenheiten in Bezug auf den Wissenstransfer

Formale Gegebenheiten	Personelle Gegebenheiten
<ul style="list-style-type: none">• Dokumentation, Speicherung, Software etc.• Zugriff, Auffindbarkeit• Orte des Austauschs• Weiterbildungsangebote	<ul style="list-style-type: none">• Einstellungen zu Wissen / zum Wissenstransfer• Selbstbilder bzgl. Wissen• Bereitschaft zur Wissensteilung• Bereitschaft zur Weiterbildung• Altersvorurteile
Unterschiede zwischen den Generationen	
<ul style="list-style-type: none">• jüngere Generation: bis 35 Jahre• mittlere Generation 36–55 Jahre• ältere Generation: über 55 Jahre	

Zunächst werden die Bereiche einzeln analysiert, um daraufhin die Zusammenhänge zu untersuchen.

Die Ergebnisse des Bereichs der formalen Gegebenheiten zeigen, dass es oft an einer kontrollierten und strukturierten Form der Wissensdokumentation mangelt. Elektronische Unterstützungssysteme werden fast gar nicht genutzt. Auffallend ist, dass es in allen Unternehmen kaum virtuelle Möglichkeiten (Chat, Wiki, Forum) zum Austausch von Wissen gibt. Reale Austauschmöglichkeiten, wie z. B. Besprechungsräume, Aufenthaltsräume oder Kaffeeküchen sind dagegen in fast allen Fällen vorhanden.

Im Bereich der personellen Gegebenheiten führen die Ergebnisse zu der Annahme, dass die Befragten ihr eigenes Wissen als wichtig für das Unternehmen betrachten. Auch die Einstellung der Testpersonen zu Wissen und Wissenstransfer ist bei den meisten mittelmäßig bis positiv

ausgeprägt. 91,4 % sind der Meinung, dass sie aus Fehlern lernen können, was eine offene Einstellung gegenüber Fehlern widerspiegelt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Altersvorurteile eher eine geringere Rolle spielen, da die Urteile über die jeweils andere Altersgruppe neutral sind. Dass die meisten Testpersonen sich mit ihren Kollegen nur während der Arbeitszeit austauschen, zeigt, dass die austauschfreundliche Gestaltung des Arbeitsumfeldes ein wichtiger Punkt ist, da man sich nicht darauf verlassen kann, dass der Wissensaustausch automatisch funktioniert und auch nach Feierabend stattfindet. Ältere helfen bei Fragen öfter weiter als Jüngere, was aber in Zusammenhang damit stehen kann, dass ältere Mitarbeiter meist über mehr Erfahrung verfügen. Für die meisten Befragten scheint jedoch die Generationenzugehörigkeit keinen Unterschied zu machen.

2.2.1 Untersuchung der Zusammenhänge

Je mehr Möglichkeiten den Probanden zum Wissenstransfer zur Verfügung stehen, desto mehr nutzen sie diese auch. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass ein Zusammenhang zwischen den formalen Möglichkeiten des Wissenstransfers und dem tatsächlich stattfindenden Wissenstransfer besteht. Es kann angenommen werden, dass es sinnvoll ist, den Mitarbeitern Möglichkeiten zu bieten, die sie speziell für den internen Wissenstransfer nutzen können. Gerade die neuen Kommunikationstechnologien weisen hier sehr vielfältige Möglichkeiten auf, die in vielen Unternehmen nicht genutzt werden. Dennoch sollten sich Unternehmen nicht nur darauf konzentrieren, möglichst viele solcher Gelegenheiten zu schaffen, um den Wissenstransfer zu steigern. Denn dass ein Zusammenhang zwischen formalen Gegebenheiten und dem realen Wissenstransfer angenommen wird, heißt nicht automatisch, dass Unternehmen mit den meisten Möglichkeiten auch den größten Wissenstransfer haben. Vielmehr bedeutet es, dass Unternehmen ihren Mitarbeitern gezielt verschiedene Möglichkeiten zum Austausch bieten sollten anstelle einer einzigen Möglichkeit.

Es kann aus den Ergebnissen interpretiert werden, dass das Alter keinen direkten Einfluss auf den realen Wissenstransfer hat. Allerdings muss beachtet werden, dass es Unterschiede bei den Altersgruppen hinsichtlich der Einstellung zu Wissen und Wissenstransfer gibt. Dennoch ist es kein ganz unwichtiger Faktor, da die Unterschiede zwischen den Kategorien der Einstellung zu Wissen und Wissenstransfer höchst signifikant waren. Eine offene und positive Einstellung zum Wissensaustausch und eine positive Atmosphäre im Unternehmen scheinen für einen erfolgreichen Wissensaustausch zwischen Mitarbeitern aller Generationen eine große Relevanz zu haben.

Abb 1. zeigt die Zusammenhänge zwischen den Bereichen und die Stärke der Zusammenhänge an.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Bereitschaft zur Wissenskommunikation generationsübergreifend vorhanden ist, ebenso die Wertschätzung des Wissens. Was den Mitarbeitenden fehlt, sind geeignete Kommunikations- und Wissensdokumentationstechnologien, die sich im beruflichen Alltag nutzen lassen und eine Integration der Kommunikation sowie der Wissens- und Datenspeicherung in die Kernprozesse des Arbeitsflusses ermöglichen. Die Einführung neuer Kommunikations-, Informations- und Visualisierungstechnologien in die Produktionsabläufe der fertigungstechnischen Betriebe könnte diesem Anspruch gerecht werden.

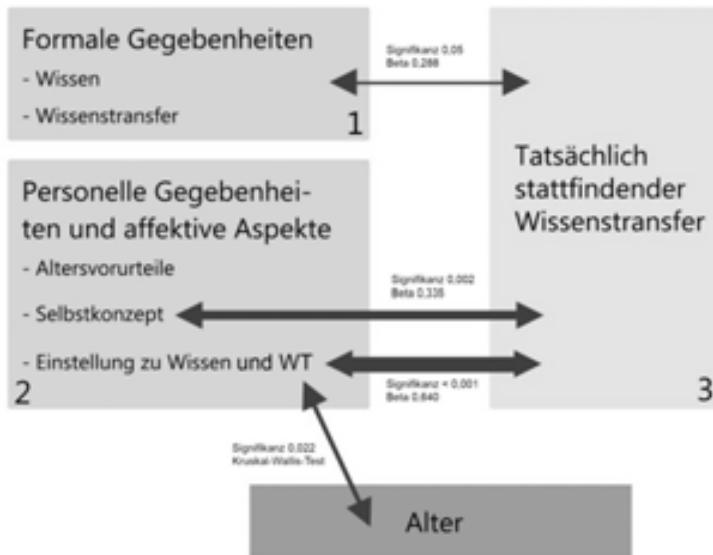


Abb. 1: Zusammenhänge der Variablen

3 Neue Kommunikations-, Informations- und Visualisierungstechnologien (KIV-Technologien) in der fertigungstechnischen Weiterbildung

Smartphones und Tablets haben längst Einzug in das tägliche Leben erhalten. Mobiles Surfen und Kommunizieren in Netzwerken, schnelles Informieren und vernetztes Arbeiten in Clouds sind im Alltagsleben und in vielen Bereichen des Arbeitslebens nicht mehr wegzudenken. Etwas zögerlich werden diese Technologien in der beruflichen Bildung und Weiterbildung eingesetzt. Dabei bietet sich hier eine Reihe von Vorteilen, die sich nicht nur in formalen Weiterbildungsangeboten nutzen, sondern auch im Kontext der informellen Bildungsszenarien besonders gewinnbringend einsetzen lassen.

Der Einsatz dieser Technologien für Bildung und Weiterbildung sowie zum Zwecke der Dokumentation und Weitergabe des Wissens ist

- ort- und zeitunabhängig,
- lässt individuelle Kommunikations- und Wissenstransferwege zu,
- ermöglicht individuelle Lernprozesse unter der Berücksichtigung der individuellen Erfordernisse,
- erlaubt eine inhaltsorientierte Interaktion,
- ermöglicht eine interaktive Kommunikation sowohl zwischen den (thematischen) Inhalten als auch zwischen den Mitarbeitenden,
- ermöglicht die Speicherung und Weitergabe von Erfahrungen.

Dies sind nur einige Vorteile, die der Einsatz neuer KIV-Technologien mit sich bringt. Vor allem bei Smartphones und Tablets kommt hinzu, dass deren Handhabung den meisten Menschen, auch älteren, bereits vertraut ist und ihre Bedienung intuitiv erfolgt. Die große Akzeptanz in der Bevölkerung für diese Kommunikationsmedien lässt die Annahme zu, dass sie sich auch in Bildungskontexte einbinden lassen, zumal sie bereits im Alltag häufig für den informellen Wissenserwerb angewandt werden (Anleitungen, Informationen, Navigation etc.). Was fehlt, sind allerdings geeignete Anwendungen, die sich in fertigungstechnischen Bildungskontexten

einsetzen lassen. Deshalb werden im Rahmen der „Lernfabrik 4.X“ an der Hochschule Karlsruhe – in Kooperation mit der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe und dem Karlsruher Institut für Technologie und in Zusammenarbeit mit verschiedenen Unternehmen – solche Anwendungen entwickelt und empirisch erprobt. Die Anwendungen könnten sowohl für die Weiterbildung eingesetzt werden als auch der Unterstützung der Mitarbeitenden in weniger routinierteren oder komplexen Arbeiten dienen (s. Beitrag in diesem Sammelband: Junghans, A., Wodrich, K., Jerentin-Kopf, M., Haas, R.: „Unterstützung von Wartungsarbeiten durch verteilte AR-Assistenzsysteme“).

Was neue KIV-Technologien für die fertigungstechnischen Bildungsszenarien so interessant macht, ist ihre Flexibilität in der Anwendung und die Möglichkeit, sie zu koppeln, so dass sie als Assistenzsysteme fungieren können, die ganz unterschiedliche Informationsaustauschkanäle nutzbar machen: Tragbare Brillen, Smartwatches, Smartphones und Tablets lassen sich so miteinander verknüpfen, dass sie dem Anwender während eines Arbeits- und/oder Lernprozesses die erforderliche Information bereitstellen – als Text oder Grafik auf dem Bildschirm oder als Information, die als virtuelle Ergänzung in die reale Welt eingeblendet wird. Solche computerunterstützten realitätserweiternden Anwendungen, sogenannte Augmented-Reality-Anwendungen (AR), werden meist für die visuelle Sinneswahrnehmung entwickelt und eingesetzt. Keine dieser einzelnen Technologien ist gänzlich neu – und ihre Anwendung wurde bereits in vielen Bereichen erprobt, z. B. im Verkehr (Navigation), in der Industrie (Montagearbeiten) oder in der Unterhaltung (Computerspiele). Noch wissen wir aber wenig darüber, wie sich die KIV-Technologien mit ihren Anwendungen, die die Realität erweitern oder, wie im Falle der Virtual Reality (VR), sogar gänzlich ersetzen, in fertigungstechnischen Bildungsszenarien erfolgreich einsetzen lassen. Hier ist ein akuter Forschungsbedarf vorhanden, sowohl im Hinblick auf die Entwicklung einer Didaktik für informelle Lernsettings innerhalb der regulären Arbeitsabläufe als auch im Hinblick auf die affektiven und persönlichen Voraussetzungen der Lernenden. Die Erforschung beider Bereiche, des didaktischen und des lernpsychologischen, muss Hand in Hand gehen und sich gegenseitig die Erkenntnisse liefern. Die KIV-Technologien bieten wie keine anderen Medien zuvor die Möglichkeit, den spezifischen individuellen Anforderungen und Voraussetzungen der Anwender Rechnung zu tragen. Deshalb ist es aber auch zwingend erforderlich, dass die für diese Technologien entwickelten Anwendungen auf empirisch erprobten und fachwissenschaftlich fundierten Erkenntnissen beruhen. Die „Lernfabrik 4.X“ hat sich einiger dieser Forschungsdesiderate angenommen. Die Forschungsvorhaben im Rahmen der „Lernfabrik 4.X“ konzentrieren sich dabei auf folgende Schwerpunkte der KIV-Technologieanwendung:

- Gestaltung der Kontexte, in welche die Lerninhalte eingebettet sind
- Weitergabe von Erfahrungen
- Informationsbedarf, -verfügbarkeit und -vernetzung
- Problemlöseverhalten und Problemlösestrategien

Diese Schwerpunkte werden erforscht im Hinblick auf

- (1) lernpsychologische Aspekte von Alter und Geschlecht sowie die individuellen Voraussetzungen hinsichtlich der Vorkenntnisse und Vorerfahrungen,
- (2) Aspekte der Mensch-Technik-Interaktion (Usability, Interaktivität, Akzeptanz, Nutzverhalten).

Im Rahmen einer noch nicht abgeschlossenen Pilotstudie zur „Situation der Weiterbildung in fertigungstechnischen kleinen und mittelständischen Unternehmen“ wurden einige der oben genannten Schwerpunkte aufgegriffen. Im Folgenden werden die Methodik dieser Feldstudie und einige vorläufige Ergebnisse vorgestellt.

4 Feldstudie „Zur Situation der Weiterbildung in fertigungstechnischen kleinen und mittelständischen Unternehmen“

Diese Feldstudie wird durchgeführt, um die Weiterbildungssituation und den Weiterbildungsbefragt aus Sicht der Betroffenen zu erfahren. Da geeignete Messinstrumente fehlen, wurden zunächst in einem mehrstufigen Verfahren Fragen für Interviews entwickelt. Dazu sollen drei Hierarchiestufen befragt werden: die Geschäftsführung, die Fachkräfte mit Führungsfunktion und die Fachkräfte in der Produktion. Die Befragung soll mehrstufig erfolgen:

Für die erste Stufe der Befragung, die sich an die Geschäftsführung richtete, wurde ein Leitfadeninterview ausgearbeitet. Auf der Grundlage der Aussagen des Leitfadeninterviews der ersten Stufe wurde ein zweites Leitfadeninterview für die zweite Stufe der Befragung erstellt, die sich an die Fachkräfte mit Führungsfunktion richtete. In der zweiten Stufe wurde das Leitfadeninterview um einen schriftlichen Fragebogen ergänzt. Anhand der Aussagen der zweiten Stufe wurde ein schriftlicher Fragebogen erstellt, der sich an die Fachkräfte aus der Produktion richtet.

Die Befragungen werden in verschiedenen fertigungstechnischen Unternehmen in Baden-Württemberg in dem Zeitraum von Juni 2014 bis August 2015 durchgeführt.

Für den Einstieg in das Leitfadeninterview der „Lernfabrik 4.X“ wurden für die Befragung zur Situation im Unternehmen systemisch-lösungsorientierte Fragen entwickelt. Sie wurden so gestaltet, dass sie gezielt den Fokus auf Ziele und Zukunftsperspektiven richten und jene Informationen offenlegen, die für konstruktive Lösungsansätze im Unternehmen entscheidend sind. Dies erfolgte in Anlehnung an Coachingkonzepte aus der systemischen Beratung, die eine Resourcenorientierung als Teil des strategischen Managements begreifen. „Lösungsorientierte Fragen erarbeiten eine maßgeschneiderte Lösung, eine Verknüpfung zwischen dem Weg und der Erreichung des Ziels“ [8]. So entstanden Antworten, die zukünftig eine Grundlage für die Gestaltung eines wirksamen und transfergesicherten Weiterqualifizierungskonzepts bilden können. Geschäftsführer und Angestellte mussten sich durch diese Art der Befragung nicht direkt zu Problemen im Unternehmen äußern. Diese Vorgehensweise wurde deshalb gewählt, weil die Befragten Problembeschreibungen nach außen meist mit einem persönlichen Risiko in Verbindung bringen, dem sich erwartungsgemäß weder Mitarbeiter noch Geschäftsleitung aussetzen wollen. Bei einer direkten Problembefragung bestünde die Wahrscheinlichkeit, dass die Situation im Unternehmen beschönigt wiedergegeben wird und dabei wichtige Informationen verloren gehen.

Prinzipiell bieten offene und lösungsorientierte Fragen zu Beginn des Interviews mehr Raum für den persönlichen Austausch und tragen auch zum Beziehungsaufbau zwischen Fragendem und Interviewpartner bei. „Offene Fragen verlangen eine beschreibende Antwort und fördern dadurch das Bewusstsein“ [9]. Auch Radatz hält offene und lösungsorientierte Fragen für bedeutsam, um eine größere Anzahl an Antworten, Erklärungsmustern und Bewertungen zu ermöglichen. Die Verwendung im Leitfadeninterview hat sich gerade für die Bündelung wesent-

licher Informationen als besonders günstig herausgestellt. So besteht die Möglichkeit, die individuelle Situation jedes Einzelnen und die des Unternehmens besser zu begreifen und bei der Auswertung mit zu berücksichtigen.

Allgemein ist ein systemisch-lösungsorientierter Ansatz hilfreich, um dem Befragten die Reflexion seiner Position, seiner Handlungsweisen, der bestehenden Abhängigkeiten und Aufgaben im Unternehmen zu erleichtern und zu strukturieren. Mit Hilfe der lösungsorientierten Interviewfragen wird der Befragte gleich zu Zielvorstellungen und Lösungen geführt. Es werden die internen Zusammenhänge geklärt, die für ein systemisch reflektiertes Weiterbildungskonzept entscheidend sind. Da die Fragen bewirken, dass Personen sehr schnell und strukturiert auf Kernthemen im Unternehmen zu sprechen kommen, kommt das Konzept darüber hinaus der äußerst knappen Ressource „Zeit“ entgegen.

Mit zirkulären Fragen wurde das Ziel verfolgt, alle Systemebenen im Interview einzubeziehen. „Systemisch Denken heißt zirkulär denken – alles hat wechselseitig Einfluss aufeinander. Es gibt daher keine eindeutigen Ursachen, sondern nur Beteiligungen von unterschiedlicher Art und Ausmaß“ [8]. Lösungsansätze in Organisationen sind nur dann wirkungsvoll, wenn das gesamte System berücksichtigt wird. Gerade das Zusammenspiel der unterschiedlichsten Ebenen kann für erfolgreiche Kommunikationsprozesse und eine erfolgreiche Unternehmensgestaltung entscheidend sein. Die mit den Fragen angestrebte Unterschiedsbildung durch Außenperspektive und Perspektivenwechsel gibt Hinweise für konstruktive Ansätze. Auch bei den Fragen, die sich im zweiten Teil auf das Fortbildungsangebot beziehen, wurden die personalen und systemischen Zusammenhänge geklärt und mit berücksichtigt.

Die vorläufige Auswertung der Interviews zeigt, dass betriebsinterne Fortbildungsangebote und „Learning by Doing“ die häufigste Form der Fortbildung sind und von den Teilnehmern auch als besonders gewinnbringend angesehen werden. Danach gefragt, was dazu führen würde, die Prozessabläufe in der Fertigung zu optimieren, gab die Mehrzahl der Befragten eine verbesserte Kommunikation an. Als Grund für eine unzureichende Kommunikation wurden vor allem die hohe Arbeitsbelastung und die Vielfalt der Aufgaben genannt. So ist die Mehrheit der Führungskräfte mit der Einweisung der Mitarbeitenden betraut, die noch nicht über die erforderliche Erfahrung und Kenntnisse verfügen, und gleichzeitig mit vielfältigen anderen Aufgaben, die oft zeitgleich zu erledigen sind.

Fortbildungsbedarf wurde über alle Hierarchiestufen hinweg im Hinblick auf soziale und pädagogisch-didaktische Kompetenzen geäußert. Interessant ist der Umstand, dass bisher keiner der Befragten die Nutzung neuer Kommunikations-, Informations- und Visualisierungstechnologien erwähnte, die zu einer Entlastung der Arbeits-, Lern- und Dokumentationsvorgänge führen könnten. Dass diese Möglichkeit von den Betroffenen bisher nicht in Erwägung gezogen wurde, zeigt, dass der Einsatz neuer Technologien zum Zweck des Wissensmanagements in den Unternehmen noch nicht hinreichend bekannt ist.

5 Fortbildung betriebsinterner Fortbildner

Mehrfach wurde bereits im vorliegenden Artikel auf den Umstand hingewiesen, dass die Vermittlung von Erfahrungswissen in informellen Settings erfolgt, die Akteure aber häufig nicht über die erforderlichen pädagogisch-didaktischen Kompetenzen verfügen. Hinzu kommt der Umstand, dass die vielfältigen Aufgaben des Fachpersonals und der Führungskräfte häufig nicht voneinander getrennt werden können. Darüber hinaus wird das Potential, das die neuen

Kommunikations-, Informations- und Visualisierungstechnologien bieten, nicht erkannt, und es fehlen die Kenntnisse darüber, wie die KIV-Technologien gewinnbringend in den Arbeitsalltag und die Arbeitsabläufe integriert werden könnten. Es besteht ein akuter Bedarf an Bildungsmaßnahmen, durch die sich die Mitarbeitenden der KMU Kompetenzen aneignen könnten, die sie dazu befähigen, bspw. die Prozesse des Erfahrungsaustausches, das Lernen in informellen Lernsettings und die Wissensgenerierung in den Arbeitsabläufen erfolgreich zu gestalten. Dazu bedarf es Weiterbildungsmaßnahmen, die es den Adressaten ermöglichen, vor Ort im Unternehmen ihr Wissen anzuwenden und die Wissenstransferprozesse aktiv zu steuern. Im Rahmen der „Lernfabrik 4.X“ werden gemeinsam mit der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe Zertifikatsstudiengänge geplant, die diesem Anspruch gerecht werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Verstärkt durch die Auswirkungen des demografischen Wandels erfordert die rasante Entwicklung neuer Technologien neue Fort- und Weiterbildungskonzepte, welche die Mitarbeitenden befähigen, auch in informellen Lernsettings sowohl technologisches Wissen als auch Erfahrungswissen zu erwerben oder weiterzugeben. Allerdings stehen den Mitarbeitenden in fertigungstechnischen Unternehmen dafür kaum neue Kommunikations-, Informations- und Visualisierungstechnologien zur Verfügung – und dies obwohl die Bereitschaft, neues Wissen zu erwerben und erworbene Wissen zu teilen, generationenübergreifend vorhanden ist. Zudem zeigen die bisherigen Forschungsergebnisse, dass die Mitarbeitenden in der Fertigung die Verbesserung der Kommunikation als ausschlaggebend für die Optimierung der Produktionsprozesse ansehen. Angesichts dieser Umstände ist die Frage zu klären, inwiefern sich neue Assistenzsysteme, die auf der Basis neuer Kommunikations-, Informations- und Visualisierungstechnologien entwickelt werden, in die Arbeitsprozesse im beruflichen Alltag integrieren lassen, um den Mitarbeitenden den Wissenstransfer in informellen Lernsettings zu ermöglichen. Assistenzsysteme allein garantieren jedoch noch nicht den Erfolg der Lernprozesse. Die Unternehmen sind auf Mitarbeitende angewiesen, die pädagogisch-didaktische Kompetenzen besitzen, um die Lernsituationen alters- und zielgruppengerecht zu gestalten.

7 Literatur

- [1] Weiterbildung 2013, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2013.
- [2] Schüppel, J.: Wissensmanagement. Organisatorisches Lernen im Spannungsfeld von Wissens- und Lernbarrieren. Zugl.: St. Gallen, Univ., Diss., 1996. Wiesbaden: Gabler [u. a.] 1996.
- [3] Erlach, C.; Orians, W. und Reisach, U.: Wissenstransfer bei Fach- und Führungskräftewechsel. Erfahrungswissen erfassen und weitergeben. München: Hanser 2013.
- [4] Warth, C. P.: Wissenstransferprozesse in der Automobilindustrie. Entwicklung eines ganzheitlichen Modells auf der Grundlage einer Praxisfallstudie. SpringerLink: Bücher. Wiesbaden: Gabler 2012.
- [5] Ahlert, M.; Blaich, G. und Spelsiek, J.: Vernetztes Wissen. Organisationale, motivationale, kognitive und technologische Aspekte des Wissensmanagements in Unternehmensnetzwerken. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. 2006.

- [6] Bruch, H.; Kunze, F. und Böhm, S.: Generationen erfolgreich führen. Konzepte und Praxiserfahrungen zum Management des demographischen Wandels. Wiesbaden: Gabler 2009.
- [7] Oertel, J.: Generationenmanagement in Unternehmen. s. l: Gabler 2008.
- [8] Radatz, S.: Beratung ohne Ratschlag. Systemisches Coaching für Führungskräfte und BeraterInnen. Wien 2008.
- [9] Whitmore, J.: Coaching für die Praxis. Wesentliches für jede Führungskraft. Staufen 2006.

Programmieren von produktionstechnischen Unterstützungssystemen durch Vormachen

D. Akoulov, R. Weidner, J. P. Wulfsberg

Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

akoulov.dimitri@gmail.com, Robert.Weidner@hsu-hh.de, Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Der Fachkräftemangel und der demographische Wandel stellen besondere Anforderungen an den langfristigen Erhalt von qualifizierten Mitarbeitern in produzierenden Unternehmen. Dabei kann und soll der Mensch in vielen Bereichen nicht durch eine Maschine ersetzt werden. Einen positiven Beitrag können technische Systeme liefern, die Mitarbeitern in manuellen Produktionsprozessen unterstützen und sowohl dazu beitragen können, ihre Leistungsfähigkeit als auch ihre körperliche und geistige Verfassung effektiv zu verbessern und aufrecht zu erhalten. Um die Bedienung für ältere Menschen und Fachkräfte ohne Programmierkenntnisse zu ermöglichen, bedarf es jedoch einer Möglichkeit für eine intuitive und anwenderfreundliche Programmierung des Systems. Der vorgestellte Ansatz bietet diese Möglichkeit in Form einer modularen Erweiterung des Unterstützungssystems durch Methoden des Programmierens durch Vormachen.

Abstract

Programming by Demonstration of Assistance Systems in Manufacturing

The labor shortage and the demographic changes present a specific challenge for a long-term preservation of qualified staff in producing companies. At the same time the human employee should not and can not be replaced by an automated system in various fields. An assistance system can contribute to the support of employees in manual producing processes, and furthermore it can effectively maintain and increase their physical and mental performance. To allow the operating for older people and employees without experience in robot programming, it is strongly required to develop a possibility of an intuitive and end-user friendly programming. Current approach presents this possibility in the form of a modular upgrade of the support system with programming by demonstration techniques.

1 Einleitung

Um die Wettbewerbsfähigkeit zu Zeiten der fortschreitenden Globalisierung zu sichern, ist es notwendig die Produktionskosten zu senken. Die Problematik liegt im Trend zur kundenorientierten Produktgestaltung und damit in der Herausforderung, die Produktionslinien für den Einsatz unterschiedlicher Varianten unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu gestalten und deshalb flexibel auszulegen. Eine Automatisierungslösung ist oftmals nicht möglich und stellt darüber hinaus auch bei (einfachen) Aufgaben mit einem hohen Wiederholcharakter keine wirtschaftliche Lösung dar.

Aufgrund seiner Flexibilität und seiner guten sensomotorischen Fertigkeiten und kognitiven Fähigkeiten ist der Mensch besonders für Aufgaben mit einer hohen Individualisierung und Komplexität besser geeignet als Maschinen. Die Produktqualität ist jedoch stark von seinen Fähigkeiten, Fertigkeiten und der körperlichen Verfassung abhängig [1]. Die Bevölkerungsalterung leistet in einigen Bereichen und Regionen einen bedeutenden Beitrag zum Fachkräfte-mangel [2]. Die Betriebe nehmen den Verlust des Wissens- und Erfahrungsschatzes älterer Arbeitnehmer häufig in Kauf und wenden sich jüngeren Arbeitskräften zu, da ein höheres Mitarbeiteralter allgemein mit einer Absenkung ihrer Leistungsfähigkeit in Verbindung gebracht wird [2]. Um die menschliche Leistungsfähigkeit auch im höheren Alter aufrechtzuerhalten und altersbedingte Funktionseinbußen hinauszuzögern ist es deshalb zwingend erforderlich, den Mitarbeiter in anspruchsvollen Produktionsprozessen technisch zu unterstützen. Außerdem muss die Entstehung von Produktionsfehlern und die Qualitätsstreuung in manuellen Arbeitsschritten gesenkt werden um ein hohes Maß an Produktqualität erreichen zu können.

Ein neuer Ansatz zur gezielten Unterstützung von Menschen stellt das Konzept des Human Hybrid Robot (HHR) dar, bei dem technische Elemente mit den biomechanischen Elementen des Menschen gezielt parallel und/oder seriell gekoppelt werden [1]. Systeme nach diesem Konzept ermöglichen eine angepasste und flexible Unterstützung von Mitarbeitern bei unterschiedlichen Arbeitsaufgaben. Als eine wichtige Voraussetzung hierfür steht jedoch die sichere, zuverlässige und aufeinander abgestimmte Zusammenarbeit der Technik und des Menschen in einem gemeinsamen Arbeitsraum. Dafür ist ein intuitiver und einfacher Ansatz für die Programmierung und Steuerung des technischen Teilsystems durch den Bediener unentbehrlich.

2 Konzept des Human Hybrid Robot

2.1 Ansatz und Abgrenzung des Konzepts

In der Vergangenheit wurde eine Reihe von Systemtechnik entwickelt, die den Menschen bei der Ausführung von Aufgaben unterstützen kann. Dieses geschieht zum Teil auch durch die Abnahme von Aufgaben. Zu diesen Systemen bzw. Konzepten gehören bspw. Hebehilfen, Teleoperatoren, Exoskelette, Robotersysteme und Ansätze wie die Mensch-Roboter-Kollaboration. Das Konzept, welches die Grundlage für diesen Beitrag darstellt, ist ein Konzept für passive und aktive Unterstützungssysteme, das als Konzept des Human Hybrid Robot (HHR) bezeichnet wird. Dieser Ansatz ist durch eine personen- und aufgabenabhängige, parallele und/oder serielle Kopplung vom Menschen, technischen Systemen, Werkzeugen und weiteren Funktionalitäten charakterisiert. Auf diese Weise soll es möglich sein, die systemspezifischen Vorteile gleichzeitig nutzen zu können. Durch einen modularen Systemaufbau können Systeme, die auf diesem Konzept basieren, an verschiedene Aufgabenstellungen und Körpertypen der menschlichen Bediener angepasst werden. [1, 2]

Im Gegensatz zur Mensch-Maschine-Kooperation werden bei dem Konzept des Human Hybrid Robot der Mensch und die technischen Elemente nicht wie zwei separate Systeme behandelt, sondern weisen eine Einheit auf. Die Hoheit des Systems besitzt stets der Mensch, der die Soll-werte aller technischen Elemente vorgibt. Der Systembediener stellt deswegen einen festen Be-standteil der Regelungsstruktur da, wo er ein steuerndes, regelndes und überwachendes Element darstellt. Seine sensorischen Fertigkeiten und motorischen Fähigkeiten führen dazu, dass ent-sprechende Systeme im Gegensatz zu einem Roboter oder Automaten ein situationsgerechtes

Systemverhalten besitzt, da dadurch Änderungen der Prozess- und Umgebungsgrößen wahrgenommen und verarbeitet werden können [1]. Im Vergleich zu einem ähnlich aufgebauten Exoskelett ist das Unterstützungsprinzip des HHR-Ansatzes nicht nur auf die Kraftsteigerung oder Bewegungsunterstützung konzentriert, sondern kann auch der Genauigkeitssteigerung, Qualitätssicherung und Ergonomieverbesserung bei der Ausführung einer Aufgabe dienen. Zusätzlich ist die Integration von Werkzeugen in Standard-Exoskelette definitionsbedingt nicht vorgesehen. Durch den modularen Aufbau ist eine Anpassung entsprechender Systeme an verschiedene Benutzer, Aufgaben und Anwendungsbereiche möglich. Zusammenfassend können sich durch derartige Systeme folgende Vorteile ergeben:

- Steigerung der Kraft, Ausdauer, Genauigkeit,
- Verbesserung der Ergonomie,
- gezielte Unterstützung des Mitarbeiters (ohne Substitution) durch Möglichkeit der Adaption sowie
- situationsgerechtes Systemverhalten durch Sollwertvorgeber Mensch.

2.2 Intuitive Bahnprogrammierung entsprechender Systeme

Industrielle Anwendung eines Unterstützungssystems setzt nicht nur die Bahnprogrammierung voraus, sondern erfordert auch die Modellierung von prozessspezifischen Arbeitsräumen und Zwangsbedingungen für die Bewegung der hybriden Kinematik. Diese Zwangsbedingungen sollen nicht nur den zulässigen Arbeitsraum des Systems nach außen abgrenzen, sondern auch die Bewegung orts- und zeitabhängig überwachen und einschränken. Einerseits ist die Einschränkung der Bewegung aus Sicherheitsgründen erforderlich um den Menschen und die Maschine vor äußeren Gefahrenquellen zu schützen. Andererseits hat sie den Zweck, Fehler zu vermeiden, die durch falsche Handlungsabläufe entstehen können. Die Unterstützungssysteme sollen durch den Menschen, die unter Umständen keine Fachkenntnisse in der Roboterprogrammierung besitzen, bedient werden. Um die Einlernphase zu verkürzen, die Motivation der Bediener zu steigern sowie die Zeit und Kosten für die Neuprogrammierung bei Prozesswechsel zu senken, sollte die Programmierung der Unterstützungssysteme möglichst einfach, intuitiv und anwenderfreundlich erfolgen.

Die Programmierung der Bewegungstrajektorien und der erwähnten Prozess-Zwangsbedingungen kann sowohl online, wie auch offline durchgeführt werden. Die Offline-Programmierung bietet den Vorteil, dass das technische System während des Programmiervorgangs weiterhin verwendet werden kann. Jedoch muss hierfür ein hybrides Modell, welches den Menschen und die technischen Elemente berücksichtigt, erzeugt werden.

Das Programmieren durch Vormachen erfolgt dagegen online und durch direktes Führen des technischen Systems. Es hat den entscheidenden Vorteil, dass die Programmierung der Bahn schnell und intuitiv durchgeführt werden kann. Die zusätzlichen Ansätze des maschinellen Lernens erlauben es außerdem, Wissen aus menschlichen Programmervorgängen zu extrahieren um elementare Operationen, Fertigkeiten, Fähigkeiten und prozessspezifische Zwangsbedingungen zu erlernen und anschließend wiederzuverwenden [3]. Das Programmieren durch Vormachen (PdV) bildet dabei einen leistungsfähigen Ansatz, um die Online-Programmierung technischer Unterstützungssysteme durch eine menschliche Demonstration von Bewegungsfolge durchzuführen.

3 Programmieren eines Unterstützungssystems durch Vormachen

3.1 Integration der PdV-Funktionalität in Module für Unterstützungssysteme

Der Mensch stellt wichtigste kognitive Funktionen innerhalb der Unterstützungssysteme nach dem Konzept des HHR bereit. Die Architektur entsprechender Systeme besteht sowohl aus technischen als auch aus biologischen Elementen. Die Sollwertvorgabe erfolgt durch den Menschen, wobei die Ansteuerung technischer Elemente indirekt über eine separate Steuereinheit erfolgt [4]. Die Funktionalität des maschinellen Lernens stellt ein Software-Modul für Unterstützungssysteme dar, das nachfolgend als PdV-Modul bezeichnet wird. Die Integration dieses Moduls in die HHR-Steuerungsarchitektur ist in Abb. 1 dargestellt. Sie erfolgt an der Stelle der Signalrückführung von den Sensoren technischer Module zu ihrer Steuereinheit.

Durch das PdV-Modul können online Informationen über die Zustände von Sensoren, Werkzeugen und technischen Kinematikelementen aufgezeichnet und verarbeitet werden, um in der anschließenden Prozessphase zusammen mit den menschlichen Sollwertvorgaben verarbeitet zu werden. Hierzu können bspw. symbolische Fertigkeiten und Fähigkeiten aus der industriellen Praxis oder Trajektorien der Manipulatorbewegung erlernt und anschließend zur Steuerung und Regelung der Kinematikelemente verwendet werden. Das PdV-Modul übernimmt demzufolge zwei Teifunktionen. Eine Funktion ist unmittelbar für die mathematische Datenverarbeitung des maschinellen Lernens verantwortlich, während die zweite Funktion das gewonnene Wissen innerhalb des Regelkreises technischer Module zur Korrektur der menschlichen Sollwertvorgabe einsetzt.

Manuelle Fertigkeiten und Fähigkeiten im Produktionsprozess können mit dem Programmieren durch Vormachen sowohl trajektoriell [5], als auch symbolisch [6] erlernt werden. Der symbolische Ansatz impliziert die Zusammenstellung von vordefinierten Bewegungsmustern, während der trajektorielle Ansatz eine Verallgemeinerung der Bewegung durchführt. Symbolische Ansätze sind besonders vorteilhaft bei Darstellung hochkomplexer Aufgaben, die aus mehreren charakteristischen Teiloperationen oder Bewegungsmustern bestehen. Der trajektorielle Ansatz ist dagegen bei allgemeinen Bewegungen niedriger Komplexität zweckmäßig, da er keine Vordefinition von Bewegungsmustern erfordert. Er wird für einfache Operationen als besser geeignet angesehen [3] und wird deshalb für das maschinelle Lernen des PdV-Moduls für Unterstützungssysteme ausgewählt.

In der Praxis kann die trajektorielle Darstellung auf verschiedene Weisen erfolgen. Gut bewährt sind dynamische Systeme zur Darstellung von Fertigkeiten, Fähigkeiten und statistischen Methoden. Dynamische Systeme wie Dynamic Movement Primitives [7] und Locally Weighted Regression [8] liefern leistungsvolle Werkzeuge für die Modellierung von Bewegungen aus wenigen menschlichen Bewegungsabläufen, Flexibilität durch Parameteranpassung und eine hohe Stabilität gegen äußere Störungen [9]. Die Implementierung setzt jedoch eine tiefgehende Veränderung des Reglers der Kinematikelemente und das zusätzliche Erlernen von Modellparametern voraus. Zur Erzeugung von einfachen Bahnen und Prozess-Zwangbedingungen mit minimaler Veränderung des Reglers der Kinematikelemente ist es deshalb zweckmäßiger, statistische Ansätze wie Gaußsche Mischmodelle (GMM) in Verbindung mit Gaußscher Mischregression (GMR) [10] zu verwenden. Ein derartiger Ansatz ist in der Abb. 2 dargestellt.

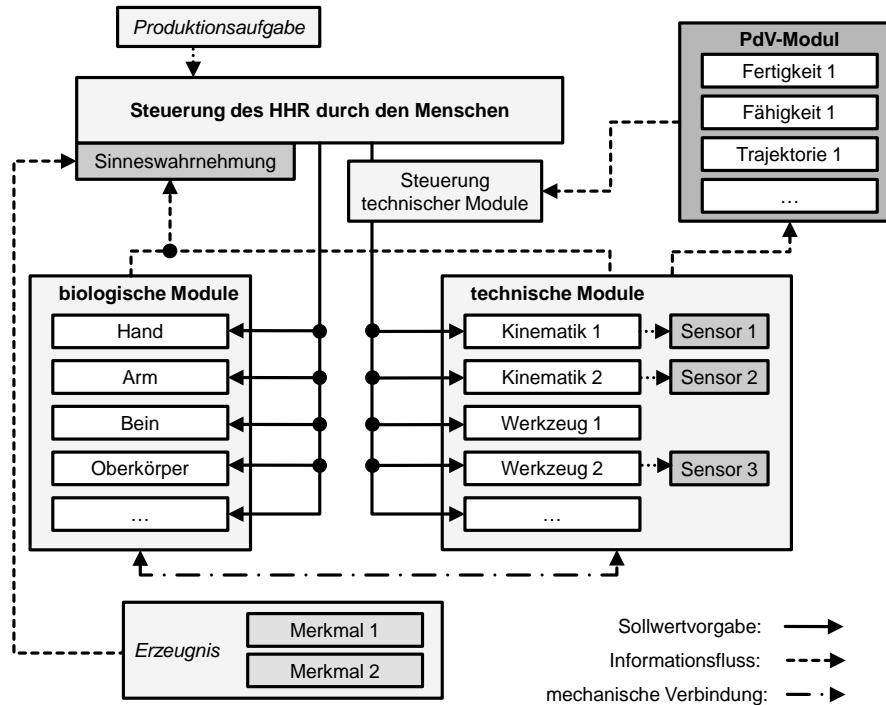


Abb. 1: Eingliederung des PdV-Moduls in die HHR-Steuerungsarchitektur, in Erweiterung zu [4]

GMM bietet die Möglichkeit, die Varianz zwischen mehreren menschlichen beispielhaften Ausführungen einer Operation durch multivariate Gaußverteilungen zu modellieren. Die anschließende Regression dient der Erzeugung einer glatten Bewegungsbahn und einer diskreten Anzahl an lokalen Zwangsbedingungen in Form von Kovarianzmatrizen, die sich zu einem Arbeitsraum-Korridor zusammensetzen lassen. Somit werden die Bereiche zulässiger Bewegung der Kinematikelemente gegen den restlichen möglichen Arbeitsraum des Roboters abgegrenzt.

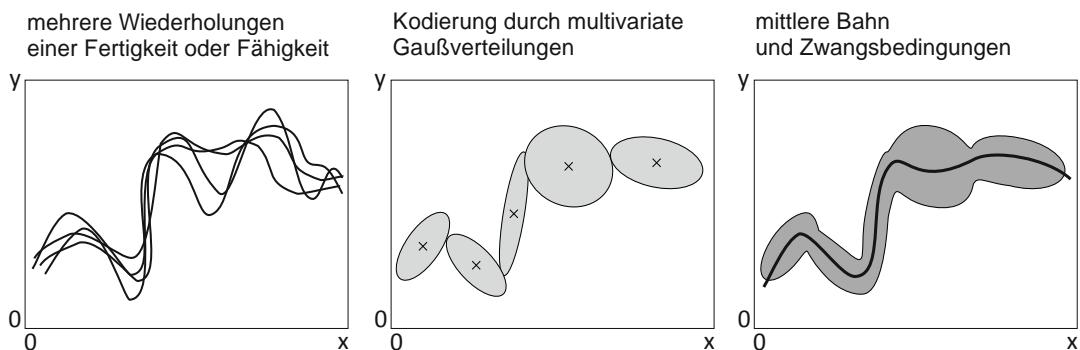


Abb. 2: Ablauf der statistischen Modellierung der Roboterbewegung und der Prozess-Zwangsbedingungen mit GMM und GMR aus vier menschlichen Ausführungen einer Operation, nach [10]

3.2 Ansatz zur Steuerung technischer Kinematikelemente

Nach der statistischen Modellierung der Bahn und der Zwangsbedingungen für die entsprechende Bewegung der Kinematikelemente kann das gelernte Wissen im Regelkreis des Unterstützungssystems umgesetzt werden. Im Gegensatz zur konventionellen Ausführung eines abgespeicherten Programms sind die Positionsdaten für die Regelung im Vorfeld nicht bekannt

und werden in Echtzeit durch den Menschen erzeugt. Die Sollwertvorgabe für die technischen Elemente kann bspw. durch die Erfassung der Kräfte und Momente auf den TCP oder eine andere Stelle der technischen Kinematik erfolgen.

Durch Steuerungsalgorithmen werden daraufhin die Kräfte und Momente durch eine Bewegung des Manipulators minimiert. Diese Regelungsart wird als Kraftführung bezeichnet [11]. In dem verfolgten Ansatz wird die menschliche Sollwertvorgabe online mit dem zuvor gewonnenen Wissen über die Prozessanforderungen (die Sollbahn und die zugehörigen Zwangsbedingungen) herangezogen, um die Bewegung der technischen Kinematik-Elemente zu überwachen und prozessorientiert zu beeinflussen. Durch dieses Vorgehen soll die Bewegung des Manipulators korrigiert werden, um mögliche fehlerhafte Bewegungsabläufe des Menschen im Produktionsprozess zu minimieren (Kraftkorridor).

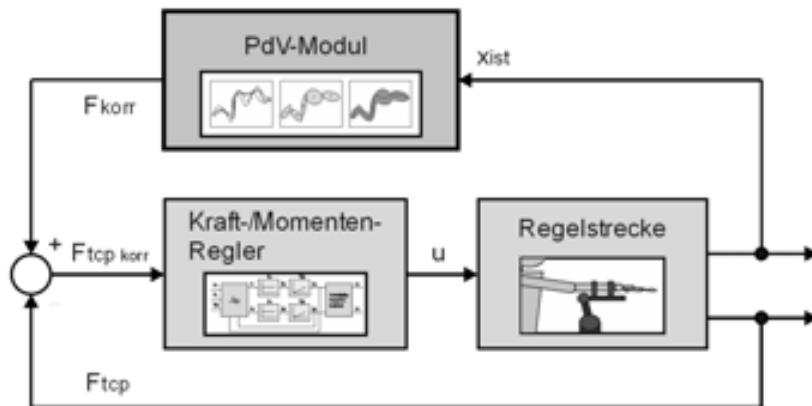


Abb. 3: Kraftregelkreis eines technischen Elements des Unterstützungssystems mit integrierter PdV-Regelkreiskomponente

Die Integration der PdV-Funktionalität in den Regelkreis ist in der Abb. 3 dargestellt. Bei Verwendung der Kraftführung des Manipulators ist die Sollwertvorgabe ein Kraft- und Momentenvektor. Die ausgeübten Kräfte entsprechen einer gewünschten Positionsänderung des TCP, während die Momente einen Orientierungswechsel initiieren sollen. Bei einem unterbestimmten Roboter mit drei Freiheitsgraden, dessen Kinematik durch eine frei bewegliche menschliche Hand vervollständigt wird, ist es zweckmäßig, die Position des Manipulators durch einen Kraftvektor F_{tcp} auf den Tool Center Point zu steuern. Auf diese menschliche Sollwertvorgabe wird eine zusätzliche Korrekturgröße F_{korr} aufaddiert, welche die Kraft-Sollwerte entsprechend den gelernten Parametern und der momentanen TCP-Position x_{ist} anpasst. In der Summe entsteht eine korrigierte Kraft $F_{tcp korr}$, die für den Kraft-/Momententregler als Eingangsgröße fungiert. Praktisch wirkt diese virtuelle Zusatzkraft F_{korr} unterstützend auf die Bewegung des Systems indem sie die gesamte Kinematik eines Unterstützungssystems in die geforderte Richtung unter Beachtung der Zwangsbedingungen des Prozesses leitet. Die Stärke der Unterstützungswirkung der Regelkreiskomponente wird durch die Skalierung der Korrekturgröße variiert. Somit kann die Ausprägung der korrigierenden Kraft sowohl verstärkt, als auch vollständig abgeschaltet werden. Die Abb. 4 stellt den Vorgang zur Erzeugung der virtuellen Korrekturkraft aus der Ist-Position des TCP und der gelernten prozessspezifischen Parametern dar.

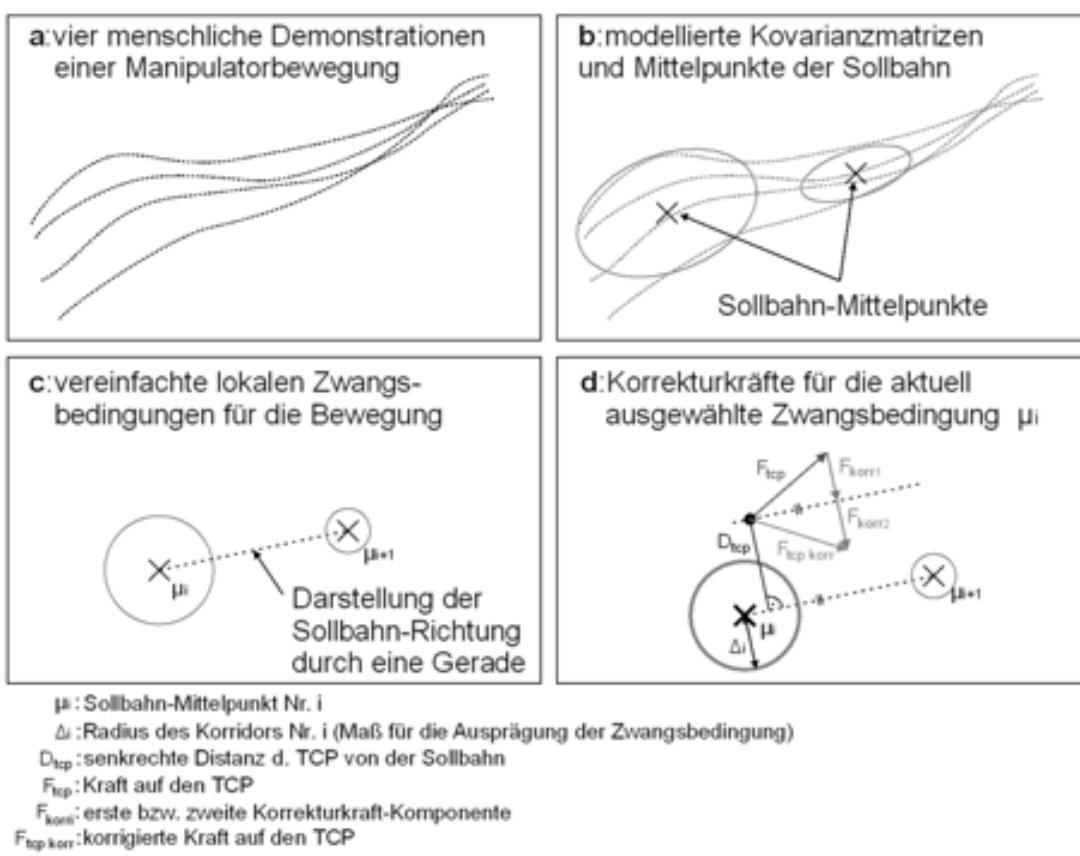


Abb. 4: Das Erlernen der Sollbahn und der Zwangsbedingungen (a-c), die Aktivierung der nächstgelegenen Zwangsbedingung und die Korrektur der TCP-Kraft (d)

Zuerst erfolgen die statistische Auswertung mehrerer menschlicher beispielhafter Ausführungen einer Fertigkeit bzw. Fähigkeit und die Modellierung des Prozesses mit Gaußschen Mischmodellen. Danach wird durch Gaußsche Mischregression eine glatte Bahn mit einer diskreten Anzahl an Sollbahn-Mittelpunkten μ_i und den zugehörigen Zwangsbedingungen in Form von Kovarianzmatrizen erzeugt. Zur Vereinfachung werden die nachfolgenden Zwangsbedingungen aus Kovarianzmatrizen in zulässige Korridorradien Δ_i umgewandelt, die den gelernten Bahnmittelpunkten μ_i zugeordnet sind. Dieser Vorgang ist in der Abb. 4 (a bis c) dargestellt. Die Ausrichtung der Sollbahn wird hierbei durch eine gerade Verbindung von einem Sollbahn-Mittelpunkt μ_i zu seinem Nachfolger μ_{i+1} in der Datensequenz dargestellt.

Für die Auswahl der erforderlichen Zwangsbedingung während einer Bewegung, muss der zur momentanen TCP-Position nächstgelegene Sollbahn-Mittelpunkt μ_i aktiviert werden (in der Abb. 4 (d) dick gekennzeichnet). Dies geschieht durch die Berechnung der euklidischen Abstände zu allen Sollbahn-Mittelpunkten und durch die Auswahl des Minimums. Die von dem Menschen übergebene Soll-Bewegungsrichtung wird im Falle einer Kraftführung durch die Kraft F_{tcp} auf den Tool Center Point repräsentiert. Die Komponenten dieser Kraft werden nun auf die eingelernte Soll-Bewegungsrichtung projiziert. Die erste virtuelle Komponente F_{korr1} neutralisiert die zur Soll-Bewegungsrichtung senkrechte Kraftkomponente von F_{tcp} . Somit wird der TCP zunächst parallel zur notwendigen Trajektorie geleitet. Die zweite Komponente

F_{korr2} ist nun für das Anschmiegen des Manipulators an die Sollbahn zuständig. Sie ist proportional zur Entfernung von der Sollbahn und umgekehrt proportional zum Radius Δ_i des Arbeitsraumkorridors an der entsprechenden Stelle des Raumes.

Die Summierung beider virtueller Kraftkomponenten mit der menschlichen Sollwert-Vorgabe F_{tcp} erzeugt die korrigierte Kraft $F_{tcp\ korr}$, die innerhalb des Kraftregelkreises eine optimierte Bewegung des Manipulators einleitet. Der praktische Ablauf für die Optimierung einer fehlerbehafteten Bewegung im Produktionsprozess ist in der Abb. 5 verdeutlicht.

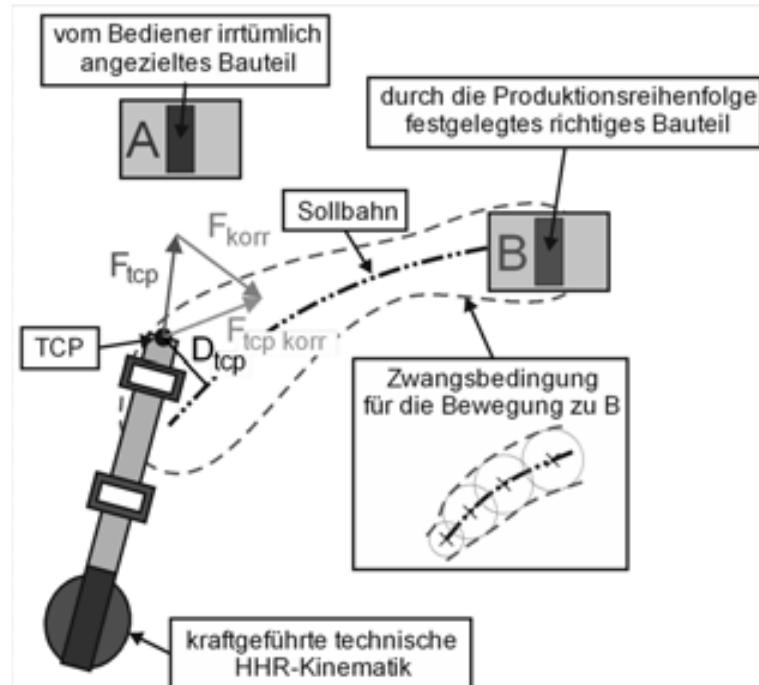


Abb. 5: Online-Korrektur eines fehlerhaften Bewegungsablaufs durch Verwendung der zuvor gelernten Sollbahn und einer prozessspezifischen Zwangbedingung

4 Exemplarische Anwendung innerhalb einer Baugruppenmontage

Für die Validierung des PvD-Moduls wurde ein exemplarischer Versuchsaufbau erstellt, der den Einsatz der gewählten Methoden und Algorithmen ermöglicht. Als technisches Modul des Unterstützungssystems wurde ein seilangtriebener Manipulator Robolink® der Firma IGUS® mit drei regelbaren Freiheitsgraden eingesetzt. Die Ansteuerung der Bewegung des technischen Moduls erfolgte durch eine Kraftführung mittels 3D-Kraftmessensoren. Die exemplarische Montageaufgabe umfasste die Montage einer Baugruppe aus unterschiedlichen Bauteilen unter Einhaltung einer vorgegebenen Montagereihenfolge, siehe Abb. 6. Die jeweiligen Bauteile befinden sich zu Beginn der Aufgabe in einem separaten Bauteilpuffer.

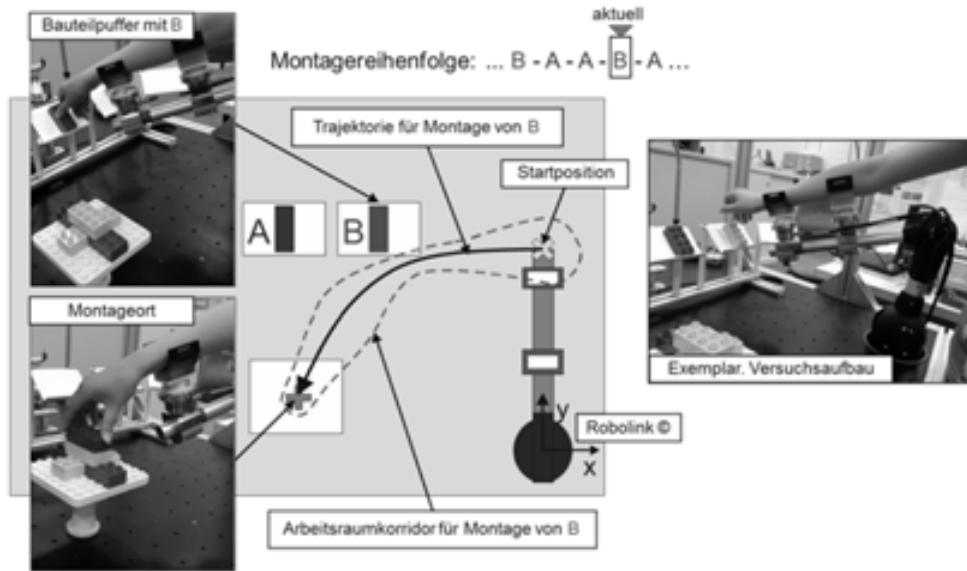


Abb. 6: Baugruppenmontage mit zwei Bauteilarten nach einer festgelegter Montagereihenfolge

Durch das PvD-Modul soll ein Beitrag zur integrierten Fehlervermeidung im Montageprozess liefern. Hierfür wird passiv in Form von Greifkorridoren in die Handlung eingegriffen, um den Werker darauf hinzuweisen, insofern er in einen falschen Bauteilpuffer greift. Dazu wurde die oben beschriebene, dynamische Bewegungskorrektur implementiert. Die notwendigen Sollbahnen-Mittelpunkte und Zwangsbedingungen des Montageprozesses eines Bauteils wurden zuvor durch statistische Methoden des Programmierens durch Vormachen eingelernt. Dieser Vorgang ist in der Abb. 7 zusammengefasst.

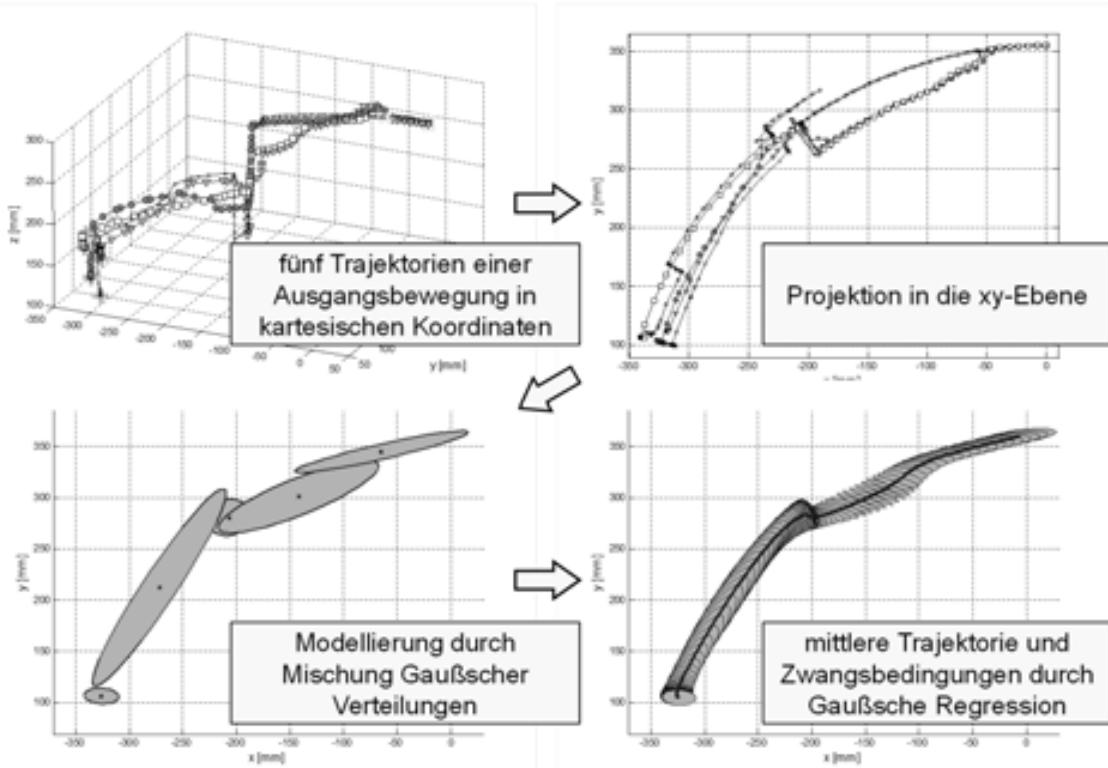


Abb. 7: Statistischer Ansatz des Lernens durch Vormachen mittels GMM und GMR

Für die Bestimmung der Modellparameter der Gaußschen Mischmodelle wurden die Daten für je fünf Wiederholungen für das Greifen eines Bauteils verwendet. Anschließend wurde ein kontinuierlicher Arbeitsraumkorridor erstellt, indem eine diskrete Anzahl von Sollbahnmittelpunkten μ_i und entsprechender lokaler Korridorradien Δ_i erzeugt wurden. Diese Zwangsbedingungen wurden verwendet, um innerhalb des Kraftregelkreises kontinuierlich eine Korrekturkraft zu erstellen, die von der aktuellen lokalen Zwangsbedingung, der Kraft auf den TCP und der momentanen TCP-Position abhängt.

Durch die Addition der virtuellen Korrekturgröße \mathbf{F}_{corr} zur menschlichen Sollwertvorgabe \mathbf{F}_{tcp} konnte eine Unterstützungswirkung beobachtet werden, die dazu führt, dass der Mensch bei großen Abweichungen von der geplanten Trajektorie durch die Funktionen des Pvd-Moduls passiv darauf hingewiesen wird.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Konzept des Human Hybrid Robot stellt einen Ansatz für passive und aktive Unterstützungssysteme dar. Durch derartige technische Systeme können Mitarbeiter in der manuellen Produktion unterstützt werden, um (altersbedingte) physische und psychische Leistungsgrenze anzuheben und die effektive Arbeitszeit zu verlängern. Als weitere Vorteile kann die Ergonomie verbessert und die Fehleranfälligkeit minimiert werden.

Für die Anwendung von Unterstützungssystemen ist eine Programmierung erforderlich, die möglichst einfach, intuitiv und bedienerfreundlich zu gestalten ist. Unterschiedliche Ansätze wären hierfür prinzipiell möglich. Dieser Beitrag stellt einen Ansatz für das Programmieren durch Vormachen (PdV) vor, der in einem eigenständigen Modul für Unterstützungssysteme umgesetzt wurde. Erste Funktionstests haben bereits gezeigt, dass dieser Ansatz zum einen für die Programmierung technischer Elemente geeignet ist und zum anderen einen Beitrag zur integrierten Qualitätssicherung durch integrierte Mechanismen zur Fehlervermeidung leisten kann. Die Weiterentwicklung des Regelkreises, Anpassung der Modellkomplexität und die Fehlerauswertung in Echtzeit stehen im Fokus weiterführender Arbeiten.

6 Literatur

- [1] Weidner, R.; Kong, N. und Wulfsberg, J. P.: Human Hybrid Robot: A new concept for supporting manual assembly tasks. *Production Engineering* 7(6), Springer Berlin Heidelberg, S. 675-684, 2013.
- [2] Weidner, R.; Redlich, T. und Wulfsberg, J. P.: Passive und aktive Unterstützungssysteme für die Produktion. *wt Werkstattstechnik online* 104, Nr. 9, Springer-VDI-Verlag Düsseldorf, S. 561-566, 2014.
- [3] Billard, A.; Calinon, S.; Dillmann, R. und Schaal, S.: Robot Programming by Demonstration. *Springer Handbook of Robotics*, Hrsg.: Siciliano, B. u. Khatib, O., Springer Berlin Heidelberg, S. 1371-1394, 2008.
- [4] Weidner, R. und Wulfsberg, J. P.: Mensch-Maschinenhybride in der industriellen Montage, *wt Werkstattstechnik online* 103, Nr. 9, Düsseldorf, Springer-VDI-Verlag Düsseldorf, S. 656-661, 2013.
- [5] Delson, N. und West, H.: Robot Programming by Human Demonstration: Adaptation and Inconsistency in Constrained Motion, Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), IEEE Minneapolis, S. 30-36, 1996.

- [6] Pardowitz M.; Zoellner, R.; Knoop, S. und Dillmann, R.: Incremental Learning of Tasks from User Demonstrations, Past Experiences and Vocal Comments, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B: Cybernetics, Vol. 37, No. 2, IEEE, S. 322-332, 2007.
- [7] Bitzerand S. und Vijayakumar S.: Latent Spaces for Dynamic Movement Primitives, 9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, IEEE Paris, S. 574-581, 2009.
- [8] Atkeson, C. G.: Using Local Models to Control Movement, Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS), Hrsg.: Mozer, M. C.; Jordan, M. I. und Petsche, T., MIT, S. 316-323, 1990.
- [9] Khansari-Zadeh, S. M. und Billard A.: BM: An Iterative Algorithm to Learn Stable Non-Linear Dynamical, International Conference on Robotics and Automation, IEEE Anchorage, S. 2381-2388, 2010.
- [10] Calinon, S.: Continuous Extraction of Task Constraints in a Robot Programming by Demonstration Framework, EPFL Lausanne, Doktorarbeit 3814, 2007.
- [11] Winkler, A.: Ein Beitrag zur kraftbasierten Mensch-Roboter-Interaktion. Fakultät ET/IT: TU Chemnitz 2006.

Interaktive Einbindung von Mitarbeitern in das Lösen von Optimierungsproblemen am Beispiel der Logistikplanung

N. Mattar, P. Kulms, S. Kopp

Universität Bielefeld, AG Kognitive Systeme und soziale Interaktion

Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld

nmattar@techfak.uni-bielefeld.de, pkulms@techfak.uni-bielefeld.de,

skopp@techfak.uni-bielefeld.de

Kurzzusammenfassung

Optimierungsprobleme treten in vielen Bereichen der Wirtschaft auf, beispielsweise in der Logistikplanung. Technische Ansätze liefern oft schwer nachvollziehbare Lösungen und sind nicht an individuelle Problemstellungen anpassbar. Ersteres kann sich nachteilig auf die Akzeptanz durch Mitarbeiter, letzteres auf die Güte der Lösung auswirken. Der im Rahmen dieses Projekts verfolgte Ansatz bindet Mitarbeiter interaktiv in den Lösungsprozess ein, indem beispielsweise (Teil-)Lösungen über eine intuitive Nutzerschnittstelle exploriert, modifiziert und Randbedingungen zur Laufzeit angepasst werden können. Es wird untersucht, wie sich diese interaktive Einbindung in den computergestützten Optimierungsprozess auf die Akzeptanz auswirkt.

Abstract

Interactive Solving of Optimization Problems with Employees in the Loop

Mere computer-based approaches that generate solutions to optimization problems automatically are often not applicable to real-world applications. In such scenarios, several departments imposing different constraints are involved in an optimization process and thus such problems cannot be solved in isolation. We present an approach to multi-step logistics planning where solution spaces can be interactively explored, manipulated, and constrained at runtime by human employees of different departments in a stepwise fashion. Affordances of different user groups are considered to foster acceptance of our solution.

1 Einleitung

In der Wirtschaft stellt die Verteilung von Waren an Kunden ein häufig anzutreffendes Problem dar. Dabei müssen verschiedenste Randbedingungen wie zugesagte Lieferzeitpunkte, Versandkosten, Verpackungsvorschriften oder Beladereihenfolgen berücksichtigt werden. Dadurch, dass eine Lieferung in der Regel aus mehreren Einheiten bestehen kann, die auf unterschiedliche Weisen zusammengestellt werden können, ergibt sich ein komplexes Optimierungsproblem. Teile dieses Problems lassen sich durch Standardverfahren zur Lösung z.B. des Behälterproblems (engl. *bin packing problem*) oder Routenplanung lösen. Solche Optimierungsprobleme werden auch als 2D/3D Loading Capacitated Vehicle Routing Problem (2/3L-CVRP; cf. [1]) bezeichnet und theoretisch untersucht. In der Praxis sind die in der Theorie entwickelten

Algorithmen aber nur begrenzt einsetzbar. So werden in mittelständigen Unternehmen Waren häufig nach Kundenwunsch gefertigt, wodurch sich die zu berücksichtigenden Randbedingungen kontinuierlich ändern können. Zusätzlich wird die Komplexität des Optimierungsproblems dadurch erhöht, dass nicht immer von vornherein feststeht, wie eine optimale Lösung aussieht. Während im einen Fall ein Optimum durch die bestmögliche Ausnutzung vorhandener Ladefläche erreicht wird, dürfen im nächsten Fall die Einheiten unterschiedlicher Lieferungen nicht vermischt werden, wodurch sich eine optimale Abladereihenfolge auf Kosten des genutzten Platzes ergibt. Ein Teil der Randbedingungen, die das Problem einschränken, ergibt sich an verschiedenen Stellen des zugrunde liegenden Logistikprozesses und wird durch Mitarbeiter der jeweilig beteiligten Abteilungen bestimmt.

Ziel des im Rahmen des Spartenclusters „it's OWL“ durchgeföhrten Transferprojektes LogiPro ist es, ein System zu entwickeln, das zur Unterstützung bei der Lösung von Optimierungsproblemen eingesetzt werden kann. In dem von uns verfolgten Ansatz werden die Mitarbeiter, die an dem zugrundeliegenden Prozess beteiligt sind, aktiv eingebunden, indem algorithmisch generierte Lösungsräume interaktiv exploriert, manipuliert und durch zusätzliche Randbedingungen zur Laufzeit eingeschränkt werden können. Dabei müssen insbesondere die unterschiedlichen Anwenderprofile von beteiligten Mitarbeitern und deren jeweilige Kompetenzen berücksichtigt werden. Im Folgenden werden zunächst verwandte Arbeiten besprochen. Im anschließenden Abschnitt wird das hier betrachtete Optimierungsproblem analysiert. Als Referenz dient ein mehrstufiger Logistikplanungsprozess eines mittelständigen Unternehmens, das nach Kundenwunsch Fenster und Türen fertigt. In Abschnitt 4 wird das Konzept unseres Ansatzes vorgestellt und ein erster Prototyp beschrieben. Die Ergebnisse einer ersten Evaluation mit einer zukünftigen Nutzergruppe werden in Abschnitt 5 vorgestellt.

2 Verwandte Arbeiten

Es existieren eine Vielzahl von Algorithmen und Heuristiken entstanden, die für Optimierungsprobleme wie das Behälter- oder das Handlungsreisendenproblem approximative oder (beinahe) optimale Lösungen liefern [2] [3]. Nach wie vor gibt es eine Nachfrage für automatisierte Lösungsansätze solcher einzelnen Probleme (siehe z.B. www.solvingmaze.com). In der Industrie sind zunehmend Kombinationen aus mehreren Optimierungsproblemen, die nicht getrennt voneinander gelöst werden können, von Interesse [4]. Iori and Martello [1] geben beispielweise einen umfassenden Einblick in eine Klasse von Optimierungsproblemen, die aus einer Kombination von Beladungs- und Tourenplanungsproblemen besteht. Für diese sog. Capacitated Vehicle Routing Problems (CVRPs) gibt es eine Reihe von theoretischen Lösungsansätzen. Die Autoren konstatieren jedoch, dass sich diese nur begrenzt in tatsächlichen Anwendungen einsetzen lassen, da die dort auftretenden Randbedingungen schwer von vornherein in den theoretischen Modellen abbildbar sind. Eine Möglichkeit, diesem Problem zu begegnen, stellen Ansätze dar, die einen menschlichen Experten interaktiv in die Lösung des Problems einbinden. Hierdurch ergeben sich gleich mehrere Vorteile: Durch das eingebrachte Expertenwissen kann eine algorithmisch gefundene Teillösung weiter verbessert und somit eine optimale Gesamtlösung erreicht werden. Außerdem ist das Ergebnis für menschliche Nutzer einfacher nachzuvollziehen und wird dadurch vertrauenswürdiger [5] [6] [7] [8].

Ein Beispiel für einen solchen interaktiven Ansatz zur Lösung von Optimierungsproblemen ist die von Klau et al. entwickelte HuGS-Plattform [6]. Ein menschlicher Benutzer wird in die

Lage versetzt, die Suche nach einer Lösung durch die Auswahl von algorithmisch generierten Zwischenergebnissen zu steuern. Teillösungen, die aufgrund von nicht in den Algorithmus integrierten Randbedingungen ungültig sind, können dabei vom menschlichen Experten verworfen werden. In der Erweiterung der Plattform auf Behälterprobleme durch Lesh et al. [9], werden drei grundlegende Operationstypen zur Steuerung der Lösungssuche vorgestellt [8]: (1) die manuelle Auswahl des nächsten Schritts, (2) die Ausführung, Überwachung und das Anhalten des Suchvorgangs und (3) das Verwerfen einer Lösung und das Zurückkehren zu einem früheren Ergebnis. In dem von Kopfer und Schönberger [10] verfolgten Ansatz stehen die dem Problem zugrundeliegenden Randbedingungen im Vordergrund. Der Suchvorgang soll durch das Aktivieren und Deaktivieren von Randbedingungen zur Laufzeit von einem menschlichen Benutzer gesteuert werden. Kopfer und Schönberger analysieren Anforderungen an interaktive Systeme zur Lösung von Optimierungsproblemen und liefern einen Ansatz basierend auf dem Konzept der Tabu-Suche.

Bestehende Ansätze haben gemeinsam, dass sie Optimierungsprobleme auf theoretischer Ebene betrachten und durch automatisierte Verfahren zu lösen versuchen, oder Lösungen durch die Unterstützung durch einen einzelnen menschlichen Experten verbessert werden können. Probleme, wie sie in tatsächlichen Anwendungskontexten der Wirtschaft auftreten, werden bislang vernachlässigt. Bei deren Lösung ist eine Reihe von Mitarbeitern beteiligt und es ist im Allgemeinen nicht möglich, das zu lösende Problem in Isolation zu betrachten.

3 Mehrschrittige Optimierungsprobleme: Analyse der Logistikplanung eines mittelständigen Unternehmens

Im Fokus dieser Arbeit steht das interaktive Lösen von Optimierungsprobleme, die dadurch definiert sind, dass Mitarbeiter aus verschiedenen Abteilungen an der Lösung des Problems beteiligt sind, wodurch sich der Optimierungsprozess über mehrere Schritte erstreckt. Als Referenz für ein solches mehrschrittiges Optimierungsproblem dient hier die Logistikplanung. Zur Erfassung notwendiger Schritte und der jeweiligen Besonderheiten, die bei solchen Problemen typischerweise auftreten, wurde eine Anforderungsanalyse in einem mittelständigen Unternehmen durchgeführt, das Fenster und Türen nach Kundenwunsch fertigt und an Kunden auslieferiert. Im Rahmen der Analyse wurden Gespräche mit Mitarbeitern aus der Versandplanungsabteilung, dem Lager und der Lieferflotte geführt. Im Folgenden werden zunächst die extrahierten Schritte des zugrundeliegenden Arbeitsablaufs dargestellt. Dann folgen eine Beschreibung der Anwenderprofile der an dem Prozess beteiligten Mitarbeiter und eine Zusammenfassung der Anforderungen an ein System zur interaktiven schrittweisen Lösung von Optimierungsproblemen.

3.1 Schritte der Logistikplanung

In dem in dieser Arbeit untersuchten Unternehmen müssen Bestellungen wöchentlich termingerecht an Kunden ausgeliefert werden. Die Bestellungen bestehen dabei zum Großteil aus mehreren maßgefertigten Fenstern und Türen, die auf spezielle Gestelle verpackt und in LKW verladen werden müssen. Das sich ergebende Optimierungsproblem besteht darin, die Bestellungen so zu bündeln und auf Gestelle und LKW zu verteilen, dass eine möglichst effiziente Ausnutzung der Ladefläche erreicht wird. Dabei treten eine Reihe von Randbedingungen auf,

die sich zum Beispiel durch die verschiedenen Bauelemente, die verwendeten Gestelle, verfügbare Transportfahrzeuge und spezielle Kundenwünsche ergeben. Der durch die Mitarbeitergespräche extrahierte Arbeitsablauf ist in Abbildung 1 verdeutlicht.

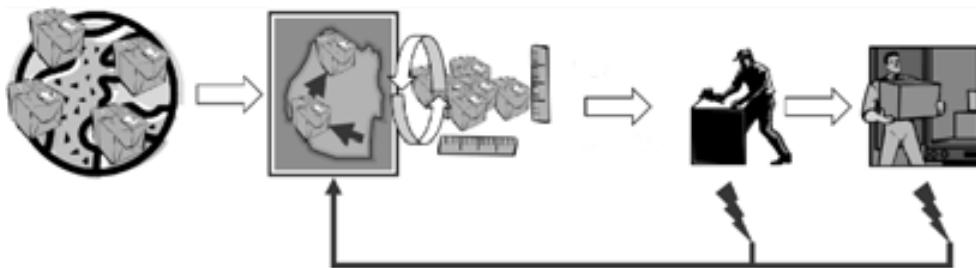


Abb. 1: Schritte der Logistikplanung am Beispiel eines mittelständigen Unternehmens. 1. Gruppierung von Bestellungen nach Liefergebieten. 2. Bestimmung von Liefertouren unter Berücksichtigung des Verladevolumens. 3. Verladung der Bestellungen auf spezielle Transportgestelle. 4. Verladung der Transportgestelle auf Lieferfahrzeuge. Im Falle eines Problems muss der Planungsprozess neu angestoßen werden.

Zusammengefasst stellt sich der Ablauf wie folgt dar: Zunächst müssen Bestellungen anhand ihrer Liefergebiete gruppiert werden. Dann müssen die für die verschiedenen Liefergebiete zugehörigen Bestellungen zu Touren zusammengefasst werden. Dabei ist darauf zu achten, dass das Volumen der zu versendenden Bestellungen bestimmte Randbedingungen erfüllt. Im nächsten Schritt werden die zu einer Tour gehörenden Bestellungen auf Transportgestelle geladen. Im letzten Schritt müssen diese in der richtigen (Ablade-)Reihenfolge auf einen LKW verladen werden. Der Ablauf lässt sich wie folgt in eine Planungs- und eine Verpackungsphase gliedern:

Planungsphase

PL1 Gruppierung von Bestellungen nach Liefergebieten

PL2 Bestimmung von Liefertouren unter Berücksichtigung des Verladevolumens

Verpackungsphase

PA1 Verladung der Bestellungen auf spezielle Transportgestelle

PA2 Verladung der Transportgestelle auf Lieferfahrzeuge

Spätere Schritte im Arbeitsablauf sind dabei direkt von früheren Schritten abhängig. So können die Schritte der Verpackungsphase nur erfolgreich ausgeführt werden, wenn die dort anfallenden Randbedingungen in der Planungsphase berücksichtigt wurden. Insbesondere ist eine gute Abschätzung des Verladevolumens wesentlich für den Erfolg des gesamten Ablaufs.

Das Problem hierbei ist, dass den Mitarbeitern, die für die Planungsphase verantwortlich sind, nicht alle Randbedingungen bekannt sind. So liegt beispielsweise das Wissen, wie genau bestimmte Bauelemente zu verpacken sind, was einen direkten Einfluss auf das Verladevolumen hat, bei den Mitarbeitern im Lager. Bislang war es nicht möglich, alle Beteiligten der Prozesskette in die Planungsphase einzubeziehen. Dadurch kommt es immer wieder zu Situationen, in denen eine fertige Planung verworfen und eine neue angestoßen werden muss. Dies hat im schlimmsten Fall zur Folge, dass Liefertermine nicht eingehalten werden können. Insgesamt ist das Wissen von Mitarbeitern aus drei verschiedenen Abteilungen, der Versandplanung, dem Lager, und der Lieferflotte, erforderlich für eine erfolgreiche Logistikplanung.

3.2 Anwenderprofile

Damit die Anwendung die potentiellen Nutzer bei realen Problemstellungen unterstützt und die jeweiligen Bedürfnisse und Fähigkeiten adressiert, müssen die verschiedenen Nutzergruppen analysiert werden. Dazu wurden charakteristische Personas erstellt, so dass die Bedürfnisse bei der Entwicklung berücksichtigt werden können. Als Grundlage dienten die vor Ort geführten Gespräche mit Benutzern aus verschiedenen Abteilungen. Drei Zielgruppen konnten identifiziert werden: Versandplaner, Lageristen und Auslieferer. Die darauf aufbauenden Profile sollen die Nutzermerkmale repräsentativ darstellen.

Jürgen Wetklo ist 39 Jahre alt und arbeitet als **Versandplaner** bei Bauelemente Kozlowski.

Jürgen ist gelernter Bürokaufmann. Die Arbeit in der Versandplanung bewältigt er seit einigen Jahren mit einer Standard-Logistiksoftware. Jürgen hat notwendigerweise gelernt, seine Aufgaben zu abstrahieren. Räumliche Gegebenheiten werden in Größen- und Abstandsmaße übersetzt, Sondergrößen können auf Gestellen nicht beliebig kombiniert werden und allen Produkten liegt ihr Gewicht zugrunde. Obwohl sich die Anforderungen an die Planungsprozesse z. B. durch neue Produktentwicklungen und Versandoptionen geändert haben, kann die Software auf solche Veränderungen oft nicht eingehen. Die Mitarbeiter in Jürgens Abteilung fühlen sich nicht optimal ausgestattet.

Hans Seligmüller, 55, ist **Lagerlogistiker** bei Bauelemente Kozlowski. Hans arbeitet seit 24 Jahren in der Firma, die zuvor eine Abteilung eines größeren Unternehmens war. Sein Arbeitsalltag besteht zu 90% aus Verladen und damit körperlicher Arbeit. Informationen ruft er in Form von Teilelisten über ein zentrales Computerterminal ab, mit dem er nie länger als nötig interagiert, im Gegensatz zu jüngeren Kollegen und Auszubildenden. Dabei behält er meist seine Arbeitshandschuhe an. Hans hat sich eine Position als jemand erarbeitet, der auch komplexe Verladeprobleme lösen kann. Er weiß, dass er dafür im Unternehmen geschätzt wird, insbesondere in der Versandplanung.

Uwe Kazmierzak, 44, ist als **Auslieferer** für den letzten Schritt der Auftragskette zuständig. Er muss dafür sorgen, dass alle Produkte wie geplant auf eine minimale Anzahl von LKW passen. Uwe arbeitet oft unter Zeitdruck und ist stark von möglichst akkurater Planung abhängig, die er selbst nicht beeinflussen kann. Er hat berufsbedingt ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen, aber keine Erfahrung im Umgang mit Logistik-Software.

3.3 Anforderungen

Unter Berücksichtigung der verwandten Arbeiten im vorigen Abschnitt und der obigen Analyse, lassen sich die Anforderungen, die sich an ein System ergeben, das beteiligte Mitarbeiter eines mehrschrittigen Optimierungsproblems interaktiv in die Suche einer Lösung einbindet, wie folgt zusammenfassen:

- Anforderung 1** Das System muss maßgeschneiderte Schnittstellen für die spezifische Expertise und Erfahrung der verschiedenen Mitarbeiter bieten.
- Anforderung 2** Algorithmisch generierte Lösungsräume müssen in verständlicher Art und Weise dargestellt werden.
- Anforderung 3** Das System muss intuitive Möglichkeiten zur Interaktion mit generierten Lösungsräumen bieten, etwa durch einfache Manipulation (drag'n'drop) oder das Verändern von Parametern.
- Anforderung 4** Wissen von verschiedenen Benutzern muss integrierbar sein.

4 Ein System zur interaktiven Lösung von Optimierungsproblemen

4.1 Konzept

Die grundlegende Idee hinter unserem Ansatz ist es, das zugrundeliegende Optimierungsproblem schrittweise zu lösen, indem Mitarbeiter an verschiedenen Arbeitsplätzen ihr Wissen zum aktuellen Stand des Lösungsprozesses einbringen. Dazu soll ein auf das Problem angepasster Algorithmus bereitgestellt werden, der durch eine intuitive und interaktive Nutzerschnittstelle, die an die jeweiligen Anforderungen der Nutzer angepasst ist, steuerbar ist (**Anforderung 1**). Als Ausgangspunkt für die interaktive Optimierung dient eine Visualisierung der algorithmisch generierten Lösungsräume (**Anforderung 2**), wie in vorhandenen Ansätzen vorgeschlagen. Hierzu bietet sich im vorliegenden Fall die Visualisierung von Vorschlägen für die Beladung von Gestellen und Transportfahrzeuge in 2D und 3D an. Diese konkrete Darstellungsform sollte von den Mitarbeitern direkt auf das tatsächliche Problem abgebildet werden können. Während der Anforderungsanalyse hat sich herausgestellt, dass neben dem reinen Ladevolumen zusätzliche Informationen wie Gewicht oder Materialeigenschaften der Bauelemente eine entscheidende Rolle für die Bewertung der Güte einer Lösung spielen. Da diese sich nur begrenzt in die visuelle Repräsentation integrieren lassen, müssen zudem auch Informationen durch abstraktere Repräsentationsformen abrufbar sein. Um der **Anforderung 3** gerecht zu werden, kann auf die grundlegenden Operationen aus [8] [9] zurückgegriffen werden (siehe Abschnitt 2). Zusätzlich soll den Benutzern in Anlehnung an den Ansatz in [10] die Möglichkeit gegeben werden, Randbedingungen zur Laufzeit an- und abzuschalten und neue Randbedingungen zu definieren. Hierdurch wird es möglich, das verteilte Wissen der Mitarbeiter zur Lösung des Optimierungsproblems nutzbar zu machen (**Anforderung 4**).

4.2 Erster Prototyp

Für einen ersten Prototypen wurden verschiedene Bedienschnittstellen unter Berücksichtigung der Anwenderprofile des Versandplaners und des Lagerlogistikers erstellt (siehe Abbildungen 2, 3 und 4).

Für das Anwenderprofil von Jürgen Wetklo (Versandplaner) wurden dabei zwei Bedienschnittstellen umgesetzt, eine Explorations- und eine Kontrollansicht. Erstere kann verwendet werden, um einen Überblick über die einzelnen zu versendenden Bestellungen zu bekommen (Abb. 2). Neben der 2D-/3D-Darstellung von Beladungsvorschlägen werden zusätzliche Informationen in tabellarischer Form vorgehalten. Farbliche Markierungen weisen auf Bestellungen hin, die potentiell problematische (etwa sehr große oder sehr schwere) Bauelemente beinhalten. Letzteres erweitert eine im jetzigen Arbeitsablauf vorhandene Liste, auf die bislang ein Großteil der von Jürgen Wetklo getroffenen Entscheidungen basiert.



Abb. 2: Explorationsansicht des ersten Prototyps. Bestellungen (unten) werden anhand von benutzerdefinierten Regeln hervorgehoben. Für eine ausgewählte Bestellung wird ein Beladungsvorschlag generiert und wahlweise in 2D oder 3D angezeigt (oben).

Die Kontrollansicht dient der Exploration und Manipulation von Beladungsvorschlägen (Abb. 3). Diese können visuell auf die Einhaltung von Randbedingungen, wie z.B. der maximalen Anzahl von zu verwendenden Gestellen, geprüft und der Lösungsraum durch das Anpassen von Parametern des zugrunde liegende Algorithmus manipuliert werden. Für die Generierung von Beladungsvorschlägen wurde ein Algorithmus zur Lösung eines 2D-Behälterproblems inklusive verschiedener Heuristiken implementiert.

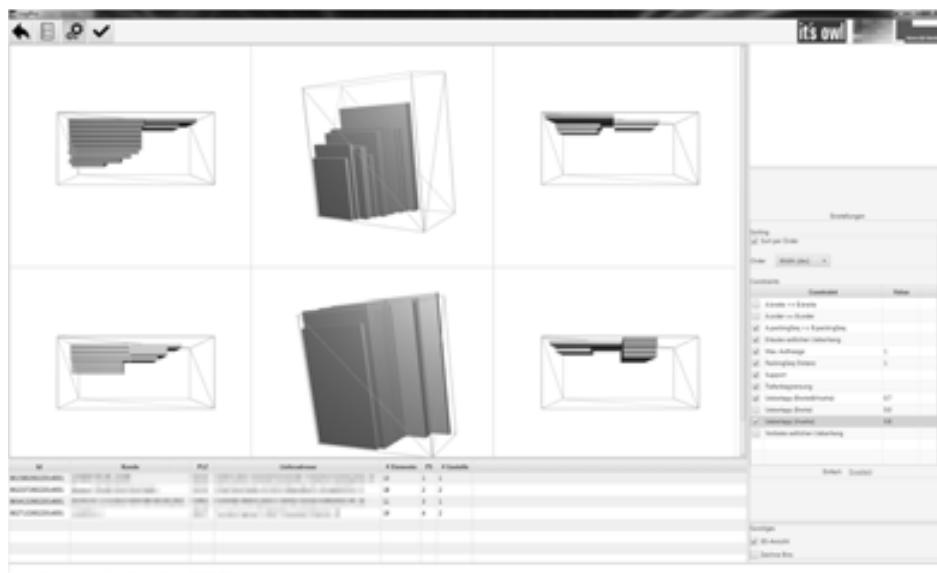


Abb. 3: Kontrollansicht des ersten Prototyps. Ein Beladungsvorschlag für Bestellungen einer Tour (unten) wird in 2D/3D angezeigt (oben links) und kann durch das Anpassen von Parametern (rechts) modifiziert werden.

Für das Anwenderprofil Hans Seligmüller (Lagerist) ist im ersten Prototyp eine Schnittstelle zur Inspektion einzelner Gestelle vorhanden (Abb. 4). Hiermit können die von den Versandplännern erstellten Vorschläge auf die Einhaltung von spezifischen Verladungsbedingungen der

einzelnen Bauelemente überprüft werden. Eine Liste mit den zu verladenden Bauelementen dient als Beladevorgabe. Mittels Drag'n'drop kann die genaue Konfiguration eines Gestells manuell angepasst werden. In Zukunft soll Hans Seligmüller durch diese Schnittstelle in die Lage versetzt werden, aktiv in den Planungsprozess einzugreifen, indem er Randbedingungen definieren, aktivieren und deaktivieren kann.



Abb. 4: Inspektionsansicht des ersten Prototyps für den Einsatz durch Lageristen. Die Konfiguration eines Gestells kann mittels Drag'n'drop angepasst werden (links). Eine Liste mit den zu verladenden Teilen kann zur Beladung des tatsächlichen Gestells herangezogen werden.

5 Evaluation

Um Feedback zum Stand des Prototyps zu erhalten und dadurch etwaige Probleme der Benutzerschnittstelle zu identifizieren, wurde eine erste Evaluation mit einer Fokusgruppe durchgeführt. Die Fokusgruppe setzte sich aus zwei Mitarbeitern der Versandplanung (eine Frau, 48 Jahre; ein Mann, 45 Jahre) und einem Lageristen (ein Mann, 61 Jahre) des Unternehmens zusammen, in dem bereits die Anforderungsanalyse durchgeführt wurde. Beide Mitarbeiter der Versandplanung hatten schon an vorigen Gesprächen teilgenommen. Die Evaluation wurde von zwei Moderatoren durchgeführt.

Im Mittelpunkt der Evaluation standen die beiden für die Versandplanung entwickelten Benutzerschnittstellen, die von den beiden Mitarbeitern dieser Abteilung erprobt werden sollten. Der Lagerist wurde für eine erste Einschätzung hinzugezogen, konnte das System aber nicht aktiv ausprobieren. Zunächst wurde der gesamten Gruppe eine kurze Einführung in den Prototyp gegeben, bevor die beiden Versandplaner das System selbst erproben durften. Hierfür wurden sie nebeneinander vor je einen Arbeitsplatz mit einem 22"-Monitor gesetzt, auf dem eigenständige Kopien des Prototyps liefen. Als Beispieldaten kam ein Datensatz der Firma mit tatsächlichen Bestelldaten zum Einsatz. Die beiden Mitarbeiter wurden aufgefordert, sich durch direkte Kommunikation und „lautes Mitdenken“ (*thinking-aloud method*) bei der Exploration des Prototyps zu unterstützen. Auftretende Probleme sollten dabei zur Erlangung einer gemeinsamen Lösung diskutiert werden. Anmerkungen wurden von den Moderatoren notiert.

Schon während der kurzen Einführung in den Prototypen war ein deutlicher Unterschied hinsichtlich der Akzeptanz des vorgestellten Systems zwischen den beiden Nutzergruppen beobachtbar. Während die beiden Mitarbeiter der Versandplanung von vornherein offen und positiv eingestellt waren, fiel die Reaktion des Lageristen eher zurückhaltend aus. Insbesondere der Umstand, dass Lösungsvorschläge in der für die Logistikplaner vorgesehenen Kontrollansicht stark von tatsächlich umsetzbaren Beladungen abwichen, führte anfänglich zu starker Ablehnung. Die beiden Logistikplaner freundeten sich hingegen schnell mit der neuen Darstellung der Informationen an. Sowohl in der Erweiterung der bislang benutzten Liste um farbliche Hervorhebungen als auch in der Visualisierung der Bestellungen wurde Potential zur Verbesserung der bisherigen Planung erkannt. Kritisiert wurde hingegen die Zweiteilung der Benutzerschnittstelle. Außerdem wurde eine Integration der Funktionalitäten in eine Ansicht angeregt.

Die anfänglich stark unterschiedlichen Reaktionen hinsichtlich des vorgeführten Systems können zum Teil auf das unterschiedliche Vorwissen der Teilnehmer zurückgeführt werden. Im Gegensatz zu den Versandplanern war der Lagerist nicht an vorigen Gesprächen beteiligt und hatte daher nur eine grobe Vorstellung von der Präsentation in der Evaluation. Die Idee, Beladungsvorschläge durch das Einbringen von Wissen über Randbedingungen zu verbessern, wurde von ihm jedoch positiv aufgenommen. Im Laufe der Erprobungsphase bezogen die beiden Versandplaner den Lageristen zudem in ihre Überlegungen ein und erreichten dadurch eine subjektiv wahrnehmbare Steigerung seiner Akzeptanz (weniger ablehnende Körpersprache).

6 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit haben wir unseren Ansatz zur interaktiven Einbindung von Mitarbeitern in das Lösen von Optimierungsproblemen vorgestellt. Der Fokus unseres Ansatzes liegt auf Optimierungsproblemen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass verschiedene Mitarbeiter im Laufe eines Arbeitsprozesses an deren Lösung beteiligt sind. Dadurch ergibt sich ein mehrschrittiges Optimierungsproblem mit sich flexibel ändernden Randbedingungen, das nur schwer durch einen rigiden Algorithmus zu lösen ist. Basierend auf der Analyse der Logistikkette eines mittelständigen Unternehmens wurden Anforderungen an ein solches System aufgestellt und ein Konzept für die schrittweise interaktive Lösung skizziert. Die Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie in Form eines Prototypen und einer ersten Evaluation waren vielversprechend in Hinblick auf technische Realisierbarkeit und Akzeptanz durch die Nutzer. Die Evaluation legt jedoch nahe, dass eine frühe Einbeziehung von zukünftigen Nutzern in den Entwicklungsprozess positive Auswirkungen auf die Akzeptanz haben kann.

Im nächsten Schritt liegt der Fokus auf der Erweiterung der Funktionalität der Bedienschnittstellen für die verschiedenen Benutzergruppen. Insbesondere für die Definition und Manipulation von Randbedingungen müssen intuitive Schnittstellen entwickelt werden. Durch die Berücksichtigung des Nutzerfeedbacks der ersten Evaluation und weitere Erprobungsphasen in kurzen Abständen wird der bestehende Prototyp kontinuierlich verbessert und an die Bedürfnisse der Nutzer angepasst.

7 Danksagung

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Spaltenclusters „it's OWL“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut, sowie von der DFG innerhalb des Exzellenzclusters

Cognitive Interaction Technology (CITEC). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

8 Literatur

- [1] Iori, M. und Martello, S.: Routing problems with loading constraints. Top, S. 1-29, 2010.
- [2] Lodi, A.; Martello S. und Monaci, M.: Two-dimensional packing problems: A survey. European Journal of Operational Research, S. 241-252, 2002.
- [3] Rego, C.; Gamboa, D.; Glover, F. und Osterman, C.: Traveling salesman problem heuristics: Leading methods, implementations and latest advances. European Journal of Operational Research, S. 427-441, Juni 2011.
- [4] Hasle, G. und Kloster, O.: Industrial Vehicle Routing. In: Geometric Modelling, Numerical Simulation, and Optimization, Springer Berlin Heidelberg, S. 397-435, 2007.
- [5] Anderson, D.; Anderson, E.; Lesh, N.; Marks, J.; Brian, M.; Ratajczak, D. und Ryall, K.: Human-guided simple search. In: AAAI/IAAI, 2000.
- [6] Klau, G. W.; Lesh, N.; Marks, J.; Mitzenmacher, M. und Schafer, G. T.: The HuGS Platform: A Toolkit for Interactive Optimization. In: Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces, New York, NY, USA, 2002.
- [7] Klau, G. W.; Lesh, N.; Marks, J und Mitzenmacher, M.: Human-guided Tabu Search. In: Eighteenth National Conference on Artificial Intelligence, Menlo Park, CA, USA, 2002.
- [8] Klau, G. W.; Lesh, N.; Marks, J. und Mitzenmacher, M.: Human-guided Search. Journal of Heuristics, S. 289-310, Mai 2009.
- [9] Lesh, N.; Marks, J.; McMahon, A. und Mitzenmacher, M.: New Heuristic and Interactive Approaches to 2D Rectangular Strip Packing. J. Exp. Algorithmics, Dezember 2005.
- [10] Kopfer, H. und Schönberger, J.: Interactive solving of vehicle routing and scheduling problems: basic concepts and qualification of tabu search approaches. In: Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2002.

Konzept zur Abbildung assistierender Technologien in Modellfabriken

Entscheidungsfindung durch Einbezug menschlicher Akzeptanz gegenüber Unterstützungssystemen

A.-K. Schmidt, N. Lehmann, R. Isenberg

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Institut Produkt- und Produktionsmanagement

Department Maschinenbau und Produktion

Fakultät Technik und Informatik

Berliner Tor 21, 20099 Hamburg

ann-kathrin.schmidt@haw-hamburg.de, niko.lehmann@haw-hamburg.de,

randolf.isenberg@haw-hamburg.de

Kurzzusammenfassung

In diesem Paper geht es um ein Konzept zur Abbildung assistierender Technologien in Modellfabriken. Reale, haptische und digitale Modellfabriken bieten die Möglichkeit die Akzeptanz des Menschen, die Ergonomie und Prozessimplementierung zu testen und zu verifizieren. Verbunden mit Elementen aus der Spiel-, Sozialwahl- und Entscheidungstheorie ergibt sich eine neue Entscheidungsunterstützung für Manager z. B. bei Automatisierungsinvestitionen. Ziel ist eine Vernetzung von ergonomischen und psychologischen Aspekten, um eine Liste von Akzeptanzfaktoren zu ermitteln. Diese werden zur Bewertung von Technologien herangezogen.

Abstract

Concept for mapping support technologies in model factories – Decision making by including human acceptance towards support technologies

This paper deals with a concept for mapping support technologies for human production tasks in model-factories. Our real, haptic and digital model-factories approach offers the possibility to test and verify the acceptance of people, ergonomics and process implementation. Associated with elements of game theory, social choice theory and decision theory our concept yields at supporting the decision making process of managers who decide about production investments. Our objective is derive from ergonomical and psychological aspects a list of acceptance factors which are used for the evaluation of technologies in the factory.

1 Einleitung

Im Thesenpapier der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik [1] wird die besondere Rolle der Automatisierungstechnik als komfortable Unterstützung im Alltag und als Garant für hohe Sicherheit bei industriellen Prozessen hervorgehoben. Mit Hilfe der Automatisierungstechnik werden Voraussetzungen um die Wettbewerbsfähigkeit des Produktionsstandorts Deutschland zu stärken, da Arbeitsplätze gehalten werden können und die Arbeiten

nicht in ein Niedriglohnland verlagert werden müssen. Die Arbeitsplätze am Standort Deutschland sollen bis zum Jahr 2020 durch Automation unterstützt und umgestaltet werden, um die Lebensqualität und die Gesundheit der Mitarbeiter zu erhöhen. In dem Thesenpapier „Automation 2020“ wird die zukünftige Automationsentwicklung als „Technik mit dem Menschen für den Menschen“ beschrieben.

Durch die Aussage der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik [1] wird deutlich, dass der Mensch eine herausragende Rolle bei der Automatisierung einnehmen wird und somit durch den Einsatz von kooperativer Automation physisch und psychisch unterstützt werden muss. Um diese kooperative Automation in Form von Entscheidungsunterstützungssystemen und Assistenzsystemen auf ihre synergetische Zusammenarbeit mit dem Menschen zu untersuchen [2], wird die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Modelfabriken verwenden. In einer Vorleistung [3] wurde bereits auf den hybriden Modellierungszyklus mit den realen, haptischen und digitalen Modellen eingegangen.

Die Modelfabriken berücksichtigen nicht nur den manuellen und automatisierten Prozessablauf und die manuelle Tätigkeit, sondern auch die Akzeptanz von Unterstützungssystemen des Mitarbeiters, die besonders durch Flexibilität gegenüber Maschinen einen wichtigen Erfolgsfaktor darstellt. Somit werden in den Modelfabriken die Akzeptanz und die Ergonomie des Mitarbeiters bei der Prozessimplementierung getestet, bewertet und verifiziert.

In dieser Arbeit wird das Konzept eines realen physischen Versuchsmodells, in Form einer originalen Flugzeugsektion, unter Berücksichtigung des Menschen und deren emotionale Auswirkungen bei der Tätigkeitsausführung betrachtet. Zudem werden die digitale und die haptische Modelfabriken beschrieben.

Betrachtungsgegenstand ist der konzeptionelle Aufbau zur Bewertung von Technologien in den Modelfabriken. Dabei wird auf die Akzeptanz und die Entscheidung der Mensch-Maschine-Interaktion eingegangen.

2 Problemhinführung

Das eingangs definierte Vorhaben der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik zeigt, dass sich die Automatisierung und die Produktionsprozesse zunehmend an den Menschen orientieren werden und somit zu einer Umstrukturierung im Unternehmen führen. Diese Veränderung wird nicht nur im Management, sondern auch in der ausführenden Ebene einen großen Einfluss haben. Der Mitarbeiter wird auf seine neue Arbeitsplatzumgestaltung eine emotional gesteuerte Reaktion zeigen, welche als Maß für seine Zufriedenheit und Motivation am Arbeitsplatz steht [2]. Dieses Maß wird positiv beeinflusst, wenn der Mitarbeiter die Veränderungen akzeptiert und annimmt.

Erreicht werden kann dieses, in dem der Mitarbeiter bei der Entwicklung von Prozessen und Unterstützungssystemen, wie zum Beispiel kooperierende Roboter, sowie bei der Prozessumgestaltung miteinbezogen wird und auf seine individuellen Bedürfnisse und Emotionen eingegangen werden kann.

Zudem verlangt die demographische Entwicklung in Deutschland nach dem Erhalt der Arbeits- und Beschäftigungsfähigkeit eine gesundheitsfördernde Gestaltung von Arbeitssystemen bis zum Rentenalter [1]. Um diesen physischen und psychischen Anforderungen gerecht zu werden, müssen die Unterstützungssysteme und die Prozessveränderungen an den Menschen an-

gepasst werden. Ein besonderes Merkmal unseres Ansatzes ist es, dass die Anpassung so erfolgen muss, dass der Mitarbeiter vor der Entscheidung des Managements für eine kooperative Automation, diese selbst testen kann. Auf diese Weise wird dem Mitarbeiter und dem entscheidungstragenden Manager die Möglichkeit einer Vorbewertung auf einer angepassten Modellbasis geboten. Die Entscheidung für eine optimale Prozessautomation kann bereits vor der Implementierung der Veränderungen simuliert und bewertet werden.

3 Konzeption der Modellfabriken

Um die Unterstützungssysteme und Prozessveränderungen rechtzeitig und realitätsnah zu testen und zu bewerten werden Modellfabriken verwendet. Dazu werden die neuen Technologien frühzeitig in der Modellfabrik simuliert und analysiert. Die Simulation der industriellen Anwendungsfälle in den Modellen bietet die Möglichkeit, die Schwachstellen und Probleme der Automation rechtzeitig zu erkennen, zu bewerten und zu optimieren. Auf Grundlage der durchgeführten Simulation und der Bewertung können Entscheidungen auf Managementebene abgeleitet werden.

In den drei Modellfabriken des Instituts für Produkt- und Produktionsmanagement werden Szenarien mit kooperativer Automation abgebildet und auf die vom Bediener erzeugten Emotionen untersucht. Zudem wird die Ergonomie sowie die Prozessgestaltung dargestellt und bewertet. In der digitalen Modellfabrik wird mit dem Ergonomiebewertungs-Softwaretool „Editor Menschlicher Arbeit“ (ema) [4] eine Prozessplanung und eine ergonomische Aufnahme der manuellen Tätigkeit ermöglicht. Durch die Software DELMIA von Dassault Systèmes werden der Prozess und die Wertschöpfungskette inklusive der Betriebsmittel digital nachgebildet. Diese dynamischen Arbeitsschritte werden aus holistischer Sicht geplant, simuliert und bewertet.

Die InNatura-Modellfabrik ist eine neue Idee zur Abbildung und Bewertung von Technologien, die beispielsweise in der Montage unterstützen. Die Modellfabrik ist eine originale Flugzeugsektion, die durch einen Sensoranzug und ein Emotionsaufnahmetool ergänzt werden soll. In dieser Modellfabrik werden die synergetischen Zusammenhänge der physischen, kognitiven und organisatorischen Betrachtung des Menschen und der Technologie messbar und bewertbar gemacht.

Anschließend werden in der haptischen LEGO®-Modellfabrik, durch das Strategiespiel LEGO® SERIOUS PLAY™, die Prozessstrukturen und die emotionale Wahrnehmung der Prozessveränderung modelliert und veranschaulicht, um ein besseres Verständnis für die Akzeptanz der Prozessentwicklung zu erreichen.

Nach Bauernhansl et al. [5] wird die **Akzeptanz** durch den Aufbau und die Aufrechterhaltung von Vertrauen gefördert. Das Vertrauen wird dann erzeugt, wenn der Anwender einen Nutzen aus der Prozess- oder Automationsveränderung erkennt und ein wirtschaftlicher Erfolg zu erwarten ist. Bedeutende Kriterien für die Akzeptanz ist die Vertrauenswürdigkeit und Sicherheit gegenüber der Technologie, sowie deren effiziente und einfache Nutzung.

Klaus Bengler, der am Lehrstuhl für Ergonomie an der Technischen Universität München lehrt, hat einige Akzeptanzfaktoren für Mensch-Roboter-Kooperationen identifizieren können, die teilweise auch für Unterstützungssysteme, in Form von Robotern, relevant sind. Die folgende Abbildung 1 zeigt seinen Ansatz.



Abb. 1: Akzeptanz von Mensch-Roboter-Kooperationen
(Eigene Darstellung nach Bengler [6])

Weiterhin beschreibt er die Interaktion mit folgender Grafik, siehe Abb. 2.

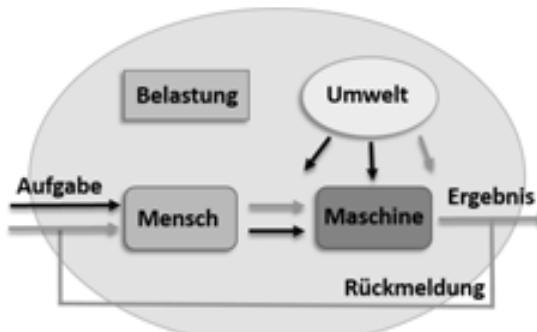


Abb. 2: Der Mensch und die Maschine in Kooperation
(Eigene Darstellung nach Bengler [6])

Die auf den Menschen eingehenden Pfeile nach [6] sehen wir als Akzeptanzfaktoren an, für die folgende Anforderungen gelten sollen:

- Die verbleibende Aufgabe muss nach den Regeln der Ergonomie angemessen sein.
- Die Belastung durch die Umwelt muss gering sein.
- Von dem Unterstützungssystem muss ein positives Feedback an den Menschen gehen z.B. haptisch, optisch auch olfaktorisch.
- Auch eine Rückmeldung über das Ergebnis der geleisteten Tätigkeit muss an die ausführende Person gegeben werden.
- Weitere Akzeptanzfaktoren wurden vom Forschungsteam für den Manager und für den Mitarbeiter definiert. Die **Annahme des Mitarbeiters** gegenüber der kooperativen Automation auf freiwilliger Basis wird auf den individuell wahrgenommenen Nutzen der Unterstützung,

die emotionale Reaktion bei der Bedienung der Unterstützungssysteme und die Kognition im Bereich der Informationsverarbeitung des Menschen in Bezug auf das neue System untersucht.

Ebenfalls wird die **Akzeptanz des Managers** zur Implementierung der Automation im Unternehmen aufgezeigt. Zu den Faktoren des Managers gehören [3] die Kosten für die Prozessveränderung, der zu erwartende Anstieg der Motivation des Mitarbeiters, die Qualitätsanpassung und die Flexibilität.

In Abbildung 3 wird die Steigerung der Akzeptanz über die Stufen der Modellfabriken dargestellt. Bei der Darstellung der Anwendungsfälle in der digitalen Modellfabrik wird ein geringeres Vertrauen erzeugt, im Gegensatz zur zusätzlichen Abbildung in der physischen Modellfabrik. Erst bei der Betrachtung des Anwendungsfalles in den drei Modellierungen, werden der Manager und der Mitarbeiter den Veränderungsprozess akzeptieren können.

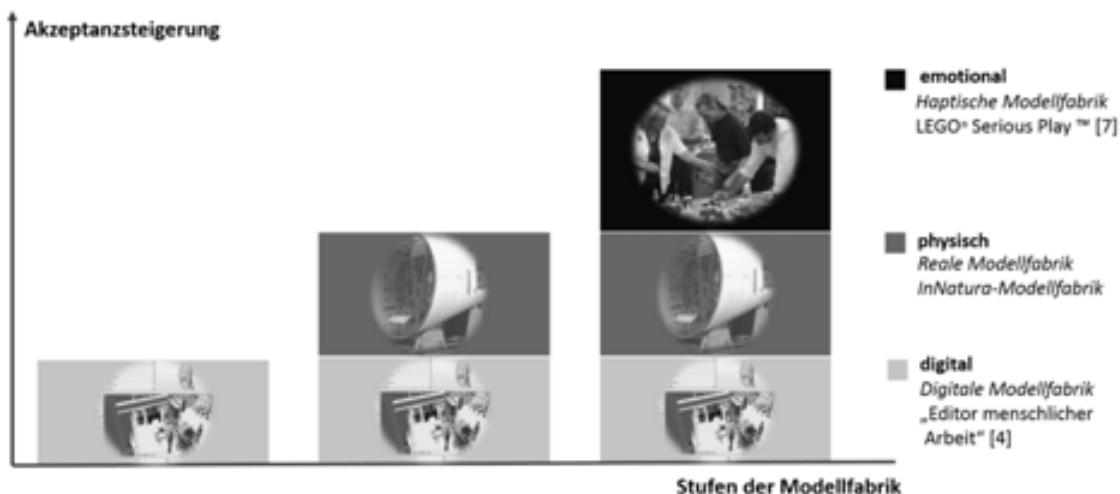


Abb. 3: Stufen der Modellfabriken für die Akzeptanzsteigerung

Im Folgenden werden die digitale, die reale und die emotionale Modellfabrik genauer beschrieben.

3.1 Die digitale Modellfabrik – „Editor menschlicher Arbeit“

Die digitale Modellfabrik, in Form einer 3D-Simulationssoftware auf CATIA-V5-Basis, wird für die Abbildung der **Ergonomie** von manuellen oder teilautomatisierten Tätigkeiten, für die Anpassung an den demographischen Wandel und für die virtuelle, **holistische Prozess- und Arbeitsplatzgestaltung** verwendet.

Die Software, der „Editor menschlicher Arbeit“, kurz ema, wurde von der imk automotive GmbH als 3D-Planungsmethode entwickelt. Diese Planungsmethode dient der Beschreibung von Arbeitsweisen auf Basis einer standardisierten Prozesssprache und beinhaltet ein digitales Menschmodell [4]. Nach Bauernhansl [5] ist es möglich, mit diesem **digitalen Menschmodell** die Zeitwirtschaft, die Ergonomie und die virtuelle Planung in der digitalen Modellierung zu verknüpfen.

Das digitale Menschmodell hat die Fähigkeiten und Fertigkeiten eines Facharbeitters und kann die ihm erteilten Arbeitsanweisungen in der Prozesssprache lesen, interpretieren und eigenständig

dig ausführen. Um den Arbeitsprozess und die Tätigkeiten des digitalen Menschmodells vollständig zu beschreiben und abilden zu können werden die Arbeitsanweisungen, ähnlich wie in der manuellen Planung von Prozessen, in der Softwarelösung dokumentiert. Zudem werden im „Editor menschlicher Arbeit“ die ergonomischen und arbeitsschutzrechtlichen Faktoren der Prozess- und Arbeitsplatzgestaltung betrachtet und geplant. Durch diese digitale Betrachtung werden komplexe Prozesse verständlich und optimal veranschaulicht, um in der manuellen Produktionsplanung die Zeiten und Verschwendungen zu reduzieren, die Flexibilität und die Ergonomie zu verbessern.

Die aus der ema-Simulation gewonnenen Ergebnisse können den geplanten Prozessablauf bestätigen oder liefern Möglichkeiten zur Optimierung der manuellen Tätigkeiten mit und ohne der Unterstützungssysteme.

3.2 Die reale Modellfabrik - InNatura-Modellfabrik

Die InNatura-Modellfabrik ist ein **physisches Versuchsmode**ll, in dem die manuellen und teil-automatisierten Anwendungsfälle aus der Industrie durchgeführt und bewertbar gemacht werden. Die Modellfabrik wird durch eine originale Flugzeugsektion 19 eines A330/200 des Flugzeugherstellers Airbus dargestellt.

Aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen und für die realitätsnahe Abbildung der Anwendungsfälle zum Beispiel in der Montage, wird in die Sektion ein Floorpanel eingebaut. Auf diesem werden die assistierenden Technologien mit dem Menschen simuliert und deren Daten aufgenommen. Zudem wird die Sektion mit Kameras, Mikrofonen und genügend Licht ausgestattet. Dieses ermöglicht die Aufnahme der Reaktionen und Emotionen bei der Interaktion des Menschen mit den Unterstützungstechnologien.

Für die Aufnahme der emotionalen Reaktionen werden diese Komponenten, in Anlehnung an Müller [8], zu Grunde gelegt:

- Abtastungs-Bereich: Einlesen und Verarbeiten von verschiedenen Sensordaten über eine Person oder die Umwelt
- Beweisführungs-Bereich: Interpretation der Daten des emotionalen Zustandes des Nutzers
- Ausdrucks-Bereich: Emotionen sichtbar machen.

Die aufgenommenen Informationen werden durch eine Emotionsbibliothek [8] über Sensoren, Mimik- und Gestenerkennung und Ganzkörperbetrachtung bestimmt.

Die **emotionalen Reaktionen** auf eine Unterstützungstechnologie, wie einem Stützsystem oder einem kooperierenden Roboter, oder eine Prozessveränderung sind ein Bestandteil für die Bewertung von Akzeptanz. Durch einen humanen Sensoranzuges können nicht nur die ergonomischen Bewegungsdaten verifiziert werden, sondern auch der Erschöpfungszustand des Mitarbeiters durch die Messung der Herz-Kreislaufrate erfasst und bewertet werden. Die Daten für die Unterstützungstechnologie werden ebenfalls über Sensoren aufgenommen und ausgewertet.

In der Abbildung 4 wird der Aufbau und die Übertragung der Daten in Echtzeit zum Labor schematisch dargestellt. Die Daten der Mensch-Maschine-Interaktionen und zukunftsweisen-den Steuerungstechnologien wie z.B. Tablet-PC und Gestensteuerung werden ermittelt und via elektromagnetischer Wellen Identifizierung an das Labor übergeben, um die Akzeptanz und Ergonomie auszuwerten.

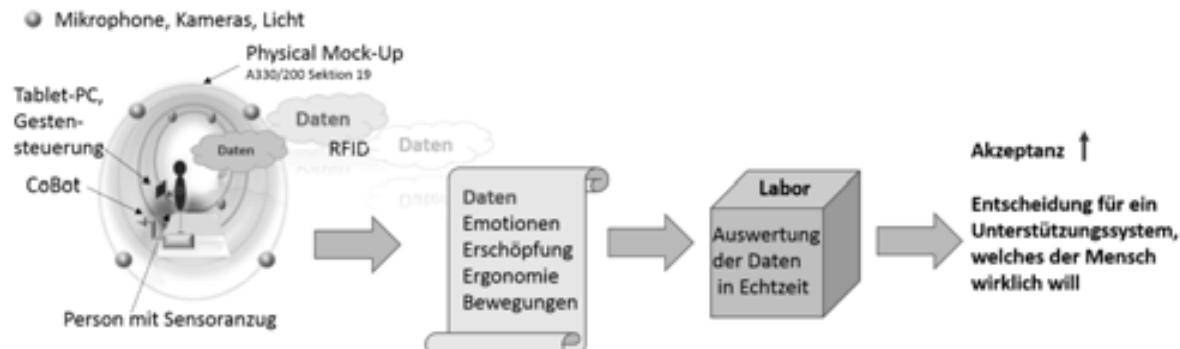


Abb. 4: Schema der InNatura-Modellfabrik

Die Nutzung dieses Demonstrators für die Industrie 4.0-Modellierung der zukünftigen Technologieimplementierung im Unternehmen wird eine Einsparung von Zeit, Kosten und eine Erhöhung der Mitarbeiterinitiative zeigen [3]. Zudem kann besonders die Motivation, die Bereitschaft und die Benutzerfreundlichkeit der neuen Technologie vorab in dem Realsystem analysiert werden. Die aufgenommenen Daten werden wissenschaftlich belegbar sein und sich auf bereits erprobte Verfahren berufen. Als wesentliche Ergebnisse sollen Daten für die Emotionen, die Ergonomie und die **Implementierung der Unterstützungssysteme** ermittelt werden.

3.3 Die haptische Modellfabrik - LEGO®-Modellfabrik

Die haptische Modellfabrik wird mit dem Strategiespiel LEGO® SERIOUS PLAY™ realisiert. Die Methode LEGO® SERIOUS PLAY™ [7] wurde entwickelt, um Innovationen und Unternehmensleistungen zu verbessern. Dabei wird während des Bauens ein Denkprozess angeregt, welcher in Verbindung mit körperlicher Bewegung und den eigenen Empfindungen zu einem tiefen und langanhaltenden Verständnis des Umfeldes und deren Möglichkeiten führt.

In dieser Modellfabrik wird der Vergleich zwischen einem bestehendem Prozess und einer zukünftigen Prozessveränderung visualisiert. Diese Visualisierung der Anwendungsfälle wird von ausgewählten Managern und Mitarbeitern durchgespielt. Jeder Teilnehmer baut nach seinen eigenen Vorstellungen und Wissen ein konkretes und verständliches eigenes Modell oder eine Metapher für den Anwendungsfall.

Die **Motivation** für diesen Spielprozess basiert auf **emotionaler Basis**, welche die Teilnehmer zu einer freiwilligen intensiven Wahrnehmung und Aufmerksamkeit führt. Während des Spielens wird ein konstruktiver Wettbewerb erzeugt, bei dem das Abgucken beim Nachbarn neue Ideen generiert. Nach der Fertigstellung der Einzelmodelle, werden diese den Teammitgliedern vorgestellt und die eigenen Emotionen und Kenntnisse geteilt. In dieser Phase kann jedes Mitglied die Sichtweise des anderen nachvollziehen und das eigene Wissen erweitern.

Die LEGO® SERIOUS PLAY™-Entwickler [7] bezeichnen die Verknüpfung von der beschreibenden Imagination, der verneinenden Imagination und der schöpferischen Imagination als strategische Imagination, welche zu besseren Unternehmensentscheidungen führen soll.

Die Entscheidungsfindung wird durch Einbezug der Akzeptanz der Mitarbeiter gegenüber den Unterstützungssystemen getroffen. Für die Mitarbeiter ist dieser Prozess sehr wichtig, da sie direkt von der Entscheidung betroffen sind und ihr Vertrauen gegenüber der Veränderung ihres Arbeitsumfeldes erhöhen. Die Mitarbeiter definieren unbewusst welchen Prozessablauf und

welches Unterstützungssystem sie wirklich wollen. Dieser Einbezug und die Entscheidungsmöglichkeit wirken sich positiv auf den emotionalen Bereich, das Vertrauen und die Akzeptanz des Managers und des Mitarbeiters aus.

4 Spiel-, Sozialwahl- und Entscheidungstheorie

Für die Entscheidungsträger ist der Implementierungsprozess neuer Technologien mit besonderen Herausforderungen verbunden. In größeren Unternehmen wird eine Entscheidung heutzutage unter der Beteiligung mehrerer Abteilungen getroffen. Dabei kommt es mit steigender Unternehmensgröße immer häufiger vor, dass sich Abteilungen untereinander als Konkurrenten ansehen. Sie kämpfen um ihre Daseinsberechtigung oder Ressourcen, wodurch sie im Entscheidungsprozess eine unsachgemäße Argumentation, die der Selbsterhaltung dient, einem unternehmenszugehörigem (kollektivem) Argumentieren und Handeln vorziehen.

Derartige Probleme können mit der Spieltheorie analysiert werden. Dabei werden die Handlungsalternativen der Beteiligten und deren Widersprüche aufgezeigt. Mit Hilfe einer Auszahlungsmatrix, einer Nutzenfunktion oder dem Nash-Gleichgewicht lässt sich die für das Unternehmen optimale Kombination der Handlungsalternativen ermitteln, um die besten Ergebnisse zu erzielen.

Im Folgenden wird ein klassisches Beispiel erläutert, dass in der Spieltheorie als Gefangenendilemma bezeichnet wird.

In einem Unternehmen sollen die Personalkosten für die Produktion gesenkt werden, um konkurrenzfähig zu bleiben. Zu diesem Zweck sollen Unterstützungssysteme eingeführt werden.

Angenommen Abteilung A führt das Unterstützungssystem ein und Abteilung B nicht, dann muss Abteilung A sechs Arbeitnehmer entlassen und Abteilung B nur einen.

Umgekehrt muss Abteilung B sechs Arbeitnehmer entlassen und Abteilung A nur einen.

Sollten beide das Unterstützungssystem verweigern müssen sie jeweils vier Arbeitnehmer entlassen. Sind jedoch beide dafür, muss jeder auf Grund von Synergieeffekten nur zwei Arbeitnehmer entlassen. In diesem konstruierten Beispiel kommt es auf die Psychologie und die möglichen Strategien an. Die folgende Tabelle zeigt die Auszahlungsmatrix für das beschriebene Problem.

Tab. 1: Beispiel der Auszahlungsmatrix

		B		B	
		ist dafür		ist dagegen	
A		A: -2 B: -2		A: -6 B: -1	
ist dafür		-4		-7	
A	ist dafür	A: -1 B: -6		A: -4 B: -4	
	ist dagegen		-7		-8

Das Problem ließe sich leicht umgehen indem beide Abteilungen miteinander kommunizieren. Dies ist aber speziell in internationalen Unternehmen, z.B. aufgrund von Sprachbarrieren, nicht der Fall.

Aus der objektiven Sicht des Unternehmens ist es vorteilhaft ein Unterstützungssystem einzuführen. Für die einzelne Abteilung scheint es vorteilhafter das Unterstützungssystem nicht einzuführen, da dieses Verhalten nicht vom Verhalten der anderen Abteilung abhängt.

Das Dilemma beruht darauf, dass kollektive und individuelle Analyse zu unterschiedlichen Handlungsempfehlungen führen.

Der Mangel an Kommunikation provoziert einen einseitigen Verrat, durch den der Verräter das für ihn individuell bessere Resultat zu erreichen hofft. Verfolgen aber beide diese Strategie, so verschlimmern sie auch individuell ihre Lage. Dies muss verhindert werden.

Kommunikation ist oft der Rat, bei Problemen solcher Art. Doch dies allein reicht nicht aus. Kommuniziert man das Problem erst, wenn es untragbar geworden ist, wird sich kein Verständnis für die Situation einstellen. Daher muss von kontinuierlicher Kommunikation gesprochen werden. Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, ist ein weiterer Faktor, um die Akzeptanz zu steigern, Vertrauen. Vertrauen kann durch mehrere Faktoren hergestellt werden:

- durch **Kommunikation**
- durch zurückliegende **Vertrauensbeweise** und
- durch **Bestrafung im Falle eines Vertrauensbruchs** [9].

In den 80er Jahren wurden Computer auf verschiedene Strategien programmiert, um sich der Problemstellung anzunehmen. Das Ergebnis für die beste Strategie ist „wie du mir, so ich dir“. Diese Strategie zeigt sich im Verhalten von kooperierenden Abteilungen, welche sich auf die anhaltende Kooperation des Gegenübers verlassen und einen Vertrauensbeweis geben. Im entgegengesetzten Fall wird bestraft, um zu verhindern, dass man ausgenutzt wird.

Angemerkt sei, dass Strategien, die zum Verraten tendierten, zu Beginn relativ gute Resultate erzielten, solange sie auf andere Strategien stießen, die tendenziell eher kooperierten, also sich ausnutzen ließen.

Verräter-Strategien können nur durch Ausbeutung von Mitspielern wachsen. Auch dies ist eine wichtige Erkenntnis für eine nachhaltige Zusammenarbeit in Unternehmen, denn solche Strategien sind über Generationen stabil und gegen Invasionen resistent.

Die Strategie „wie du mir, so ich dir“ weist aber einen kleinen Schönheitsfehler auf. Ein durch ein Missverständnis aufgetauchter Verrat wird dann durch eine Abfolge wechselseitiger Vergeltungen beantwortet und nicht verziehen, außer es tritt ein weiteres Missverständnis auf. Eine mögliche Adaption der Strategie ist deshalb, der Strategie einen Verzeih-Mechanismus einzubauen. Dieser bewirkt, dass nicht jeder Verrat vergolten wird, sondern mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein Verrat auch ohne Vergeltung toleriert wird. Dazu muss die Häufigkeit des Verzeihens proportional zur Häufigkeit der Kommunikations-Fehler gewählt werden.

Da es in der Realität häufig zu Missverständnissen kommt, ist die Fähigkeit des Verzeihens elementarer Bestandteil kooperativen Verhaltens.

In einem Experiment mit 40 Mitspielern, die jeweils 20 Spiele paarweise absolvierten, betrug die Kooperationsrate im Durchschnitt aber nur 22 % [10]. Das Ziel muss es sein, diese Rate zu steigern. Ein mögliches Mittel kann dabei die Heresthetik der Sozialwahltheorie sein.

Die Sozialwahltheorie hat eine Reihe von Kriterien entwickelt, mit deren Hilfe die Vor- bzw. Nachteile einzelnen Aggregationsverfahren charakterisiert werden. Diese Regeln sind jedoch inconsistent.

5 Zusammenfassung

In den drei Modellfabriken des Instituts für Produkt- und Produktionsmanagement werden Szenarien mit kooperativer Automation simuliert und auf die Ergonomie, die Emotionen und die Prozessveränderung im Unternehmen bewertet.

In der digitalen Modellfabrik werden mit dem Ergonomiebewertungs-Softwaretool eine Prozessplanung und eine ergonomische Aufnahme der manuellen Tätigkeit ermöglicht. Diese dynamischen Arbeitsschritte werden aus holistischer Sicht geplant, simuliert und bewertet.

Die InNatura-Modellfabrik ist eine originale Flugzeugsektion, in der die Bewegungen, die Mensch-Maschine-Interaktion und die Emotionen während der Ausführung von Tätigkeiten aufgenommen und validiert werden.

Die Prozessstrukturen und die emotionale Wahrnehmung der Prozessveränderung werden in der haptischen LEGO® –Modellfabrik modelliert.

Die Verknüpfung der Hybridmodellierung der digitalen, der realen und der haptischen Modellfabrik zeigt eine Akzeptanzsteigerung für die Managementebene und die Mitarbeiter. Die Entscheidung für eine optimale Prozessveränderung wird unterstützt durch die Betrachtung der Spiel-, und Sozialwahltheorie.

Nicht nur für das Management stellen die Modellfabriken eine bedeutende Unterstützung dar, auch die Entwickler von Unterstützungssystemen können ihre Technologie in den Modellfabriken testen, bewerten und anschließend anpassen.

Für eine anhaltende Akzeptanz und ein Vertrauen des Mitarbeiters müssen die Unterstützungssysteme der Industrie 4.0 den neuesten Stand im Bereich Sicherheit, Motivation und Anpassungsfähigkeit halten.

Die hybride Modellierung garantiert eine Implementierung von Prozessveränderungen und Unterstützungssystemen, die der Mensch wirklich will.

6 Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projektes Auto-Pro, gefördert durch die BWVI, in Zusammenarbeit mit den Partnern von Airbus Operations GmbH, der Lufthansa Technik AG der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, der Technische Universität Hamburg-Harburg und dem Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung GmbH.

7 Literatur

- [1] Brethauer, G.; Gerlach, G.; Harbach F. und Westerkamp, D.: Automation 2020, Bedeutung und Entwicklung der Automation bis zum Jahr 2020, Thesen und Handlungsfelder: VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, S. 6-10, 2009.
- [2] Schlick, C.; Bruder, R. und Luczak, H.: Arbeitswissenschaft, 3. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- [3] Isenberg, R. und Stegmann Pineda, M.: Enabling learning strategies using modern IT-technologies for new or changing production processes 2013.
- [4] Trepte, J.: Editor menschlicher Arbeit <http://www.ema.imk-automotive.de/> Accessed 11. November 2014.
- [5] Bauernhansl, T.; Hompel, ten M. und Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik 2014.
- [6] Bengler, K.: Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.

- [7] The Lego Group: Die Wissenschaft von LEGO ® SERIOUS PLAY™, The Lego Group, 2002. www.seriousplay.com. Accessed 11. November 2014.
- [8] Müller, L.: Emotionale Modellierung in Mensch-Maschine-Interaktionen. Masterarbeit. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2013.
- [9] Poundstone, W.; Prisoner's Dilemma: von Neumann, J., Game Theory, and the Puzzle of the Bomb, Anchor/Random House 1992.
- [10] Vogt, C.: Kooperation im Gefangen-Dilemma durch endogenes Lernen, Inauguraldissertation, <http://digilib.uni-magdeburg.de/Dissertationen/2001/carvogt.pdf>. Accessed 13. November 2014.

Partizipative Technikentwicklung für ein selbstbestimmtes Leben im Alter

Ein Exkurs

J. Müller, M. Berger, C. Kunze

Hochschule Furtwangen,

Robert-Gerwig-Platz 1, 78120 Furtwangen,

muj@hs-furtwangen.de

Kurzzusammenfassung

Die Menschen in Deutschland werden immer älter. Oft sind sie bei guter Gesundheit und nehmen aktiv am gesellschaftlichen Leben teil. Wenn sich dies aber mit höherem Alter ändert, müssen besondere Maßnahmen ergriffen werden um den Menschen weiterhin ein autarkes Leben zu ermöglichen, denn der Wunsch nachgesellschaftlicher Teilhabe, Mobilität und Austausch bleibt bestehen. In diesem Beitrag wird anhand zweier Projekte [1] [2] beschrieben, wie mithilfe partizipativer Gestaltungsmethoden eine bedarfsgerechte Entwicklung technischer Unterstützungsmöglichkeiten gefördert werden kann.

Abstract

Participatory technology development for an independent life for senior citizens

In Germany, the average age is rising. Most elderly people are in good health and take an active part in society. With increasing age, however, the elderly are often no longer able to manage their lives on their own and they start to rely on outside help. Suitable measures must be taken in order to enable them to live an independent life for as long as possible because their wish to take part in society continues.

1 Einleitung

Gemeinsame Ausgangslage der Projekte „SONIA“ und „selbstbestimmt und sicher“ ist der ländliche Raum, welcher in besonderem Maße von den Herausforderungen des demographischen Wandels betroffen ist. Abgelegene Höfe und große Entfernung sowie die geringe Versorgungsdichte erschweren die soziale Inklusion und die Versorgung der älteren Menschen [3]. Der Themenschwerpunkt dieser Arbeit ist das partizipative Vorgehen in der gesamten funktionalen Dienstleistungs- und Technikentwicklung in AAL-Projekten. Die zentralen Forschungsfragen lauten:

- *Wie kann die Technikentwicklung partizipativ gestaltet werden?*
- *Wie kann ein selbstbestimmtes Leben durch Mensch-Technik-Interaktion gefördert werden?*

2 Problemstellung

Der demographische Wandel wirkt sich, durch die zunehmende gesellschaftliche Mobilität, in ländlichen Gebieten verstärkt aus. So ergeben sich hier speziell für die ältere Bevölkerung vielfältige Problembereiche:

- Bedarfsgerechte Pflege ist schwer zu realisieren
- Mangelnde Koordinations- und Organisationshilfen in Pflegenetzwerken
- Bestehende Versorgungsstrukturen sind den gesellschaftlichen und ökonomischen Herausforderungen nicht mehr gewachsen
- Physische Beeinträchtigung im Alter
- Schlechte öffentliche Verkehrsanbindung
- Vereinsamung
- Keine soziale Teilhabe

Der ländliche Raum stellt im Forschungsbereich Ambient Assisted Living (AAL) ein Anwendungsbereich mit vielen Potentialen aber auch mit großen Herausforderungen dar.

Einerseits ist es schwer, aufgrund von eingeschränkter Mobilität, fehlender Nutzerakzeptanz und schlechter Infrastruktur, technische Lösungen zu realisieren - andererseits können technische Lösungen für ländliche Gebiete von großer, gesellschaftlicher Relevanz sein.

3 Ziele: Mensch-Technik-Interaktion fördern

Wenn es darum geht, die Selbstbestimmung und Lebensqualität älterer Menschen zu fördern, können technologische Innovationen einen essentiellen Beitrag dazu leisten. Die Förderung der pflegerischen und gesundheitlichen Versorgung, die Teilnahme am gesellschaftlichen Leben sowie die aktive Kommunikation und der generationenübergreifende Dialog sind die wesentlichen Zielsetzungen der beiden Projekte. Dieser Beitrag, zeigt exemplarisch zwei Vorgehen auf, in denen mit Hilfe von Mensch-Technik-Interaktion soziale Inklusion und neue Versorgungskonzepte gestaltet werden können.

4 Mensch-Technik-Interaktion im Projekt „SONIA“

Im Projekt SONIA soll soziale Teilhabe mithilfe von Tablet-PCs und einer eigens entwickelten App unterstützt und gefördert werden. Ziel ist es einen „Raum des Austauschs“ zu schaffen um *virtuelle Sozialkontakte auf reale Begegnung* zu übertragen. Es werden im Rahmen des Projektes drei Sozialräume untersucht wovon hier einer genauer dargestellt werden soll.

Die Gemeinde Mönchweiler liegt in Baden-Württemberg und gehört zum Schwarzwald-Baar-Kreis. Der ländliche Ort besitzt eine gute Infrastruktur, eine rege Vereinsaktivität und eine aktive Gemeinschaft. Nichtsdestotrotz sind auch hier die Probleme zu finden, wie sie in ländlichen Kontexten üblich sind [3].

Die Herausforderung in der Konzeptionsphase lag einerseits auf der Strukturstärkung, andererseits darauf, neue, innovative und unterstützende Strukturen zu generieren.

4.1 Methode und Design

Zum Projektstart wurde ein erstes Kick-off Treffen mit Ehrenamtlichen und Engagierten der Gemeinde geplant bei der eine moderierte Diskussion stattfand. Durch den intensiven Austausch wurde ein einheitliches Verständnis der genutzten Begrifflichkeiten zwischen den Akteuren geschaffen.

In der Projektplanung haben wir uns *gegen* eine klassische sequentielle Vorgehensweise im Entwicklungsprozess entschieden, in der nach der Anforderungsanalyse das Design und die

Implementierung allein durch Entwicklung stattfindet und *für* einen Partizipativen Designansatz [4], bei dem der Nutzer gemeinsam mit den Experten (Designer; Entwickler) den Entwicklungsprozess gestaltet. Ein wichtiges Merkmal des Partizipativen Designs ist der iterative Prozess, bei dem sich die Anpassung und die Evaluation so lange wiederholen, bis man zu einem zufriedenstellenden Ergebnis für alle Akteure kommt. Das Verhältnis zwischen Experten und Nutzern ist symmetrisch, da beide voneinander lernen. Ein weiterer Vorteil der frühen Nutzeinebindung ist die direkte Reflektion der Bedarfe, Handlungsweisen und Zielvorstellungen. Dadurch ist es möglich, ein effektives Zusammenwirken zwischen Mensch und Technik zu gestalten.

Um die in den Gruppendiskussionen vorgestellten Ideen und Bedarfe in ihren Einzelheiten zu konkretisieren, wurden Kreativ- und Evaluierungsworkshops mit Stakeholdergruppen geplant. Der erste Zielgruppenworkshop wurde als World Café [5] konzipiert. Hierzu wurden die Teilnehmer in drei Fokusgruppen eingeteilt, die über bestimmte, im Vorfeld festgelegte Themen diskutierten. Diese Themen wurden mit Hilfe von Aktionskarten (*Abbildung 1a*) verdeutlicht. Die Karten sollen den Zugang zum jeweiligen Thema mit Hilfe einer Kurzbeschreibung und Storyboards erleichtern. In der zweiten Runde wurden sogenannte Technikkarten (*Abbildung 1b*) verteilt, um den Fokus auf technikgestützte Kommunikationsmöglichkeiten zu lenken. Die bildliche Darstellung erleichtert die Erarbeitung von Bedarfen und Anforderungen, da Teilnehmern mit technischem und nicht technischem Hintergrund oft eine gemeinsame Sprachebene fehlt.



Abb. 1a; 1b: Aktionskarten und Technikkarten

Im weiteren iterativen Vorgehen wurden als strategische Planungselemente eine erweiterte SWOT-Analyse sowie ein Stakeholdermapping eingesetzt. Die SWOT-Analyse ist ein Gestaltungselement welches die kritische Auseinandersetzung (Stärken/Chancen; Schwächen/Risiken) mit den zuvor entworfenen Ideen ermöglicht. Zusätzlich wurde ein Innovationsfeld integriert, das die Möglichkeit bietet weiterführende und ergänzende Aspekte einzutragen. Da das Thema der nachhaltigen Entwicklung auch hier eine wichtige Rolle spielt haben wir versucht Akteure zu identifizieren, welche bereit sind, langfristig bestimmte Rollen und die Koordination zu übernehmen (*Abbildung 2*).

Parallel zu diesem Entwicklungsprozess wurde eine Marktanalyse und eine Kriterien basierte Technologiebewertung durchgeführt. Ausschlaggebende Faktoren waren hier zum Beispiel Kosten, Netzwerkfunktion, Gebrauchstauglichkeit, Anpassbarkeit und die kommerzielle Verfügbarkeit. Aus dieser Analyse und den Workshops heraus haben wir uns zusammen mit den Teilnehmern für die Tablet-PCs und eine spezielle mobile Softwarelösung entschieden, die wir mit den Nutzern individuell auf den Sozialraum anpassen konnten.

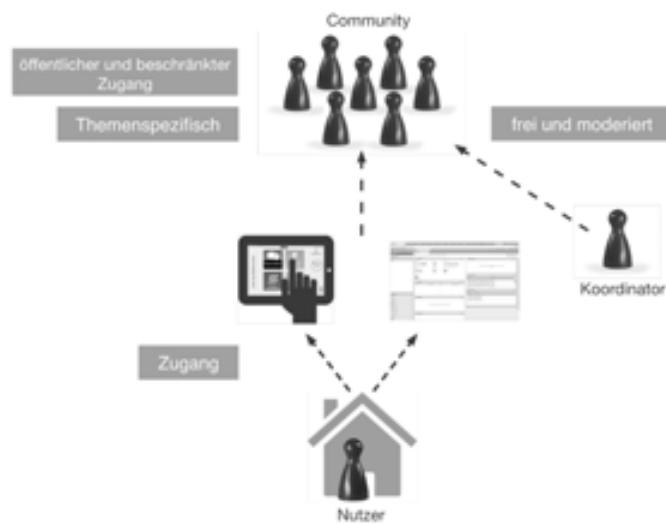


Abb. 2: Soziale Inklusion durch technikgestützte Kommunikation

4.2 Beschreibung des Umsetzungskonzepts

Als Ergebnis wurde die Mönchweiler-App entwickelt, welche auf die speziellen Bedürfnisse und Wünsche der Mönchweiler Bürger angepasst wurde (*Abbildung 3*). Die App läuft auf Android 10“ Tablets und basiert auf einer flexiblen Plattform. Das Interface wurde altersspezifisch konzipiert, das heißt ohne komplexe Fingergesten und ohne eine Menünavigation, welche die intuitive Handhabung unterstützen sollen. Nichts desto trotz soll eine generationenübergreifende Integration aller Gemeindemitglieder Jung und Alt zusammen bringen. Die App ist als Plattform zu verstehen, die Community-bildende Aspekte wie *Schwarzes Brett* und *Veranstaltungskalender* mit Standardapps wie *E-Mail Programm*, *Mobilitäts-Apps* oder *Radio* verbinden. Aufbauend auf den Ergebnissen der Designworkshops wurden diese Grundelemente zu spezifischen Diensten, wie die *Mitgehzentrale*, die *Essenspatenschaften*, der *Senioren-Singletisch* bei Veranstaltungen oder das *Mönchweiler-Nottelefon* konkretisiert sind in die App integriert. Selbstbestimmung und kommunikativer Austausch, sowie Miteinander im realen Leben stehen im Vordergrund.



Abb. 3: Auszüge aus dem Interface der „Mönchweiler-App“

4.3 Evaluation

Nicht nur im iterativen Entwicklungsprozess ist die Evaluation ein essentieller Bestandteil auch vor und während der Feldphase verfolgen wir verschiedene Evaluationsansätze. Befragungen zu Lebensqualität und kognitiver Leistungsfähigkeit der Probanden werden vor, während und nach der Feldphase durchgeführt. Ein spezieller Ansatz stellt zudem die eingesetzte Technology

Probe dar. Das eingesetzte Zusatzmodul zum Tracking (*AddOn*) bietet die Möglichkeit alle Interaktionen des Nutzers mit der App zu loggen und diese über ein Web Frontend zu visualisieren. Dadurch lassen sich mobile Anwendungen bezüglich Usability, Flexibilität, Nutzung und Akzeptanz im Feld unter realen Bedingungen evaluieren. Ein Vorteil dieser Methode ist es, dass es möglich ist die Ergebnisse visuell aufzubereiten (Heat Maps [6], Aktivitäts- und Nutzungsstatistiken - siehe Abbildung 4) und so auch wieder einen einfachen Zugang für alle Beteiligten zu schaffen.

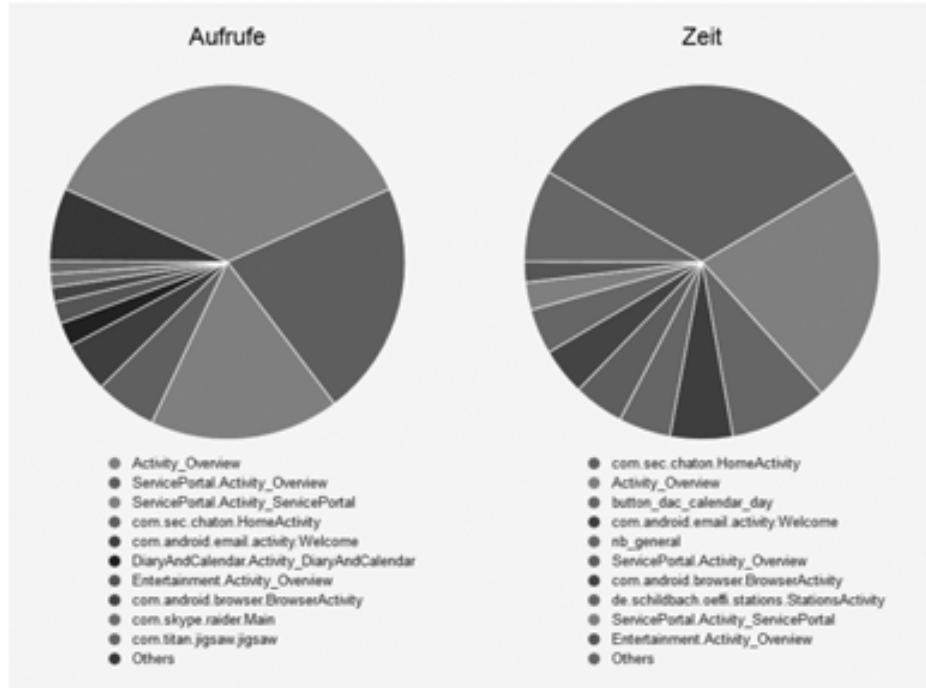


Abb. 4: Aktivitäts-Statistik

5 Mensch-Technik-Interaktion im Projekt „selbstbestimmt und sicher“

Statistisch gesehen steigt die Zahl der Pflegebedürftigen in den kommenden Jahren stark an und die Personallücken werden von Jahr zu Jahr größer. Dies wird unter anderem sichtbar in der mangelnden ärztlichen Versorgung in ländlichen Regionen. Der größte Wunsch älterer Menschen ist, solange wie möglich in den eigenen vier Wänden wohnen zu bleiben und nicht in ein Pflegeheim oder an einen anderen Ort ziehen zu müssen. Im Projekt *selbstbestimmt und sicher* werden technikgestützte Versorgungskonzepte entwickelt, welche auf neuen Formen der Mensch-Technik-Interaktion basieren und innovative Lösungen für eine vernetzte, bedarfsgerechte, pflegerische Versorgung im ländlichen Raum schaffen.

5.1 Methode und Design

Ziel des Projektes ist es, Potentiale zur Verbesserung der pflegerischen Versorgung im ländlichen Raum durch Technikunterstützung und Vernetzung zu finden die realistisch und nachhaltig sind. Für den Pflegebedürftigen soll durch ein gesamtheitliches Versorgungsnetzwerk eine möglichst lange Versorgung am bisherigen Wohnort gewährleistet werden.

Zu Beginn des Projekts wurden im gemeinsamen Konsortium Schwerpunkte gelegt. Dazu gehört die IT-gestützte Vernetzung aller beteiligten Akteure, die Integration häuslicher Monitoringsysteme und die technikgestützte Koordination kooperativer Pflege. Das Projekt folgt auf

methodischer Ebene dem Ansatz der nutzerzentrierten Gestaltung auch *User-centered Design* (UCD) [7] genannt, in Verbindung mit einem partizipativen Ansatz, der alle Akteure (Angehörige, Freiwillige, informelle Pflege, professionelle Pflegedienstleister und Pflegebedürftige) miteinbezieht. Zunächst wurde in der Erhebungsphase mit Hilfe von qualitativen Einzelinterviews eine Bedarfsanalyse erstellt. Dazu wurden unterschiedliche Akteure des Pflegenetzwerkes sowie technische Partner befragt. Diese Analyse stellt die Grundlage für das *Szenario-basiertes Design (SBD)* [8] dar, in der zunächst Personas erstellt wurden. Personas [9] sind fiktive, typische Nutzer die in den sogenannten Problemszenarien als Beispieldaten agieren. Szenarien sind narrative, konstruktive Beschreibungen menschlicher Aktivität. Sie bestehen aus einer Problemsituation, einer oder mehreren Personas mit persönlichen Zielen. Szenarien tragen wesentlich zur Nutzbarmachung von unbewusstem Wissen bei. Dieses Wissen wurde mittels Workshops gemeinsam mit Nutzern und Experten in konkrete Lösungsszenarien überführt. Speziell die Anforderungen und Bedarfe an technische Unterstützungssysteme sollte bearbeitet werden. Dem Schritt der Ideenbewertung und der Auswahl kommt eine große Bedeutung zu. Deswegen wurden die Szenarien mit Hilfe von Claims ergänzt, um so eine Evaluation zu vereinfachen. Die Ergebnisse wurden anschließend in einem weiteren Iterationsschritt wieder in den Entwicklungsprozess aufgenommen. (*Abbildung 5*)

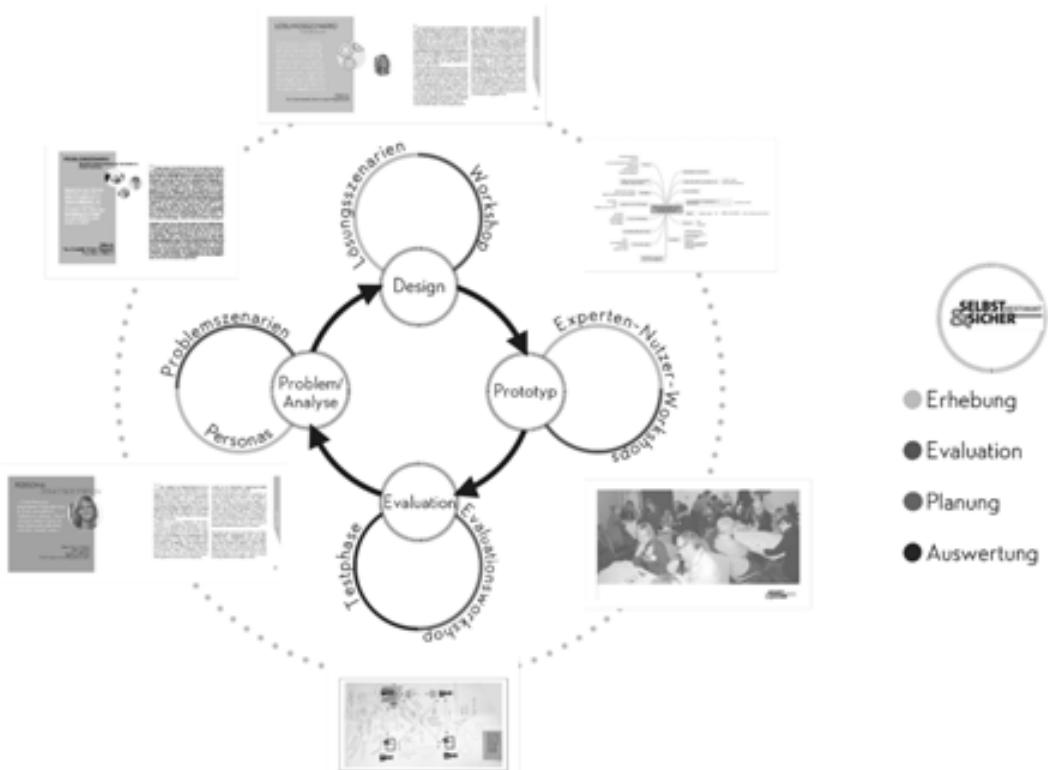


Abb. 5: Partizipativer Entwicklungsprozess im Projekt „selbstbestimmt und sicher“

Als Ergebnis des Prozesses standen unterschiedliche technische Lösungsansätze zur Verfügung die auf Weiterentwicklung und Integration in die vorhandenen Versorgungsstrukturen untersucht wurden.

5.2 Beschreibung des Umsetzungskonzepts

Wichtigstes Merkmal der untersuchten Technologien war die *unterstützende* und nicht die *ersetzende* Funktion. Die Technik sollte Entlastung für die Pflegenden schaffen und so ein effizienteres und qualitativ verbessertes Arbeiten ermöglichen. Unterstützungsmöglichkeiten durch die Technik gab es vor allem im Bereich der Vernetzung, Planung, Informationsaustausch und Koordination. (Abbildung 6)

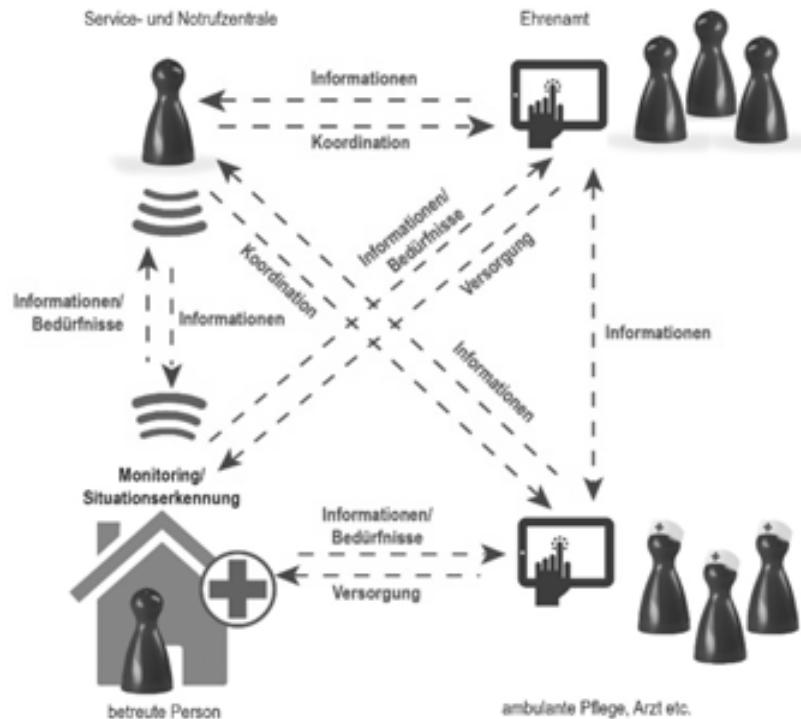


Abb. 6: Technisch unterstützte Informationsflüsse

Mit Hilfe der Mensch-Technik-Interaktion soll versucht werden die Lücken im Pflegenetzwerk zwischen den einzelnen Akteuren zu schließen und so für eine reibungslose Versorgung zu sorgen. Im Fokus von selbstbestimmt und sicher steht eine ganz bestimmte technikgestützte Versorgungsform. Mit Hilfe von Monitoringsystemen soll ein betreutes Wohnen zu Hause simuliert werden, welches der Versorgungssicherheit und Qualität eines Pflegeheims entspricht und auch Ehrenamtliche- und Nachbarschaftshilfe miteinbezieht.

5.3 Evaluation

Es wurden technikgestützte Versorgungsansätze innerhalb des evaluationsgetriebenen Entwicklungsprozess prototypisch umgesetzt. Dabei wurden mehrere iterative Schleifen gezogen, wobei die Erfahrungen aus dem Pilotbetrieb in Fallstudien evaluiert wurden. (Abbildung 7) Wichtig waren hier die Erkenntnisse in Bezug auf das Aktivitätsprotokoll, der Tagesstruktur, der Sensibilität von Sensoren und pflegerisch relevante Situationen wie zum Beispiel Störung im Tag-Nacht-Rhythmus, Sturz (...).

Die Ergebnisse der Fallbesprechungen wurden wieder aufgenommen und flossen in die Weiterentwicklung und Verbesserung der Systeme und Dienstleistungen ein.



Abb. 7: Fallbesprechung

6 Zusammenfassung und Ausblick

- *Wie kann ein selbstbestimmtes Leben durch Mensch-Technik-Interaktion gefördert werden?*
- *Wie kann die Technikentwicklung partizipativ gestaltet werden?*

Die Erfahrung aus den Projekten *selbstbestimmt und sicher* und *SONIA* zeigen, dass eine partizipative Technikentwicklung dazu beiträgt, bedarfsgerechte und in der Praxis anwendbare Systeme zu gestalten. Dabei stützen die Erfahrungen die Annahme, dass bei der Gestaltung partizipativer Aktivitäten der Verdeutlichung und Visualisierung technischer Möglichkeiten eine hohe Bedeutung zukommt. Die im Projekt Sonia unter Beteiligung der Nutzer entwickelten Lösungen sind wesentlich spezifischer gestaltet als die vorher ohne Beteiligung der Nutzer entwickelten Lösungen. Die bisher gemachten Erfahrungen legen den Schluss nahe, dass diese dadurch auch stärker auf die konkreten Bedarfe der Nutzer abgestimmt sind.

Gerade bei Systemen die viele ethische oder datenschutzrechtliche Fragen aufwerfen wie im Projekt *selbstbestimmt und sicher*, muss der Nutzer schon allein aus Akzeptanzgründen am Entwicklungsprozess beteiligt sein. Aber auch die systematische Entwicklung von Technologien und versorgungsbezogenen Angeboten verlangt nach einem permanenten Austausch zwischen allen am Pflegenetzwerk beteiligten Akteuren. Die gemeinsame Ausgestaltung der konkreten Lösungen hilft dabei, wichtige Gestaltungsfragen zu diskutieren, die in einer vorgelagerten Bedarfserhebung oder Anforderungsanalyse nicht bewusst gemacht werden konnten.

Auf der anderen Seite muss festgestellt werden, dass die partizipative Gestaltung mit einem hohen organisatorischen und zeitlichen Aufwand verbunden ist.

Soziale Inklusion mit Hilfe von Mensch-Technik-Interaktion zu unterstützen ist das zentrale Ziel des Projektes *SONIA*. Das Tablet als technische Innovation um die Bindung zum Sozialraum mit Hilfe einer speziell entwickelten App zu erhalten und zu stärken, ist die Intention des Projektes. Langfristig gesehen, gehen wir davon aus, dass das Partizipative Design zu einer höheren Nutzung der bereitgestellten Anwendung und der Technologie führen wird - so besteht auch eher die Chance, dass das Vorgehen positive Auswirkungen auf die soziale Interaktion hat. Der Zeit- und Arbeitsaufwand welche dieses Vorgehen impliziert hat sich aus der Sicht der Entwickler ausgezahlt. Für das Gelingen spricht eine rege Aktivität im Portal und auch die Anfragen von Interessierten geben ein positives Feedback.

Die Projekte *SONIA* und *selbstbestimmt und sicher* laufen noch bis Mitte 2015. In dieser Zeit sollen noch weitere Erkenntnisse aus den praktischen Phasen erarbeitet und in die strategische Weiterentwicklung umgesetzt werden.

7 Literatur

- [1] >Selbstbestimmt und sicher< Projekt-Website. 2013. [Online]. Available: <http://www.projekt.selbstbestimmt-und-sicher.de>. [Accessed: 28-Oct-2014].
- [2] >Verbundprojekt für Soziale Inklusion - SONIA< Projekt-Website. 2013. [Online]. Available: <http://www.verbundprojekt-sonia.de/>. [Accessed: 31-Mar-2014].
- [3] Baumgartner, K.; Kolland, F. und Wanka, A.: Altern im ländlichen Raum: Entwicklungsmöglichkeiten und Teilhabepotentiale, 1st ed. Kohlhammer, S. 232, 2013.
- [4] Sanoff, H.: Multiple Views of Participatory Design. J. Fac. Archit. Middle East. Tech. Univ. Fac. Archit. Middle East. Tech. Univ., vol. 23, no. 2, p. 11, 2006.
- [5] Steier, F.; Gyllenpalm, B.; Brown, J. and Bredemeier, S.: World Café. Förderung der Teilhabekultur. In: Politische Beteiligung-Einführung in dialogorientierte Instrumente politischer und gesellschaftlicher Partizipation, no. 1999, VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2008.
- [6] Wilkinson, L. und Friendly, M.: The History of the Cluster Heat Map. The American Statistician, vol. 63, no. 2. S. 179-184, 2009.
- [7] DIN EN ISO 9241-210: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. 2011.
- [8] Rosson, M. B. und Carroll, J. M.: Scenario-Based Design. In: The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications. Lawrence Erlbaum Associates, 2002, S. 1032-1050., virginia, S. 1-35, 2002.
- [9] Nielsen, L.: Personas-User Focused Design. In: Human-Computer Interaction Series, Karat, J. und Vanderdonckt, J., Eds. Copenhagen: Springer, S. 164., 2013.

Assistenzsysteme für manuelle Industrieprozesse

Innovative Assistenz für leistungsgeminderte und leistungsgewandelte Mitarbeiter in der manuellen Montage und Kommissionierung

A. Bächler, T. Hörz, G. Krüll, S. Autenrieth

Hochschule Esslingen, Fakultät Maschinenbau

Kanalstr. 33, D-73728 Esslingen

andreas.baechler@hs-esslingen.de, thomas.hoerz@hs-esslingen.de,

georg.kruell@hs-esslingen.de, sven.autenrieth@hs-esslingen.de

L. Bächler, T. Heidenreich

Hochschule Esslingen, Fakultät Soziale Arbeit, Gesundheit und Pflege

Flandernstr. 101, D-73732 Esslingen

liane.baechler@hs-esslingen.de, thomas.heidenreich@hs-esslingen.de

P. Kurtz

TU Ilmenau, Fachgebiet Arbeitswissenschaft, Fakultät für Maschinenbau

Max-Planck-Ring 12, D-98693 Ilmenau

peter.kurtz@tu-ilmenau.de

Kurzzusammenfassung

Nachfolgend wird ein neuartiges Assistenzsystem für manuelle Industrieprozesse vorgestellt. Dabei werden in einem nutzerorientierten Entwicklungsprozess die Anforderungen von Industrieunternehmen mit den Anforderungen leistungsgeminderter und leistungsgewandelter Anwender verbunden. Anhand dieser Basis wird das Assistenzsystem konzipiert und prototypisch umgesetzt, sowie anschließend mit diesen Nutzergruppen in der praktischen Anwendung evaluiert. Des Weiteren werden pädagogisch-psychologische Aspekte für den Einsatz prozedural-interaktiver Assistenzsysteme entwickelt. Die Ziele sind die Reduzierung des Aufwands und der Komplexität für die Einarbeitung von Mitarbeitern, die Verbesserung bzw. der Erhalt der Arbeitsfähigkeit, Motivation und Gesundheit und die Reduzierung von Fertigungsfehlern und -zeiten und die Inklusion sowie Eingliederung leistungsgeminderter und leistungsgewandelter Personen.

Abstract

Assistance systems for manual industrial processes – Innovative assistance for disabled people and people with altered performance in manual assembly and commissioning processes

In this article an innovative assistance system for production processes is presented. Thereby the requirements of industrial companies are connected with the requirements of older and disabled users in a user-centered design process. Using this basis an assistance system is designed

and implemented by a prototype and then evaluated with this group of users in a practical application. As well a pedagogical-psychological approach to the use of procedurally-interactive assistant systems is developed. The objectives are the reduction of the expense and complexity of the employees training, improving or maintaining workability, motivation and health and the reduction of manufacturing defects and time as well the inclusion and rehabilitation of disabled and performance reduced people.

1. Einleitung

1.1 Theoretischer Hintergrund und Motivation

Aufgrund der Globalisierung und dem demografischen Wandel kommt es zu erheblichen Veränderungen der heutigen industriellen Produktion in der Bundesrepublik Deutschland. Dabei geht der Trend in der Produktion immer mehr von der Großserienfertigung mit langen Produktlebenszeiten hin zu einer Fertigung von Kleinserien mit geringen Stückzahlen und kurzer Lebensdauer. Durch diese kleinen Losgrößen entsteht eine hohe Variantenvielfalt. Um in dieser Entwicklung der steigenden Komplexität von Produktionsprozessen wettbewerbsfähig bleiben zu können, ist sowohl eine hohe Flexibilität mit kurzen Montage-, Kommissionier-, Rüst- und Einlernzeiten, als auch ein hoher Qualitätsstandard mit gleichbleibend niedrigen Kosten notwendig.

Angesichts dieser Entwicklungen sind automatisierte Prozesse in der Montage und Kommissionierung oftmals nicht mehr rentabel und die manuellen Industrieprozesse gewinnen wieder mehr an Bedeutung. Dabei führen die manuellen Tätigkeiten durch die häufig auftretenden Änderungen im Arbeitsablauf der Mitarbeiter einerseits zu einem abwechslungsreicheren und dadurch interessanteren Arbeitsplatz, auf der anderen Seite steigen jedoch die Anforderungen bezüglich Ausdauer und Konzentration und damit die Fehleranfälligkeit je länger die Mitarbeiter tätig sind [1]. Bedingt durch die kurzen Produktintervalle und die hohe Produktvarianz ist zur Sicherstellung einer gleichbleibend hohen Qualität bei manuellen Arbeitsprozessen eine ebenfalls hohe Qualifikation der Mitarbeiter erforderlich.

Zusätzlich zu den industrie seitigen Entwicklungen verdeutlichen aktuelle Zahlen, dass sich das Durchschnittsalter der Erwerbstätigen in Deutschland und dadurch der Anteil der Arbeitnehmer, die einem Leistungswandel unterliegen, deutlich erhöhen. Durch das Statistische Bundesamt wird ein Rückgang des Bevölkerungsstandes in Deutschland von 2000 bis 2050 um 9% prognostiziert, wobei der Anteil der für die Produktion wichtigen Gruppe der 20- bis 60-jährigen von 45,5 auf 35,4 Mio. sinkt. Der Anteil der über 60-jährigen steigt hingegen von 19,4 auf 27,5 Mio. Menschen an [2]. Dieser demografische Wandel mit einer stetig älter werdenden Gesellschaft und dem damit zusammenhängenden Leistungswandel stellt eine weitere Herausforderung für die Industrie dar. Hinzu kommt der derzeit vorherrschende Fachkräftemangel in Deutschland. In der „Engpassanalyse 2013“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie werden Engpässe vor allem in den industriellen Berufsfeldern festgestellt. Laut Statistischem Bundesamt hingegen werden gegenwärtig rund 15,5% des Erwerbspotentials in Deutschland, vor allem bei Mitarbeitern ab 50 Jahren nicht genutzt [3].

Des Weiteren zeigen Ergebnisse einer Markstudie mit 130 Industrieunternehmen, dass der Anteil an leistungsgewandelten Arbeitnehmern in deutschen Unternehmen einen markanten Wert von bis zu 20 % der Gesamtbelegschaft einnimmt 0. Unter leistungsgewandelten Mitarbeitern sind ehemals vollleistende Beschäftigte mit Einsatzeinschränkungen zu verstehen, welche für

einen gewissen Zeitraum oder dauerhaft nicht mehr in der Lage sind, ihre bisherigen Arbeitstätigkeiten mit den entsprechenden Anforderungen und Belastungen auszuführen. Hierbei geht es besonders um Mitarbeiter mit erworbenen Behinderungen als Folge einer Krankheit, eines Unfalls oder von Alterserscheinungen. An einem angepassten Arbeitsplatz können diese Mitarbeiter jedoch ihre volle Leistung erbringen [5], [6].

Aufgrund des Mangels an Nachwuchs- und Fachkräften sind Unternehmen nicht in der Lage, in jedem Tätigkeitsfeld den Wunschkandidaten zu finden. Deshalb ist es nicht nur aus sozialen sondern auch aus wirtschaftlichen Aspekten erforderlich, Mitarbeiter im fortgeschrittenem Alter (ab 50 Jahren) und leistungsgeminderte Mitarbeiter aus Werkstätten für Menschen mit Behinderung (WfmB) im industriellen Umfeld zu beschäftigen [7]. Im vorliegenden Schriftstück werden die Personen mit Beeinträchtigung der funktionalen Gesundheit als „leistungsgeminderte Mitarbeiter“ bezeichnet. Dieser Begriff bezieht sich auf eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit, womit das maximale Leistungsniveau einer Person bzgl. einer Aufgabe oder Handlung unter Test-, Standard oder hypothetischen Bedingungen gemeint ist [8].

Zudem führen die steigenden Anforderungen an WfmB dazu, dass besonders für Menschen mit eingeschränkter Leistungsfähigkeit (leistungsgewandelte und -geminderte Menschen) neue Wege der Beschäftigung bzw. der Unterstützung gefunden werden müssen [8]. Auch seitens der Industrie steigen die Bemühungen um eine inklusive Arbeitsmarktgestaltung, da dies gesetzlich in der UN-Behindertenrechtskonvention (Art. 27) für diese Personengruppen vorgesehen ist [10].

Diese Herausforderungen stellen die Industrie vor die Aufgabe, zusätzlichen Unterstützungsbedarf für ihre manuellen Prozesse zu schaffen, um die Kommissionierung und Montage auch zukünftig zuverlässig mit Menschen durchführen zu können. Dabei stellen assistierende Systeme einen zukunfts- und erfolgsträchtigen Ansatz zur Anleitung, Unterstützung und Kontrolle von Industrieprozessen dar. Insbesondere wird nach neuen Möglichkeiten zur technischen Unterstützung mit Assistenzsystemen für leistungsgeminderte und -gewandelte Mitarbeiter, aber auch für Mitarbeiter ohne Einschränkungen geforscht, um den genannten Entwicklungen und deren Folgen sowie den neuen Anforderungen erfolgreich begegnen zu können.

1.2 Piktogramme

Ein Piktogramm ist eine stilisierte figurative Zeichnung, die verwendet wird, um Informationen durch vereinfachte grafische Darstellung zu vermitteln. Piktogramme sind Teil unseres täglichen Lebens und erfüllen verschiedene Funktionen: Sie werden zur Informationsvermittlung bei der Orientierung im öffentlichen Raum, zur Einnahme von pharmazeutischen Produkten, bei Verkehrszeichen, bei der Nutzung von Computer und vielen weiteren Themenfeldern verwendet, um dabei Richtungen, Aktionen und Objekte vereinfacht darzustellen. Es gibt verschiedene Vorteile für die Verwendung von Piktogrammen, beispielsweise die schnelle Vermittlung (z.B. Verkehrszeichen) und das sprachenunabhängige Verständnis von Informationen (z.B. Menschen mit Migrationshintergrund). Diese können auch mit nur begrenzten sprachlichen Fähigkeiten und visuellen Problemen verstanden werden (z.B. Menschen mit niedrigem Bildungshintergrund, geistiger Behinderung und ältere Menschen). Das Hauptziel von Piktogrammen ist es, die Aufmerksamkeit des Benutzers zu erhalten und bestimmte Information so schnell wie möglich verständlich zu vermitteln. Studien zeigen, dass Informationen, welche durch Bilder vermittelt werden, schneller und genauer als Informationen durch Worte verstanden werden.

Ebenso beweisen Forschungsergebnisse, dass Piktogramme ein hilfreiches Instrument der Informationsvermittlung für Menschen mit begrenzten verbalen Fähigkeiten oder für Menschen anderer Muttersprachen sind [13].

Unter Einbeziehung dieser Ergebnisse können Piktogramme, die speziell auf die Bedürfnisse von leistungsgeminderten Menschen angepasst sind, als unterstützendes und geeignetes Mittel (in Kombination mit einem Assistenzsystem) zur Inklusion dieser Personen in industrielle Prozesse eingesetzt werden.

1.3 Kommissionierung

Kommissionieren ist das Zusammenstellen von bestimmten Teilmengen aus einer Gesamtmenge aufgrund von Bedarfsinformationen [14].

Dabei zählt die manuelle Kommissionierung zu den bedeutendsten manuellen Haupttätigkeiten in der Industrie und stellt den Kern in der heutigen Lagerlogistik, insbesondere der Intralogistik, dar. In diesem Bereich werden die Kundenaufträge unter den Faktoren der Zeit und Qualität zusammengestellt, wodurch eine erfolgreiche und langfristige Kundenbindung sowie die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen maßgeblich mitbeeinflusst wird [15].

Die Kommissionierung stellt als Komponente der Intralogistik einen der komplexesten und personalintensivsten Bereiche der logistischen Kette dar [16].

Dies spiegelt sich vor allem auch an ihrem hohen Anteil der Logistikkosten wider. Die manuelle Ausführung ist trotz zahlreicher Entwicklungen in den vergangenen Jahren von rein manuellen Systemen bis hin zu vollständig automatisierten Lösungen nach wie vor die häufigste in der Praxis verbreitete Art eines Kommissioniersystems [17].

Aufgrund den kognitiven Fähigkeiten, den geringen Investitionskosten und dem flexiblen Tast- und Greifvermögen ist der Mensch im Kommissionierbereich in den meisten Anwendungsfällen noch nicht durch Maschinen ersetztbar [18]. Dabei wird meistens nach dem Prinzip „Person zur Ware“, mit einer statischen Bereitstellung der zu kommissionierenden Ware in Regalen und einem mobilen Kommissionierer, vorgegangen.

Die benötigten Informationen werden dem Kommissionierer in der Regel als Papierliste (pick-by-paper), beleuchtete Behälteranzeige (pick-by-light), mit Hilfe eines Audioassistenten (pick-by-voice) oder eines mobilen Terminals mit Display (pick-by-display) bereitgestellt.

2 Ziele des Assistenzsystems für Industrieprozesse

Mittels des Assistenzsystems sollen Mitarbeiter kontextsensitiv und kognitionsunterstützend direkt im Arbeitsprozess Unterstützung erhalten. Das Assistenzsystem soll dazu dienen, bestehende Fähigkeiten zu fördern und Funktionsbeeinträchtigungen von Mitarbeitern zu kompensieren, so dass diese ausgeglichen werden und zum bestmöglichen Einsatz kommen können. Durch dieses unterstützende System soll der Aufwand und die Komplexität für das Einlernen von Mitarbeitern mit unterschiedlichen Leistungsniveaus und fachlichem Hintergrund in Kommissionier- und Montageprozesse reduziert und minimiert werden. Zudem soll die Flexibilität für den Einsatz von Mitarbeitern mit unterschiedlichen Leistungsniveaus für Fertigungsaufträge mit hoher Variantenvielfalt erhöht werden [19].

Des Weiteren soll die Motivation, Arbeitszufriedenheit und Arbeitsfähigkeit von leistungsgeminderten und älteren Mitarbeitern verbessert bzw. erhalten und die Anzahl von Kommissionier- und Montagefehlern reduziert werden [20].

Ebenso soll durch die aktive Einbeziehung motivierender Elemente und ergonomischer Aspekte ein gesundes psychisches Arbeitsverhalten und die Vorbeugung von Muskel-Skelett-Erkrankungen unterstützt werden. Der Einsatz des Assistenzsystems soll nicht zu einem Komplexitätsverlust der Arbeit führen, da es ansonsten zu einer Unterforderung des Mitarbeiters kommen kann. Durch eine überhöhte Anleitung kann es zu einer verminderten Denkfähigkeit bzw. zu einer Monotonie im Arbeitsablauf und somit zu einem Fähigkeitsverlust kommen [9]. Es ist nicht die Intention des Assistenzsystems, den Mitarbeitern Entscheidungen abzunehmen, sondern diese durch situationsgerechte Hilfestellungen in den Entscheidungsprozessen zu unterstützen. Ebenso wenig ist es die Absicht die Mitarbeiter, durch zu geringe oder fehlende Unterstützung zu überfordern.

Ein weiteres Anliegen des Einsatzes eines solchen Systems ist die Ermöglichung und Unterstützung der Inklusion von leistungsgeminderten Menschen hinsichtlich sozialer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte. Eine Arbeitsassistenz im Bereich des Kommissionierens und Montierens stellt zudem eine wichtige Unterstützung für leistungsgeminderte und -gewandelte Menschen dar, die im erweiterten Sinn in § 33 Abs. 8 Nr. 3 und § 102 Abs. 4 des Sozialgesetzbuchs IX (2004) gesetzlich festgelegt ist. Weiterhin soll trotz manuellen Tätigkeiten die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen und Behindertenwerkstätten gegenüber dem globalen Markt verbessert und gesichert werden.

Diese Ziele können nur erreicht werden, indem die Menschen beim Einlernen und Durchführen von Arbeitsprozessen Anleitungen erhalten. Diese Informationen müssen schnell und leicht verständlich vermittelt werden sowie Bildungs-, Sprach- und Kulturgrenzen überwinden.

3 Pädagogisch-psychologische Aspekte

3.1 Inklusion

Aufgrund des demografischen Wandels und dem hohen Anteil behinderter Menschen in Deutschland (7,3 Mio.; Stand: Ende 2011) wird der Bedarf an technikgestützter Assistenz am Arbeitsplatz in den nächsten Jahren stark zunehmen [6] (vgl. hierzu auch Kapitel 1.1). Insbesondere für eine Gesellschaft, die von zunehmendem Fachkräftemangel und einem hohen Altersdurchschnitt geprägt ist, gilt es, sich das Potenzial von Menschen mit Behinderung stärker und besser zu erschließen. Das Kommissionier- und Montageassistenzsystem (vgl. Kapitel 4) für ältere Arbeitnehmer und für Menschen mit Behinderung stellt durch seinen möglichen Einsatz einen Beitrag zu einer inklusiven Gesellschaft dar.

Durch die Ratifizierung der UN-Behindertenrechtskonvention wurde Inklusion zum Leitgedanken und zum zentralen Handlungsprinzip. Artikel 4 der Behindertenrechtskonvention schildert, dass unter anderem Geräte und neue unterstützende Technologien einen entscheidenden Beitrag zur Ausgestaltung einer inklusiven Gesellschaft leisten. In Bezug auf den Arbeitsplatz bedeutet dies, dass angemessene Vorkehrungen für Menschen mit Behinderungen getroffen werden müssen, welche ihre Einschränkungen und Bedürfnisse berücksichtigen (Artikel 27) [10].

Durch das Kommissionierassistenzsystem sollen leistungsgeminderte und -gewandelte Menschen somit eine produktive Teilhabe an anspruchsvoller Arbeitsprozessen und das Recht auf eine menschenwürdige Arbeit und die damit verbundene gesellschaftliche Anerkennung erleben.

Die Forschung zur Erwerbslosigkeit zeigt, dass ohne Arbeit eine wichtige sinn- und identitätsstiftende Funktion im Leben fehlt. Arbeit erfüllt psychosoziale Funktionen, wie z.B. die Sicherung des Einkommens; Aktivität und Kompetenz; Zeitstrukturierung; Kooperation und Kontakt; soziale Anerkennung und persönliche Identität, die für das Wohlbefinden eines jeden Menschen von großer Bedeutung sind.

Neben der Funktion der Existenzsicherung ist die Erwerbsarbeit die wichtigste Quelle vielfältiger Lebenserfahrungen und Mitgestalter der eigenen Identität.

Assistenzsysteme stellen somit einen zentralen Aspekt zur Förderung von Inklusion und der humanen beruflichen Teilhabe dar, da Menschen mit Einschränkungen eine angemessene Partizipation an der Arbeitswelt ermöglicht wird.

3.2 Optimierung psychischer Belastung

Durch den Einsatz des Assistenzsystems kommt es zu einer Reduzierung psychischer Belastungen, sodass der Anwender weder unter- noch überfordert wird und es nicht zu beeinträchtigenden Beanspruchungen oder Fehlbelastungen kommen kann.

Durch die Adaptivität kann auf das richtige Förderungsmaß für das jeweilige Individuum geachtet werden, wodurch es zu einer besseren Passung zwischen psychischen Belastungen und individuellen Voraussetzungen und somit zu einer erwünschten Beanspruchung des Individuums kommt.

Das Assistenzsystem und die daraus folgenden Arbeitsbedingungen sind an die Anwender - und nicht umgekehrt - anzupassen. Die Fähigkeiten, Fertigkeiten, Erwartungen und Erfahrungen der Anwender werden somit durch das System berücksichtigt [25]. Durch die Unterstützung anhand eines kontextsensitiven Kommissionierassistenzsystems können leistungsgewanderte und -geminderte Personen im Arbeitsprozess individuell unterstützt werden und am gesellschaftlichen Leben teilnehmen.

4 Systemaufbau und Anleitung durch das Assistenzsystem für Kommissionierprozesse

Im Rahmen des Forschungsprojektes motionEAP wird ein Assistenzsystem für Kommissionier- und Montageprozesse entwickelt und evaluiert. Hierfür wurden in einem ersten Schritt der nutzergerechten Entwicklung die Nutzeraufgaben und -anforderungen von leistungsgeminderten Menschen in einer Einrichtung der gemeinnützigen Werk- und Wohnstätten GmbH untersucht. Anhand der dort gewonnenen Ergebnisse wurde ein Kommissioniersystem mit Assistenzfunktion hardwareseitig entwickelt und realisiert. Im nachfolgenden wird der derzeitige Stand des Projektes im Bereich der Kommissionierung dargestellt. In einem Durchlaufregallager werden verschiedene Artikel in Behältern bereitgestellt. Quer dazu ist ein höhenverstellbarer Kommissionierwagen, an eine über Linearschienen verschiebbare Assistenzeinheit mit zwei Projektoren, zwei Infrarotkameras, einer höhenverstellbaren Waage und einem Touchscreen Monitor, angekoppelt. An dem Monitor wird ein Kommissionierauftrag ausgewählt und mit der Zusammenstellung des Auftrages begonnen. Es können entweder einzelne Artikel oder ganze Behälter entnommen werden. Die Entnahme der Behälter oder Einzelteile wird über einen Projektor mit Lichtsignalen angeleitet. Mit Hilfe dieser Augmented Reality-Anzeigen werden virtuelle Informationen in Form von Symbolen, Piktogrammen, Bildern und/ oder Videos als Anleitung direkt in den Arbeitsbereich projiziert. Über eine Infrarotkamera sowie eine Waage wird die

korrekte Entnahme und Menge kontrolliert. Die Entnahmeposition und –menge wird über projizierte Piktogramme auf regalseitig befestigten Projektionswinkeln abgebildet. Die anschließende Ablageposition in einem Behälter auf der Waage oder im Kommissionierwagen wird ebenfalls über projizierte Piktogramme abgebildet. Nach der korrekten Entnahme und Ablage eines Bauteils wird über Piktogramme, welche auf dem Monitor angezeigt werden, ein Verschieben des Kommissionierwagens bis zum nachfolgenden Entnahmehort angeleitet (siehe Abb. 1).

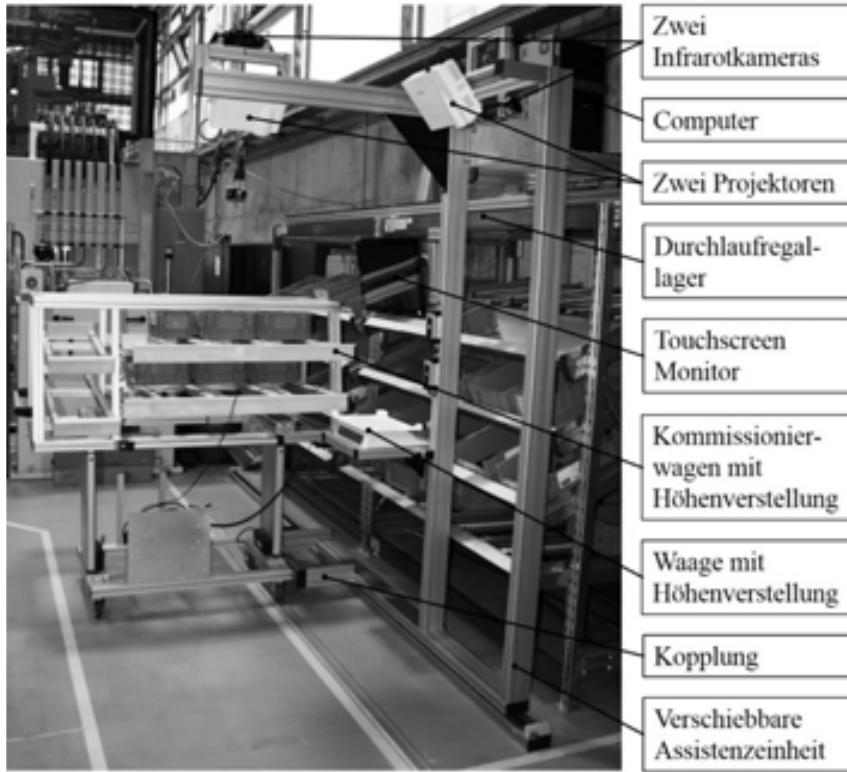


Abb. 1: Versuchsaufbau des Kommissioniersystems mit Assistenzeinheiten

Die Piktogramme werden als Lichtsignale dargestellt, die die betroffenen/ einzubeziehenden Objekte (Hand, Behälter, Kommissionierwagen) und die durchzuführenden Handlungen (Entnahme, Ablage, Verschieben) verständlich darstellen und anleiten. Zugleich werden die Piktogramme aber auch für die Rückmeldung von korrekt oder nicht korrekt ausgeführten Handlungen eingesetzt. Dabei sollen diese möglichst zielgenau auf die Fehlerart hinweisen, um dadurch eine schnelle und sichere Fehlerbehebung durchführen zu können.

Die notwendigen Anleitungen und Piktogramme werden aus einem Ablaufdiagramm des Kommissionierprozesses abgeleitet. Dabei werden für folgende Prozessschritte Piktogramme entworfen:

- Anleitung von Entnahmevergängen,
- Anleitung von Ablagevorgängen,
- Anleitung zum Verschieben des Kommissionierwagens bis zum nächsten Entnahmehort und
- Rückmeldung von richtig oder falsch durchgeföhrten Vorgängen.

5 Methodische Vorgehensweise

In einer ersten Fragebogenerhebung (Mai 2014) wurden die Assoziationen zu Farben und Einzelpiktogrammen mit 50 normal leistungsfähigen Personen (mit und ohne technischem Hintergrund) evaluiert. Zusätzlich wurde dieser erste Fragebogen noch mit 26 leistungsgeminderten Personen durchgeführt [26].

In der nachfolgend beschriebenen Erhebung werden die nicht eindeutigen Ergebnisse der ersten Erhebung erneut evaluiert. Dabei wird besonderer Wert auf die Einbeziehung einer Gestaltung der Piktogramme mit menschlichen Zügen und fotografischen Bildern gelegt. Zusätzlich werden in diesem Fragebogen Anweisungen in Form von Textbausteinen gegenüber Piktogrammen und zusammengesetzte Anleitungselemente evaluiert.

Die Erhebung erfolgt in Form einer Befragung. Als Befragungsart wurde nach der Durchführung eines paarweisen Vergleichs und einer anschließenden Nutzwertanalyse ein standardisierter Fragebogen eingesetzt. Die Vorteile dieser Befragungsart gegenüber einer Befragung mittels E-Mail-Fragebogen, einem freien Interview oder einer offenen Online-Befragung liegen vor allem in den Kriterien der Rücklaufquote, der Verständlichkeit und der Repräsentativität.

In dem standardisierten Fragebogen wurden zu Beginn die personenbezogenen Daten erhoben, danach eine kurze Situationsbeschreibung gegeben und anschließend die tatsächliche Befragung durchgeführt. Dabei wurden in einem ersten Teil zwei Fragen zu Piktogrammen und anschließend Fragen zur Gestaltung von Anleitungselementen gestellt. Die wichtigsten Ergebnisse werden nachfolgend vorgestellt und diskutiert.

6 Ergebnisse

Die Erhebung umfasst eine Stichprobe von 50 Teilnehmern (41 männlich und neun weiblich), im Alter von 17 bis 59 Jahren ($\bar{O}=28,9$ Jahre, $SD=9,98$). Diese Befragung wurde mit normal leistungsfähigen Menschen, mit technischen Vorkenntnissen ($N=40$, 80%) und ohne technische Vorkenntnisse ($N=10$; 20%) durchgeführt, wobei die Stichprobe beliebig gewählt ist. Die verständlichsten und hilfreichsten Varianten sind in den nachfolgenden Abbildungen durch einen grünen Rahmen hervorgehoben.

Die Ergebnisse der Befragung durch den Fragebogen zeigen klar, dass als Piktogramm für die Rückmeldung des Greifens in einen falschen Behälter Symbol 1 mit der „fotografierten Hand“ als geeignetstes erscheint ($N=25$; 51%). Das zweitverständlichsste Symbol zur Vermittlung dieser Information war die „karikierte Hand“ ($N=12$; 24,5%) (siehe Abb. 2).



Abb. 2: Greifen in einen falschen Behälter

Als Piktogramm für die Entnahme eines Gegenstands aus einem Behälter stellte sich Symbol 3 (N=27; 54%) mit einer „karikierten Hand“ als geeignetste Variante heraus. Das zweitverständlichste Piktogramm in dieser Symbolreihe ist Symbol 1 mit der „fotografierten Hand“ (N=16; 32%) (siehe Abb. 3).

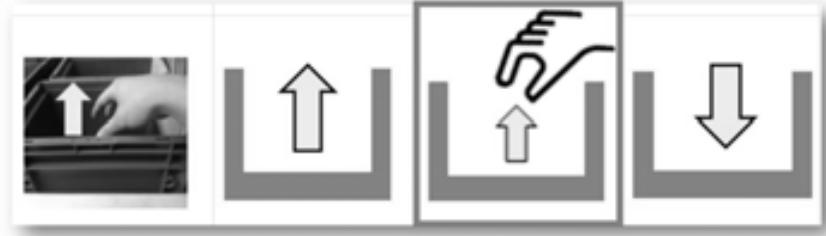


Abb. 3: Entnahme von Teilen aus einem Behälter

Laut den Befragungsergebnissen ist Variante 4 als reine bildhafte Darstellung die hilfreichste und verständlichste Anweisung zur Anleitung eines Verschiebens des Kommissionierwagens (N=25; 50%). Die zweitverständlichste Variante in dieser Kategorie ist die Textanweisung eins mit den Worten „Bitte Wagen verschieben“ (N=16; 32%) (siehe Abb. 4).



Abb. 4: Verschieben des Kommissionierwagens

Die hilfreichste Anleitung zur Entnahme von fünf Bauteilen aus einem Behälter wird laut Befragungsergebnissen, durch Variante 1 ohne Textbausteine am verständlichsten dargestellt (N=22; 44%). Die zweiverständlichste Variante ist die vierte Version mit den Textbaustein „Entnahme“ und „Anzahl“ (N=13; 26%) (siehe Abb. 5).



Abb. 5: Entnahme von fünf Griffen aus einem Behälter

7 Diskussion

Das Piktogramm für die Rückmeldung des Greifens in eine falsche Box (siehe Abb. 2) konnte in dieser zweiten Evaluierung mit einem eindeutigen Ergebnis belegt werden. In einem ersten

Durchlauf waren die „fotografierte Hand“ mit der „karikierten Hand“ gleich verständlich. In diesem zweiten Fragebogen wurde die fotografierte Hand als eindeutig verständlicher wahrgenommen. Das hilfreichste Symbol für die Anleitung der Entnahme eines Gegenstands ist die „karikierte Hand“ (siehe Abb. 3). Dieses Ergebnis ist kontrovers zu dem vorhergehenden, deshalb müssen diese Unterschiede in einer nachfolgenden praktischen Evaluierung genauer betrachtet werden. Bei der dritten Frage erhielt das Symbol für das „Verschieben des Wagens“ (siehe Abb. 4) deutlich bessere Ergebnisse gegenüber den Textbausteinen und Worten. Ebenso ist die kombinierte Anleitung zur Entnahme von Bauteilen ohne Textbausteine am besten verständlich. Diese Ergebnisse lassen sich auf die in Kapitel 1.2 beschriebenen Vorteile von Piktogrammen zurückführen.

Die hier gewonnenen Ergebnisse lassen sich nicht automatisch auf die Zielgruppe der leistungsgeminderten Personen übertragen, da in einer Vorstudie festgestellt wurde, dass ein Großteil der leistungsgeminderten Personen nicht lesen und rechnen kann.

8 Ausblick

Diese Befragung mit normal leistungsfähigen Personen muss mit der Zielgruppe der leistungsgeminderten Menschen erneut durchgeführt werden. Ergebnisse hinsichtlich einer solchen Erhebung werden im Januar 2015 erwartet.

Zudem muss in einer weiteren Studie anhand eines Versuchsaufbaus das Verständnis in der praktischen Anwendung überprüft werden. Damit soll sichergestellt werden, dass auch in einem konkreten Anwendungsfall das Verständnis durch die Piktogramme gegeben ist. Umso wichtiger ist es diese praktische Studie mit der Zielgruppe der leistungsgeminderten Mitarbeiter durchzuführen, um somit repräsentative Ergebnisse für das zukünftige Assistenzsystem in Kommissionierprozessen zu erhalten.

In einer abschließenden Studie (April 2015) wird das komplette Assistenzsystem (inklusive der ausgewählten Piktogramme) in Bezug auf den Nutzen, die subjektive Arbeitsbeanspruchung und den aktuellen gängigen Versionen von manuellen Kommissioniersystemen (pick-by-paper, pick-by-light, pick-by-display) gegenübergestellt.

9 Literatur

- [1] Reinhart, G. und Zäh, M. F.: Assistenzsysteme in der Produktion. Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, wt Werkstatttechnik online Jahrgang 104, H.9, 2014.
- [2] Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - Begleitheft zur Pressekonferenz am 18. November 2009, 2009.
- [3] Statistisches Bundesamt: Ungenutztes Arbeitskräftepotenzial: 6,7 Millionen Menschen wollen (mehr) Arbeit - Pressemitteilung vom 5. September 2013, 2013.
- [4] Hörz, T.; Korn, O.; Kölz, M.: Abschlussbericht Innovative Projekte/ Kooperationsprojekte, Assistenzsysteme für leistungseingeschränkte Mitarbeiter in der manuellen Montage. Koordinierungsstelle Forschung der Hochschulen für Angewandte Wissenschaften, Baden-Württemberg, 2013.
- [5] Adenauer, S.: Die (Re-) Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in den Arbeitsprozess. Das Projekt FILM bei FORD Köln. Angew. Arbeitswiss. (181), S. 1-18, 2014.

- [6] Jahn, H.-P.: Datenerfassung und -verarbeitung bei der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen - mehrere Jahre nach Abschluss eines HdA-Projektes für Leistungsgewandelte, Herbstkonferenz GfA, 2001.
- [7] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Initiative Inklusion. Maßnahmen zur Förderung der Teilhabe schwerbehinderter Menschen am Arbeitsleben auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt. Online verfügbar unter http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/a743-flyer-initiative-inklusion.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 12.11.2014, 2014.
- [8] Schuntermann, M. F.: Einführung in die ICF. Grundkurs, Übungen, offene Fragen. eco-med. Medizin, Landsberg/Lech, 2007.
- [9] Töpffe, M. und Maas, O.: In einer inklusiver werdenden Gesellschaft darf das Berufsleben für behinderte Menschen nicht exklusiv gestaltet sein. Pressemeldung der Diakonie Rheinland-Westfalen-Lippe, 2014.
- [10] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Übereinkommen der Vereinten Nationen über Rechte von Menschen mit Behinderungen. Bonn, 2011.
- [11] Tijus, C.; Meunier, J.-G.; Lavalette, B. C. und Barcenilla, J.: Chapter 2: The Design, Understanding and Usage of Pictograms. Hrsg.: Terrier, P.; Alamargot, D. und Cellier, J.-M.; Written Documents in the Workplace: Brill, S. 17-31, 2007.
- [12] Department of Trade and Industry: The role of pictograms in the conveying of consumer safety information. Government consumer safety research, 2000.
- [13] Dowse, R. und Ehlers, M.: Pictograms for conveying medicine instructions: comprehension in various South African language groups. South African Journal of Science 100 (11+12), S. 687-693, 2004.
- [14] VDI Gesellschaft Fördertechnik Materialfluß Logistik: VDI-Richtlinie 3590 - Kommissioniersysteme Praxisbeispiele Blatt 1/3. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1994.
- [15] Pulverich, M. und Schietinger, J.: Handbuch Kommissionierung. Effizient picken und packen. Vogel, München, 2009.
- [16] Hompel, M.; Sadowsky, V. und Beck, M.: Kommissionierung. Materialflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Springer, Berlin Heidelberg, 2011.
- [17] Straube, F.: Trends und Strategien in der Logistik. Ein Blick auf die Agenda des Logistik-Managements 2010. Dt. Verkehrs-Verlag, Hamburg, 2005.
- [18] Arnold, D. und Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. Springer, Berlin Heidelberg, 2009.
- [19] Bächler, L.; Bächler, A.; Kölz, M.; Hörz, T. und Heidenreich, T. : Über die Entwicklung eines prozedural-interaktiven Assistenzsystems für leistungsgeminderte und -gewandelte Mitarbeiter in der manuellen Montage. Hrsg.: Soeffker, D., Tagung Mensch Maschine, Magdeburg, 2014 (awaiting publication).
- [20] Rammelmeier, T.; Galka, S. und Günthner, W. A.: Fehlervermeidung in der Kommissionierung. Proc. DOI: 10.2195/lj_Proc_rammelmeier_de_201210_01 (2012).
- [21] Manzey, D.: Systemgestaltung und Automatisierung. Hrsg. Badke-Schaub, P.; Hofinger, G. und Lauche, K.: Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen (2. Aufl.), Springer, Heidelberg, S. 333-352, 2012.

- [22] Joiko, K.; Schmauder, M. und Wolff, G.: Psychische Belastung und Beanspruchung im Berufsleben. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2006.
- [23] Bächler, A.; Bächler, L.; Krüll, G.; Hörz, T. und Autenrieth, S.: A study about the comprehensibility of pictograms for order picking processes with disabled people and people with altered performance. Hrsg.: Soeffker, D., Tagung MATHMOD, Wien, 2015 (awaiting publication).
- [24] Manzey, D.: Systemgestaltung und Automatisierung. In P. Badke-Schaub; G. Hofinger; K. Lauche (Hrsg.), Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen (2. Aufl.) (S. 333-352). Heidelberg: Springer, 2012.
- [25] Joiko, K.; Schmauder, M. und Wolff, G.: Psychische Belastung und Beanspruchung im Berufsleben. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2012.
- [26] Bächler, A.; Bächler, L.; Krüll, G.; Hörz, T. und Autenrieth, S. (awaiting publication): A study about the comprehensibility of pictograms for order picking processes with disabled people and people with altered performance. In: Soeffke Uni Magdeburg (Hg.): Tagung MATHMOD. Wien, 2015.

Akzeptanzerhöhung durch den Einsatz von Rapid-Prototyping Technologien für angepasste Unterstützungssysteme

K. Hähnel, H. Freyer, S. Ulrich, R. Bruns

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Maschinenelemente und Technische Logistik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Holger.Freyer@hsu-hh.de, Rainer.Brunz@hsu-hh.de

A. Breitfeld, J. Wulfsberg

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Andreas.Breitfeld@hsu-hh.de, Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Basierend auf dem Akzeptanzmodell nach Degenhardt sind für den Einsatz von Rapid-Prototyping Technologien verschiedene Faktoren zu berücksichtigen um eine Akzeptanzerhöhung beim Anwender zu erreichen. Auf der einen Seite kann durch den Einsatz von Rapid-Prototyping Technologien eine Akzeptanzerhöhung erreicht werden. Dieses kann beispielsweise durch eine frühzeitige Integration des Anwenders und seiner geometrischen Parameter im Verlauf der Entwicklungsphase umgesetzt werden. Auf der anderen Seite kann aber die Entscheidung Unterstützungssysteme zu verwenden von Rapid-Manufacturing Technologien nicht beeinflusst werden. Dadurch sind Interventionen und vor allem die Möglichkeiten zur Konfrontation mit dem zu bedienenden System notwendig um eine Akzeptanzerhöhung bezugnehmend auf die geplante Nutzung erreichen zu können.

Abstract

Increase the acceptance by using rapid-prototyping technologies for customized support systems

Basing on the Degenhardt acceptance-model various factors must be considered for the use of rapid-prototyping technology in order to achieve an increasing acceptance by the user. On the one hand using rapid-prototyping technologies an increasing acceptance in the attitudinal dimension can be achieved. This can be implemented by an early integration of the user and its geometrical parameters during the development process. On the other hand, the dimension of decision acceptability of rapid manufacturing technologies cannot be influenced. Thereby interventions and above all the possibility to confrontations with the supporting system can generate an increase in the acceptance with reference to the proposed use.

1 Bedeutung des Begriffs Akzeptanz

Um Akzeptanz eines Unterstützungssystems schaffen zu können muss zunächst das Phänomen „Akzeptanz“ im Bezug auf den Menschen definiert sein.

In der vorherrschenden wissenschaftlichen Literatur existieren bisher keine einheitlichen und allgemein anerkannten Definitionen von Akzeptanz [1, 2]. Der Akzeptanzbegriff stammt von dem lateinischen Wort „accipere“ und wird in der allgemeinen als auch in der wissenschaftlichen Verwendung mit seiner ursprünglichen Bedeutung wie Annehmen, Anerkennen, Einwilligen, Bejahen, Zustimmen, oder Billigen umschrieben [2, 3, 4]. Diese Form der Annahme und Zustimmung ist mental repräsentiert und kann sich auf nahezu jeden Gegenstand, sowohl in materieller als auch immaterieller Art beziehen und reicht von der Akzeptanz von Personen oder Gruppen über Werthaltungen und Weltanschauungen bis hin zur Akzeptanz von Technologien und technischen Innovationen.

Um das breitgefächerte Konstrukt der Akzeptanz näher zu analysieren wird in der Literatur zwischen verschiedene Merkmale der Akzeptanz unterschieden. So nehmen die Akzeptanzfaktoren Subjekt-, Objekt- und Kontextbezogenheit eine wesentliche Rolle ein, da diese die Ausprägung der Akzeptanz und die konkreten Faktoren prägen, die die Entstehung von Akzeptanz beeinflusst. Die Dreiteilung der Akzeptanzfaktoren in Subjekt, Objekt und Kontext umschreibt den Umstand, dass eine oder mehrere Personen (Akzeptanzsubjekt das näherer Definierung bedarf), einen Gegenstand (materieller oder immaterieller Natur) innerhalb der jeweiligen Rahmen- oder Ausgangsbedingungen (Akzeptanzkontext) akzeptiert oder annimmt [3]. Würde beispielsweise die Geschäftsführung eines Unternehmens beschließen ein neues technisches Gerät zur Arbeitserleichterung einzuführen und möchte, dass dies von den Mitarbeitern akzeptiert wird, würden die Mitarbeiter das Akzeptanzsubjekt darstellen, das neue technische Gerät das Akzeptanzobjekt und der Arbeitsplatz mit all seinen Gegebenheiten den Akzeptanzkontext.

Zum tieferen Verständnis der Akzeptanz und zur Identifizierung und Untersuchung verschiedener Faktoren, die auf die Akzeptanz Einfluss nehmen werden in der Psychologie verschiedene Dimensionen der Akzeptanz beschrieben und diskutiert. So wird zwischen den Dimensionen der Einstellungsebene und der ggf. zugehörigen normativen oder Wertebene und der Handlungs- bzw. Verhaltensebene der Akzeptanz unterschieden [2, 5].

1.1 Einstellungsdimension

Die Einstellungsdimension der Akzeptanz beschreibt die positive Haltung, Einschätzung oder Bewertung eines Akzeptanzobjektes. So definiert zum Beispiel Simon [6] Akzeptanz als „die positive Annahmeentscheidung einer Innovation durch die Anwender“. Innerhalb des Verständnisses von Akzeptanz aus rein einstellungsbezogener Sicht wird davon ausgegangen, dass bestimmte Handlungsintention oder -bereitschaft vorhanden ist, nicht aber das Handeln selbst [2, 5].

1.2 Normative/Wertedimension

Die normative und Wertdimension beinhaltet die positive Bewertung eines Akzeptanzgegenstandes auf der Grundlage von Normen und Werten und wird in der Literatur häufig nicht als eigenständige Dimension sondern als Bestandteil der Einstellungsdimension betrachtet. So spielen Normen und Werte eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung von Einstellungen.

1.3 Handlungsdimension

Die Handlungsdimension der Akzeptanz beschreibt neben der Einstellung auch eine Handlungskomponente, wobei eine Handlung zwar erfolgen kann aber nicht zwangsläufig auch erfolgen muss [5, 6, 7, 8]. So verstehen z.B. Sauer und Kollegen [9] Akzeptanz „als positive Einstellung eines Akteurs einem Objekt gegenüber, wobei diese Einstellung mit Handlungskonsequenzen (auch durch Unterlassen) verbunden ist“ (Vgl. auch [10]).

2 Akzeptanz von Technologien und technischen Innovationen

Seit knapp 20 Jahren wird die Akzeptanz von technischen Produkten und Entwicklungen, die sogenannte Technikakzeptanz in der Fachwissenschaft aus verschiedenen Perspektiven wie beispielsweise der Psychologie, Soziologie, Arbeitswissenschaft und Wirtschaftswissenschaft beleuchtet und diskutiert [11] und rückt zunehmend in den Fokus der Akzeptanzforschung. Dies hängt zum einen damit zusammen, dass Technik eine zunehmende Verbreitung in verschiedene Bereiche des alltäglichen Lebens erfährt und sich zum anderen das Profil der Techniknutzer im Wandel befindet.

Heute sind es nicht nur junge, technikbegeisterte Menschen, die sich mit Technologien auseinandersetzen, sondern auch zunehmend ältere Menschen, die z.B. auf technische Assistenzsysteme angewiesen sind, physisch eingeschränkte Menschen oder Arbeitnehmer, deren Arbeitsumwelt zunehmend durch technische Entwicklungen mit gestaltet wird [12]. In zahlreichen Untersuchungen wurde gezeigt, dass die Bewertung von Technik mit Einstellungen, Bedürfnissen, Wünschen und Fähigkeiten des Nutzers zusammenhängen [13, 14, 15; 16; 17, 18] sowie mit Eigenschaften des technischen Gerätes [15].

Die vorgestellten Akzeptanzfaktoren sind ein zentraler Bestandteil vieler Akzeptanzmodelle, die dazu beitragen, aus verschiedenen theoretischen Ansätzen Einflussfaktoren, Phasen oder Mechanismen zu strukturieren und in einen Zusammenhang wie eine Wirkungsbeziehung zu bringen zum Beispiel wie die Akzeptanz durch verschiedene Einflussfaktoren gesteigert werden kann oder welche Faktoren sich eher hemmend auf die Akzeptanz auswirken.

3 Vorhersage von Technikakzeptanz

Ein Modell zur Vorhersage von Technikakzeptanz wurde von Degenhardt und Kollegen bereits 1986 beschrieben (Abb. 1).

Degenhardt nennt in seinem Modell die wahrgenommene Nützlichkeit des Systems als zentralen Einflussfaktor auf die Akzeptanz. Die Nützlichkeit ermittelt das Akzeptanzsubjekt hierbei mittels einer Kosten-Nutzen-Abwägung in die verschiedene Variablen mit einfließen.

Dazu gehören die Aufgabencharakteristika, wie die Wichtigkeit der Aufgabe, Häufigkeit mit der die Aufgabe erledigt werden muss und Alternativen die zu Verfügung stehen.

Als weitere Variable werden die individuellen Benutzermerkmale wie Fähigkeiten, Fertigkeiten und motivationale Variablen und das soziale Umfeld genannt. Diesen beiden Variablen übergeordnet und in diesem Kontext besonders relevant beschreibt Degenhardt den Einflussfaktor Systemkonfiguration, der akzeptanzrelevante Merkmale des zu nutzenden Systems beschreibt. Als entscheidende Einflussfaktoren beschreibt Degenhardt hier die Aufgabenkompatibilität, also inwieweit das System für die Erledigung der Aufgabe geeignet ist. Um eine hohe Akzeptanz zu erreichen nennt Degenhardt als zweiten Faktor die Benutzerfreundlichkeit, die beschreibt inwieweit das System an die Bedürfnisse und individuellen Voraussetzungen seiner

Anwender angepasst ist. Als drittes wird die Erlernbarkeit angesprochen. So muss der Anwender in der Lage sein das System schnell und einfach zu erlernen.

Als letzte Einflussvariable nennt Degenhardt die Akzeptierbarkeit und beschreibt diese als individuelle Bewertung der Systemnutzung durch das Akzeptanzsubjekt, indem Sinne, dass der Nutzung keine individuellen Normen oder Nebeneffekte entgegenstehen [19].

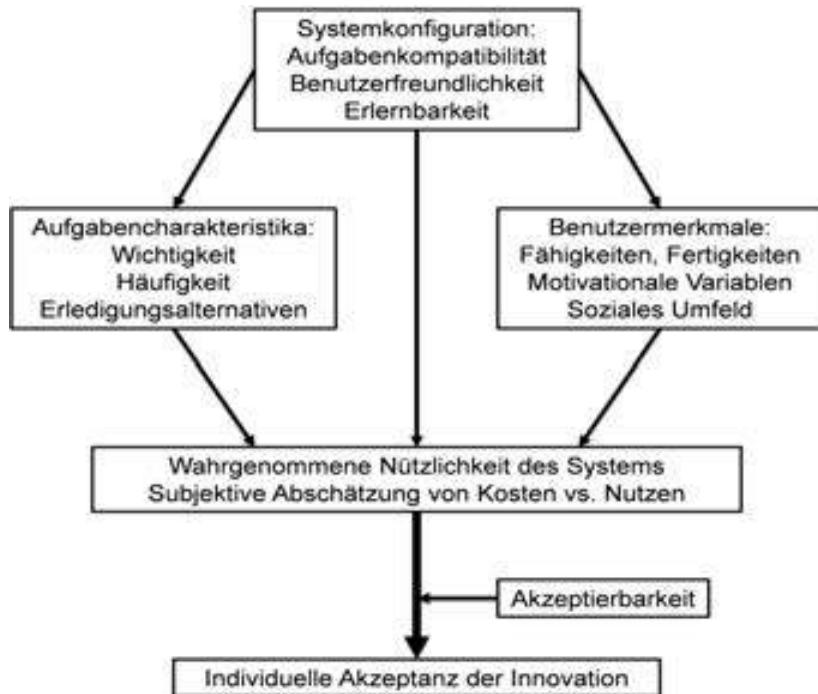


Abb. 1: Akzeptanzmodell nach Degenhardt [19]

Aus Degenhardts Modell ist abzuleiten, dass die Systemkonfiguration mit den Merkmalen Aufgabenkompatibilität, Benutzerfreundlichkeit und Leichtigkeit des Erlernens ein entscheidende Faktoren sind um die Akzeptanz einer Technologie zu erhöhen. Denn Degenhardt geht davon aus, dass die Systemkonfiguration sowohl auf die Variablen Aufgabencharakteristika und individuelle Benutzermerkmale Einfluss hat als auch direkt auf die wahrgenommene Nützlichkeit der Technologie und somit auf die individuelle Akzeptanz. Die Systemkonfiguration und somit die Gestaltung eines Systems oder einer Technologie bieten somit einen guten Ansatzpunkt um die Technikakzeptanz eines Individuums zu erhöhen. Folgt man Degenhardts Modell wird durch die Erhöhung der Aufgabenkompatibilität eines Systems, durch die Vereinfachung des Erlernens und durch die genaue Anpassung der Technologie auf die Gegebenheiten und Bedürfnisse des Nutzers auch die Akzeptanz des Nutzers erhöht.

Weitere Evidenz für die Relevanz der Technikgestaltung zur Akzeptanzerhöhung findet sich in zahlreichen empirischen Untersuchungen und weiterentwickelten Modellen zur Technikakzeptanz. So konnten Davis & Venkatesh, 1996 in ihrem weit verbreiteten, robusten und leistungsfähigem Technology Acceptance Model Faktoren identifizieren, die einen hohen Anteil der Varianz (um die 40 %) in der Intention zur Nutzung von Technik und im Technikverhalten selbst erklären konnte [20, 21]. Im Technology Acceptance Model wird davon ausgegangen, dass der beste Prädiktor für die aktuelle Nutzung von Technik die Intention, also die Absicht oder das Vorhaben das Technische Gerät zu Nutzen darstellt. Diese wird wiederum durch zwei

Überzeugungen bestimmt. Zum einen durch die empfundene Nützlichkeit („perceived usefulness“), definiert als „the degree to which a person believes that using a particular system would enhance his or her job performance“ und die empfundene Leichtigkeit der Nutzung (perceived ease of use) definiert als „the degree to which a person believes that using a particular system would be free of effort“ [20]. Die Leichtigkeit der Nutzung beeinflusst dahingehend die Nützlichkeit, dass wenn zwei Geräte mit der gleichen Funktion zu Verfügung stehen, dasjenige eher akzeptiert wird, welches leichter zu nutzen ist [22].

Die Befunde von Davis & Venkatesh lassen ebenfalls die Vermutung zu, dass sich durch eine genaue Anpassung der technischen Systeme an die Gegebenheiten der Nutzer und eine intuitivere Bedienbarkeit, die tatsächliche Leichtigkeit des Gebrauchs erhöhen lässt und durch die Erfahrung der Nutzer mit dieser Erleichterung der Bedienung auch die Akzeptanz steigt.

Auch Blaschke und Kollegen gehen davon aus, dass die Leichtigkeit der Nutzung technischer Geräte bzw. deren Handhabbarkeit (Feasibility) wesentlich für die Akzeptanz dieser sind. So postuliert Blaschke, dass wenn die Bedienung eines technischen Gerätes die Veränderung routinierter Handlungsabläufe fordert oder gar das Erlernen ganz neuer Verhaltensweisen, z.B. das Erlernen einer neuen Art von Sprache im Rahmen von Computer-Jargon einen negativen Einfluss auf die Akzeptanz und Nutzung ausüben [23].

Davis & Vankatesh haben nachgewiesen, dass die wahrgenommene Leichtigkeit der Bedienung in erster Linie nicht von den äußereren Eigenschaften des Gerätes abhängt. Sie konnten zeigen, dass erst die Erfahrung mit dem Gerät die wahrgenommene Leichtigkeit beeinflusst. Mit anderen Worten ist es nicht förderlich wenn jemand vorgibt wie einfach etwas zu bedienen ist, der User oder Anwender muss es selbst ausprobieren um seine Akzeptanz gegenüber dem System zu erreichen.

In der Literatur werden weitere Faktoren der technischen Gestaltung genannt, die sich auf die Technikakzeptanz und Nutzung der Technik auswirken. So gehen Courtney und Kollegen davon aus, dass die Unauffälligkeit (Unobtrusiveness) eines technischen Geräts einen entscheidenden Faktor darstellt [21, 24]. So wird davon ausgegangen, dass zum Beispiel Sicherheitsrisiken kaum wahrgenommen werden wohingegen die Auffälligkeit der Technik (Intrusiveness) etwa die Hälfte der negativen Technik- Beurteilungen ausmacht [25].

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass eine unauffällige Gestaltung der technischen Geräte durch eine Anpassung an den Nutzer die Akzeptanz eines Individuums gegenüber dem Gerät steigen lässt. Dieses Phänomens der gesteigerten Akzeptanz unauffälliger Geräte finden bereits in Altenheimen unter der Bezeichnung Ambient Assisted Living (AAL) Anwendung. Dort sind solche Unterstützungssysteme von allen betroffenen Anwendern entsprechend erwünscht und dadurch auch in einem hohen Maße akzeptiert [26, 27]. Die meisten Bewohner nehmen Assistenzsysteme, wie zum Beispiel selbsttätig öffnende Türen auch gar nicht mehr zur Kenntnis, sondern für sie gehören sie zum Alltag.

4 Unterstützungs- / Assistenzsysteme

Zunächst stellt sich jedoch noch die Frage, was Assistenz- oder Unterstützungssysteme überhaupt sind. Häufig werden Assistenz-, Unterstützungs- und Hilfssysteme als Synonym verwendet. Geeigneter erscheint jedoch eine Unterteilung gemäß dem Funktionseinfluss auf die Aufgabenbewältigung der Systeme.

4.1 Unterstützungssysteme

Dabei definiert Doğangün Unterstützungssysteme als "informationsverarbeitendes technisches Gebilde, das die Aufgabenerfüllung eines Operateurs in einem Mensch.Maschine-System dadurch fördert, dass es bestimmte, für seine Zielerreichung notwendige, Teilaufgaben innerhalb seiner Gesamtaufgabe übernimmt und/oder ausführt" [28]. Dabei muss jedes Unterstützungssystem allerdings in eine Spanne von manuell bis vollautomatisiert eingeordnet werden. "Diese Einordnung bedeutet, dass in einem Unterstützungssystem weder eine vollständige Automation noch eine vollständige manuelle oder kognitive Kontrolle besteht" [28].

Dadurch interagieren Unterstützungssysteme sowohl mono- als auch bidirektional mit dem Anwender und stellen somit eine Funktionsallokation, also einer Prozesszuweisung von Funktionen / Aufgaben in der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) jeweils zur Maschine oder zum Menschen dar (Abb. 2).

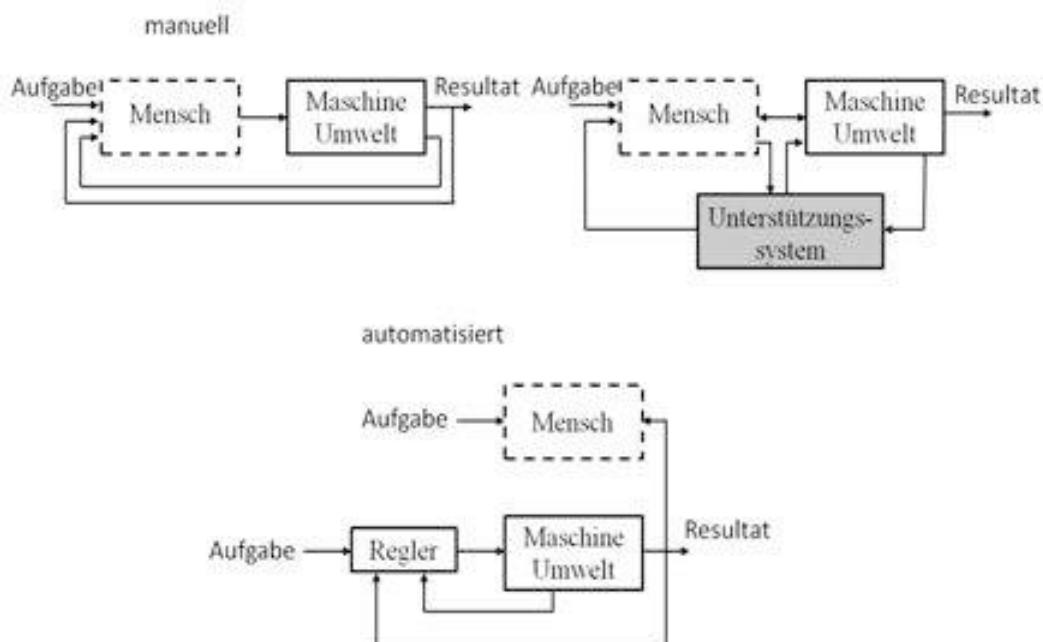


Abb. 2: Unterteilung manueller und automatisierter Unterstützungssysteme in Mensch-Maschine Systemen [28]

4.2 Assistenzsysteme

Assistenzsysteme hingegen können sich zunächst aus Kombinationen von Assistenzfunktionen zusammensetzen. Sie haben dabei das Ziel Menschliche Handlungen zu Unterstützen, seine Fähigkeiten zu erweitern und seine Schwächen zu kompensieren (Abb. 3).

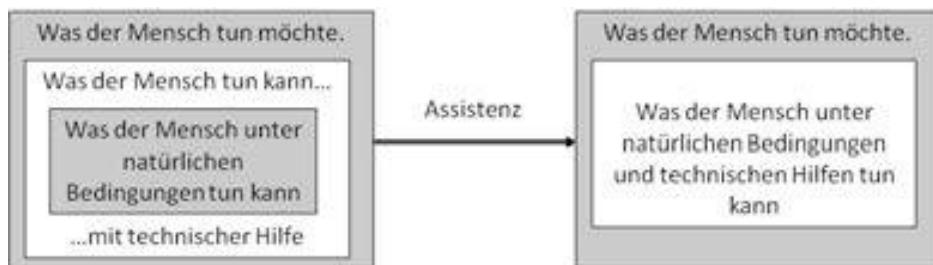


Abb. 3: Unterteilung eines Assistenzsystems [28]

Bezogen auf Systeme mit direktem Kontakt zum Menschen sind angepasste und individualisierte Schnittstellen, welche möglichst optisch mit dem Körper verschmelzen die Herausforderung. Insbesondere die Herstellung und Entwicklung von möglichst unsichtbaren und nicht spürbaren - Unterstützungssystemen - stellt die besondere Herausforderung für den Entwicklungs- und Herstellungsprozeß dar. Gerade die Rapid-Prototyping bzw. die Rapid-Manufacturing Technologien sind herausragend dafür geeignet kurzfristig und in besonderem individuiert auf den User einzugehen [29].

5 Bestehende Unterstützungssysteme

Die meistbekannten Unterstützungssysteme, welche direkten Kontakt zum Menschen haben und extreme individualisierte Anpassungen benötigen sind Zahníimplantate, wie sie fast jeder Mensch ab einem gewissen Alter mit sich trägt, was nicht nur für eine hohe Einstellungsakzeptanz sondern auch für eine hohe Verhaltensakzeptanz spricht [30].

Solche Zahníimplantate werden konventionell durch eine Abformung des Gebisses, und durch die Erstellung eines Modells und den damit verbundenen Arbeitsschritten generiert.

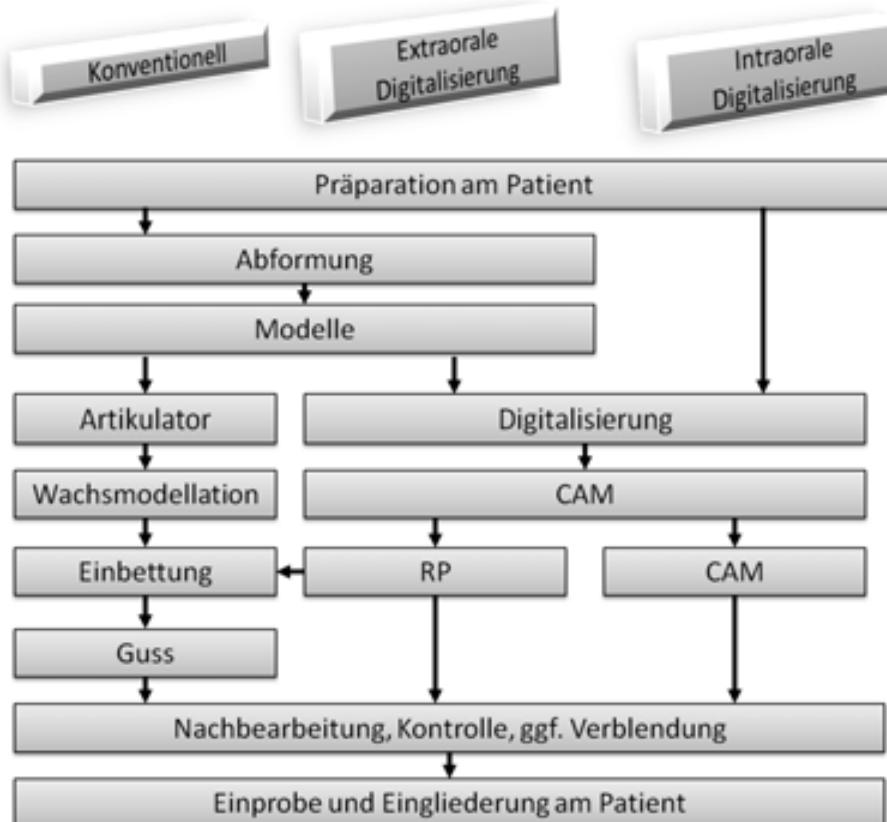


Abb. 4: Gegenüberstellung von herkömmlicher Zahnersatzherstellung zur digitalen Herstellung

Dabei musste aber immer eine enorme Nacharbeit nach dem einsetzen in den Kiefer oder Mundraum des groben Implantates direkt am Patienten durchgeführt werden (s.a. Abb. 4). Diese konventionelle Implantat Herstellung ist derzeit stark im Wandel hin zu einer digitalen Verarbeitung und Generierung dreidimensionalen Daten von Zahnersatz oder gesamten Implantaten.



Abb. 5: Seitliches intraorales 3D-Scanbild eines Ober- und Unterkiefers

In der aktuellsten Herstellungsvariante (Intraorale Digitalisierung – Abb. 5) erstellt der Zahnarzt ein intraoralem 3D-Scan des Zahnbildes des Ober- und Unterkiefers. Auf der Basis dieser digitalen Daten kann er dann ein perfekt passendes und bereits mit passgenauen Funktionsflächen, in diesem Fall Kaufläche, Ansatzbohrung und Seitenflächen versehenes Implantat am Computer generieren.

Dieses wird dann auf einer Rapid-Prototyping Maschine beispielsweise aus Keramik gefertigt. Abschließend wird es dem Patienten implantiert und kann sofort ohne Nacharbeit, da es geometrisch und funktionell exakt passt vollständig belastet werden. Besonders ist dabei durch den Einsatz von Rapid-Manufacturing-Technologien, die Reduzierung der Arbeitsschritte am Patienten. Diese Reduzierung der Arbeitsschritte am Patienten ist für denselben nicht nur eine Zeitsparnis, sondern eine Komforterhöhung, da ihm nicht so viel am offenen Mund gearbeitet werden muss, woraus wiederum eine Erhöhung der Akzeptanz zur Folge hat. Fertigungstechnisch gesehen wird durch den Einsatz dieser neuartigen Technologie eine Verkürzung der Durchlaufzeit bei der Herstellung erreicht. Dies ist mit einer Folge durch eine Verringerung der Anzahl an Fertigungsschritten.

Analog zu dem Einsatz dieser digitalen Vorgehensweise für die Erstellung von Schnittstellen an die geometrischen Abmessungen des menschlichen Körpers für Unterstützungs- / Assistenzsysteme kann ein dreidimensionales Bild des Anwenders einen wertvollen Beitrag leisten. Dabei können die dreidimensionalen Daten des Anwenders direkt in den Entwicklungsprozess integriert werden, wobei durch den Einsatz von Rapid-Prototyping verfahren auch die Anbindung von Userspezifischen geometrischen Parametern sehr einfach realisiert werden kann. Ansatze wird das Rapid-Prototyping in der Prothesen Entwicklung und Herstellung eingesetzt. "Enabling the future" ist beispielsweise eine Community in welcher freiwilliger Helfer Prothesen für Bedürftige, in erster Linie Kinder, entwickeln und personalisiert und vor allem individualisiert mit Rapid-Prototypingverfahren herstellen.

Gerade bei der Konfrontation von Behinderten mit personalisierten Assistenzsystemen zeigt sich, dass Einstellungskzeptanz schneller auch die Verhaltenskzeptanz positiv beeinflusst, da Bedürftigen bewusster ist, dass die Lebensqualität durch solche Systeme gesteigert werden kann. Nachweislich steigert eine solche individuelle Prothese auch das Selbstwertgefühl. Peregrine Hawthorn sagte beispielsweise nach dem Anlegen ihrer personalisierten Handprothese: "There's something about that moment when it goes from being a thing. I'm holding up - to a part of my body... that's almost magical".



Abb. 6: Junge mit individualisierter und personalisierter Handprothese [33]

6 Zusammenfassung und Ausblick

An den Worten dieses Kindes lässt sich sehr gut das Potential zusammenfassen mit der man die Einstellungsakzeptanz von Assistenzsystemen durch Rapid-Prototyping Technologien erhöhen kann. Dabei muss der Fokus vor allem auf der personalisierten Form und der Berücksichtigung der Wünsche des jeweiligen Nutzers liegen, damit sich dieser frühzeitig im Entwicklungsprozess mit dem System auseinandersetzen kann. Dies bewirkt erzwungenermaßen positive Einstellungsakzeptanz und somit die Basis dafür das sich eine positive Akzeptanz gegenüber dem Assistenz- / Unterstützungssystem ausprägen kann.

Allerdings kann Rapid-Prototyping nur teilweise einen Einfluss auf eine Akzeptanzerhöhung bewirken, da besonders das Entscheidungsverhalten nur in geringem Maße von der Akzeptanz beeinflusst wird. Insbesondere Interventionen und die Möglichkeit entsprechende Unterstützungs- und Assistenzsystem auszuprobieren müssen für die Entscheidung des Einzelnen Anwenders sorgen solche Systeme zu verwenden und anzunehmen.

7 Literatur

- [1] Quiring, O.; Methodische Aspekte der Akzeptanzforschung bei interaktiven Medientechnologien; Münchener Beiträge zur Kommunikationswissenschaft Nr. 6; S. 3-4, 2006.
- [2] Lucke, D.; Akzeptanz. Legitimität in der „Abstimmungsgesellschaft“, Opladen 1995, ISBN 3-8100-1496-6; S.45-50; S. 52-53, S. 82.
- [3] Hüsing, B.; et al; Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil; Abschlussbericht; Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Karlsruhe, S. 20, S 24, 2002.
- [4] Pfeifer, W.; Etymologisches Wörterbuch des Deutschen. München, 1997: dtv.
- [5] Kollmann, T.; Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme. Wiesbaden. Springer-Verlag, (1998) ISBN 978-3-663-09235-3, S. 42; S. 51-52.
- [6] Simon, B.; Wissensmedien im Bildungssektor. Eine Akzeptanzuntersuchung an Hochschulen. Wien: unveröffentlichte Dissertation, 2001.
- [7] Harnischfeger, M.; Kolo, C.; und Zoche, P.: Elemente eines Akzeptanzmodells. In: N.Szyperski (Hrsg.), Perspektiven der Medienwirtschaft: Kompetenz - Akzeptanz - Geschäftsfelder. Lohmar, Köln: Josef Eul Verlag, S. 200, 1999.
- [8] Huijts, N.; Molin, E.J.E. und Steg, L.: Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (1), S. 526, 2012.

- [9] Sauer, A.; Molin, E. und Steg, L.: Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (1), I-1, 2012.
- [10] Schäfer, M.; Keppler, D. und Hempel, L.: Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung. Überblick und Reflexion am Beispiel eines Forschungsprojekts zur Implementierung innovativer technischer Energieeffizienz-Maßnahmen. *Discussion Paper - 34/2013*.
- [11] Sackmann, R. und Weymann, A.; Die Technisierung des Alltags; Campus Verlag, Frankfurt, 1994. ISBN 3-593,-35177-3.
- [12] Gaul, S.; Wilkowska, W. und Ziefle, M.: Accounting for user diversity in the acceptance of medical assistive technologies. Full paper at the 3rd International ICST Conference on Electronic Healthcare for the 21st century, eHealth 2010.
- [13] Kearns, W.; Rosenberg, D. und West, L.; Applegarth, S.: Attitudes and expectations of technologies to manage wandering behavior in persons with dementia, *Gerontechnology*; 6(2):89-101, 2007.
- [14] Mollenkopf, H. und Kaspar, R.: Technisierte Umwelten als Handlungs- und Erlebensräume älterer Menschen [Technified environments as spaces of older people's actions and experiences]. In G.M. Backes, W. Clemens & H. Künemung (Hrsg.), *Lebensformen und Lebensführung im Alter* - Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden ; S 193-221, 2004.
- [15] Raappana, A.; Rauma, M. und Melkas, H.: Impact of safety alarm system on care personnel. *Gerontechnology*, 6(2), S. 112-117, 2007.
- [16] Sävenstedt, S. und Zingmark, K.: Sandman; Being present in a distant room: aspects of teleconsultations with older people in a nursing home; P-O. 2006 In: *Qualitative Health Research*. 14, 8, S. 1046-57 12 S., 2006.
- [17] Scherer, P.: Produktives Lernen für Kinder mit Lernschwächen: Fördern durch Fordern. Bd. 3: Multiplikation und Division im Hundertraum. Horneburg: Persen Verlag, 2005.
- [18] Sixsmith, A.; Hine, N.; Neild, I.; Clarke, N.; Brown, S. und Garner, P.: Monitoring the well-being of older people. *Topics in Geriatric Rehabilitation*, 23(1), S. 9-23, 2007.
- [19] Degenhardt, W.: Akzeptanzforschung zu Bildschirmtext. Methoden und Ergebnisse. Reinhard Fischer, München, ISBN-10: 3889270239; S. 249, 1968.
- [20] Davis, F.: A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems - theory and results, PhD thesis, Massachusetts Inst. of Technology. S. 320, 1985.
- [21] Venkatesh, V. und Davis, F.D.: A Model of the Antecedents of Perceived Ease of Use: Development and Test. *Decision Sciences*, 27, S. 451-481, 1996.
- [22] Venkatesh, V und Davis, F.D.: A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46, S. 186-204, 2000.
- [23] Blaschke, S.; Schoeneborn, D. und Seidl, D.: Organizations as Networks of Communications: A Methodological Proposal. *Proceedings of the Annual Meeting of the Academy of Management (AoM)-Chicago*, 2009.
- [24] Courtney, K.; Demiris, G. und Hensel, B.: Obtrusiveness of Information-based Assistive Technologies as Perceived by Older Adults in Residential Care Facilities: a Secondary Analysis. *Medical Informatics and the Internet in Medicine*; 32(3), S. 241-249, 2007.

- [25] Melenhorst, A.; Fisk, A.; Mynatt, E. und Rogers, W.: Potential intrusiveness of aware home technology: perceptions of older adults. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 48th Annual Meeting, S. 266-270, 2004.
- [26] Georgieff, P.: Ambient Assisted Living - Marktpotenziale IT-unterstützter Pflege für ein selbstbestimmtes Altern. Fazit Forschung, ISSN 1861-5066.
- [27] Grüling, B.: Intelligenten Wohnungen gehört die Zukunft. Die Welt, <http://www.welt.de/wissenschaft/article122392951/Intelligenten-Wohnungen-gehoert-die-Zukunft.html>.
- [28] Georgieff, P.: Ambient Assisted Living - Marktpotenziale IT-unterstützter Pflege für ein selbstbestimmtes Altern. Fazit Forschung, ISSN 1861-5066
- [29] Grüling, B.: Intelligenten Wohnungen gehört die Zukunft. Die Welt, <http://www.welt.de/wissenschaft/article122392951/Intelligenten-Wohnungen-gehoert-die-Zukunft.html>.
- [30] Wallbaum, R.; Kalweit, A.; Peters, S. und Paul, C.: Handbuch Für Technisches Produktdesign: Material und Fertigung, ISBN 10 3-540-21416-X, 2012.
- [31] Mundt, T.; Schwahn, C.; Stark, T. und Biffar, R.: Studie zum Einsatz von Mini-Implantaten; Zahntechnisches Magazin, Nr. 18, 4, S. 173, 2014.
- [32] Bayrhammer, E.: Designprozess von Zahnersatz. Homepage; <http://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/de/bilder/virtual-engineering/content/zahnersatz.jpg> (10.11.2014).
- [33] Enabling the future - Community; Homepage: <http://enablingthefuture.org/enable-prosthetists-meet-printers-event-album/>, (10.11.2014).

Potentiale des Einsatzes von Generativen Fertigungsverfahren bei der Herstellung von individualisierten Komponenten für Mensch-Roboter-Hybridsysteme

T. Meyer, A. Breitfeld, J. Wulfsberg

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

omega351@gmx.de, andreas.breitfeld@hsu-hh.de, jens.wulfsberg@hsu-hh.de

H. Freyer, R. Bruns

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Maschinenelemente und Technische Logistik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

holger.freyer@hsu-hh.de, rainer.bruns@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Technische Unterstützungssysteme erlauben ihrem Nutzer die Verrichtung von Tätigkeiten, die von ihm sonst in der geforderten Quantität oder Qualität nicht zu leisten wären. Mensch-Roboter-Hybridsysteme bieten große Potentiale in Industrie und Gesundheitswesen, erfordern für optimale Unterstützung jedoch eine individuelle Anpassung an ihren Nutzer. Da mit dem Trend zur zunehmenden Verwendung von Leiharbeitskräften eine verstärkte Personalfloktuation im produzierenden Gewerbe einher geht [1], ist eine Möglichkeit zur schnellen und unkomplizierten Anpassung dieser Unterstützungssysteme an neue Nutzer erforderlich, ebenso im medizinischen Bereich (siehe generative Prothetik in [2]). Eine Möglichkeit dies zu gewährleisten ist die Verwendung generativer Fertigungsverfahren [3], um mit geringem Aufwand nutzerindividuelle Schnittstellenbausteine zu fertigen.

Abstract

Potentials of additive manufacturing for producing individualised components for Human-Hybrid-Robots

Mechanical support systems enable their users to fulfil tasks, which otherwise would not be solvable for them. Human-Hybrid-Robots are showing great potentials in industrial and medical applications but have to be individually adapted to their users in order to maximise the provided support. Due to the current tendency of temporary employment, companies experience a strong employee turnover. This creates the necessity of a quick and uncomplicated adaption of the system to a new employee, as well as to patients in the medical branch. A solution to this problem is the use of additive manufacturing in order to create user-individualised interface-components.

1 Einführung

Mensch-Roboter-Hybridsysteme (Human-Hybrid-Robot, kurz HHR) stellen ein interessantes und zukunftsträchtiges Feld aktueller Forschung und Entwicklung dar. Sie haben das Ziel, körperliche Arbeiten zu unterstützen und maßgeblich zu vereinfachen, sowie Anwender zu befähigen Tätigkeiten auszuführen, zu denen Sie sonst nicht in der Lage wären. Ferner besitzen sie ein Unterstützungsleistungspotential, welches die Bewältigung einer Aufgabe sowohl in erhöhter Quantität als auch in erhöhter Qualitäten ermöglicht, basierend auf der technischen Kompensation physiologischer Unzulänglichkeiten auf Seiten des Anwenders [4].

Im Zuge der Anwendung der technischen Bestandteile eines HHR auf den individuellen Menschen ergeben sich eine Vielzahl von potentiellen Problemen, die es zu lösen gilt. Eine Herausforderung, welche auch die Grundlage dieser Arbeit bildet, ist die biometrische Individualität des Menschen. Es liegt auf der Hand, dass ein HHR-System, welches bei einer spezifischen (Montage-)Verrichtung unterstützend wirken soll, nicht für jede Person individuell von Grund auf neu konstruiert werden kann. Dies wäre sowohl vom Entwicklungsaufwand als auch vom Fertigungsaufwand bei konventioneller Fertigung aus rationalen und ökonomischen Gesichtspunkten nicht zu vertreten. In Zeiten hoher Personalfluktuation als Folge der verstärkten Nutzung von Leiharbeitskräften, gewinnt dieses Problem noch stärker an Relevanz.

Ein naheliegender Lösungsansatz für das Problem des biometrischen Individualismus besteht in der Verwendung von austauschbaren Elementen im ansonsten standariserten HHR-System. Diese Austauschelemente stellen den eigentlichen Kontakt in der Funktion einer physiologischen Schnittstelle zum Anwender her. Sie sind auf die Biometrie des Nutzers abgestimmt und werden individuell angefertigt. Auf diese Weise könnte dasselbe HHR-Unterstützungssystem von mehreren Personen, die unterschiedliche körperliche Charakteristika aufweisen, genutzt werden. Besonders in Unternehmen und Einrichtungen, in denen im Schichtbetrieb gearbeitet wird, stellt die Möglichkeit zum schnellen Anwenderwechsel eine Grundanforderung für den erfolgreichen Einsatz von HHR-Systemen dar.

Werden individualisierte Komponenten verwendet, wirft dies, insbesondere bei neuen Mitarbeitern, das Problem auf, dass diese erst mit der Arbeit beginnen können, wenn diese Komponenten hergestellt wurden. Verfahren des Rapid-Manufacturing bieten hier das Potential die Vorlaufzeiten und den Aufwand erheblich zu senken, welcher bei der Einbindung eines neuen Mitarbeiters in ein HHR-System zwangsläufig auftritt.

Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist daher die Eignung verschiedener Verfahren des Rapid-Manufacturing, sowohl im Allgemeinen als auch im Speziellen, nutzerangepasste Systembestandteile bereitzustellen.

2 Human Hybrid Robot – Technik, die die Menschen wollen

Mensch-Roboter-Hybridsysteme (Human-Hybrid-Robot, kurz HHR) sind technische Unterstützungssysteme für den menschlichen Anwender. Ihr prinzipieller Ansatz liegt in der Integration (Verschmelzung) von Mensch, technischen System, Werkzeug und Funktionalitäten [5]. Die Hauptziele der Verwendung von HHR-Systemen in der industriellen Montage sind

1. Steigerung der Montagegenauigkeit,
2. Fähigkeitssteigerung durch intelligente Ablaufsteuerung,
3. Fehlervermeidung im Montageprozess,
4. Verringerung der physischen Belastung des Arbeiters,

5. Unterstützung und Beschleunigung des Anlernprozesses sowie
6. Verringerung von Qualitätsschwankung durch Mitarbeiterfluktuation.

HHR - Systeme zeichnen sich durch eine modulare Systemarchitektur aus, die eine personen- und aufgabenangepasste Konfiguration ermöglicht. Um die individuellen, komplementären Vorteile des Menschen (z.B. gute Sensorik und Kognition) und der technischen Systeme (z.B. gute Wiederholgenauigkeit und hohe Ausdauer) nutzen zu können, werden biomechanische und technische Elemente seriell und/oder parallel intelligent gekoppelt (technische Systeme, Werkzeuge und Funktionalitäten mit den biologisch-physiologischen Voraussetzungen des Menschen). Auf diese Weise sollen zum einen die sensomotorische Koordination, die kognitiven Funktionen sowie die sehr gut ausgeprägte Sensorik des Menschen und zum anderen die maschinenspezifischen Eigenschaften wie z.B. quantitative Charakterisierung, Kraftunterstützung und Ausführung von Tätigkeiten mit einem starken Wiederholcharakter optimal ausgeschöpft werden. Die Hoheit über das Unterstützungssystem besitzt stets der Mensch, der die Sollwerte der technischen Elemente vorgibt [6]. Der Mensch steht im Mittelpunkt des HHR-Ansatzes.

3 Technische Komponenten eines HHR-Systems

Eine Übersicht über den prinzipiellen Aufbau eines HHR wird in Abbildung 1 dargestellt. Das System besteht aus einer mechanischen Grundkonstruktion, mechatronischer Komponenten (Aktoren, Sensoren und Regelungstechnik) und der physischen Nutzerschnittstelle. Die mechanische Grundkonstruktion beinhaltet Komponenten wie Streben, Führungen und Gelenke, welche die Kinematik des Systems definieren und als Träger aller weiteren Systembestandteile dienen. Die mechatronischen HHR-Module werden in der Regel von entsprechenden Herstellern zugekauft. Ebenso sind die für ein HHR-System erforderlichen mechatronischen Komponenten, welche der Bewegungserzeugung und –unterstützung dienen, standardisiert und von externen Zulieferern beziehbar. Die Nutzerschnittstelle nimmt in dieser Konstellation hingegen eine Sonderstellung ein, da sie zum einem aus ergonomischen Gründen an den Nutzer angepasst, zum anderen aber auf standardisierte Weise in das Techniksystem integriert werden muss. Dies bedeutet, dass die Systemkomponente „Schnittstelle“ ganz oder teilweise individuell gefertigt werden muss. Ein vollständiger Zukauf, wie er bei Standardteilen möglich ist, scheidet daher aus. Somit besteht bei der Systemanpassung an neue Nutzer stets die Notwendigkeit zur kurzfristigen Sonderanfertigung der Schnittstellenkomponenten.

4 Technische Anforderung an die Mensch-Technik-Schnittstelle

Die Mensch-Technik-Schnittstelle des HHR-Systems besitzt Alleinstellungmerkmale gegenüber den übrigen HHR-Systemkomponenten, mit denen eine Reihe von Anforderungen bzgl. Konstruktion, Fertigungstechnik und Werkstoff einhergehen

Da die Schnittstelle die Verbindung von Mensch und Technik herstellt, dient sie vorrangig der Kraftübertragung. Diese kann, abhängig von System und Verwendungszweck, in bis zu sechs Freiheitsgraden erfolgen und muss daher bei der Gestaltung des Bauteils berücksichtigt werden. Des Weiteren sollte die Konstruktion den Gestaltungsgrundsätzen des „Poka Yoke“ (jap.: „Vermeidung unbeabsichtigter Fehler“) folgen um eine Fehlbedienung der Schnittstelle von vorne herein unmöglich zu machen. Gewährleistet wird dies etwa durch Geometrieelemente der Schnittstelle, deren Form lediglich eine Befestigung in der korrekten Ausrichtung erlaubt.

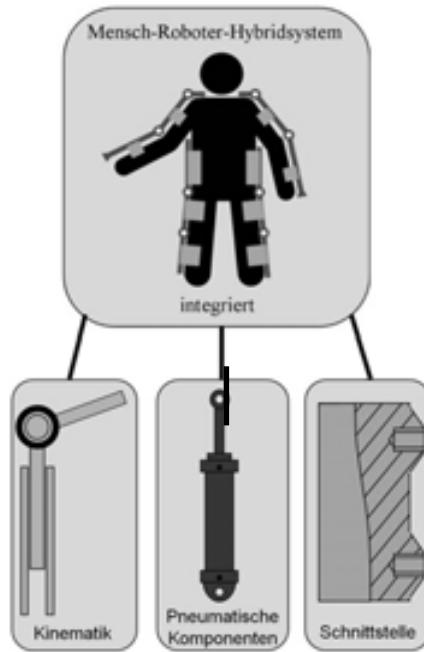


Abb. 1: Systemkomponenten eines HHR-Systems

Ferner ist unter Gesichtspunkten der Ergonomie eine Anpassung der Schnittstelle an die individuelle Nutzerphysiologie erforderlich, um körperlichen Schäden bei längerer Nutzung vorzubeugen. So wie die Schnittstelle nutzerseitig individualisiert werden muss, so muss sie technikseitig auf einheitliche Weise in das Robotersystem integriert werden. Die Kombination aus einheitlichen Zukaufteilen und nutzerindividuell angefertigten Formteilen in ein einziges Schnittstellenbauteil stellt hierfür eine denkbare Lösung dar.

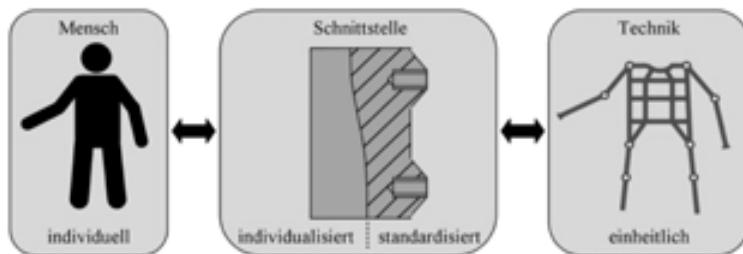


Abb. 2: Mensch-Technik Schnittstelle im HHR-Konzept

Da es sich bei den Schnittstellenbauteilen auf Nutzerseite um Individualbauteile handelt, muss zur Produktion ein Fertigungsverfahren gewählt werden, welches die Produktion geringer Stückzahlen mit geringem Zeit- und Kostenaufwand ermöglicht. Um kurze Verwaltungswege und Kapazitätsengpässe zu vermeiden, bietet sich ein dezentrales Fertigungskonzept am Einsatzort der HHR an.

Aufgrund der Tatsache, dass die nutzerseitige Schnittstelle zumindest vorübergehend im direkten Kontakt mit dem HHR-Nutzer steht, stellt die Biokompatibilität des verwendeten Werkstoffes eine wesentliche Anforderung an die Materialauswahl dar. Biokompatibilität bedeutet in dem hier genannten Zusammenhang, dass das Material bei externem Körperkontakt keine schädigende Wirkung auf den Nutzer hat (nicht karzinogen, nicht allergen). Verbindliche Materialeigenschaften und Grenzwerte für Medizinprodukte sind in ISO 10993. Im Bereich der Generativen Fertigungsverfahren sind ISO 10993 zertifizierte Materialien verfügbar [7]. Aus

Gründen der Ergonomie und Akzeptanzsteigerung ist außerdem eine gute Haptik des Werkstoffes vorteilhaft. Da das Schnittstellenbauteil, wie bereits zuvor beschrieben einer nutzer- und technikseitigen Krafteinwirkung ausgesetzt werden kann, ist eine entsprechende mechanische Festigkeit (variiert nach Anwendungsfall) vorauszusetzen. Nicht zu letzt erfordert ein ökonomisch sinnvoller Einsatz des Werkstoffes eine kostengünstige und wenig zeitintensive Verarbeitbarkeit. Die angesprochenen Anforderungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Technische Anforderungen an die HHR Mensch-Technik Schnittstelle

Domäne	Anforderung
konstruktionstechnisch	<ul style="list-style-type: none">- Kraftübertragung in bis zu 6 Freiheitsgraden- Poka Yoke Funktionalität- größtmögliche Anpassung an Nutzerphysiologie- standardisierte Maschinenseite- Integrationsmöglichkeit der Regelungstechnik- Kaufteile und genormte Verbindungstechnik im Maschinenteil- einfache, schnelle Montage der Mensch-Maschine Schnittstelle- schnelle Rekonfiguration der Komponenten
fertigungstechnisch	<ul style="list-style-type: none">- hohe Individualisierbarkeit- geringe Stückzahl des individualisierten Teils- schnelle, flexible Fertigung des individualisierten Teils- dezentrale Fertigung des individualisierten Teils- geringe Durchlaufzeit
werkstofftechnisch	<ul style="list-style-type: none">- biokompatibel, optisch/haptisch ansprechendes Material im individualisierten Teil- ausreichende mechanische Festigkeit- niedrige Stückkosten

5 Herstellung von HHR-Komponenten mit Hilfe von Generativen Fertigungsverfahren

Generative Fertigungsverfahren sind durch ihren additiven Fertigungsprozess charakterisiert und unterscheiden sich dadurch grundlegend von den konventionellen abtragenden Fertigungsverfahren, wie etwa Fräsen und Drehen [8]. Abbildung 3 liefert eine Übersicht über übliche generative Fertigungsverfahren. Sie bieten die einfache Möglichkeit komplexe Geometrien innerhalb eines Bauteils zu erzeugen, die konventionell schwer oder gar nicht zu fertigen wären. Ferner kann die Fertigungszeit in der Einzelteil- oder Kleinserienfertigung niedriger ausfallen als bei konventionelle Fertigungsmethoden.

Durch die Verwendung einer entsprechenden Maschine entfällt die Notwendigkeit vieler Einzelwerkzeuge (z.B. versch. Fräswerkzeuge mit zugehöriger Maschine), sowie von Umspannvorgängen während des Fertigungsvorganges. Der Vorteil der generativen Verfahren liegt in der Tatsache begründet, dass diese additive Fertigungsprozesse nutzen. Ein schichtweiser Aufbau des Bauteils und die verfahrensabhängige Verwendung von Stützstrukturen ermöglichen geometrisch komplexe Bauteile, die konventionell nicht zu fertigen wären. Besonders kommt dies dem Leichtbau zugute, da filigrane Strukturen wie etwa Gitterstrukturen, extreme (z.B. in sich verwundene) Hinterschneidungen, sowie Hohlräume in einem äußerlich massiven und geschlossenen Bauteil erzeugt werden können. Viele fertigungstechnische Restriktionen, die im

Bereich der konventionellen Fertigungsverfahren selbstverständlich sind, entfallen bei Verwendung von generativen Fertigungsverfahren. Auch verkürzen sich die Herstellungszeiten von Einzelstücken oder Kleinserien gegenüber der konventionellen Fertigung erheblich. Dies ist darauf zurück zu führen, dass Umrüstzeiten, Umspannzeiten oder gar Maschinenwechsel entfallen, da bei Nutzung entsprechender Verfahren, Bauteile in einer Maschine in der stets gleichen Aufspannung gefertigt werden können. Ebenfalls ist es gängige Praxis, auf additiv fertigenden Maschinen mehrere Bauteile zur selben Zeit herzustellen. Dies verkürzt die umgerechnete Produktionsdauer je Bauteil weiter, da die Setup-Zeit am Beginn eines jeden Produktionsvorganges (CAM Daten generieren, Maschine mit Material ausstatten, evtl. Maschine vorheizen) auf alle parallel produzierten Bauteile anteilig umgelegt werden kann. Bei der konventionellen Fertigung von Individualteilen, auch wenn dies CNC-basiert erfolgt, kann in den allermeisten Fällen nur ein Bauteil zur gleichen Zeit gefertigt werden. Dies verursacht wiederum eine vergleichsweise hohe Setup- bzw. Rüstzeit je Bauteil. Neben dem verminderen Fertigungsaufwand und dem damit verbundenen vermindernden Zeitaufwand spricht des Weiteren das Ein-Maschinen-Prinzip für die Verwendung von sogenannten Rapid Prototyping- (RP) und Rapid Manufacturing- (RM) Maschinen. Da die vollständige Fertigung der Bauteile auf nur einer Maschine stattfindet, wird kein großer Maschinenpark benötigt. Unternehmen denen wenig Platz zu Verfügung steht, eröffnet die Anschaffung einer RP/RM Maschine die Möglichkeit einen Großteil ihres Fertigungsbedarfes mit nur einer Maschine bei vergleichsweise (in Bezug auf eine komplette Werkstatt) geringem Platzaufwand zu befriedigen.

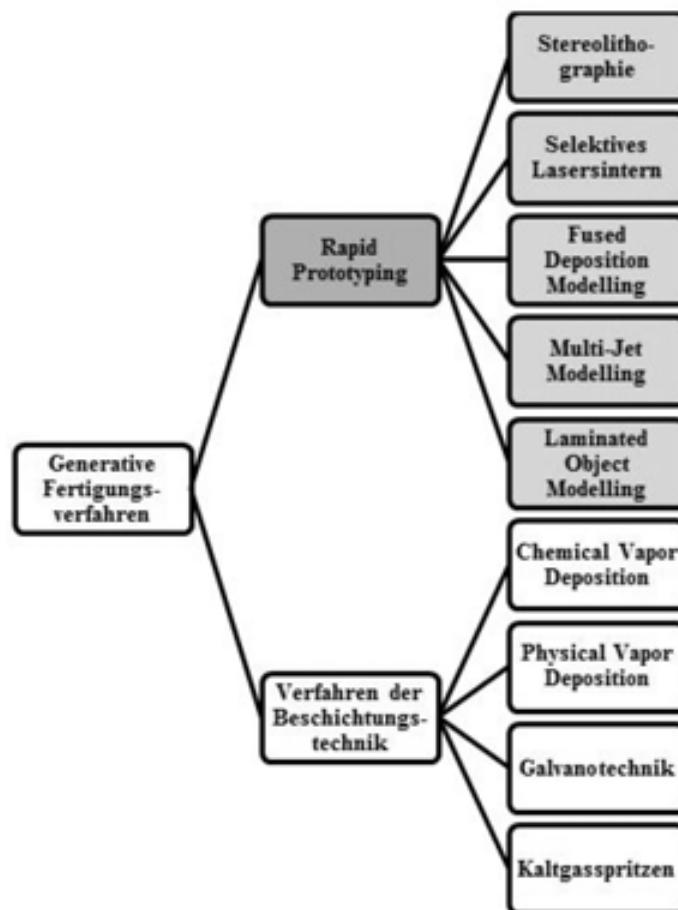


Abb. 3: Fertigungstechnische Einordnung der Rapid Prototyping Verfahren, nach [9]

Der Vorteil des Wegfalls einer ganzen Werkstatt für die Individualteilfertigung bringt noch einen weiteren Vorteil über die bloße Reduktion der Maschinenzahl hinaus: Mit immer preiswerteren und in den Abmessungen stark begrenzten Geräten (insbesondere Fused Deposition Modelling Maschinen) ist eine dezentralisierte Fertigung von Individualteilen, verteilt über das ganze Unternehmen, vorstellbar. Eine RP/RM-Anlage in jeder größeren Abteilung kann für kurze Auftragswege bei der Teilefertigung sowie für schnelle Auftragsbewältigung sorgen und beugt Kapazitätsengpässen vor, wie sie häufig in Zentralwerkstätten auftreten. Die für die Individualteilefertigung notwendige biometrische Erfassung der Arbeiter durch einen Körper-Scan kann und sollte hingegen zentral, direkt nach der Einstellung der neuen Arbeitskraft durch geschultes Personal in der Personalabteilung erfolgen. Der größte allgemeine Nachteil aller generativen Fertigungsverfahren gegenüber konventioneller Fertigung ist die limitierte Materialauswahl und -kombinierbarkeit in einem Bauteil. Dies relativiert sich jedoch in Hinblick auf den hier betrachteten Anwendungsfall. Eine große Materialauswahl steht bei der Erzeugung von Schnittstellenkomponenten mit der gleichen Funktion (Formschluss/Kraftschluss zwischen Maschine und Mensch) keinen Vorteil da, wenn doch ein einziges Material oder eine kleine Auswahl an Materialien, welche alle Anforderungen erfüllen (Verarbeitbarkeit, Festigkeit, Biokompatibilität, usw.), völlig ausreichend sind.

In Tabelle 2 sind die wesentlichen Vor- und Nachteile der in Abbildung 3 angesprochenen Rapid Prototyping Verfahren dargestellt. Auf Grund dieser Aufstellung soll, unter Berücksichtigung der technischen Anforderungen an die Mensch-Technik Schnittstelle aus Tabelle 1, geeignete Fertigungsverfahren für die Schnittstellenherstellung abgeleitet werden.

6 Bewertung und Folgerung für die Auswahl des Fertigungsverfahrens

Die Verfahren Selektives Lasersintern und 3-D Printing (Multi-Jet Modelling) bieten dem Anwender folgende gemeinsame Verfahrensvorteile:

- große Genauigkeit,
- hohe Materialvielfalt,
- große mechanische Belastbarkeit,
- Fertigung von Bauteilen hoher Komplexität,
- Verarbeitung biokompatibler Materialien,
- keine Vorbereitungskosten für z.B. Werkzeugbau- und Formenbau sowie
- hohes Individualisierungspotential durch integrierte Prozesskette.

Bezüglich der in Tabelle 1 dargestellten technischen Anforderungen an HHR-Schnittstellen bieten die angesprochenen Verfahren eine sehr gute Eigenschaftskongruenz.

Vor allem auf Grund der Möglichkeit zur schnellen Fertigung hochkomplexer, biokompatibler, haptisch ansprechender Strukturen mit großer mechanischer Belastbarkeit ohne den zeitlichen und finanziellen Aufwand des Werkzeug- und Formenbaus konventioneller Produktionsverfahrens eignen sich sowohl das Selektive Lasersintern als auch das Multi-Jet Modelling sehr gut für die Herstellung von HHR-Komponenten, insbesondere der Mensch-Technik-Schnittstellen. Auf Grund der Möglichkeit zur Kombination von Werkstoffen unterschiedlicher Eigenschaften in einem Bauteil eignet sich das Multi-Jet Modelling insbesondere für die Erstellung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.

Tab. 2: Merkmale verbreiteter Rapid Prototyping Verfahren, nach [10]

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Stereolithogra- phie	- detaillierte Oberfläche - hohe Fertigungsgenauigkeit - mechanisch belastbar - komplexe Formgebung	- Werkstoffbeschränkung auf UV-aktive Kunststoffe - hohe Fertigungskosten - langsamer Fertigungsprozess
Selektives La- sersintern	- mechanisch belastbar - thermisch belastbar - keine Stützstrukturen notwendig - hohe Materialvielfalt (Kunststoff, Metall) - biokompatibel - hohe Genauigkeit	- langsamer Fertigungsprozess - raue Oberflächen
Fused Deposi- tion Modelling	- kostengünstig	- raue Oberflächen - Stützstruktur notwendig - nur thermoplastische Kunststoffe verarbeitbar
3-D Printing (Multi-Jet Modelling)	- sehr hohe Genauigkeit - sehr glatte Oberflächen - unterschiedliche Materialien in einem Bauteil kombinierbar - biokompatible Materialien verfügbar - komplexe Geometrien - große mechanische Belastbarkeit	- geringe thermische Belastbarkeit der Fertigteile
Laminated Ob- ject Modelling	- kostengünstig	- geringe Genauigkeit - raue Oberfläche - keine komplexen Geometrie

7 Technische Umsetzung einer HHR Schnittstelle

Am Laboratorium Fertigungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg wurde ein mit einem HHR-Demonstrator ausgestatteter Arbeitsplatz aufgebaut, welcher auf Abb. 4 zu sehen ist. Das Demonstrator-System dient der Unterstützung von Arbeiten im Bereich der Mikromontage. Es besitzt eine Grundkinematik (Abb. 4, Nr.1) als Systembasis, mechatronische Komponente (Abb. 4, Nr.3) für die Erzeugung bzw. Aufnahme von Kräften sowie Mensch-Technik-Schnittstellen (Abb. 4, Nr.2) für den Anwender.



Abb. 4: Mikromontagearbeitsplatz mit Unterarm-Unterstützungssystem

Die Nutzerschnittstelle besteht aus einer im Multi-Jet Modelling Verfahren erzeugten individualisierten Komponente (Abb. 5, Nr. 1), sowie aus einer standardisierten Komponente, welche mittels Schraubenverbindung gefügt ist (Abb. 5, Nr. 2). Die individualisierte Komponente steht im direkten Kontakt mit dem Nutzer und ist an seine physiologischen Charakteristika angepasst. Sie besitzt eine Grundstruktur mit ausreichend starker mechanischen Festigkeit, die der Belastung bei Übertragung von Kräften auf den Nutzer widersteht, sowie elastische Bereiche an der Oberfläche, die den Tragekomfort erhöhen.

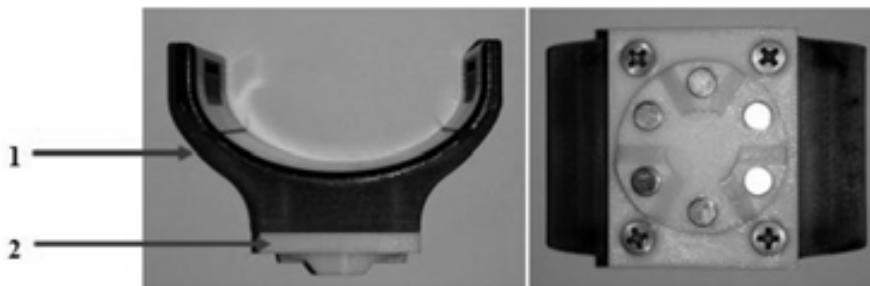


Abb. 5: Mensch-Technik Schnittstelle, gefertigt mit dem Multi-Jet Modelling Verfahren

Die standardisierte Komponente der Schnittstelle steht hingegen in direkten Kontakt zur Maschine. Sie ist für alle Nutzer-Schnittstellen gleich und besitzt Geometrieelemente, die eine Fehlpositionierung während der Montage und ein Verdrehen während der Nutzung verhindern. Starke Permanentmagnete sorgen für die kraftschlüssige Verbindung zwischen Schnittstellenbaugruppe und Technik-System.

Im Falle des Demonstrators ist die Schnittstelle, obwohl technikseitig einheitlich gestaltet, mittels Multi-Jet Modelling gefertigt und durch einzelne Normteile ergänzt. Aufgrund der einheitlichen Gestaltung und aus Kostengründen bietet sich, in Bezug auf den standardisierten Teil der Mensch-Technik Schnittstelle, die Verwendung von Kaufteilen an.

8 Ausblick

Im weiteren Verlauf des HHR-Forschungsprojekts ist neben der Integration des Demonstrators in eine Mikromontageumgebung auch die weitere Entwicklung, Erprobung und Implementierung mechatronischer Komponenten zur Bewegungsdetektierung und -führung geplant. Im Sinne eines transdisziplinären Projekt werden neben rein technischen Problemen aber auch arbeitsmedizinische, psychologische, rechtliche und ethische Fragestellungen im Zusammenhang mit der Entwicklung und Einführung von Unterstützungssystemen in eine Anwendungsumgebung untersucht.

9 Literatur

- [1] Mai, C.-M.: Arbeitnehmerüberlassung – Bestand und Entwicklung. In: Wirtschaft und Statistik 06/ 2008, S. 469- 476, Wiesbaden Statistisches Bundesamt, 2008.
- [2] Quitter, D.: Generative Verfahren liefert individuelle Beinprothese. In: www.kontruktionspraxis-vogel.de, 2011, aufgerufen am 14.11.2014.
- [3] Fastermann, P.: 3D-Druck/ Rapid Prototyping – Eine Zukunftstechnologie - kompakt erklärt, S. 103-107, Düsseldorf, Springer-Vieweg Verlag, 2012.

- [4] Weidner, R. und Wulfsberg, J. P.: 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.
- [5] Weidner, R.; Kong, N. und Wulfsberg, J. P.: Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. In: Production Engineering 7(6), S. 675-684, 2013.
- [6] Weidner, R.: HHR-Konzept: In: www.humanhybridrobot.info, 2014, aufgerufen am 14.11.2014.
- [7] StrataSys Ltd.: www.stratasys.com; dental / biocompatible materials, 2014, aufgerufen am 14.11.2014.
- [8] VDI, Rapid Prototyping - Grundlagen, Begriffe, Qualitätskenngrößen, Berlin, Beuth Verlag, 2009.
- [9] Breuninger, J.; Becker, R.; Wolf, A.; Rommel, S. und Verl, A.: Generative Fertigungsverfahren in Kunststoff, Springer Verlag, 2012.
- [10] Gebhardt, A.: Generative Fertigungsverfahren – Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping-Tooling-Produktion, 4. Aufl., Düsseldorf, Carl Hanser Verlag, 2013.

Mitarbeiter im Mittelpunkt der Produktion

Anforderungen an ein menschenfokussiertes Bewertungssystem

K. Schwake, J. P. Wulfsberg

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Kim.Schwake@hsu-hh.de, Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Bei der strategischen Ausrichtung der Produktion wird der Mensch oft als kostenintensiver und zu minimierender Faktor wahrgenommen. Moderne Unterstützungssysteme geben dem Menschen durch eine Erweiterung seiner Einsatz- und Leistungsfähigkeit jedoch eine neue Bedeutung in der Produktion. Bestehende Bewertungsmethoden sind nicht in der Lage diesen Aspekt zu berücksichtigen. Der Beitrag definiert das Zielsystem für ein entsprechendes Bewertungswerkzeug und leitet die Anforderungen her. Resultat ist ein Konzeptansatz mit dem Menschen im Mittelpunkt der technologischen Bewertung.

Abstract

Employees in the center of production – requirements for a human-focused evaluation system

While determining the production strategy the employee is often perceived as costly and to be minimized factor. However, by extending the possibilities of application and increasing the performance modern support systems give these humans a new meaning in production but existing evaluation methods don't consider these aspects. The paper defines the objectives for an appropriate assessment tool and derives the requirements for it. Result is a fundamental concept approach with the employees in the focus of technological evaluation.

1 Einleitung

Die momentane demografische Entwicklung in den Industriestaaten lässt das Durchschnittsalter der Belegschaft der meisten produzierenden Unternehmen steigen [1]. In Folge dessen rechnen die Unternehmen mit neuen produktionsplanerischen Problemen [2] und es besteht die Sorge, dass das zunehmende Alter zu verminderter Leistungsfähigkeit der Montage führt, resultierend in der Erwartung instabiler Prozesse und höherer Kosten.

Zahlreiche Studien zu den Folgen des demografischen Wandels widerlegen zwar die Vermutung, dass das höhere Alter prinzipiell zu geringerer Leistungsfähigkeit führt, zeigen jedoch eine Veränderung des Leistungsspektrums (vgl. z.B. [3], [4], [5]). Gleichzeitig schreitet die Entwicklung menschenorientierter Unterstützungssysteme in der Produktion rasant voran, die es ermöglichen könnten, diese altersbedingten Veränderungen zu kompensieren oder zu nutzen. In diesem Kontext muss dem Menschen bei der Planung der Produktion eine neue Bedeutung als effiziente und hochflexible Produktionsressource zugeordnet werden, die jedoch gleichzeitig hochpreisig und anspruchsvoll ist.

Dieser Aspekt ist bei Ausrichtung der zukünftigen Produktion für den Produktionsplaner momentan nicht hinreichend überblickbar, da es an entsprechenden Modellen und Werkzeugen zur Anwendung fehlt.

Besonders Industriezweige mit hochkomplexen Produkten, Kleinserien mit einem hohen Anteil manueller Arbeitsschritte und langen Produktlebenszyklen wie z.B. der Flugzeugbau sind mit dieser Überlegung konfrontiert und deshalb gezwungen, die Produktion vorausschauend auf die künftigen Anforderungen ihrer Mitarbeiter auszurichten.

2 Zielsetzung

Das Technologiemanagement verfolgt das Ziel die „benötigten Technologien zum richtigen Zeitpunkt und zu angemessenen Kosten“ [6] dem Unternehmen zur Verfügung zu stellen, um den wirtschaftlichen Erfolg zu sichern.

Die Intention dieses Vorhabens ist die Produktionsprozesse, Produktionsmittel und Mitarbeiter bestmöglich auf einander abzustimmen. Selbst wenn einzelne Autoren der Meinung sind, dass für die Prävention der Gesundheit genügend getan wurde [1], soll gesondertes Interesse dem Teilsystem Mensch und dessen Bedürfnisse gelten. Die isolierte Betrachtung des Menschen kann durch die ökonomischen Zielgrößen der Unternehmung, deren Erreichung sein Überleben sichert, jedoch nicht zielführend sein, weshalb die Bewahrung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens ebenso betrachtet werden muss. Für diese Bedingungen gilt es einen Ansatz zu finden, der es ermöglicht, Technologien menschenfokussiert zu betrachten, zu bewerten und ein optimales Technologietiming zu erlauben.

Dabei kann gleichzeitig die Durchdringung des bislang geltenden Altersdefizitmodells erfolgen, indem Erwartungen von Effizienzeinbußen beim Einsatz von leistungsgewandelten Personal widerlegt werden und damit ein neues Bewusstsein bei Planern entsteht. Im Ergebnis mündet dieser Wechsel des Paradigmas in eine abgestimmte Automatisierung mit einer sinnvollen Unterstützung des Mitarbeiters.

Dieser Beitrag legt sein Hauptaugenmerk auf die Beleuchtung der wesentlichen Aspekte der Produktion und des Mitarbeiters samt seiner Entwicklung über seine Beschäftigungszeit mit dem Hintergrund der Entwicklung eines Bewertungssystems. Dieser Schritt soll den Weg für ein anwendungsnahe Werkzeug zur Technologiebewertung mit dem Menschen im Mittelpunkt der Betrachtung ebnen, durch das der Fabrikplaner eine Handlungsempfehlung erhält.

Übergeordneter Zielbereich ist die Planung von neuen Produktionssystemen oder -linien sowie deren Optimierung. Der Fokus wird auf die Montage gesetzt, da diese Stelle im Allgemeinen die Mitarbeiterstärkste ist und die größten Auswirkungen wirtschaftlicher Hinsicht als auch des demografischen Wandels zu erwarten sind [1].

3 Bestehende Ansätze zur Technologiebewertung

Zur Bewertung technologischer Systeme existieren in der Literatur zahlreiche Methoden und Vorgehensweisen. Sie lassen sich in statische und dynamische Modelle einteilen. Während bei statischen Modellen feste Annahmewerte genutzt und die Ergebnisse zumeist Durchschnittswerten sind (vgl. z.B. [7]), werden bei dynamischen Modellen sich mit der Zeit verändernde Eingangsgrößen angenommen und die Ergebnisse über mehrere Perioden berechnet (vgl. z.B. [8]).

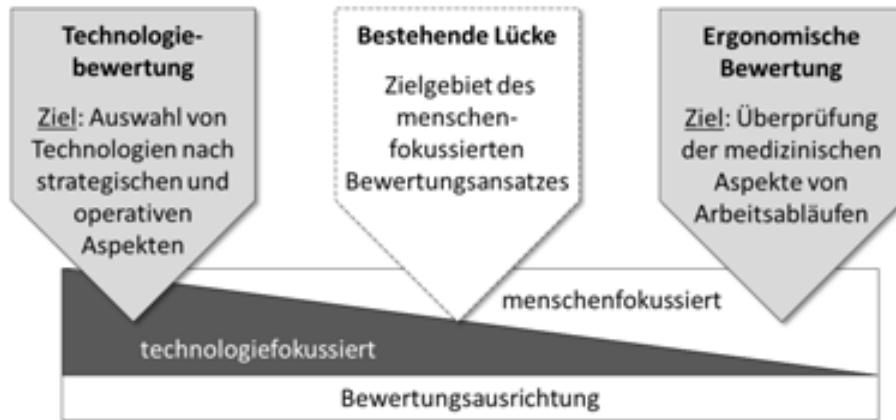


Abb. 1: Handlungsfeld

Die Zielgrößen der bestehenden Technologiebewertungsmethoden sind größtenteils ökonomischer Ausprägung [6]. Damit verbunden sind direkte produktionstechnische Zielgrößen, wie Durchlaufzeit, Qualität und Produktionskosten. Die Ansätze unterscheiden sich zum Teil jedoch stark in der Berücksichtigung von indirekten Zielgrößen wie der Bereich der Zukunftssicherheit von technischen Systemen, durch die Bewertung von Flexibilität, Robustheit und Zuverlässigkeit.

Neben der rein technischen Bewertungen, in denen der Mensch größtenteils nur Nebensächlich betrachtet wird und zumeist als rein kostentechnischer Faktor in Form von Lohnkosten in die Bewertung einfließt (vgl. [9]), existieren im Bereich Ergonomiebewertung Verfahren, die den Menschen während seiner Arbeit in den alleinigen Mittelpunkt der Betrachtung stellt und seine situative psychische und physische Belastung oder auch die kumulierte Belastung über festgelegte Perioden ermittelt. Die Bewertung fokussiert dabei das Wohlbefinden des Individuums mit dem Ziel der Gesundheitserhaltung. Zahlreiche Systementwicklungsverfahren für manuelle Arbeitsplätze berücksichtigen bereits die Auslegung unter ergonomischen Aspekten und die Eignung für gesundheitlich eingeschränkte Mitarbeiter. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf die Wirtschaftlichkeit des Arbeitsplatzes bzw. der Gesamtproduktion lassen sich in der Regel jedoch nicht feststellen. Hilfreich für das Vorhaben der Verknüpfung der Technologie- und Ergonomiebewertung sind die zahlreichen Studien der letzten Jahre. In ihnen wurden vorwiegend isolierten Fragestellungen im Kontext der Beschäftigung in der Produktion behandelt. So wurden beispielsweise psychische Zusammenhänge zwischen dem Alter und der Motivation bei der Arbeit gebildet [10] oder die physischen Folgen von hoher Belastung auf den Bewegungsapparat erforscht [11]. Zusammengenommen zeichnen diese Studien ein komplexes Modell des Menschen im Arbeitsumfeld. Die umfangreichen Ergebnisse wurden jedoch bislang noch nicht zusammengeführt und in den Bezug zur Produktionsplanung gesetzt. Besonders bei langfristigen Investitionen ist die Berücksichtigung der Entwicklung dieses Einflussfaktors über ebenso lange Perioden interessant, um Planungsrisiken zu minimieren.

4 Anforderungen

Für die weitere Entwicklung eines Ansatzes, der sich zum Ziel nimmt, den Menschen adäquat in die Bewertung miteinzubeziehen und die Fabrik- und Produktionsplaner durch die Bereitstellung eines Bewertungswerkzeug zu unterstützen, stellen sich unterschiedliche Anforderungen.

Das Zielsystem muss auf einen periodenübergreifenden Betrachtungshorizont ausgelegt sein. Die Ergebnisse sind im zeitlichen Bezug und in ihrer Granularität auf die Entscheidungssituation abzustimmen. Durch die Variation des zeitlichen Bezugs lassen sich die Ergebnisse auf unterschiedliche Planungsinstanzen abstimmen, um Produktionsplaner mit einem mittelfristigen Zeithorizont sowie Fabrikplaner mit langfristigem Zeithorizont gleichermaßen bedienen zu können.

Durch die unsicheren Zustände der Zukunft ist die Modellierung des zu prognostizierenden Systems mit dynamischen Parametern zu versehen.

Zur Darstellung der Ergebnisse kann ein angepasstes Kennzahlensystem verwendet werden. Während heutzutage dabei häufig die Kosten oder der Return on Investment im Vordergrund stehen, werden in diesem Fall mitarbeiterbezogene Kennzahlen in den Fokus gerückt. Damit ist nicht der individuelle Wohlfühlfaktor verbunden, sondern die sich ökonomisch auswirkenden Werte wie beispielsweise die Krankheitsquote, Fluktuation oder das Qualifikationsniveau.

Während die Eigenschaften der eigentlichen Technologie, in Form eines Produktionssystems, eines Hilfsmittels, eines Fertigungs- oder Montageprozesses oder eines Produktmaterials, durch eine standardisierte Beschreibungen abgebildet werden muss, um eine schnelle Integration in ein etwaiges Bewertungsmodell oder einen Wissensspeicher zu gewährleisten, muss die Produktionsressource Mensch als Individuum abgebildet werden. Erst so wird ermöglicht, dass die entsprechende Leistungsheterogenität der Mitarbeiter Beachtung findet. Dafür müssen unter anderem die Altersstruktur, die individuellen Eigenschaften durch eine statistische Beschreibung sowie arbeitswissenschaftliche Beschreibungen von Stress, Motivation und Akzeptanz, die für den Erfolg einer Technologie eine entscheidende Rolle spielt [12], einbezogen werden. Um die Auswirkungen einer Technologie auf die Produktion als Gesamtsystem beurteilen zu können, müssen neben den internen Einflüssen auch die Einflüsse, die über die Systemgrenze von außen wirken, beachtet werden. Deshalb ist die Betrachtung der Umweltentwicklung wichtig. Bekanntermaßen befinden sich die Industrienationen in einem Prozess der fortschreitenden Alterung. Der stetige Nachschub an qualifizierten Mitarbeiter ist nicht gesichert, gleichzeitig ist der Trend des Umzugs vom Land in die Stadt unübersehbar. Daher müssen bei der Produktionsplanung auch äußere Einflüsse wie beispielsweise Standort und Image des Unternehmens sowie die allgemeine Konjunktur in die Bewertung einfließen. Diese Aspekte äußern sich direkt in das Zusammenspiel des Gesamtsystems. So müssen Sekundäreffekte, die bei einem Austausch über die Systemgrenze hinweg entstehen, wie der Wissensverlust bei hoher Fluktuation oder daraus entstehende personelle Engpässe ebenfalls modelliert werden.

5 Konzept

Aus den Anforderungen leitet sich ein grundlegendes Konzeptgerüst für ein menschenfokussiertes Bewertungssystem her. Das Konzept benötigt für die Vorhersage der Entwicklungen in der Produktion eine Abbildung des Systems durch ein Modell. Im Gegensatz zu Ergonomiebetrachtungen, mit Berücksichtigung eines einzelnen Arbeitssystems, umfasst die vorliegende Systemgrenze einen Produktionsbereich oder die gesamte Produktion. Die Modellierungsebene befindet sich aus diesem Grund auf makroskopischer Stufe, bei der eine parametrisierte Abbildung von Montagesystemen und deren logistische sowie informationstechnische Vernetzung erfolgt.

Die Modelltreue orientiert sich am Zielsystem, wobei eine zu hohe Genauigkeit der Zusammenhänge zwangsläufig zu einer Erhöhung der Komplexität ohne weiteren Erkenntnisgewinn führt und damit zu vermeiden ist. Aus diesem Grund werden nach Bestimmung des Zielsystems die relevanten Einflüsse identifiziert und bewertet. Dafür werden die Wirkzusammenhänge durch eine für diesen Zweck bewährte Einflussmatrix erarbeitet, die es ermöglicht Haupttreiber für die Zielstellung zu entdecken.

Die Einflussmatrix sammelt und listet potenzielle Einflussgrößen für die Modellbildung. Bei einer Grobmodellierung werden die Einflüsse nur über die Stärke der Auswirkungen auf einen anderen Einfluss vernetzt. Dabei handelt es sich um eine qualitative Modellierung nach der Methode des System Dynamics. Nach der Auswertung lassen sich die unabhängigen Einflussgrößen isolieren und zudem die auf die Zielstellung maßgeblichen Einflussgrößen ggf. priorisieren. Nach Möglichkeit sollte anschließend eine quantitative Modellierung basierend auf verfügbaren Studien erfolgen. Durch die vorangegangene Eliminierung nicht relevanter Einflüsse resultiert die weitaus aufwendigere quantitative Modellierung in einem vertretbaren Aufwand.

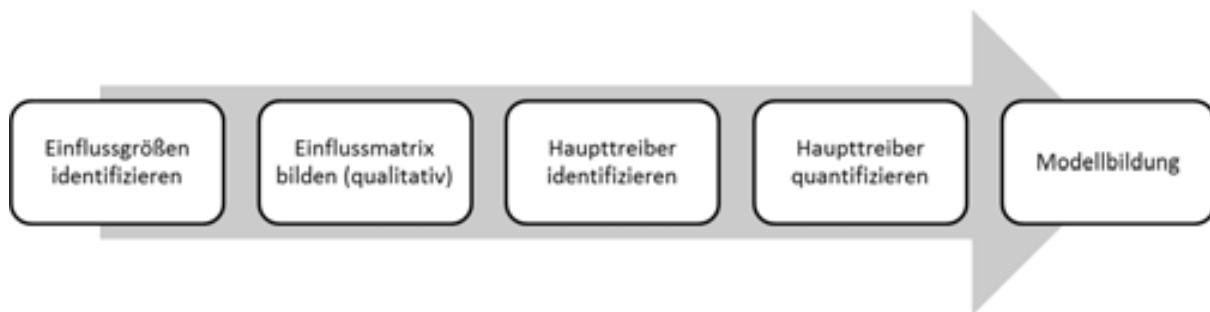


Abb. 2: Vorgehensweise zur Modellbildung

Für den Ansatz der menschenfokussierten Bewertung ist ein adäquates parametrisiertes Menschmodell essenziell. Bei der Sammlung von Einflussgrößen sind physiologische, insbesondere jedoch auch die psychischen Einflüsse des Menschen auf das System zu beachten. Während die physiologischen Einflüsse, wie beispielsweise die Entwicklung der sensomotorischen Fertigkeiten und der Muskelkraft, Einschränkungen des muskuloskeletalen Apparats oder auch Intensität der Arbeit von Interesse sind, sind bei den psychischen Einflüssen subjektive Empfindungen wie Stress, Motivation und Akzeptanz sowie die Entwicklung der allgemeinen kognitiven Fähigkeiten von Belang.

Mit dem Fokus auf die Produktion ist lediglich die Entwicklung des Menschen im erwerbsfähigen Alter von Interesse, was speziell die Auswirkungen auf die physiologische Degeneration im sehr hohen Lebensalter für die Problemstellung relativiert.

Zur Abbildung des Produktionsumfelds gehören neben dem Menschmodell ebenso das entsprechende Arbeitsplatzmodell und das höhergeordnete Montagesystemmodell samt Logistiknetzwerk. Innerhalb dieser Teilsysteme kommen entsprechende Technologiemodelle zum Einsatz, die ihrerseits zur Parametrisierung des anwendenden Systems genutzt werden. Als gesondertes Teilsystem kann eine Unterstützungsdatenbank eingesetzt werden. In ihr werden verfügbare Technologien und Systeme zur Unterstützung des Menschen bei seiner Tätigkeit aufgeführt, die unabhängig vom Wirkungs- und Einsatzbereich sind.

Um das Gesamtsystem aussagekräftiger zu gestalten, müssen die Einflüsse berücksichtigt werden, die außerhalb der Systemgrenze Produktion liegen, diese jedoch maßgeblich beeinflussen.

Ein Beispiel dafür ist die aktuelle und prognostizierte Auftragslage. Sie ist recht eindeutig bestimmbar. Komplexer und vielschichtiger sind jedoch Faktoren wie das Lohnniveau, das von standortspezifischen Einflüssen abhängt.

Die Grundlage für das angedachte Prognose- und Bewertungswerkzeug bildet eine diskrete Simulation hinterlegt mit dem zuvor gebildeten Modell der Produktion (vgl. Abb. 3). Eine weitverbreitete Simulationsumgebung für produktionsrelevante Modelle ist Siemens PLM PlantSimulation.

Das Abbildungslevel von PlantSimulation ist auf parametrisierte Arbeitssysteme, deren logische und logistische Verknüpfung und Ressourcenverwaltung von Personal, Rohstoffe, Betriebs- und Hilfsmittel ausgelegt.

Da die vorkonfigurierten Objekte nicht über die nötigen Parameter für eine menschenfokussierte Bewertung verfügen, müssen sie erweitert werden. Durch die implementierte, objektorientierte Hochsprache SimTalk lassen sich den Objekten neue Charakteristika mittels entsprechender Algorithmen hinzufügen.

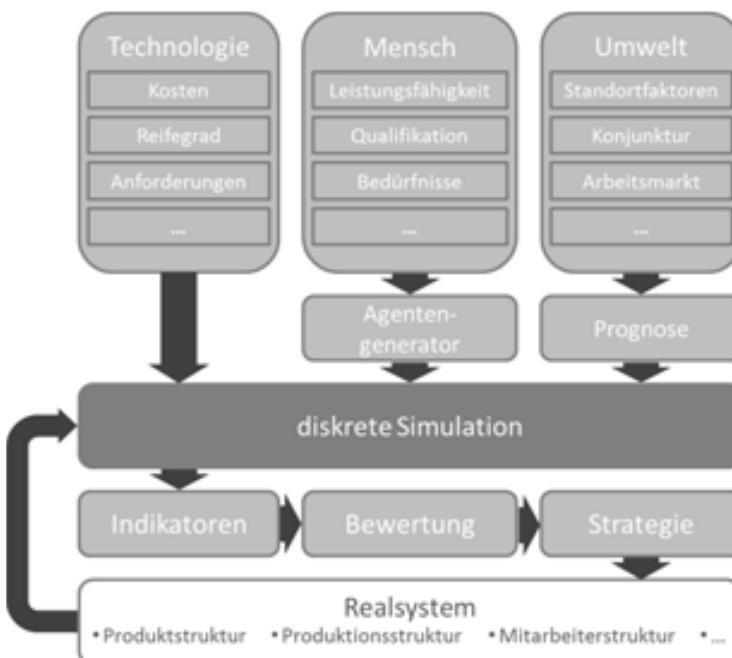


Abb. 3: Struktur des Simulationsmodells

Neben den allgemeinen Objektbausteinen zur Modellierung der Produktion müssen weitere Aspekte durch entsprechende Algorithmen hinzugefügt werden. So gehören einerseits die Produktionsstruktur mit den Montageeinrichtungen sowie der logistischen Verknüpfung, andererseits die entsprechende Produktstruktur in Form von Aufträgen und Montagereihenfolgen dazu. Der Mensch ist zwar bereits als Ressource vorhanden, vorgegebene Attribute wie Arbeitszeit, Geschwindigkeit und Effizienz sind jedoch nicht ausreichend und müssen um physische und psychische Attribute erweitert werden. Um den Menschen als Individuum zu behandeln, wird ihm eine gewisse Autonomie innerhalb des Modells gewährt. Dies kann durch sogenannte Agenten realisiert werden. Agenten werden parametriert und agieren dann autonom in der Simulation. Sie können beispielsweise auch in Interaktion mit anderen Agenten treten und sich gegenseitig beeinflussen.

Zur Modellierung von Verhaltens- und Eigenschaftsmustern der Mitarbeiter bieten sich für die allgemeine Parametrierung vorhandene Daten aus vorangegangen arbeitswissenschaftlichen Studien an. Um die Produktion in ihrer Ausprägung abzubilden, müssen die Daten und Modelle verfeinert und spezifiziert werden, wofür reale Daten aus der jeweiligen Belegschaft benötigt werden. Um diese Daten zu erheben lassen sich unterschiedliche Methoden nutzen. Eine einfache Methode ist die Befragung mit strikten Antwortmöglichkeiten. Einen Schritt weiter gehen Methoden des Data Mining. Dabei können Befragungen automatisiert ausgewertet und zusätzlich durch die Vernetzung mit Beobachtungen sowie Prozessdaten neue Muster erkannt werden. Der Erkenntnisgewinn könnte zur weiteren Erörterung der Auswirkungen weitgehend verdeckter Einflüsse wie Zeitdruck, fehlende Autonomie des Mitarbeiters und Fremdbestimmung führen. Sei es aus Kostengründen oder durch rechtliche Beschränkungen nicht möglich dieses Vorgehen zu verfolgen, muss im Zweifelsfall die Auswahl eines Durchschnittsmenschen mit der Berücksichtigung einer angepassten Eigenschaftsstreuung erfolgen.

Strategiebausteine repräsentieren die entsprechenden Entscheidungsmöglichkeiten für Bereiche der Produktion und Personalentscheidungen. Prognosemethoden sind nötig um für längere Zeiträume verlässliche Verläufe der dynamischen Komponenten zu erhalten, für diesen Zweck kann eine Monte-Carlo-Simulation genutzt werden, um unterschiedliche Entwicklungen zu berücksichtigen. Dieses Verfahren lässt sich ebenso für die Umweltfaktorennutzen, um das Verhalten des Systems bei unterschiedlichen Entwicklungen bezüglich der allgemeinen wirtschaftlichen und arbeitsmarktbezogenen Lage sowie anderer standortrelevanten Faktoren zu ergründen.

Bei der Anwendung des Bewertungswerkzeugs lassen sich unterschiedliche Zeithorizonte definieren. Je länger der simulierte Zeitraum gewählt wird, umso unsicherer sind die prognostizierten Zielwerte, da bei der Simulation die dynamischen Faktoren, definiert durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, je Simulationsdurchlauf eine spezifische Ausprägung zugewiesen werden. Durch die erwähnte Monte-Carlo-Simulation lässt sich jedoch bei einer entsprechend hohen Anzahl von Durchläufen für einen Zeitraum ein Intervall für die Zielgrößen bestimmen. Der Erkenntnisgewinn und damit Grundlage für die Bewertung einer technischen Lösung oder Konfiguration in Bezug auf den Menschen lässt sich über die klassischen Betrachtungsgrößen wie technische Leistungsparameter, Kosten, Risiken und Umsetzungsaufwand hinaus für Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Personals bei unterschiedlichen Entwicklungsszenarien nutzen. So sind auch Entscheidung zugunsten höher automatisierten Anlagen in Blick auf der Abschätzung der Rentabilität von technischen Einrichtungen bei Betrachtung der Sekundäreinflüsse, wie beispielsweise erwartete Fluktuation und Aufwand für die Schulung vorhandenen oder Neuakquise von ausreichend geschulten Personals, zu ergründen. Ebenso werden etwaige Zusatzkosten zu dem geplanten Investment einer automatisierten Anlage durch monetäre Abfindung von rationalisierten Mitarbeitern sichtbar.

Aus diesen neuen und zuvor nicht vorhandenen Informationen lassen sich Handlungsempfehlungen bestimmen, wobei beispielsweise die unternehmensstrategische Ausrichtung hinsichtlich der Personalplanung zu nennen ist, da durch die Auswertung Personalbedarfe und -einstellungsstrategien (z.B. durch identifizierte Engpässe) sowie die empfehlenswerte Qualifizierung der Mitarbeiter sichtbar werden. Bei der Einführung neuer Technologien lässt sich aus Belastungsdaten schnell ein Impactfaktor auf die Belegschaft bestimmen, der besagt, wie stark sich

die neue Technologie auf die Mitarbeiter in positiver oder negativer Weise auswirkt. Dem Individuum kann so eine ausgewogene Belastung auferlegt werden, die einer Über- oder gar Unterforderung vorbeugt.

Solche Handlungsempfehlungen basieren auf Indikatoren. Die Indikatoren sind über Sensitivitätsanalysen zu definieren. Bei der Analyse wird experimentell ermittelt wie sich eine Zielgröße bei vorgegebener Variation des Wertes einer oder mehrere Eingangsgrößen verändert [13]. Im Umkehrschluss kann dieses Prinzip auch auf einen gewünschten Targetwert angewandt werden, indem festgestellt wird, wie stark sich die Eingangsgrößen von ihrem ursprünglich angenommenen Wert unterscheiden dürfen, damit der Targetwert noch erreicht wird.

Durch die Ausrichtung der Simulation auf ein längerfristiges Zeitintervall kann der richtige Zeitpunkt der Einführung einer Technologie gewählt werden und somit ein Roadmapping für den Produktionsmitteleinsatz oder aber auch den Einsatz von Unterstützungssystemen erstellt werden.

Die Auswirkungen der Entscheidungen auf das Realsystem sind zurück zu koppeln. Das kann indirekt über die Messung einzelner offensichtlicher Zielgrößen über den Verlauf der Zeit geschehen oder aber auch unter direkter Befragung von Mitarbeitern, um sie in den Prozess mit einzubeziehen und das Vertrauen in das Planungswerkzeug zu stärken.

6 Fazit

Für eine menschenfokussierte Bewertung der Produktion kann die diskrete Simulation der Abläufe in der Produktion genutzt werden. Da nur die Betrachtung über langfristige Zeiträume sinnvoll ist, müssen die dynamischen Entwicklungen von verschiedenen Einflussgrößen berücksichtigt werden. Bei solchen Eigenschaften sind unsichere und unvorhersehbare Verläufe nicht auszuschließen. Aus diesem Grund müssen die Verläufe statistisch charakterisiert sein. Die Monte-Carlo-Simulation bietet dabei die Möglichkeit, Risiken zu verringern, indem wahrscheinliche Szenarien ebenso wie Worst-Case-Szenarien analysiert werden. In Anbetracht des Zielsystems ist die Modellierungsebene in makroskopischer Sichtweise auf die Produktionsabläufe zu gestalten.

Die Verknüpfung von arbeitswissenschaftlichen Studien zum Verhalten des Menschen in der Produktion und der Technologieplanung kann gelingen und somit ein Werkzeug zur Bewertung der Eignung und Auswirkungen einer Technologie auf den Menschen und im weiterführenden Gedanken auf das Unternehmen erschaffen werden. Im besten Fall lässt sich eine menschenoptimale Technologiecharakteristik erforschen, die die komplexen Zusammenhänge zwischen Prozessen und deren Anforderungen sowie der Belastung des Bedieners beachtet.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag beschreibt die Lücke, die zwischen der ergonomischen Betrachtung eines Arbeitsplatzes und der Produktionsplanung existiert. Bestehende Bewertungsansätze können nicht dem Anspruch bestehen, menschenfokussiert eine Technologie zu beleuchten und gleichzeitig unternehmerisch wichtige Aspekte zu beachten. Auf Basis von den definierten Anforderungen für einen solchen Bewertungsansatz wird ein grundlegendes Konzept auf Basis eines agentenbasierten, diskreten Simulationsmodells beschrieben, das äußere und innere Einflüsse der Produktion berücksichtigt.

In Zukunft gilt es, dieses Konzept weiter auszuarbeiten, indem die Modellierung der Teilsysteme innerhalb des Simulationsmodells fortschreitet. Im ersten Schritt dorthin, muss die Einflussmatrix zusammengestellt und die Haupteinflussgrößen identifiziert werden, bevor die Modellierung von quantitativen Zusammenhängen begonnen werden kann.

8 Literatur

- [1] Prasch, M.: Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage. Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswirtschaften der Technischen Universität München 243 (2010); München.
- [2] Rademacher, H.; Sinn-Behrendt, A.; Schaub, K. und Landau, K.: Ein Verfahren zur Ermittlung altersbedingter Engpässe hinsichtlich muskuloskelettaler Belastungen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaften (60); S. 230-244, 2006/4.
- [3] Becker, M.: Optimistisch altern. Hampp-Verlag, München und Mering, 2008.
- [4] Rhodes, S.: Age-Related Differences in Work Attitudes and Behavior. Psychological Bulletin Vol. 93 No. 2, 328-367, 1983.
- [5] Zülch, G. und Becker, M.: Simulationsunterstützte Prognose der Leistungsfähigkeit von Fertigungssystemen bei alternder Belegschaft. Zeitschrift für Arbeitswissenschaften (60); S. 151-159, 2006/3.
- [6] Schuh, G. und Klappert, S.: Technologiemanagement. Springer Heidelberg, 2010.
- [7] Egbers, J.: Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses. Dissertation. Technische Universität München, 2013.
- [8] Willnecker, U.: Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen. Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswirtschaften der Technischen Universität München 146; München, 2000.
- [9] Bick, W.: Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter besonderer Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades. Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswirtschaften der Technischen Universität München 46; München, 1992.
- [10] Brinkmann, R. D.: Berufsbezogene Leistungsmotivation älterer Arbeitnehmer. Wirtschaftspsychologie 1, Berlin, S.107-112, 2009.
- [11] Rademacher, H.: Tätigkeitsbezogene Analyse körperliche Fähigkeiten von jüngeren und älteren Beschäftigten in der Produktion. Zeitschrift für Arbeitswissenschaften (64); S. 187-203, 2010/3.
- [12] Kaltenbrunner, S. und Spillner, R.: Untersuchungen zur Akzeptanz von Handhabungsgeräten. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 108 4, S. 244-248, 2013.
- [13] Heitsch, J.-U.: Multidimensionale Bewertung alternativer Produktionstechniken. Berichte aus der Produktionstechnik : WZL, RWTH Aachen / IPT 17; Shaker 2000.

Rechtliche Herausforderungen der Entwicklung und Implementierung von technischen Unterstützungssystemen in Beruf und Alltag

N. Bialeck, H. Hanau

Helmut-Schmidt-Universität, Professur für Bürgerliches Recht, Handels-, Wirtschafts- und Arbeitsrecht

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

bialeck@hsu-hh.de, hanau@hsu-hh.de

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

Die juristische Bewertung von Menschen unterstützenden Systemen bewegt sich im Spannungsfeld von Innovation und Rechtsschutz und begegnet je nach Einsatzgebiet der Unterstützungssysteme verschiedenen Herausforderungen. Technische Unterstützungssysteme werden im Alltag, in Pflege und Rehabilitation sowie in der Arbeitswelt bereits heute vielfältig eingesetzt und mit ihrer Weiterentwicklung noch an Bedeutung gewinnen. Ihr Einsatz muss dabei in rechtlicher Hinsicht den Anforderungen entsprechen, die sich aus dem Verfassungsrecht und dem einfachen Recht ergeben. Weiter ist auch das Recht selbst vor dem Hintergrund des technischen Fortschritts auf bestehende Regelungslücken und daraus resultierendem gesetzgeberischen Handlungsbedarf zu untersuchen. Der Beitrag legt den Fokus auf das Datenschutzrecht, das Produkt- und Gerätesicherheitsrecht und das Arbeitsrecht.

Abstract

Legal Challenges of Technical Support Systems

Technical support systems are used in a versatile manner in the context of work, care and everyday life. They have to fulfill the requirements of (constitutional) law. To harmonize the objectives innovation and protection of individual rights is the main difficulty of the legal valuation of technical support systems. This problem will be described considering the constitutional framework, data privacy law and labor law. Furthermore, it is examined whether the existing law is sufficient regarding to the technical progress.

1 Verfassungsrechtliche Dimension

Das Verfassungsrecht rahmt die rechtlichen Bedingungen für die technische Unterstützung im Arbeitsprozess, im Gesundheits- und Rehabilitationsbereich und im Alltag. Technische Unterstützungssysteme haben dabei Auswirkungen auf die körperliche Unversehrtheit

(Art. 2 II 1 GG), auf die Berufsfreiheit (Art. 12 I GG), auf die Entfaltung der Persönlichkeit und, soweit persönliche Daten verarbeitet werden, auch auf die informationelle Selbstbestimmung. Persönlichkeitsschutz, informationelle Selbstbestimmung sowie die möglicherweise ebenfalls betroffene Gewährleistung der Vertraulichkeit und Integrität informationstechnischer Systeme werden von Art. 2 I i.V.m. 1 I GG geschützt. Weitere Gefährdungen können sich für das Telekommunikationsgeheimnis (Art. 10 GG) und für den Schutz der Unverletzlichkeit der Wohnung (Art. 13 GG) ergeben.

Die betroffenen Grundrechte sind dabei v.a. in ihrer abwehrrechtlichen Funktion gegenüber dem Staat und durch aktiven Schutz vor Gefährdungen durch andere Privatpersonen (z.B. Arbeitgeber oder datenverarbeitende Unternehmen) zu entfalten. Die Entlastungs-, Ausgleichs- bzw. Erweiterungsfunktion der Geräte (insbesondere im Falle gesundheitlicher oder altersbedingter Einschränkungen) erfordert einen näher zu bestimmenden Standard an Sicherheit und Qualität. Die technische Geräte- und Produktsicherheit vor und bei Markteinführung sowie im Rahmen des betrieblichen Arbeitsschutzes und der Gesundheitsschutz bei der konkreten Handhabung sind zu gewährleisten. Spannungsreiche Fragen ergeben sich mit Blick auf die Menschenwürde (Art. 1 I GG): Technische Unterstützungssysteme ermöglichen eine „Verbesserung gesunder Menschen“[1]. Zum Schutz der Menschenwürde könnten rechtliche Grenzen für diese Entwicklungstendenzen neuer Technologien notwendig sein [2], um zu gewährleisten, dass der Mensch nicht zum Objekt (vgl. *BVerfG*, Beschluss vom 16.07.1969 – 1 BvL 19/63, NJW 1969, 1707) des technischen Fortschritts verkommt [1].

Die Grundrechte entfalten schließlich eine Teilhabefunktion. In Bezug auf den Einsatz technischer Unterstützungssysteme kann die Teilhabe am gesellschaftlich-technologischen Fortschritt und an den erweiterten Möglichkeiten, die solche Systeme eröffnen, eine Rolle spielen. Wenn sich Unterstützungssysteme bewähren und im Gesundheits- und Pflegebereich verstärkt zur Sicherstellung der Grundbedürfnisse des Menschen eingesetzt werden, stellt sich insbesondere die Frage nach einer Finanzierung durch die Allgemeinheit [3], im Sozialrecht etwa durch Übernahme von Unterstützungssystemen in das Hilfsmittelverzeichnis [4]. Im Arbeitsrecht stellen sich Fragen danach, ob Beschäftigte individuelle Ansprüche auf Nutzung technischer Unterstützungssysteme haben oder inwieweit Mitarbeitervertretungsgremien über Initiativ- und Durchsetzungsrechte zur Einführung solcher Systeme verfügen.

Die Ambivalenz der verfassungsrechtlichen Einordnung technischer Unterstützungssysteme im Hinblick auf die verschiedenen Grundrechtsfunktionen zeigt sich am Beispiel des Einsatzes im Gesundheits- und Rehabilitationsbereich. Technische Unterstützungssysteme begegnen dem steigenden Bedarf an Pflege, Rehabilitation und medizinischer Behandlung und ermöglichen neue Formen eigenständigen Handelns. Gleichzeitig drängt sich die Frage nach der menschlichen Beherrschbarkeit bei der Mensch-Maschine-Interaktion, nach Gesundheitsrisiken und Sicherheits- und Qualitätsstandards für die Produkte auf. Im Kontext der technischen Unterstützung älterer Menschen ist die Selbstbestimmung in abwehrrechtlicher Dimension zentraler Parameter, welcher sich im Spannungsfeld zum Schutz des Lebens, der körperlichen Unversehrtheit und der informationellen Selbstbestimmung bewegt [3]. Trotz steigenden Bedarfs kann der Einsatz technischer Unterstützung mitunter auch zum Ersetzen von medizinischem und pflegerischem Personal führen [2]. Eine solche Entwicklung von der persönlichen hin zur technischen Betreuung bedarf unter dem Gesichtspunkt menschenwürdiger Pflege, Medizin bzw. Rehabilitation sorgfältiger Reflexion.

Das Verfassungsrecht setzt nur äußerste Grenzen und Wegmarken für die Entwicklung und Einführung technischer Innovationen. Rechtliche Fragen ergeben sich auch auf der Ebene einfachen, im Rang unter der Verfassung stehenden Rechts. Sie betreffen einmal die bestehende, teilweise schon für den Entwicklungsprozess maßgebliche Rechtslage, zum anderen den gesetzgeberischen Handlungsbedarf. Herausforderungen an das Recht bilden auch einerseits die Teilhabe beeinträchtigter Personen und Arbeitnehmer an Entlastungs- und Ausgleichssystemen und andererseits Nutzungserwartungen Dritter (der Arbeitgeber, Pflegepersonen, Sozialleistungsträger o.a.), die in rechtliche oder faktische Nutzungswänge münden können.

2 Datenverwaltung und Datenschutz

Der Einsatz von Unterstützungssystemen erfolgt u.a. durch elektrische Geräte, Bewegungsmelder und intelligente Sensoren zur Erfassung der Umgebungsbedingungen und basiert dabei wesentlich auf der Erhebung, Auswertung und Weiterleitung (z.B. bei Nothilfesystemen) von personenbezogenen Daten. Mittels Sensorik werden zunächst Zustandsdaten erhoben, die erst durch die Verknüpfung und im Zusammenspiel mit weiteren Daten Personenbezug erhalten. Die Sensordaten werden als Rohdaten in der Regel zwecks Auswertung weitergeleitet [5]. Von zentraler Bedeutung ist dabei, dass Unterstützungssysteme autonome Funktionskomponenten enthalten können, d.h. nicht nur in der Lage sind, bestimmte Daten zu sammeln und auszuwerten, sondern auch eine auf dieser Auswertung basierende Entscheidung zu treffen [6, 7]. Technische Unterstützungssysteme müssen deshalb dem Datenschutzrecht genügen. Hierbei sind auch die Möglichkeiten eines technischen Datenschutzes sowie Herausforderungen und Lücken des Datenschutzrechts zu prüfen.

2.1 Datenschutzrechtliche Anforderungen

Nutzer/innen neuer Technologien müssen bei der Verwendung technischer Unterstützungssysteme vor der unbefugten Sammlung personenbezogener Daten geschützt werden. Ihnen stehen Auskunftsrechte, Berichtigungs- und Löschungsansprüche zu. Die Verbote der Erstellung von Persönlichkeitsprofilen (*BVerfG*, Beschluss vom 16.07.1969, NJW 1969, 1707), der Rundumüberwachung (*BVerfG*, Urteil vom 03.03.2004, NJW 2004, 999, 1004), der Vorratsdatenspeicherung (*BVerfG*, Urteil vom 02.03.2010, NJW 2010, 833, 839) sowie Gebote zur Datensparsamkeit (vgl. § 3a BDSG, § 78b SGB X), Datenberichtigung und Datenlöschung (vgl. § 20 BDSG) richten sich an diejenigen Personen bzw. Unternehmen, die Daten sammeln und verarbeiten, beim Einsatz im Arbeitsverhältnis in erster Linie an die Arbeitgeber. Maßgebliche nationale Vorgaben zum Datenschutz enthalten das Bundesdatenschutzgesetz, das Telemediengesetz, das Telekommunikationsgesetz, die datenschutzrechtlichen Bestimmungen aus den Sozialgesetzbüchern (z.B. § 35 I SGB I, § 73 Ib SGB V, § 284 SGB V, § 94 SGB XI) sowie die landesrechtlichen Datenschutzbestimmungen. Auf europäischer Ebene ist der Schutz personenbezogener Daten in Art. 8 EU-GRC, Art. 16 I AEUV und Art. 8 EMRK verankert. Zu beachten sind außerdem die Datenschutz-Richtlinie 95/46/EG und die aktuellen Reformbemühungen um Entwicklung einer europäischen Datenschutzgrundverordnung. Die folgende Darstellung behandelt exemplarisch die Vorgaben des Bundesdatenschutzgesetzes.

Bei der Erhebung, Auswertung und Weiterleitung von Daten im Zusammenhang mit dem Einsatz technischer Unterstützungssysteme stehen Daten zum Nutzungsverhalten, zu Standortin-

formationen und Bewegungsmustern, technischen Kennungen (z.B. IP-Adressen) sowie Gesundheits- und Vitaldaten im Vordergrund [8]. Bei diesen handelt es sich um personenbezogene Daten i.S.d. § 3 I BDSG. Diese Daten sind erforderlich, um eine auf den Menschen bezogene Programmierung bzw. Anpassung des technischen Systems zu ermöglichen. Einige Systeme (z.B. Sturzwarnsysteme) knüpfen an die so gewonnenen und ausgewerteten Daten unmittelbar eine bestimmte Reaktion an.

Gemäß § 4 I BDSG sind Erhebung, Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten nur zulässig, soweit eine Rechtsvorschrift dies erlaubt oder anordnet oder aber der Betroffene eingewilligt hat. Eine allgemeine und im Einzelnen ausfüllungsbedürftige Erlaubnis im Rahmen von Beschäftigungsverhältnissen enthält § 32 BDSG. Gesundheitsdaten ordnet § 3 IX BDSG als besondere personenbezogene Daten ein, die nur unter verschärften Voraussetzungen erhoben werden dürfen. Nach § 13 II Nr. 2 BDSG ist die Einwilligung bei personenbezogenen Daten in qualifizierter Form des § 4a III BDSG nötig. Sie muss sich auf die konkreten Gesundheitsdaten beziehen und schriftlich erfolgen. Ihre Wirksamkeit setzt grundsätzlich einen freien Willensentschluss und eine hinreichende Information des Betroffenen über den Zweck der Datenerhebung bzw. -verwendung voraus, § 4a I BDSG. Die Freiwilligkeit kann im Bereich der öffentlichen Leistungsgewährung, im Krankenversicherungsrecht sowie im Behandlungs- und Pflegeverhältnis problematisch sein [8], wenn z.B. die Einwilligung Voraussetzung der Bewilligung oder Erbringung einer benötigten Leistung oder Behandlung ist [8]. Datenschutzrechtlich prekär ist etwa die Situation Schwerstkranker, wenn die Notwendigkeit einer optimalen, schnellen und effizienten Behandlung keinen Raum für die Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Belange lässt [10].

Auch im Hinblick auf die in § 4a I BDSG normierte Pflicht, den Betroffenen über den Zweck der Datennutzung aufzuklären, können sich Probleme ergeben: So stellt sich die Frage, wie umfassend der Zweck erläutert werden muss, ob etwa dem Betroffenen die komplexen Vorgänge der elektronischen Verarbeitung erklärt werden müssen [5]. Auch kann es Schwierigkeiten bereiten, beim Einsatz neuartiger Technologien über (noch ungewisse) Langzeitfolgen aufzuklären. Eine umfassende Aufklärungspflicht im Gesundheitsbereich erfordert überdies entsprechende Schulungen des medizinischen bzw. Pflegepersonals [8]. Aufgrund der komplexen Verarbeitungsprozesse und der Vielzahl der erhobenen Daten beim Einsatz von Unterstützungssystemen stößt das Instrument der Einwilligung hier an seine Grenzen, weshalb zu klären ist, wie sich die Vorschriften zur Einwilligung im BDSG praxisgerecht umsetzen oder auch gestalten lassen [11].

2.2 Technischer Datenschutz

Die Möglichkeiten eines technischen „vorgreifenden“ Datenschutzes erfordern die Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Belange bereits bei der technischen Entwicklung von Unterstützungssystemen. Dabei sind rechtliche Schutzmaßnahmen allein vielfach nicht ausreichend, sondern sie müssen durch technische und organisatorische Vorkehrungen flankiert werden. Hierfür lässt sich methodisch das sog. Schutzzielkonzept [8, 12] nutzen: Zunächst werden die wesentlichen Schutzziele von Datensicherheit und Datenschutz (Verfügbarkeit, Integrität, Vertraulichkeit, Transparenz, Intervenierbarkeit und Nichtverkettbarkeit) festgestellt und im Hinblick auf ihre Bedeutung und Wirkung für die jeweils betroffenen Personenkreise näher spezifiziert und

profiliert. Hieran lassen sich die technischen Vorkehrungen ausrichten und systematisch bündeln.

Ein erster Ansatz für datenschutzgerechte Gestaltung könnte darin liegen, personenbezogene Daten gar nicht erst zu erheben. Um den Personenbezug von Daten zu entfernen, bieten sich Verschlüsselungstechniken wie die Anonymisierung an [8], bei der durch Entfernung des Personenbezugs die Zuordnung von Daten zu einer bestimmten Person unmöglich gemacht wird, vgl. § 3 VI BDSG. Technische Unterstützungssysteme basieren aber regelmäßig auf personenangepasster Konfiguration [9], die personenbezogene Datenerhebung, -verarbeitung und -auswertung voraussetzt, sodass eine Anonymisierung nur selten in Betracht kommen dürfte.

Der Umgang mit den Daten kann aber jedenfalls ein höheres Sicherheits- und Sparsamkeitsniveau erreichen, wenn die Auswertung der Daten bereits im Erhebungsumfeld (beim Einsatz im Alltag z.B. in der Wohnung des Nutzers) über ein eigenes Auswertungsmodul oder über eine auf einem Gerät installierte Software erfolgt [5]. Auch Pseudonymisierungen sind zu erwägen. Im Entwicklungsprozess ist schließlich die Möglichkeit des Widerrufs der Einwilligung zu bedenken. Es sind technische Lösungsmöglichkeiten insbesondere für einen „Widerruf auf Zeit“, also eine befristete Aussetzung des Einsatzes, zu entwickeln [8].

2.3 Herausforderungen für das Datenschutzrecht

Das Datenschutzrecht enthält bislang keine Regelungsmechanismen zur Umsetzung der Schutzziele von Datenschutz und Datensicherheit für eine regelmäßige und automatisierte Datenverarbeitung durch technische Unterstützungssysteme [12]. Insbesondere versagt das einzelfallbezogene Instrument der Einwilligung hinsichtlich der Vielzahl gleichgelagerter Fälle, die der Einsatz technischer Unterstützungssysteme ermöglicht [12]. Das Datenschutzrecht wird sich deshalb im Hinblick auf diese neuen technischen Möglichkeiten fortentwickeln müssen. Richtungsweisend für eine solche Fortentwicklung könnte der Ansatz der Technikneutralität von Regelungen sein [13]. Technikneutrale Regelungen zeichnen sich durch Entwicklungsoffene Formulierungen aus, die es ermöglichen, den Datenschutz mit technischer Innovation zu verbinden. Technikneutralität datenschutzrechtlicher Anforderungen erleichtert die Arbeit der Gesetzgebung, effektuiert den Datenschutz im Hinblick auf die Zielauglichkeit und fördert die Entwicklungsfreiheit von Herstellern, die durch detaillierte Technikregelungen neue Ideen nur beschränkt oder gar nicht realisieren könnten [13]. Sie dient schließlich auch der Wettbewerbsförderung, weil detailreiche Regelungen oftmals an bereits bestehender Technik orientiert sind. Gleichzeitig geht mit der Technikneutralität regelmäßig ein hohes Maß an Abstraktheit der verwendeten Rechtsbegriffe einher, sodass die Technik die Verwirklichungsbedingungen des Regelungsziels verändern kann [13]. Es wird zu prüfen sein, ob eine technikneutrale Regulierung den Herausforderungen, die gerade aus dem technischen Fortschritt bei Unterstützungssystemen resultieren, gerecht werden kann.

3 Produkt- und Gerätesicherheitsrecht

Rechtliche Anforderungen an die Sicherheit von Produkten und Geräten stellen sicher, dass nur technische Erzeugnisse oder Stoffe in Verkehr gelangen, die besonderen Sicherheitsstandards genügen. Die Verantwortung hierfür wird vorwiegend den Herstellern, Importeuren und Händlern bei der Herstellung und Vermarktung übertragen [14]. Neben grundlegenden Sicherheitsstandards werden Einstufungs-, Verpackungs- und Kennzeichnungsverpflichtungen festgelegt

(etwa die CE-Kennzeichnung für den europäischen Wirtschaftsraum). Produkt- und Gerätesicherheit erfüllen neben dem technischen Arbeitsschutz auch Zwecke des Verbraucherschutzes, Umweltschutzes oder allgemeinen Gesundheitsschutzes [15]. Zu den im Zusammenhang mit der Entwicklung, Konstruktion und Einführung technischer Unterstützungssysteme relevanten Rechtsquellen zählen v.a. das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) und die auf seiner Grundlage erlassenen Verordnungen (insb. etwa die Maschinenverordnung [9. ProdSV]).

Im Hinblick auf den Einsatz im Gesundheits-, Pflege- und Rehabilitationswesen sind auch die Anforderungen des Gesetzes über Medizinprodukte (MPG) und der auf seiner Grundlage erlassenen Medizinprodukte-Sicherheitsplanverordnung (MPSV) relevant, die ihrerseits die Produktbeobachtungs- und -meldepflichten für Medizinprodukte konkretisiert. Insbesondere ist § 4 MPG zu beachten, der Gefährdungen von Sicherheit und Gesundheit der Patienten, Anwender und Dritter auf „ein nach den Erkenntnissen der medizinischen Wissenschaften vertretbares Maß“ begrenzt.

Über die ausdrücklich normierten Anforderungen des Produktsicherheitsrechts hinaus ist zudem der bereits erwähnte technische Datenschutz (oben 2.2) ein Mittel zur Gewährleistung der Produkt- und Gerätesicherheit im weiteren Sinne bereits ab der Entwicklungsphase.

4 Arbeitsschutz

Auch im Arbeitsumfeld ist der Einsatz technischer Unterstützungssysteme ambivalent. Einerseits können Unterstützungssysteme Arbeitnehmer entlasten und nicht nur bei gesundheitlichen oder altersbedingten Einschränkungen helfen, langfristig die Arbeitsfähigkeit zu erhalten. Sie können vielmehr auch allgemein dazu beitragen, die Einsatz- und Leistungsfähigkeit zu erweitern und zu verbessern. Andererseits stellen technische Hilfs- und Arbeitsmittel in ihrem Anwendungsbereich auch Gefahrenquellen für Menschen dar. Deshalb stellt sich die Frage, ob und wie Arbeitnehmer den Einsatz von Unterstützungssystemen im Arbeitsverhältnis nach geltendem Recht ablehnen können und ob und wie eine solche Möglichkeit künftig noch weitergehend rechtlich abgesichert werden könnte und sollte.

Um solcher Gefahren – die aufgrund der stetigen Entwicklung von Technik, Organisation und Wissenschaft in ständigem Wandel begriffen sind – Herr zu werden, bildet der Arbeitsschutz einen integralen Bestandteil der allgemeinen Arbeits- und Sozialpolitik. Er soll mit technischen, organisatorischen und personellen Regelungen, Instrumenten und Institutionen die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten sicherstellen, insbesondere Unfälle und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren verhüten und zu einer menschengerechten Gestaltung der Arbeit beitragen [16]. Der Verfolgung und Umsetzung dieser Ziele dient das Arbeitsschutzrecht als Gesamtheit eines äußerst heterogenen rechtlichen Instrumentariums, das sich rechtssystematisch aus einer Vielzahl unterschiedlicher nationaler und internationaler – v.a. europäischer – Rechtsquellen speist. Nahezu auf allen Regelungsebenen finden sich Bestimmungen, die für die Entwicklung und Implementierung von technischen Unterstützungssystemen relevant sind: Auf nationaler Ebene Gesetze, Verordnungen, technische Regeln (insb. TRBS) und technische (DIN-) Normen sowie Unfallverhütungsvorschriften, Regeln, Informationen und Grundsätze der Unfallversicherungsträger (sog. DGUV-Regelwerk), auf internationaler Ebene europäische Richtlinien und Verordnungen, Übereinkommen und Empfehlungen, etwa der Internationalen Arbeitsorganisation ILO [17]. In der Europäischen Union ist der Arbeitsschutz mittlerweile außerdem im europäischen Primärrecht verankert: In Art. 31 EU-GRC ist ein soziales Grundrecht

auf gesunde, sichere und würdige Arbeitsbedingungen statuiert, das jeder Arbeitnehmerin und jedem Arbeitnehmer zusteht und das jeden Menschen vor den besonderen Gefahren und Risiken schützen soll, die mit dem Arbeitsleben verbunden sind oder sein können [18].

Das deutsche Arbeitsschutzrecht lässt sich grundlegend in den Bereich des vorgreifenden technischen Arbeitsschutzes, den das Produkt- und Gerätesicherheitsrecht bezogen auf Arbeitsmittel, Werkstoffe und Anlagen verwirklicht (dazu schon oben unter 3), und den betrieblichen Arbeitsschutz unterteilen.

Der betriebliche Arbeitsschutz zielt in erster Linie auf die Organisation von Sicherheit und Gesundheitsschutz im Betrieb ab. Im Einzelnen regelt er die sichere Gestaltung des Arbeitsumfelds, die sichere Benutzung von Arbeitsgeräten und persönlichen Schutzausrüstungen, den Umgang mit Gefahrstoffen sowie das sicherheitsgerechte Verhalten der Beschäftigten [14]. Die arbeitsschutzrechtliche Grundnorm in § 3 I Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) verpflichtet den Arbeitgeber, die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu treffen, auf ihre Wirksamkeit zu prüfen und ggf. sich ändernden Gegebenheiten anzupassen. Als Maßnahmen des Arbeitsschutzes definiert das Gesetz Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen bei der Arbeit und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren einschließlich Maßnahmen der menschengerechten Gestaltung der Arbeit (§ 2 I ArbSchG). Ziel des ArbSchG ist neben dem Sicherheits- und Gesundheitsschutz der Beschäftigten auch dessen Verbesserung (§§ 1 I 1, 3 I 3 ArbSchG), was den betrieblichen Arbeitsschutz nicht nur zu einer ständigen, sondern auch zu einer dynamischen Aufgabe macht [19].

Bei der Einrichtung von Arbeitsplätzen unter Verwendung technischer Unterstützungssysteme muss zur Ermittlung der notwendigen Arbeitsschutzmaßnahmen stets eine arbeitsplatz- und arbeitsstättenbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 5 ArbSchG erfolgen. In diese Beurteilung sind insbesondere Gefährdungen durch physische oder psychische Einwirkungen und Belastungen einzubeziehen, v.a. spezifische Verletzungsrisiken, die durch den Gebrauch der maschinellen Hilfsmittel entstehen können [20]. Die allgemein gehaltenen gesetzlichen Vorgaben zur Gefährdungsbeurteilung werden näher ausgestaltet und durch konkrete technische Anforderungen präzisiert, die v.a. in Rechtsverordnungen und technischen Regeln und Normen formuliert sind. Spezifische Bestimmungen für technische Unterstützungssysteme existieren – soweit ersichtlich – aktuell (noch) nicht. Bereits jetzt ist aber für jeden Einzelfall zu prüfen, ob geltende Vorschriften für anderweitige Regelungsbereiche auch auf technische Unterstützungssysteme anwendbar sind.

Derzeit existieren z.B. technische Normen für den Bereich der Industrieroboter in Form der DIN EN ISO 10218 (Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen), die u.a. das neue Anwendungsfeld der sogenannten kollaborierenden Roboter beinhaltet. Kollaborierende Roboter sind komplexe Maschinen, die Menschen im direkten Zusammenwirken in einem gemeinsamen Arbeitsprozess unterstützen und entlasten. Aufgrund der großen räumlichen Nähe dieser Zusammenarbeit kann es zum direkten Kontakt zwischen Roboter und Menschen kommen [20]. Da technische Unterstützungssysteme gerade auf ein solches Zusammenwirken im direkten Kontakt ausgelegt sind, werden auch für sie die für kollaborierende Robotersysteme geltenden technischen Vorgaben zu berücksichtigen sein. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang auch die geltende DIN EN 1005 – Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung.

In diesen technischen Normen sind allerdings bis dato keine ausreichenden konkreten sicherheitstechnischen Anforderungen und Prüfverfahren für eine Bewertung der relevanten Risiken

aufgeführt. Daher hat beispielsweise das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) in einem Entwicklungsprojekt technologische, medizinisch-biomechanische, ergonomische und arbeitsorganisatorische Anforderungen zur Ergänzung und Präzisierung dieser Normen erarbeitet und in einer sog. Handlungshilfe zusammengefasst [21]. Die Vorgaben dieser Handlungshilfe werden für technische Unterstützungssysteme ebenso zu berücksichtigen sein wie die Vorgaben der ISO/TS 15066, die derzeit erarbeitet wird, um nähere sicherheitstechnische Anforderungen für das Anwendungsgebiet Mensch-Roboter-Kollaboration zu definieren [22]. Für den Bereich nicht-industrieller und nicht-medizinischer Assistenz-Robotersysteme existiert zudem die neue internationale Norm ISO 13482:2014 – Robots and robotic devices – Safety requirements for personal care robots [23].

Derartige Handlungshilfen und Sicherheitsregeln besitzen zwar keinen verbindlichen Rechts-normcharakter, können aber als „gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse“ i.S.v. § 4 Nr. 3 ArbSchG Bedeutung erlangen [19].

5 Betriebliche Mitbestimmung

Auf betrieblicher Ebene kann die Einführung technischer Unterstützungssysteme zudem die Mitwirkung des Betriebsrats erforderlich machen. Das Betriebsverfassungsrecht [24] enthält eine Reihe unterschiedlicher, nach ihrer Intensität fein gestufter Mitwirkungsrechte des Betriebsrats, die für die Implementierung technischer Unterstützungssysteme einschlägig sind:

§ 87 I Nr. 7 BetrVG sieht ein echtes (erzwingbares) Mitbestimmungsrecht auf der stärksten Stufe der betrieblichen Beteiligungsrechte vor, die dem Betriebsrat eine gleichberechtigte Beteiligung an Arbeitgeberentscheidungen ermöglicht. Nach dieser Vorschrift hat der Betriebsrat – soweit keine gesetzlichen oder tarifvertraglichen Regelungen bestehen – mitzubestimmen über „Regelungen über die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten sowie über den Gesundheitsschutz im Rahmen der gesetzlichen Vorschriften oder der Unfallverhütungsvorschriften“. Mitbestimmungspflichtig sind hiernach sämtliche Regelungen im Rahmen der gesetzlichen Vorschriften über den Arbeitsschutz [25]. Die Mitwirkung an und die Zustimmung zu solchen Regelungen liegen im Ermessen des Betriebsrats und können allein durch einen Spruch der Einigungsstelle ersetzt werden, § 87 II BetrVG.

Ein weiteres echtes Mitbestimmungsrecht auf gleicher Intensitätsstufe besteht nach § 87 I Nr. 6 BetrVG im Hinblick auf die „Einführung und Anwendung von technischen Einrichtungen, die dazu bestimmt sind, das Verhalten oder die Leistung der Arbeitnehmer zu überwachen“. Dieses Mitbestimmungsrecht ist einschlägig, wenn und soweit ein Unterstützungs-system zur Erhebung, Auswertung und Weiterleitung leistungsbezogener Arbeitnehmerdaten eingerichtet wird.

Ergänzt werden diese erzwingbaren echten Mitbestimmungsrechte durch schwächere Mitbestimmungsregelungen: Der Betriebsrat kann nach § 80 I Nr. 2 BetrVG weitere Maßnahmen zur Verhütung von Arbeitsunfällen und Gesundheitsbeschädigungen anregen. Er muss damit beim Arbeitgeber dergestalt Gehör finden, dass seine Argumente auf den Entscheidungsprozess des Arbeitgebers einwirken können (sog. allgemeines Anhörungsrecht). § 88 Nr. 1 BetrVG ermöglicht für zusätzliche, über den gesetzlichen Arbeitsschutz hinausgehende Maßnahmen zur Verhütung von Arbeitsunfällen und Gesundheitsschädigungen außerdem ausdrücklich den Ab-

schluss freiwilliger Betriebsvereinbarungen. Als zusätzliche Maßnahmen in diesem Sinne kommen insbesondere die Bereitstellung und Verwendung technischer Unterstützungssysteme in Betracht.

§ 89 BetrVG enthält eine allgemeine auf den Arbeitsschutz bezogene Aufgabenzuweisung an den Betriebsrat, der sich dafür einzusetzen hat, „dass die Vorschriften über den Arbeitsschutz und die Unfallverhütung im Betrieb sowie über den betrieblichen Umweltschutz durchgeführt werden.“ Außerdem verpflichtet § 89 BetrVG den Betriebsrat zur Zusammenarbeit mit den zuständigen Arbeitsschutz- und Gesundheitsschutzbehörden.

Daneben sieht § 90 BetrVG sowohl schlichte Unterrichtungsrechte vor, die allein der Information des Betriebsrats dienen, als auch etwas weitergehende Beratungsrechte, bei denen der Arbeitgeber den Verhandlungsgegenstand gemeinsam mit dem Betriebsrat erörtern muss: Nach § 90 I BetrVG hat der Arbeitgeber den Betriebsrat rechtzeitig (also bereits im Planungsstadium) und unter Vorlage der erforderlichen Unterlagen über die Planung u.a. von technischen Anlagen, von Arbeitsverfahren und Arbeitsabläufen oder der Arbeitsplätze zu unterrichten. Nach § 90 II BetrVG sind weitergehend die vorgesehenen Maßnahmen und ihre Auswirkungen auf die Arbeitnehmer, insbesondere auf die Art ihrer Arbeit so rechtzeitig zu beraten, dass Vorschläge und Bedenken des Betriebsrats bei der Planung berücksichtigt werden können [26]. Arbeitgeber und Betriebsrat sollen dabei ausdrücklich auch die gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse über die menschengerechte Gestaltung der Arbeit berücksichtigen.

§ 91 BetrVG gewährt darüber hinaus unter engen Voraussetzungen ein erzwingbares (korrigierendes) Mitbestimmungsrecht im Hinblick auf Änderungen der Arbeitsplätze, des Arbeitsablaufs oder der Arbeitsumgebung: Widersprechen solche Maßnahmen offensichtlich den gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen über die menschengerechte Gestaltung der Arbeit und werden die Arbeitnehmer dadurch in besonderer Weise belastet, so kann der Betriebsrat angemessene Maßnahmen zur Abwendung, Milderung oder zum Ausgleich der Belastung verlangen. Kommt eine Einigung nicht zustande, entscheidet die Einigungsstelle auf Antrag des Arbeitgebers oder des Betriebsrats [27].

6 Literatur und Anmerkungen

- [1] Hilgendorf, E.: Menschenwürde und die Idee des Posthumanen, Hrsg.: Joerden, J.C.; Hilgendorf, E. und Thiele, F.: Menschenwürde und Medizin, S. 1047-1067, 2013.
- [2] Fitzi, G. und Matsuzaki, H.: Menschenwürde und Roboter, Hrsg.: Joerden, J.C.; Hilgendorf, E. und Thiele, F.: Menschenwürde und Medizin, S. 919-931, 2013.
- [3] Remmers, H.: Assistive Technologien in der Lebenswelt älterer Menschen: Ethische Ambivalenzkonflikte zwischen Sicherheit und menschlicher Würde, Hrsg.: Joerden, J.C.; Hilgendorf, E.; Petrillo, N. und Thiele, F.: Menschenwürde in der Medizin: Quo vadis? S. 77-94, 2012.
- [4] Eberhardt, B.: Unterstützende Assistenzlösungen für den Alltag, in: Sozialrecht + Praxis, S. 751-760, 2012.
- [5] Regnery, C.: Datenschutzrechtliche Fragen beim Ambient Assisted Living, in: Tagungsband Herbstakademie, IT und Internet – mit Recht gestalten (2012), S. 579-596.
- [6] Albert, A. und Müller, B.: Herausforderungen und Perspektiven für Märkte im Bereich kognitiver und robotischer Systeme, Hrsg: Hilgendorf, E. und Günther, J.: Robotik und Gesetzgebung, S. 29-51, 2012.

- [7] Beck, S.: Grundlegende Fragen zum rechtlichen Umgang mit der Robotik, in: Juristische Rundschau, S. 225-230, 2009.
- [8] Unabhängiges Landeszentrum für Datenschutz Schleswig-Holstein, Vorstudie – Juristische Fragen im Bereich altersgerechter Assistenzsysteme, 2010.
- [9] Weidner, R.; Kong, N. und Wulfsberg, J.P.: Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks, in: Production Engineering 7(6), S. 675-684, 2013.
- [10] Theißen, S.: Risiken informations- und kommunikationstechnischer (ITK-)Implantate im Hinblick auf Datenschutz und Datensicherheit, 2009.
- [11] Vgl. zu Problemen des Instruments der Einwilligung Masing, J.: Herausforderungen des Datenschutzes, in: Neue juristische Wochenschrift, S. 2305-2311, 2012.
- [12] Roßnagel, A.; Jandt, S.; Skistims, H. und Zirfas, J.: Zulässigkeit von Feuerwehr-Schutzanzügen mit Sensoren und Anforderungen an den Umgang mit personenbezogenen Daten, 2012.
- [13] Roßnagel, A.: „Technikneutrale“ Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen, Hrsg.: Eifert, M.; Hoffmann-Riem, W.: Innovationsfördernde Regulierung – Innovation und Recht II, S. 323-338, 2009.
- [14] May, E.: Robotik und Arbeitsschutzrecht, Hrsg.: Hilgendorf, E.: Robotik im Kontext von Recht und Moral, S. 99-118, 2014.
- [15] Wlotzke, O.: Das neue Arbeitsschutzgesetz, in: Neue Zeitschrift für Arbeitsrecht, S. 1017-1023, 1996.
- [16] Pieper, R.: Arbeitsschutzgesetz – Basiskommentar zum ArbSchG, 6. Aufl. 2014.
- [17] **Gesetze:** insb. ArbSchG Arbeitssicherheitsgesetz (ASiG); **Verordnungen:** Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV), Lastenhandhabungsverordnung (LasthandhabV), Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit – PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV); **Unfallverhütungsvorschriften** nach § 15 SGB VII, die von den Unfallversicherungsträgern als autonomes Recht gesetzt und künftig als Vorschriften der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV-Vorschriften) zusammengefasst werden; **Technische Regeln und Normen:** insb. etwa Technische Regel für Betriebssicherheit TRBS 1151 – Gefährdungen an der Schnittstelle Mensch – Arbeitsmittel - Ergonomische und menschliche Faktoren; DIN EN 1005 – Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung; **europäische Richtlinien und Verordnungen:** EU-Arbeitsschutz-Richtlinie 2013/35/EU vom 26. Juni 2013 sowie die EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG vom 17. Mai 2006; **internationale Übereinkommen:** ILO-Übereinkommen Nr. 187 „über den Förderungsrahmen für den Arbeitsschutz“ vom 15. Juni 2006; **ILO-Empfehlungen:** ISO 11228 – Ergonomie - Manuelles Handhaben von Lasten.
- [18] Lörcher, K., in: Gesamtes Arbeitsschutzrecht – Handkommentar, 1. Aufl., Grundrecht 1, 2014.
- [19] Kohte, W., in: Münchener Handbuch zum Arbeitsrecht, 3. Aufl. (2009), § 288.
- [20] Ottersbach, H.J. und Huelke, M.: Sichere Arbeitsplätze mit kollaborierenden Robotern, KAN-Brief 4/2010, abrufbar unter: <http://www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/KAN-Brief/de-en-fr/10-4.pdf> (12.11.2014).

- [21] BG/BGIA-Empfehlungen [künftig: Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger – EGU] für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie - Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern (U 001/2009), abrufbar unter: http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bg_bgia_empf_u001d.pdf (12.11.2014).
- [22] IFA, Kollaborierende Roboter (COBOTS), abrufbar unter: <http://www.dguv.de/ifa/Fachinfos/Kollaborierende-Roboter/index.jsp> (12.11.2014).
- [23] Titel der für November 2014 angekündigten deutschen Fassung DIN EN ISO 13482:2014-11: Roboter und Robotikgeräte - Sicherheitsanforderungen für nicht-industrielle Roboter - Haushalts- und Assistenzroboter.
- [24] Dieser Beitrag beschränkt sich bewusst auf das Betriebsverfassungsrecht. Den nachfolgend erläuterten Bestimmungen teilweise vergleichbare Regelungen finden sich allerdings auch im Personalvertretungsrecht, beispielsweise in § 75 III Nr. 11, 16, 17 und § 81 BPersVG.
- [25] Wiese, G. und Gutzeit, M., in: Gemeinschaftskommentar BetrVG, 10. Aufl., § 87, 2014.
- [26] Wenn solche Maßnahmen eine gewisse Erheblichkeitsschwelle überschreiten, können sie im Einzelfall darüber hinaus außerdem eine Betriebsänderung darstellen und damit weitgehende Mitbestimmungsrechte nach §§ 111 ff. BetrVG nach sich ziehen.
- [27] Wird eine von der Einigungsstelle beschlossene Maßnahme für unangemessen erachtet, kann der Spruch der Einigungsstelle nach § 76 V BetrVG gerichtlich angefochten werden.

Bewertungsmethode (CMEM) zur Auswahl von Unterstützungssystemen

Berücksichtigung des Menschen bei der Lösungsfindung

J. P. Graesch, R. Isenberg

Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg

Institut Produkt- und Produktionsmanagement

Department Maschinenbau und Produktion

Fakultät Technik und Informatik

Berliner Tor 21, 20099 Hamburg

janphilipp.graesch@haw-hamburg.de, randolf.isenberg@haw-hamburg.de

Kurzzusammenfassung

Dieses Paper stellt ein Konzept zur Auswahl von technischen Unterstützungssystemen für den Menschen in der Luftfahrtmontage und -wartung vor.

Existierende Bewertungsmethoden aus der Literatur berücksichtigen den Menschen häufig nicht explizit. Dieses Paper untersucht die hieraus entstehenden Risiken. Es wird ein Konzept vorgestellt, das insbesondere die Akzeptanz des Bedieners berücksichtigt und somit technische Lösungen präferiert, die die Menschen wirklich wollen.

Abstract

Change Management Evaluation Method (CMEM) to select supporting systems – Considering the human being in solution detection

Existing evaluation methods do not consider the human being explicitly during the assessment. Therefore many risks do arise which will be determined in this paper. A concept which especially considers the operator's acceptance will be introduced to prefer the solution which is intended by the employee.

1 Einleitung

Veränderungsbedarf zu erkennen, ist für Organisationen eine Herausforderung. Die richtige, notwendige Veränderung erfolgreich durchzuführen, ist für die meisten Unternehmen eine noch größere Herausforderung, da sicher zu stellen ist, dass die Akzeptanz und Bereitschaft der Mitarbeiter dadurch vorhanden ist, dass die Entscheidung aus Sicht der Mitarbeiter ökonomisch und sinnvoll war. Dieses Manuskript stellt eine Lösung vor, bei der eine Kombination von Bereichen des Change Management mit bekannten Bewertungsmethoden zur idealen Lösungsfindung führen soll und dadurch technische Unterstützungssysteme identifiziert werden, „die die Menschen wirklich wollen“.

Insbesondere durch die holistische Sicht auf die bestehenden und zukünftigen Prozesse, deren Schnittstellen sowie auf die Auswirkung von Variantenwechseln ergänzt dieses Manuskript die konventionelle Lösungsfindung zur Erfüllung der gesetzten Ziele unter Einbeziehung der Mitarbeiter.

Der holistische, ganzheitliche Blick im Sinne des Change Managements bedeutet, dass Handlungsfelder wie Strategie, Kultur, Organisation, Technologien und – in diesem Manuscript besonders hervorgehoben – der Mensch mit einbezogen wird. Die durch die Einführung der Unterstützungssysteme erzeugten Neuerungen würden ohne Berücksichtigung des Menschen bei diesem zu Bedenken oder Ängsten führen, die zwangsläufig Widerstände hervorrufen, woraus eine aktive oder passive Ablehnung der Veränderung resultieren könnte [1]. Mögliche Risiken, die durch die entstehenden Widerstände bedingt sind, werden in diesem Manuscript aufgezeigt und Vermeidungsstrategien beschrieben. Darauf aufbauend wird eine Bewertungsmethode (CMEM – Change Management Evaluation Method) vorgestellt, die unter Berücksichtigung der Mitarbeiter-Präferenz zur Identifizierung geeigneter Lösungen genutzt werden kann.

2 Problembeschreibung

Die Weiterentwicklung und Optimierung von Produktionsprozessen nimmt einen immer größeren Stellenwert in der industriellen Praxis ein. Durch den stetig steigenden Wettbewerb müssen Produktionsprozesse häufig angepasst und dadurch umstrukturiert werden.

Die emotionalen Reaktionen der Mitarbeiter auf eine Veränderung ihrer direkten Arbeitsumgebung ist in einem Konzept der Veränderungssteuerung nach Streich (1997) beschrieben [2]:

1. Schock: Großer Unterschied zwischen eigenen und fremden, meist hohen Erwartungen und eingetroffener Realität
2. Verneinung: Falsches Sicherheitsgefühl
3. Einsicht in die Notwendigkeit von neuen Verfahrens- und Verhaltensweisen
4. Akzeptanz der Realität, Loslassen alter Verfahrens- und Verhaltensweisen
5. Ausprobieren neuer Verfahrens- und Verhaltensweisen; Erfolge, Misserfolge
6. Erkenntnis, warum gewisse Verfahrens- und Verhaltensweisen zum Erfolg führen und andere zum Misserfolg
7. Integration: Übernahme erfolgreicher Verfahrens- und Verhaltensweisen

Nach Streich spiegeln die sieben Stufen die wahrgenommene persönliche Kompetenz zur Beeinflussung der Veränderung des Mitarbeiters wider. Die Motivation zur Blockade der Veränderung ist direkt mit der empfundenen Kompetenz hierfür verbunden und lässt sich auf eine emotionale Bindung zu dem bestehenden Prozess zurückführen. Erst mit der Akzeptanz erfolgt eine konstruktive Beeinflussung der Veränderung. Abb. 1 stellt dar, wie hoch der Mitarbeiter seine Kompetenz zur Beeinflussung der Veränderung einschätzt. Der Schritt 2 der Verneinung wird durch das in Kapitel 3 vorgestellte Konzept durch Einbindung des Mitarbeiters in den Veränderungsprozess abgeschwächt.

Die Revolutionsstrategie (teilweise auch Bombenwurfstrategie) als eine Revolution von oben erzeugt häufig eine gegenläufige Revolution von unten in Form von Widerständen. Eine evolutionäre Entwicklung, bei der die Betroffenen mit eingebunden werden, ist hingegen konstruktiv zu bewerten. Kontinuierliche Veränderungsprozesse im Sinne von Kaizen sind zu bevorzugen, lassen sich jedoch nicht uneingeschränkt auf die Einführung von Unterstützungssystemen anwenden bzw. bedürfen einer grundlegenden, ausführlichen Vorbereitung.

Daher wird in Kapitel 3 die evolutionäre Strategie in die Lösungsauswahl eingebunden.

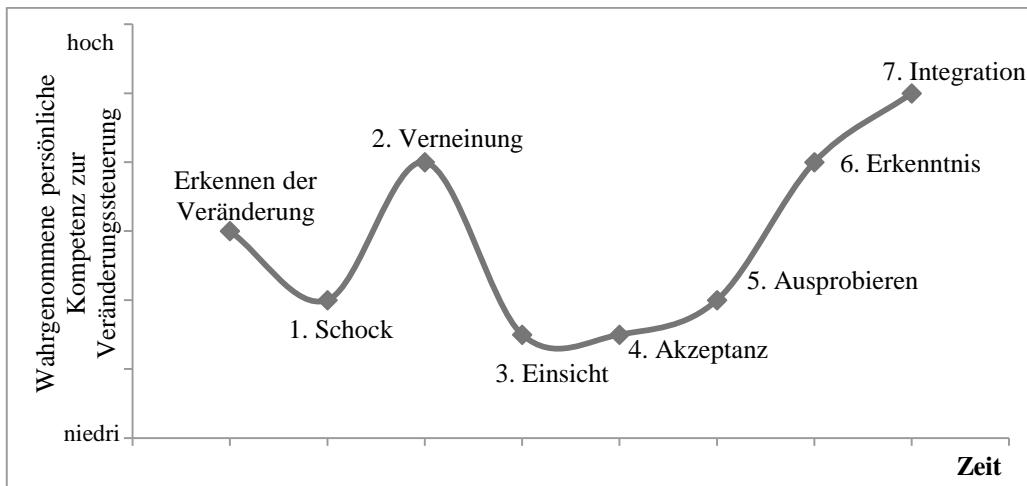


Abb. 1: Kompetenz zur Veränderungssteuerung (Eigene Darstellung nach Streich) [2]

2.1 Risiken und Formen des Widerstandes

Mögliche Indizien und Ausprägungen von Widerständen sind u.a. Gegenargumentationen gegenüber der Veränderung sowie Vorwürfe, die an die Projektleiter gerichtet werden. Außerdem ist bei den Betroffenen häufig Unaufmerksamkeit bzw. Abwesenheit zu beobachten, die bei Ansprache in Aggressivität, Polemik oder eine ausweichende Haltung übergeht. Das Ausweichen äußert sich häufig durch inhaltslosen Formalismus sowie der Betonung der notwendigen Kontinuität in der Stellenbesetzung oder durch Verweise auf die Erfolge des bestehenden Prozesses bzw. das Scheitern ähnlicher Ansätze in der Vergangenheit. Durch diese Ausprägungen wird eine konstruktive Mitarbeit durch die Betroffenen zunächst verhindert [1, 3, 4].

Diese Widerstände treten in der Phase der Verneinung und in späteren Phasen, wie z.B. bei dem Ausprobieren, auf. [2]

2.2 Gründe für Widerstände der Mitarbeiter gegenüber Veränderungen

Vor der Ergreifung von Maßnahmen zur Reduzierung von Widerständen sind Gründe und Ursachen von Widerständen zu ermitteln.

Mögliche Ursachen von Widerständen sind vor allem Ängste der Betroffenen gegenüber unbekannten Veränderungen, der Verschlechterung ihres aktuellen Status und dem Verlust ihres Arbeitsplatzes. Dadurch entstehen Zweifel bezüglich des Erfordernisses der Veränderung sowie an den zu erzielenden und erreichbaren Resultaten. Diese Zweifel und Ängste entstehen in unterschiedlichen Ausprägungen und begünstigen dadurch Konflikte zwischen verschiedenen Gruppen [3].

Durch die Kenntnis der Ursachen lassen sich mit Hilfe des in Kapitel 3 beschriebenen Konzepts die Widerstände präventiv verhindern.

2.3 Bestehende Bewertungsmethoden

In der Literatur bestehen derzeit diverse Bewertungsmethoden, die jedoch den Menschen nicht explizit berücksichtigen. Grundlegende Schritte der Bewertung werden bereits durch den AHP (Analytic Hierarchy Process) [5] abgebildet. Der AHP umfasst folgende Schritte:

1. Darstellung des Entscheidungsproblems als Hierarchie aus Zielkriterien und Alternativen

2. Paarweise Bewertung von Kriterien und Alternativen
3. Synthese der Bewertungen zu Prioritäten für Kriterien und Alternativen
4. Überprüfung der Konsistenz der Bewertungen
5. Interpretation der Ergebnisse
6. Sensitivitätsanalyse der Ergebnisse

Der Prozess der Bewertung ist beim AHP sehr mathematisch geprägt und häufig computerunterstützt (z.B. sind im paarweisen Vergleich reziproke Werte für schlechtere Ausprägungen einzusetzen).

Unter Schritt 3 „Synthese der Bewertungen zu Prioritäten für Kriterien und Alternativen“ ist beim AHP [5] der Vorgang der Berechnung der eingetragenen Werte zu verstehen. Bei der Überprüfung der Konsistenz der Bewertung (Schritt 4) werden mittels einer Eigenvektormethode die inkonsistenten Paare normiert. Auf eine detaillierte Beschreibung wird an dieser Stelle verzichtet, da dieser Vorgang in der im folgenden Kapitel vorgestellten Methode nicht notwendig sein wird. Die für eine konsistente Bewertung gestellten Forderungen (Dominanz, Transitivität und Invarianz) werden bei der AHP-Methode umfangreich geprüft, obwohl diese überwiegend für komplexere Entscheidungsfindungen von Bedeutung sind. Die dynamische Sensitivitätsanalyse (Schritt 6) wird beim AHP durch verschiedene Computerprogramme unterstützt.

3 CMEM Bewertungsmethode

Die Notwendigkeit der Berücksichtigung des Menschen mit den Methoden des Change Managements wurde in Kapitel 2 verdeutlicht. In diesem Kapitel wird eine Bewertungsmethode vorgestellt, die das Change Management mit üblichen Bewertungssystemen verknüpft. Hieraus wurde eine neue Methode mit dem Namen Change Management Evaluation Method (CMEM) entwickelt, die wesentliche Elemente von bestehenden Methoden kombiniert.

Die Bausteine der Bewertungsmethode sind in Abb. 2 dargestellt und umfassen eine Nutzwertanalyse (vgl. Kapitel 3.3) mit integriertem paarweisen Vergleich (vgl. Kapitel 3.2) und angeschlossener Sensitivitätsanalyse (vgl. Kapitel 3.4) sowie Komponenten des Change Managements (vgl. Kapitel 3.1) in Form der Mitarbeiterpartizipation. Die Kombination aus Nutzwertanalyse, Sensitivitätsanalyse und paarweisem Vergleich ist bereits durch die Methode AHP (vgl. Kapitel 2.3) abgebildet.

Jedoch ist der Prozess der AHP-Bewertung streng vorgegeben und sehr mathematisch geprägt. Das hier vorgestellte Bewertungssystem soll hingegen übersichtlicher und dadurch für alle Mitarbeiter verständlicher sein. Daher werden diese Bausteine neu kombiniert und aufwendige Schritte vermieden oder zu einfacheren umgewandelt.

Die für eine konsistente Bewertung gestellten Forderungen (Dominanz, Transitivität und Invarianz) werden bei der Auswahl von existierenden Lösungen bei der CMEM-Bewertungsmethode automatisch erfüllt oder sind irrelevant, da sie nur für komplexere Entscheidungsfindungen geprüft werden müssen.

Die Dominanzforderung wird bereits dadurch sichergestellt, dass die Alternative mit den besten Bewertungen als Lösung präferiert wird. Invarianz bezeichnet die Unabhängigkeit von Art und Zeitpunkt der Problemstellung. Dies ist bei der Auswahl von Unterstützungssystemen nicht der Fall, da diese durchaus vom zeitlichen Stand der Technik und der Art der Problemstellung abhängen. Die Transitivität führt vor allem bei sehr komplexen Problemen zu einer Inkonsistenz.

Die hier vorgeschlagene Bewertung ist jedoch weniger komplex und lässt den Schritt der Überprüfung hinfällig werden, zumal bereits beim AHP eine geringfügige Inkonsistenz geduldet wird [5].

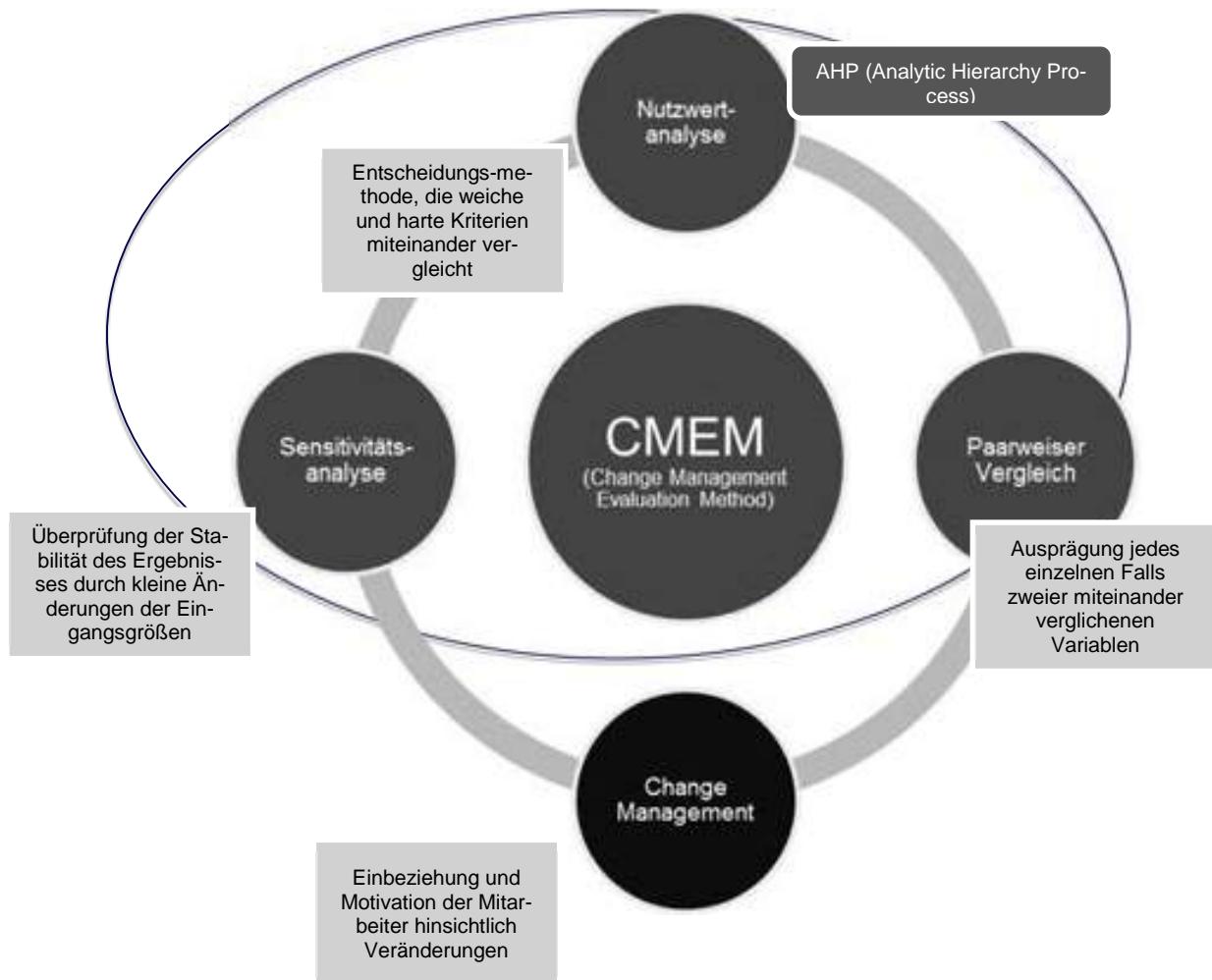


Abb. 2: Bausteine der CMEM-Bewertungsmethode

Für die dynamische Sensitivitätsanalyse werden beim AHP verschiedene Computerprogramme zur Nutzung vorgeschlagen. Die CMEM-Bewertungsmethode stellt hingegen eine einfache Form der Sensitivitätsanalyse vor, die von dem Methodenanwender ohne zusätzliche Software ausgeführt werden kann (vgl. Kapitel 3.4).

Da die konkrete Gestaltung der CMEM-Methode von der AHP-Methode in verschiedenen Punkten abweicht, werden in den folgenden Kapiteln die Bausteine der Methode (vgl. Abb. 2) erläutert.

3.1 Change Management

Um Widerstände der Mitarbeiter zu reduzieren, bedarf es einer Veränderung ihrer Sichtweise. Dies ist durch das Ansprechen des emotionalen Bereichs der Mitarbeiter möglich, welcher häufig durch die Transformation von abstrakten Informationen in haptische Modellierung erreicht werden kann [6].

Weitere Beispiele für Maßnahmen zur Reduzierung der Widerstände sind Mitarbeiterpartizipation in Form einer ausgeprägten Kommunikation, wobei alle die Veränderung betreffenden Informationen weitergegeben werden. Außerdem sollten Kompromisse gebildet oder verhandelt werden. Die Vermittlung von Prozess- und Methodenwissen kann zusätzlich Verständnis gegenüber den Veränderungen erzeugen. Dies lässt sich ebenfalls durch das Aufzeigen von Notsituationen erreichen. Zusätzlich können Anreizsysteme geschaffen oder im Extremfall Zwang und Druck angewendet werden. [3]

Besondere Beachtung finden in diesem Manuskript die Aspekte der Kommunikation und Beteiligung, welche in Kapitel 3.1.1 bzw. 3.1.2 näher beschrieben werden.

Grundlegend ist die Weitergabe von Informationen an die Mitarbeiter zu empfehlen. Die Darstellung derzeitiger Prozesskennwerte und die möglichen Optionen sind die Basis für eine widerstandsfreie Implementierung. Zusätzlich sollten öffentlich zugängliche Infotafeln angebracht werden, die über den aktuellen Projektstatus informieren. Die transparente Weitergabe von Informationen beseitigt die Angst vor Unbekanntem sowie zu großen Teilen die unbegründeten Verlustängste (vgl. Kapitel 3.4).

Verhandlungen und Kompromissbildung sind individuell und je nach Person unterschiedlich effektiv, können jedoch einen sichtbaren Widerstand in einen unsichtbaren Widerstand transformieren. Die Gefahr unsichtbarer bzw. stiller Widerstände bleibt immanent und ist schwer zu ermitteln. Daher sollte bei der Verhandlung auf die Bedürfnisse der Mitarbeiter eingegangen werden.

Zwang und Druck sind nur in Extremfällen zu empfehlen und erzielen ebenfalls selten eine ursächliche Akzeptanz der Mitarbeiter. Die Vermittlung von Methodenwissen erzeugt Vertrauen bei den Mitarbeitern, welches durch beispielsweise monetäre Anreizsysteme zusätzlich durch Motivation und Zufriedenheit ergänzt werden kann. Anreize wirken dabei sowohl auf das Engagement der Mitarbeiter als auch auf die persönliche Weiterentwicklung. Die Mitarbeiterpartizipation am Veränderungsprozess ist eine mögliche Ausprägung des Anreizsystems.

Sollte eine Anpassung der jetzigen Prozesse dringend erforderlich sein, ist es sinnvoll, die Notsituation aufzuzeigen, da sichtbare Krisen zu einer erhöhten Aufmerksamkeit und Kompromissbereitschaft der Mitarbeiter führen. Die Akzeptanz gestaltet sich hingegen deutlich schwieriger, wenn die Organisation sehr profitabel ist [7].

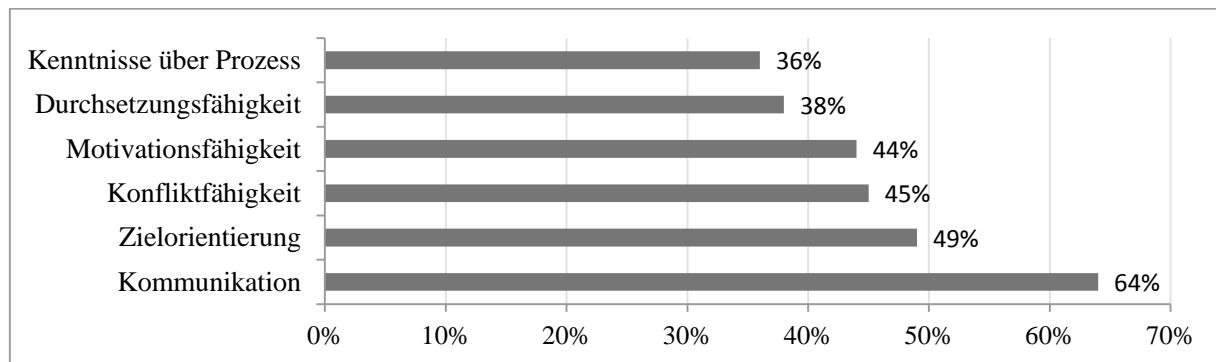


Abb. 3: Notwendige Kompetenzen für das Change Management [1]

Die wichtigsten Kompetenzen eines Projektleiters bei der Umsetzung von Veränderungsprozessen sind in Abb. 3 aufgezeigt. Besondere Bedeutung wird der Kommunikation beigemessen,

wobei diese durch Konfliktfähigkeit und Motivationsfähigkeit ergänzt werden sollte. Außerdem ist erkennbar, dass die Durchsetzungsfähigkeit und die konkrete Kenntnis über den Prozess weniger notwendig sind, da diese durch eine Partizipation der Mitarbeiter abgedeckt werden. Aus diesem Grund wird in dem folgenden Unterkapitel die Kommunikation als Widerstandsvermeidungsstrategie beleuchtet.

3.1.1 Kommunikation als Widerstandsvermeidungsstrategie

Eine frühzeitige und ehrliche Kommunikation über die Veränderungspläne ist besonders wichtig, da diese folgende Wirkungen hat [3]:

Es wird Transparenz, Verständnis und Einsicht dafür erzeugt, dass ein akuter Wandlungsbedarf besteht. Komplexe Zusammenhänge können durch Visualisierungen den Betroffenen verständlich gemacht werden. Des Weiteren kann unter Anwendung von Kommunikationstechniken zur Motivation und Emotionalisierung eine positive Einstellung der Betroffenen gegenüber dem Wandel geschaffen werden [6]. Durch die Kommunikation wird ein gegenseitiges Vertrauen aufgebaut, das zu einer positiven Bewältigung von Angst und Unsicherheit führt. Dies lässt sich insbesondere durch gezielte Dialoge mit betroffenen Personen erreichen, in denen die Prozessmitarbeiter die Möglichkeit haben, ihre Ängste und Emotionen frei auszusprechen. Anerkennung und positives Feedback verbessert den gegenseitigen Umgang und steigert darüber hinaus die Motivation und die Identifikation der Mitarbeiter bezüglich der Veränderung. Zusätzlich sollte die Dringlichkeit der Veränderung kommuniziert werden sowie die Verantwortung für spezielle Bereiche an die Prozessmitarbeiter delegiert werden.

3.1.2 Mitarbeiterpartizipation als Widerstandsvermeidungsstrategie

Inwieweit die Mitarbeiter eingebunden werden können, hängt von deren Befähigung ab, die durch Trainingsmaßnahmen gefördert werden kann [1].

Mögliche Formen der Partizipation der Mitarbeiter sind narrative Interviews, Mitarbeiterbefragungen, Workshops und die Delegation von Aufgaben. Diese können z.B. interne Benchmarks, die Recherche von Lösungen, die Analyse von Prozessen oder Bauteilen sowie die Auswahl von geeigneten Mitarbeitern für künftige Schulungen umfassen. Außerdem sollten die Mitarbeiter in die Gestaltung der Modellfabrik mit einbezogen werden [6].

Höhere Anforderungen an die Mitarbeiter und damit eine größere Verantwortung werden häufig positiv aufgenommen, sofern es ihnen möglich ist, mit den Aufgaben zu wachsen. Hierzu zählen eigenverantwortliches Handeln, kreative Problemlösung sowie Teamarbeit. Daher ist es besonders sinnvoll, die Prozessmitarbeiter an dem Auswahlprozess partizipieren zu lassen [3]. Es ist durchaus gewünscht, dass die Mitarbeiter sich währenddessen mit dem Veränderungsprozess bzw. dem Bearbeitungsprozess identifizieren, da so die Handlungsmotivation gestärkt wird.

Vor allem die Identifizierung von implizitem Expertenwissen ist an dieser Stelle herauszustellen, da dieses in den Unternehmen selten systematisch erfasst und gespeichert wird [8, 9].

Durch die Partizipation stellen sich eine Vielzahl von positiven Effekten ein:

Es werden überwiegend praxisgerechtere Lösungen identifiziert, Expertenwissen akquiriert, die Motivation und Akzeptanz der Mitarbeiter bezüglich der Veränderung gesteigert, die sozialen Fähigkeiten der Mitarbeiter verbessert und Erkenntnisse für zukünftige Projekte gewonnen.

3.1.3 Berücksichtigung von Mitarbeiterbedürfnissen

Um die Mitarbeiterakzeptanz weiter zu steigern, sollten die Projektverantwortlichen sich möglichst umfassend mit den Bedürfnissen der Prozessmitarbeiter vertraut machen und sich in deren Lage versetzen. Dieser Bereich soll in diesem Manuscript jedoch nur kurz beschrieben werden. Bedürfnisse der Mitarbeiter liegen überwiegend in der Verbesserung der Ergonomie, des Zustandes des Arbeitsplatzes und des Prozessverständnisses sowie einer überschaubaren Erhöhung des Verantwortungsniveaus.

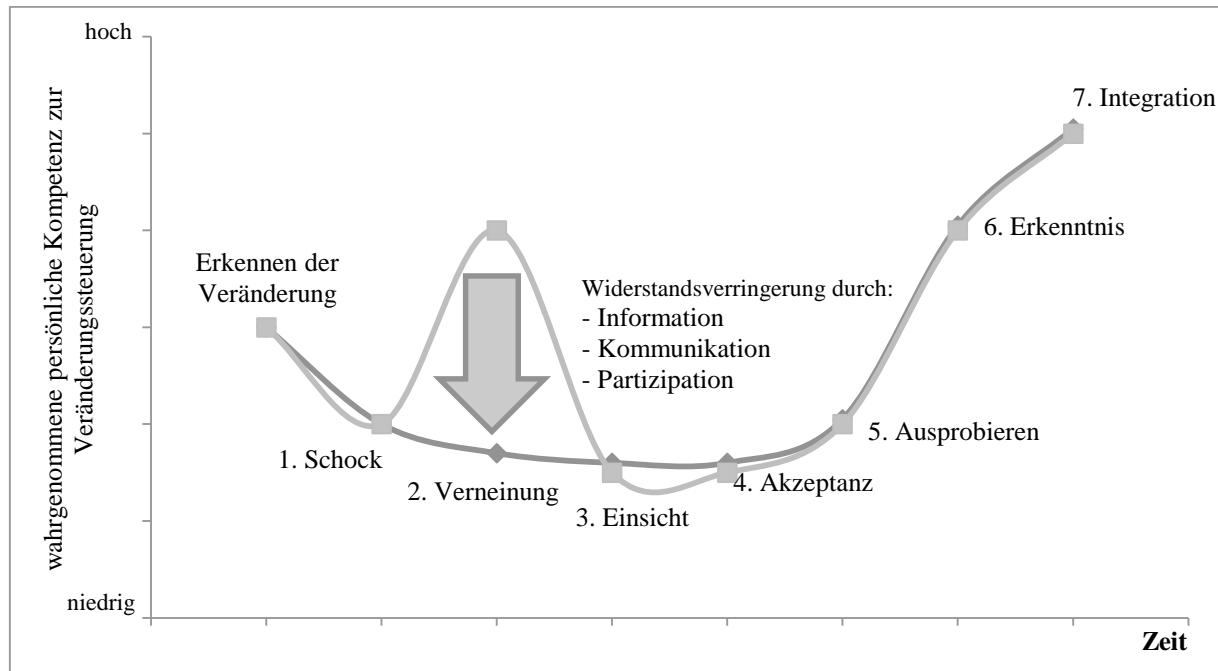


Abb. 4: Durch Maßnahmen beeinflusste Ausprägung der Veränderungssteuerung

Durch die in Kapitel 3.1 beschriebenen Maßnahmen können die Widerstände, die in Kapitel 2 (vgl. Abb. 1) nach Streich in Form der Stufe 2 (Verneinung) dargestellt wurden, verringert werden, sodass sich in der Darstellung (vgl. Abb. 4) keine explizite Ausprägung und somit negative Steuerung des Veränderungsprozesses durch den Mitarbeiter ergibt.

3.2 Paarweiser Vergleich

Beim paarweisen Vergleich wird die Ausprägung eines jeden Falls durch den Vergleich zweier Variablen geprüft. Hierfür werden die zu überprüfenden Kriterien in einer Matrix gegenübergestellt. Für jeden Vergleich wird eine Zahl eingetragen. Eine positive Zahl wird eingetragen, wenn das Kriterium in der Zeile stärker bevorzugt wird als das verglichene Kriterium. Respektive eine negative Zahl, sofern der gegenteilige Fall eintritt [10].

Bewertungsskala: 2 deutlich besser; 1 etwas besser; 0 gleich gut; -1 etwas schlechter ; 2 deutlich schlechter.

So ergibt sich eine symmetrische Matrix (vgl. Abb. 5), deren Zeilensummen Aufschluss über die präferierte Lösung geben. Der höchste Wert der Zeilensummen ist als wichtigstes Kriterium auszuwählen. Durch diese Bewertung ergibt sich ein widerspruchsfreies Bild.

	Derzeitiger Prozess	Unterstützungssystem 1	Unterstützungssystem 2	Unterstützungssystem 3	Unterstützungssystem 4	Summe	Rangfolge
Derzeitiger Prozess		-2	-2	-1	-1	-6	5
Unterstützungssystem 1	2		2	1	2	7	1
Unterstützungssystem 2	2	-2		-1	1	0	3
Unterstützungssystem 3	1	-1	1		1	2	2
Unterstützungssystem 4	1	-2	-1	-1		-3	4

Abb. 5: Paarweiser Vergleich der Mitarbeiterpräferenz

Der paarweise Vergleich wird für qualitative Kriterien, wie die Bewertung der Ergonomie, der Mitarbeiterpräferenz usw., genutzt, sofern diese im Vorfeld nicht durch eine andere Analyse bewertet werden können. Daher sind Prozessdauer und Prozesskosten nicht notwendiger Weise mit dem paarweisen Vergleich zu bewerten.

Die in Kapitel 3.3 vorgestellte Gewichtung der Kriterien der Nutzwertanalyse ist ebenfalls durch den paarweisen Vergleich zu unterstützen. Die einzelnen Kriterien wie z.B. Prozessdauer, Prozesskosten, Mitarbeiterpräferenz usw. werden gegeneinander verglichen und nach absteigender Rangfolge mit der höchsten Gewichtung versehen.

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, sollten die Prozessmitarbeiter die Möglichkeit bekommen, in den Auswahlprozess der Unterstützungssysteme mit eingebunden werden. Um eine möglichst objektive, systematische Meinung der Mitarbeiter einzuholen, sollten diese ihre Meinung im paarweisen Vergleich äußern. Hier können die Mitarbeiter den derzeitigen Prozess gegenüber der Nutzung von Unterstützungssystemen (bzw. anderen technischen Lösungen) vergleichen.

3.3 Nutzwertanalyse

Die durch die Unterstützungssysteme erzielten Verbesserungen werden in einer Nutzwertanalyse bewertet. Die einzelnen Gewichtungen werden mit Partizipation der Mitarbeiter mit Hilfe des paarweisen Vergleiches bestimmt (vgl. Kapitel 3.2).

Durch die Nutzwertanalyse gewinnt die Entscheidungsfindung zunehmend an Bedeutung. Hierzu werden auch Zielkriterien quantifiziert, die sich üblicherweise nicht in Zahlen abbilden lassen. Zunächst sind hierfür Zielkriterien gesammelt worden, die daraufhin gewichtet werden. Empfohlen wird eine hierarchische Struktur, die eine schrittweise Gewichtung auf den jeweiligen Hierarchiestufen und -zweigen vorsieht. Hierbei ergeben die Summen der Gewichtungen einer jeden Stufe den Wert 1. Daraufhin wird der Nutzen bzw. der Erreichungsgrad der Zielkriterien jeder Variante bewertet. Als Bezugsgröße wird die Bewertung so gewählt, dass die Variante, die das Zielkriterium am besten erfüllt, mit 10 Punkten bewertet wird. Die Alternativen werden in Bezug auf die 10 Punkte mit weniger Punkten bewertet. Es werden nur positive Zahlen für die Bewertung zugelassen. Aus dem Produkt der Gewichtung und der Erreichung der

Teilziele entstehen ein Teilnutzwert. Die Summe dieser Werte stellt die Bewertung der Zielerreichung des nächst höheren Ziels dar.

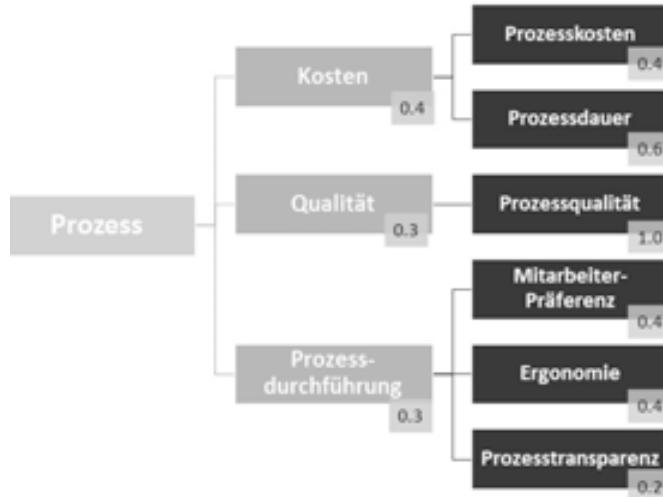


Abb. 6: Nutzwertbaum

Abb. 6 zeigt die ausgewählten Zielkriterien in Form eines hierarchischen Systems. Die Gewichtung der einzelnen Zielkriterien ist den grau hinterlegten Feldern zu entnehmen.

Die Zielkriterien sind prozessabhängig und wurden an dieser Stelle beispielhaft ausgewählt. Die Zielerreichungen werden in die Tabelle 1 eingetragen und mit der jeweiligen Gewichtung multipliziert. Die größte Summe der jeweiligen Produkte aus Gewichtung und Zielerreichung stellt die zu präferierende Lösung dar [10].

Tab. 1: Beispiel einer Nutzwertanalyse

	Zielkriterien	Derzeitiger Prozess		U-System 1		U-System 2		U-System 3		U-System 4	
		Gew.	Ziel- erreichung	Gew.	Ziel- erreichung	Gew.	Ziel- erreichung	Gew.	Ziel- erreichung	Gew.	Ziel- erreichung
1	Kosten	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1a	Prozesskosten	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1b	Prozessdauer	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Qualität	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2a	Prozessqualität	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Prozessdurchführung	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3a	Mitarbeiter-Präferenz	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3b	Ergonomie	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3c	Prozesstransparenz	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamtzielerreichung		0%		0%		0%		0%		0%	

3.4 Sensitivitätsanalyse

Um die Robustheit gegenüber Schwankungen der Gewichtung oder der Bewertung zu überprüfen, ist es notwendig, anschließend an die Nutzwertanalyse die Gewichtungen geringfügig zu verändern und dabei zu überprüfen, ob kleine Änderungen der Gewichtung (z.B. um den Wert 0,1) bereits zu einer Priorisierung einer Alternative führen. Dies ist im Besonderen auf die Mitarbeiter-Präferenz anzuwenden. Bei der Bewertung von Zielerreichungskriterien sind speziell die Werte zu überprüfen, die qualitativen Ursprungs sind und nicht durch Zahlen belegt werden können. Auch hier sind die eingetragenen Zielerreichungswerte geringfügig zu ändern.

3.5 Beschreibung an einem Beispiel

In Tabelle 2 wurde an einem Beispiel die Nutzwertanalyse durchgeführt. Bei dem im Beispiel betrachteten derzeitigen Prozess werden zahlreiche Bohrungen in eine Wand gesetzt. Es ist zu beobachten, dass die Qualität und Präzision der Bohrungen mit steigender Anzahl abnimmt. Analysen haben ergeben, dass dies auf die körperliche Belastung zurückzuführen ist. Die Ergonomie des Prozesses sollte daher durch Unterstützungssysteme verbessert werden, um eine gleichmäßige Qualität zu gewährleisten und die Mitarbeiter zu schützen.

Zu Beginn wurden die Mitarbeiter über die Qualität des Prozesses informiert und die Dringlichkeit der Verbesserung angesprochen.

Mögliche Unterstützungssysteme wurden in Workshops zusammen mit den Mitarbeitern identifiziert und ausgewählt.

Mögliche Lösungen sind ein Zero-G-Arm, mit dem der Mitarbeiter die Bohrmaschine ohne Kraftaufwand halten kann, ein Exo-Skelett, das die gleiche Aufgabe erfüllt, jedoch beide Arme des Mitarbeiters unterstützt, eine Sitzmöglichkeit in Form eines fahrbaren Stuhls, auf dem der Mitarbeiter seine Arme während des Bohrens abstützen kann sowie ein fahrbarer Roboter, der die Arbeit des Menschen übernimmt und die Bohrungen unter dessen Aufsicht platziert.

Im Anschluss wurden ebenfalls in Workshops mit Partizipation ausgewählter Mitarbeiter Zielkriterien festgelegt, die es durch die Prozessveränderung zu bewerten gilt.

Die Gewichtung dieser Kriterien wurde gemeinsam mit Führungskräften, Projektmanagern und den Prozessmitarbeitern im paarweisen Vergleich bestimmt. Dabei ergab sich der in Abb. 6 dargestellte Nutzwertbaum.

Die jeweilige Zielerreichung wurde in Tabelle 2 beispielhaft ausgefüllt.

Dabei wurden die Prozesskosten und Prozessdauer durch die Projektmanager ermittelt und die geringsten Kosten mit dem Wert 10 versehen und die höheren Kosten prozentual bewertet.

Die vermutete Prozessqualität, die erhoffte Prozesstransparenz sowie die Ergonomie wurden unter Bereitstellung von Informationen im paarweisen Vergleich mit Partizipation der Mitarbeiter evaluiert. Außerdem bewerteten die Mitarbeiter die verschiedenen Unterstützungssysteme nach ihrer persönlichen Präferenz. Der daraus resultierende Mittelwert wurde ebenfalls in die Nutzwertanalyse übernommen.

Abschließend wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, indem die Gewichtungen um den Wert 0,1 verändert wurden. Dies führte jedoch nicht zu einer Änderung der Reihenfolge, sodass die in der Nutzwertanalyse durchgeführte Bewertung als robust anzusehen ist.

In diesem Beispiel ist das Unterstützungssystem Exo-Skelett zu präferieren, da dieses System die gesetzten Ziele mit 76% am besten erfüllt.

Tab. 2: Unter Annahmen beispielhaft ausgefüllte Nutzwertanalyse

	Angenommene Lösungsmöglichkeiten:	Derzeitiger Prozess		Zero G		Exo-Skelett		Sitz-möglichkeit		Roboter		
		Gew.	Angenomm. Ziel- erreichung									
Zielkriterien												
1 Kosten		0,4	6,4	2,6	6	2,4	6,2	2,5	8	3,2	7	2,8
1a Prozesskosten		0,6	8	4,8	6	3,6	5	3	10	6	5	3
1b Prozessdauer		0,4	4	1,6	6	2,4	8	3,2	5	2	10	4
2 Qualität		0,3	4	1,2	7	2,1	7	2,1	6	1,8	10	3
2a Prozessqualität		1	4	4	7	7	7	7	6	6	10	10
3 Prozessdurchführung		0,3	5,6	1,7	8,4	2,5	10	3	6	1,8	5	1,5
3a Mitarbeiter-Präferenz		0,4	8	3,2	10	4	10	4	5	2	0	0
3b Ergonomie		0,4	1	0,4	6	2,4	10	4	5	2	10	4
3c Prozesstransparenz		0,2	10	2	10	2	10	2	10	2	5	1
Angenommene Gesamtziel erreichung			54%	5,4	70%	7	76%	7,6	68%	6,8	73%	7,3

4 Zusammenfassung

Der konkrete Ablauf der hier vorgestellten Bewertungsmethode in Abb. 7 sowie deren Nutzen soll an dieser Stelle zusammengefasst werden.

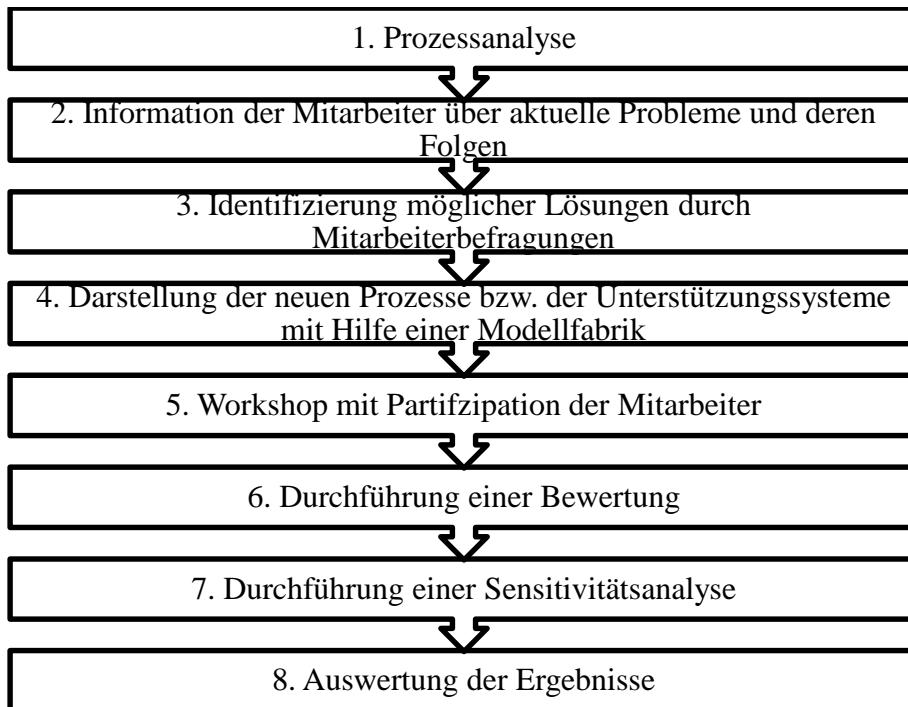


Abb. 7: Zusammengefasster Prozessablauf der CMEM Bewertungsmethode

Der Prozessablauf der CMEM Bewertungsmethode ist Abb. 7 dargestellt. Zu Beginn der Methode wird der konkrete Prozess analysiert und die Mitarbeiter über aktuelle Probleme und deren Folgen informiert. Anschließend werden durch Mitarbeiterbefragungen und Interviews mögliche Lösungen identifiziert. Diese Unterstützungssysteme bzw. die Prozessänderungen werden mit Hilfe einer Modellfabrik dargestellt.

Im Anschluss wird ein Workshop mit Partizipation der Mitarbeiter durchgeführt, der zur Identifizierung von Zielkriterien, zur Gewichtung im paarweisen Vergleich sowie zur Bewertung und expliziten Abfrage der Mitarbeiter-Präferenz genutzt wird.

Ebenfalls unter Einbeziehung der Mitarbeiter wird eine Nutzwertanalyse und Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Nach Auswertung der Ergebnisse kann die präferierte Lösung ausgewählt werden.

Der daraus resultierende Nutzen besteht im Wesentlichen in der Umwandlung des Widerstandes gegenüber Veränderungen der Mitarbeiter in eine konstruktive, gemeinsame Lösungsgestaltung, die überwiegend praxisgerechte Lösungen identifiziert. Durch die Partizipation der Mitarbeiter wird deren Motivation gesteigert und deren implizites Expertenwissen akquiriert, welches ebenfalls für zukünftige Projekte genutzt werden kann. Durch die intensive Kommunikation wird der gegenseitige Umgang im Team und die sozialen Fähigkeiten der einzelnen Prozessmitarbeiter verbessert.

Mit dem hier dargestellten CMEM-Bewertungssystem werden auf einfachem und verständlichem Wege Lösungen identifiziert, „die die Menschen wirklich wollen“.

5 Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projektes Auto-Pro in Zusammenarbeit mit den Partnern von Airbus Operations GmbH, der Lufthansa Technik AG, der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, der Technische Universität Hamburg-Harburg und dem Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung GmbH.

6 Literatur

- [1] Vahs, D.: Organisation. Ein Lehr- und Managementbuch, 8., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart 2012.
- [2] Streich, R. K.: Veränderungsprozeßmanagement: Reiß (Hg.) 1997 – Change Management.
- [3] Schmelzer, H. J. und Sesselmann, W.: Geschäftsprozessmanagement in der Praxis. Kunden zufrieden stellen - Produktivität steigern - Wert erhöhen, 8., überarb. und erw. Aufl. München 2013.
- [4] Doppler, K. und Lauterburg, C.: Change Management. Den Unternehmenswandel gestalten, 12., aktualisierte u. erw. Aufl. Frankfurt u.a. 2008.
- [5] Saaty, T. L.: Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process. Pittsburgh 2000.
- [6] Schmidt, A.-K.; Lehmann, N.; Isenberg, R. und Mannigel, M.: Konzept zur Abbildung assistierender Technologien in Modellfabriken. Hamburg 2014.
- [7] Kotter, J. P.: Leading change. Boston, Mass. 2012.
- [8] Isenberg, R.; Riessmann, J.: Sustainable structure for knowledge management in the quality department 2009.
- [9] Isenberg, R.: International aspects of knowledge management and its sustainability in the quality function. Hamburg 2011.
- [10] Graesch, J. P.: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Szenarien beim Hochgeschwindigkeitsflammspritzverfahren für endkonturnahe Beschichtungen in der Luftfahrtindustrie. Bachelorthesis. Hamburg 2013.

Auswirkungen technischer Unterstützungssysteme auf die Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung

W. Weidner

Leibniz Universität Hannover, Institut für Versicherungsbetriebslehre

Otto-Brenner-Str. 1, 30159 Hannover

ww@ivbl.uni-hannover.de

Kurzzusammenfassung

Dieser Beitrag befasst sich mit den Effekten innovativer, technischer Unterstützungssysteme auf die Versicherbarkeit von Invaliditätsrisiken vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und der damit einhergehenden Problematik für die private Versicherungswirtschaft. Im Zentrum der Analyse stehen die private Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung in Hin- sicht auf sich durch Interaktion von Mensch und Maschine verändernde berufliche Tätigkeits- felder sowie entlastende Alltagstätigkeiten. Es wird aufgezeigt, dass sich Invaliditätsraten bzw. Pflegequoten durch den Einsatz innovativer Technologien reduzieren lassen und dass techni- sche Unterstützungssysteme damit einen Beitrag als präventive und operative Maßnahmen ge- gen ökonomische und gesellschaftliche Auswirkungen der demografischen Entwicklung leis- ten.

Abstract

Impacts of technical support systems on private disability and nursing insurance

In this letter we extensively study effects of innovative technical support systems on insurability of risks of invalidity, especially in terms of demographic change and the associated issues for the private insurance industry. We show how technologies for human-machine interaction will result induce changes in existing occupational structures and everyday activities and also pro- vide an in-depth-analysis of their impact on private disability and nursing insurance. In partic- ular, reduced invalidity and long-term care rates are expected as a result of innovative technolo- gies. Technical support systems constitute preventative and operative measures in order to deal with the economic and social effects of the demographic development.

1 Veränderte Rahmenbedingungen durch demografischen Wandel

Der demografische Wandel führt in den nächsten Jahrzehnten in Deutschland zu massiven ge- sellschaftlichen Veränderungen. Die deutsche Bevölkerung nimmt ab und altert aufgrund einer geringen Geburtenzahl und einer steigenden Lebenserwartung [1]. Die Auswirkungen auf die Arbeitswelt und die Finanzierbarkeit der Sozialsysteme sowie der privaten Absicherung sind aufgrund der Veränderungen in der Altersstruktur weitreichend.

Demografische Verschiebungen wirken sich auf den Arbeitsmarkt durch zwei bestimmende Trends aus: Einen absoluten Rückgang sowie eine Alterung des Erwerbspersonenpotenzials

[1]. Zudem verändern technologische Entwicklungen die Rahmenbedingungen auf dem Arbeitsmarkt. Die fortschreitende Automatisierung durch Roboter und künstliche Intelligenz wird in den nächsten Jahrzehnten einen Umbau der Arbeitsgesellschaft herbeiführen und zahlreiche Berufe überflüssig machen [2, 3]. Tätigkeiten mit niedrigen Löhnen und niedrigem Qualifikationsniveau etwa in der Logistik, Verwaltung und im Verkauf sowie Tätigkeiten eines Fabrikarbeites oder Bauarbeiters werden fachlich und körperlich anspruchsvoller, da „einfache“ Arbeiten automatisiert werden [2]. Der Druck auf die Unternehmen im Hinblick auf den Erhalt und die Förderung der Leistungs- und Beschäftigungsfähigkeit u.a. durch eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, (Kraft-)Unterstützung manueller Arbeitsabläufe sowie optimierte Bewegungs- und Aufgabenausführung wird stetig zunehmen [4].

Auch für umlagefinanzierte staatliche Alterssicherungssysteme und das staatliche Gesundheitswesen sind Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur von signifikanter Bedeutung. Eine absolut sinkende Zahl an Beitragszahlern, durch den demografisch bedingten Rückgang der Anzahl der Erwerbspersonen, steht einer absolut steigenden Zahl an Leistungsempfängern gegenüber [1]. Im Bereich der Krankheits- und Pflegekosten gilt die Problematik verstärkt, da die Kosten mit dem Lebensalter stark ansteigen [5, 6]. Bereits zum Zeitpunkt der Einführung der gesetzlichen Krankenversicherung zeichnete sich die Problematik der künftig erforderlichen Beitragszahler ab, wohingegen die Einführung der sozialen Pflegeversicherung erfolgte, als längst fest stand, dass die Beitragszahler dafür hätten bereits geboren sein müssen. Das mit Aufbau der Sozialsysteme avisierte hohe Leistungsniveau lässt sich dadurch nur noch über mehr kapitalgedeckte private und betriebliche Vorsorge erreichen. Kapitalgedeckte Systeme sind aufgrund der Altersrückstellungen weniger anfällig auf demografische Effekte. Angesichts der demografischen Entwicklung müssen diese Rückstellungen allerdings erhöht werden, um die naturgesetzlich steigenden Kosten im Alter decken zu können [5, 7].

Neben den klassischen Robotersystemen, die menschliche Arbeitskräfte bei „einfachen“ Tätigkeiten durch Automatisierung ersetzen, werden bereits Ansätze in Richtung Deautomatisierung entwickelt, bei denen der Mensch durch aufgaben- und personenspezifische, technische Systeme unterstützt wird. Diese ermöglichen es, die zum Teil konträren Vorteile von Mensch und Maschine zeitgleich ausnutzen zu können [8]. Somit unterstützen derartige Systeme manuelle Arbeitsabläufe und erhalten Arbeitskräfte. Zudem sind technische Unterstützungssysteme zur Kraft- und Mobilitätssteigerung im Bereich des Alltagslebens zur Kompensation altersspezifischer Funktionseinbußen einsetzbar. Auf diese Weise lässt sich den Herausforderungen des demografischen Wandels aktiv durch präventive und operative Maßnahmen sowie ohne Eingriff in das Leistungsniveau begegnen.

Robotersysteme werden derzeit noch weitgehend aus technologischer Sicht betrachtet. Untersuchungen zu den Auswirkungen auf die Arbeitswelt, Gesellschaft, Volks- und Versicherungswirtschaft werden gerade erst aufgenommen [2, 3, 9, 10]. Ziel dieses Beitrags ist es, die sich bietenden Potentiale und Risiken innovativer, technischer Unterstützungssysteme auf die Volks- und private Versicherungswirtschaft eingehender zu analysieren. Da die Systeme speziell auf die Unterstützung derartiger Tätigkeiten im Berufs- und Alltagsleben abzielen, dass die Invalidität und Pflegebedürftigkeit verhindert oder zumindest hinausgezögert wird, steht die Betrachtung der privaten Berufsunfähigkeits- und Pflegefallversicherung im Zentrum und wird im Folgenden näher beleuchtet.

2 Auswirkungen technischer Unterstützungssysteme auf die private Versicherungswirtschaft

2.1 Berufsunfähigkeitsversicherung

Auf die gesetzliche Rente wegen Erwerbsminderung über die gesetzliche Rentenversicherung besteht Anspruch bei einer krankheits- bzw. behinderungsbedingten teilweisen oder vollen Erwerbsminderung gem. §4 SGB VI. Dabei handelt es sich um eine Grundsicherung gem. § 41 SGB XII bei Verlust des Erwerbseinkommens durch Invalidität, der Lebensstandard kann damit in der Regel nicht gehalten werden. Sofern das Einkommen ausreicht wird oft ergänzend privater Versicherungsschutz, eine Berufsunfähigkeits- oder Unfallversicherung, abgeschlossen. Im Folgenden wird auf die Unfallversicherung nicht weiter eingegangen, da Unfälle bei nur knapp 10% der Invaliditätsfälle die Ursache für eine Berufsunfähigkeit darstellen [11]. Die Berufsunfähigkeitsversicherung hingegen verspricht dem Versicherungsnehmer Leistungen bei einer Berufsunfähigkeit infolge von Krankheit, Körperverletzung oder Kräfteverfall [12].

Versicherer zahlten 2012 für 250.000 Berufsunfähigkeitsrenten 1,7 Mrd. Euro aus. Die Bestände der Versicherungsunternehmen an Berufsunfähigkeitsversicherungen liegen 2014 bei rund 16 Millionen Verträgen [11]. Die privaten Versicherer tragen damit erheblich zur Existenzabsicherung bei. Die Absicherung des Berufsunfähigkeitsrisikos unterliegt angesichts der mangelnden exakten Verifizierbarkeit, aufgrund diverser subjektiver und unternehmensbedingter Einflussparameter neben der für die Lebensversicherung üblichen objektiven Parameter, erheblichen aktuariellen Herausforderungen [7, 13]. Das Invaliditätsrisiko und folglich die Höhe der Versicherungsprämie sind neben dem Alter und dem Gesundheitszustand im Besonderen von der beruflichen Tätigkeit abhängig. Gerüstbauer, Dachdecker und Bergarbeiter, Berufe mit schwerer körperlicher Arbeit, gehören statistisch gesehen zu den Berufen mit dem höchsten Risiko. Die niedrigste Wahrscheinlichkeit, berufsunfähig zu werden, haben Physiker, Ärzte und Maschinenbauer [14].

Jeder vierte Arbeitnehmer in Deutschland scheidet laut Angaben der deutschen Rentenversicherung aus gesundheitlichen Gründen vorzeitig und ungeplant aus dem Berufsleben aus. Veranlasst wird die Arbeitsunfähigkeit in der Regel durch extreme körperliche Belastung und Krankheit, bei jüngeren Berufstätigen ebenfalls häufig durch Unfälle im Straßenverkehr, beim Sport oder in der Freizeit. Für die Berufsunfähigkeit gibt es verschiedene Ursachen, die in Abb. 1 dargestellt sind. Besonders häufig und in den vergangenen Jahren stark gestiegen sind Nervenkrankheiten und psychische Erkrankungen, welche 32% aller Leistungsfälle ausmachen. Es folgen Erkrankungen des Skelett- und Bewegungsapparats mit 21% aller Leistungsfälle und Krebserkrankungen mit 15% [11]. Betroffen von der Berufsunfähigkeit sind alle Altersgruppen; Abb. 2 zeigt dies für den Bestand der privaten Berufsunfähigkeitsversicherung. Da das Risiko für viele Krankheiten im Alter zunimmt, sind im Bestand der privaten Versicherer 52% der Leistungsfälle auf die Altersgruppe der über 50-Jährigen zurückzuführen, deren Anteil am Versicherungsbestand nur 16% beträgt. Allerdings entfallen knapp ein Viertel der Leistungsfälle auf Versicherungsnehmer bis zum 31. Lebensjahr [11]. Weiter geht aus den M&M Ratings zur Berufsunfähigkeit hervor, dass die Leistungsfälle in den letzten fünf Jahren im Schnitt um 20%, von 34.000 auf 42.000 Fälle pro Jahr, gestiegen sind [15].

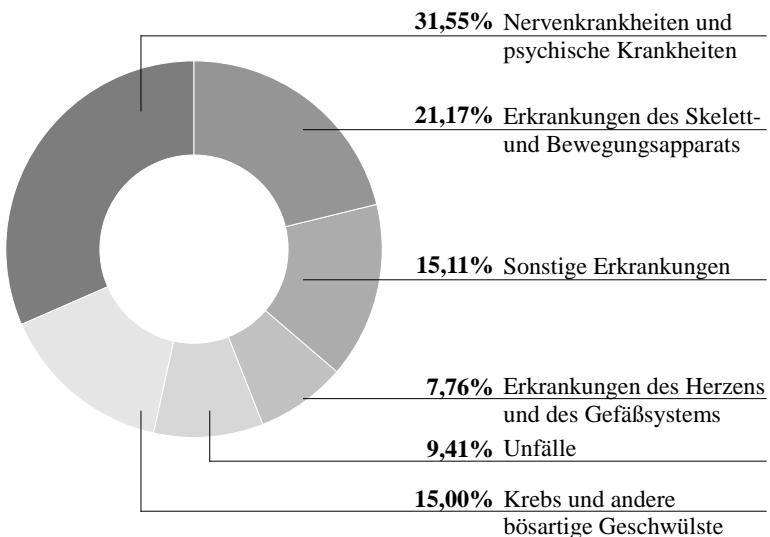


Abb. 1: Ursachen für die Berufsunfähigkeit, Stand April 2014

(Quelle: [11]; eigene Darstellung)

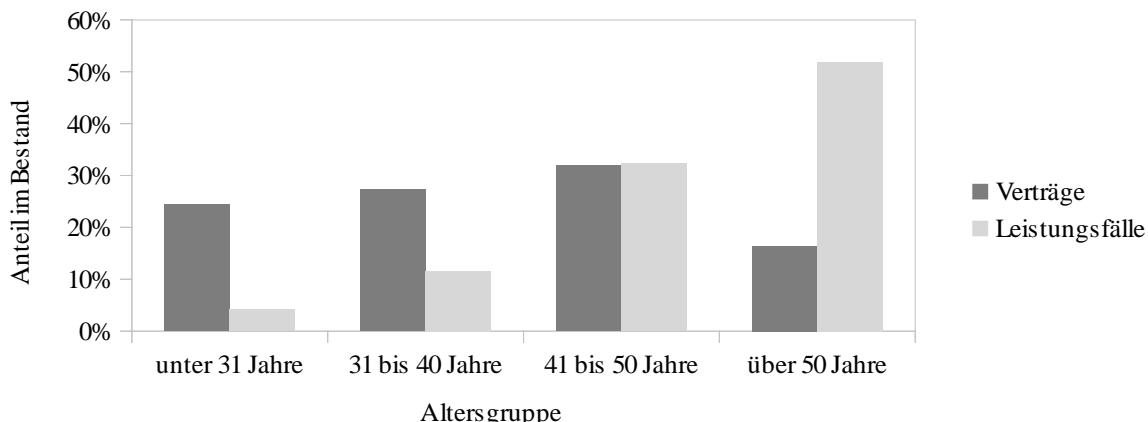


Abb. 2: Zusammensetzung des Bestandes und der Leistungen privater Versicherer an Berufsunfähigkeitsversicherungen nach Altersgruppen, Stand April 2014

(Quelle: [11]; eigene Darstellung)

Diese Trends werden sich im Zuge der digitalen Revolution und der demografischen Entwicklung verstärken. Viele „einfache“ Arbeiten, vor allem manuelle Tätigkeiten ohne großen kreativen Anteil, aber zunehmend auch rationalisierbare Verwaltungsarbeiten, fallen weg [3]. Hingegen werden Tätigkeiten mit hohen Anforderungen an Geschicklichkeit, Anpassungsfähigkeit und Kreativität stärker nachgefragt [9]. Gerade individuelle Arbeiten mit Anforderungen an Geschicklichkeit und Kraftaufwand, die nicht immer durch Erfahrung zu kompensieren sind, weisen mit fortschreitendem Alter eine schnell wachsende Invaliditätsrate auf. Beispielsweise erfordern das Polieren von Oberflächen [9], das Zusammenfügen von Bodenflächen, Drähten und großen Werkstücken über Kopf oder in Hohlräumen in der Flugzeugproduktion sowie die Mikromontage von Kleinstteilen aus Mikro-, Nano- und Biotechnologie [8] sensomotorische und kognitive Fähigkeiten, die bislang keine Maschine erfüllt. Ohne Kompensationsmethoden ist für derartige Tätigkeiten zwar ein gewisser Teil von weniger hoch belastbaren Mitarbeitern für einige Zeit oder für wenige Stunden einsetzbar. Aber wie die Statistik lehrt, ist die damit

verbrachte Lebensarbeitszeit beschränkt. Folglich nimmt der Anteil an Berufen mit einem höheren Invaliditätsrisiko bei verlagerter Beschäftigungsart zu. Durch die Veränderung der Gesellschaftsstruktur, steigt die Anzahl der älteren Berufstätigen [1], die ein höheres Invaliditätsrisiko aufweisen als Berufstätige anderer Altersgruppen [11]. Eine hochwertige und dennoch bezahlbare Berufsunfähigkeitsversicherung für Risiken in einer solch veränderten Arbeitswelt zu finden, ist schwierig. Diese Umstände machen Maßnahmen zur Schadenverhütung sowie -minderung erforderlich, um das Risiko sowie die Risikokosten einzudämmen und damit versicherbar zu machen. Technische Unterstützungssysteme, die Mensch und Maschine zur Ausführung von Tätigkeiten innerhalb eines Systems mit gemeinsamen Regelkreislauf systematisch integrieren, beugen Gesundheitsschäden wirksam vor und gleichen Funktionseinbußen wirkungsvoll aus: Mit einer Kraft- und Mobilitätsunterstützung kann die körperliche Belastung im Arbeitsleben gesenkt werden [8]. Auf diese Weise kann Erkrankungen des Skelett- und Bewegungsapparats begegnet werden. Zudem kann die psychische Belastung durch eine Präzisionssteigerung und einer damit einhergehenden Qualitätssicherung bzw. Fehlervermeidung, z.B. durch integrierte Poka-Yoke-Mechanismen, abnehmen [8]. Psychische Erkrankungen können ebenfalls durch die Umstände gesenkt werden, dass modulare technische Unterstützungssysteme zu einer höheren Mitarbeiterverfügbarkeit und einer Produktivitätssteigerung führen [8] und somit dem Zeitdruck entgegenwirken. Mit Systemen nach dem Prinzip des Human Hybrid Robot (HHR) [8] kann auf die wachsenden Anforderungen im Beruf reagiert werden. Die Arbeitskraft kann unter ihrem Einsatz wirksam verbessert oder aufrechterhalten werden; einen Überblick über potentielle Anwendungsfälle liefert Abb. 3. Schließlich führen derartige innovative Unterstützungssysteme dazu, dass auch einst nicht versicherbare Berufe in einer sich verändernden Arbeitswelt versichert werden können.

2.2 Pflegefallversicherung

Die Pflegefallversicherung, als ein Produkt der Invaliditätsversicherung, sichert Versicherte finanziell gegen eine eventuell eintretende Pflegebedürftigkeit ab. Ihre Bedeutung als soziale Vorsorge nimmt nicht zuletzt aufgrund des gesellschaftlichen Wandels sowie der sich verändernden Altersstruktur der Gesellschaft stetig zu [7]. Die 1995 gem. SGB XI eingeführte Pflegepflichtversicherung leistet einen Zuschuss zu Pflegekosten. Mit einer privaten Pflegezusatzversicherung (Pflegekosten-, Pflegerenten-, Pflegetagegeldversicherung) können die Leistungen der Pflegepflichtversicherung aufgestockt werden. 2013 waren in Deutschland 79,4 Millionen Personen in der Pflegeversicherung versichert – davon 69,87 Millionen Personen über die soziale Pflegeversicherung [16] und 9,54 Millionen Personen über die private Pflegeversicherung [17]. Zudem bestanden 23,5 Millionen private Zusatzversicherungen [17].

Abb. 4 veranschaulicht die Zunahme der Pflegebedürftigen und die Kostenexplosion im Zeitverlauf von 1995 bis 2013. Die Zahl der Leistungsempfänger in der sozialen Pflegeversicherung stieg von 1995 bis 2013 von 1,06 auf 2,48 Millionen Leistungsempfänger an (+134%) [18]. Die Ausgaben stiegen zwischen 1995 und 2013 von 4,97 auf 24,33 Milliarden Euro (+390%) [19]. Die Umlagefinanzierung der gesetzlichen Pflegeversicherung stößt zunehmend an ihre Grenzen. Während der Anteil der Pflegebedürftigen an der Gesamtbevölkerung 2013 bei 3,1% lag [18], wird er – unter Annahme einer dauerhaft konstanten, altersspezifischen Pflegequote – bis zum Jahr 2030 auf 4,4% ansteigen und sich bis 2050 auf 6,5% verdoppeln [20]. Zugleich sinkt der erwerbsfähige Bevölkerungsanteil, die Beitragszahler, um etwa ein Drittel [1]. Zudem sind

deutliche Verschiebungen bei den Altersstrukturen zu erwarten. 2030 wird knapp die Hälfte (48%) aller Pflegebedürftigen 85 Jahre oder älter sein, 2050 sogar 59% aller Pflegebedürftigen, während es im Jahr 2013 rund ein Drittel (34,7%) der Pflegebedürftigen waren [16, 20].

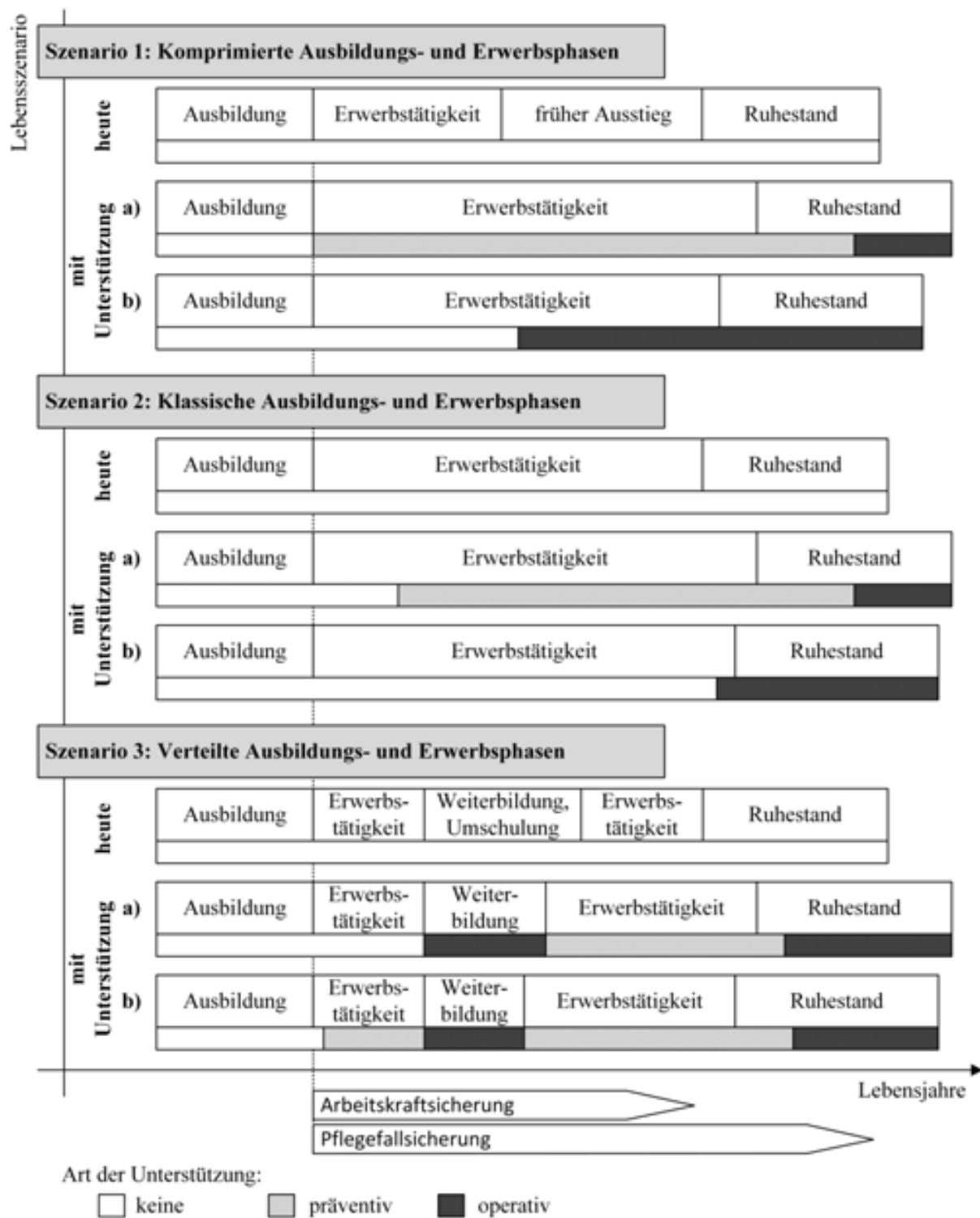


Abb. 3: Technische Unterstützungssysteme in Lebensszenarien
(Quelle: eigene Darstellung)

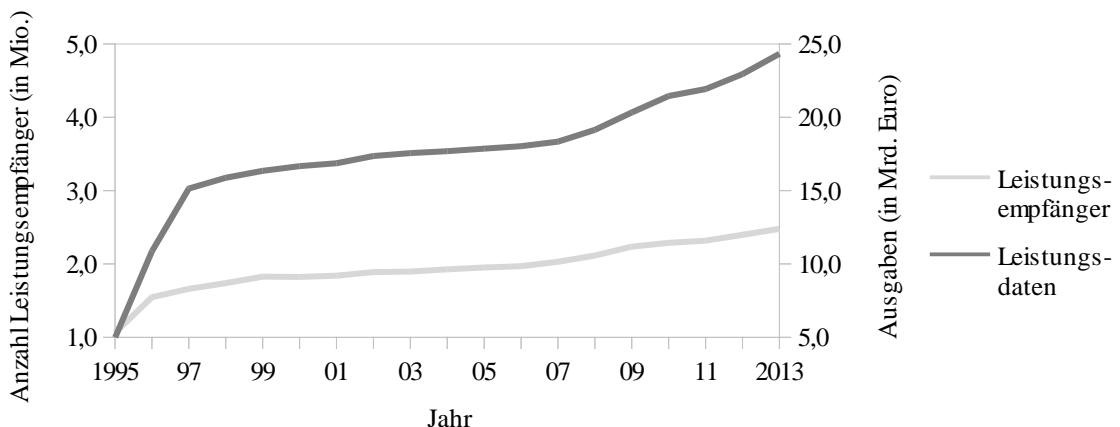


Abb. 4: Anzahl der Pflegebedürftigen (in Millionen) und Ausgaben (in Milliarden Euro) der sozialen Pflegeversicherung in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2013

(Quelle: [18, 19]; eigene Darstellung)

Das demografisch bedingte Finanzierungsproblem der gesetzlichen Pflegeversicherung führt zur Notwendigkeit einer zusätzlichen kapitalgedeckten privaten Vorsorge. Neben einer nachhaltigen Finanzierung der Pflegekosten wird die Zielsetzung einer Steigerung der Qualität sowie eine Verbesserung der Pflege- und Arbeitsbedingungen in der Pflege verfolgt [21]. Die Zahlen des Bundesministeriums für Gesundheit zeigen einen Trend hin zu einer Eingruppierung in geringere Pflegestufen [18], begründet liegt dies in einer verschärften Einstufungspraxis unter dem enormen Kostendruck aufgrund der demografischen Bevölkerungsentwicklung. Vor diesem Hintergrund ist zu bedenken, dass der Anstieg der Zahl der Pflegebedürftigen sowie die Entwicklung der Zuordnung der Pflegebedürftigen zu den Pflegestufen in den kommenden Jahrzehnten neben der demografischen Entwicklung davon abhängig ist, inwiefern sich veränderte Lebenssituationen u.a. durch steigenden Wohlstand, bessere Ernährung und weniger körperlich belastende Arbeit auf den Erhalt des Gesundheitszustands auswirken [20]. Trotz des Umstands einer potentiellen Verbesserung der individuellen Altersgesundheit ist in Anbetracht einer älter werdenden Gesellschaft die Entwicklung von Präventionsmaßnahmen gegen Pflegebedürftigkeit unabdingbar. Dazu können technische Unterstützungssysteme in Erwägung gezogen werden, für die sich drei wesentliche Anwendungsfälle differenzieren lassen (siehe ergänzend Abb. 3):

- Prävention und Gesundheitsförderung zur Erzielung eines Gesundheitsgewinns und Leistungserhalts durch vorbeugende unterstützende Maßnahmen mittels Integration von Mensch und Maschine [22]. Dies ermöglicht den Eintritt einer Funktionseinbuße zu verhindern oder zu verzögern und somit eine Pflegebedürftigkeit aufzuschieben. Infolgedessen lassen sich Pflegezeit und -kosten reduzieren.
- Operative Unterstützung oder gar Wiedereingliederung körperlich kranker oder behinderter Personen in das berufliche und gesellschaftliche Leben durch Kopplung von technischen Elementen und Funktionalitäten mit den biologisch physiologischen Voraussetzungen des Menschen [22]. Auf diese Weise können Funktionseinbußen abgeschwächt bzw. ausgeglichen werden und z.B. Kraftverfügbarkeit, Mobilität, Koordination und Feinmotorik verbessert werden, sodass spezielle Alltagstätigkeiten weiter selbstständig ausgeführt

werden können. Dem Finanzierungsproblem der Pflege wird damit auf zweierlei Weise begegnet. Zum einen setzt die Pflegebedürftigkeit erst später ein und verkürzt damit Pflegezeit und -kosten. Zum anderen wirken sich technische Hilfsmittel bei vorliegender Pflegebedürftigkeit positiv auf die Schwere der Pflegebedürftigkeit und folglich auf die Zuordnung der entsprechenden Pflegestufe aus. Da sich die Leistungen der Pflegeversicherung nach den Pflegestufen orientieren, kommt es bei einer Eingruppierung in geringere Pflegestufen zu einer Kostensparnis.

- Erhöhung der Pflegequalität durch Kopplung biomechanischer und technischer Systeme, z.B. zur Kraftunterstützung von Pflegekräften bei manuellen Anwendungen. Die verkürzten und vereinfachten Arbeitsabläufe führen neben einer Professionalisierung des Pflegeberufs aufgrund optimierter Aufgabenausführungen zu einer deutlichen physischen und psychischen Arbeitsentlastung und somit höheren Verfügbarkeit des Pflegepersonals. Geringere körperliche Belastungen der Pflegekräfte bewirken sinkende Invaliditätsraten (s. vorherigen Abschnitt). Zudem kann mit verkürzten Arbeitsabläufen der Mangel an Pflegepersonal teilweise umgangen werden. Der sich aus der erwarteten Zunahme der Pflegebedürftigen ergebende höhere Bedarf an Pflegepersonal ist aber vorerst nicht aufzuhalten. Allerdings erschließen sich durch Unterstützungssysteme zusätzliche Personenkreise für eine Ausübung pflegerischer Tätigkeiten. Es besteht sogar die Hoffnung, dass viele Menschen, die aufgrund ihrer psychischen Ausprägung für fürsorgende Berufe besonders geeignet sind, die körperlichen Anforderungen aber nicht erfüllen, in dieses Betätigungsfeld wechseln können.

3 Fazit und Ausblick

Der demografische Wandel bedeutet eine große Herausforderung. In diesem Beitrag wird ein Lösungsansatz auf die sich aus der alternden Gesellschaft für die private Versicherungswirtschaft ergebende Problematik vorgestellt, indem Auswirkungen innovativer, unterstützender Technologien analysiert werden. Es wird aufgezeigt, inwiefern das durch Unterstützungssysteme veränderte berufliche Tätigkeitsfeld den Gefährdungsgrad sowie die durch Unterstützungssysteme entlasteten Alltagstätigkeiten die Selbstständigkeit und folglich die Invalidität bzw. Pflegebedürftigkeit beeinflussen. Technische Unterstützungssysteme stellen geeignete präventive bzw. operative Maßnahmen gegen ökonomische und gesellschaftliche Auswirkungen der demografischen Entwicklung dar. Ihr Einsatz schafft die Voraussetzungen für eine Anpassung an die veränderten Rahmenbedingungen über eine erhöhte Erwerbsquote und eine erniedrigte Pflegequote, vor allem unter den Älteren. Klarerweise sind mit der Entwicklung und Einführung solcher Technologien zusätzliche Kosten für die Gesellschaft verbunden, die es vorab noch zu analysieren gilt.

Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden. Internet: www.destatis.de [Stand 08.09.2014]. 2009.
- [2] Frey, C. und Osborne, M.: The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?. Oxford University 2013.

- [3] Bowles, J.: The computerisation of European jobs – who will win and who will lose from the impact of new technology onto old areas of employment?. Bruegel (2014). Internet: <http://www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-european-jobs/> [Stand 07.09.2014].
 - [4] Pack, J.; Buck, H.; Kistler, E.; Mendius, H. G.; Morschhäuser, M. und Wolff, H.: Zukunftsreport demographischer Wandel – Innovationsfähigkeit in einer alternden Gesellschaft. Veröffentlichung aus dem Förderschwerpunkt „Demographischer Wandel“, Bonn 2000.
 - [5] Milbrodt, H.: Aktuarielle Methoden der deutschen Privaten Krankenversicherung. Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Wiesbaden 2005.
 - [6] BaFin: Wahrscheinlichkeitstafeln in der privaten Krankenversicherung 2012. Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht 2014.
 - [7] Dienst, H.-R.: Zur aktuariellen Problematik der Invaliditätsversicherung: unter Verwertung internationaler Erfahrungen. Deutsche Gesellschaft für Versicherungsmathematik, Schriftenreihe Angewandte Mathematik H27, Verlag Versicherungswirtschaft, Karlsruhe 1995.
 - [8] Weidner, R.; Kong, N.; Wulfsberg, J. P.: Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. Production Engineering 7(6), S. 675-684, 2013.
 - [9] Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämerle, M.; Krause, T. und Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2013.
 - [10] Marsiske, H.-A.: Kollege Roboter – Maschinen werden immer intelligenter. Sie verändern längst die Arbeitswelt. Und bald unser Leben. Brand eins 05/2014, 2014.
 - [11] Morgen&Morgen: Versicherer zahlen 1,7 Mrd. Euro Rente an Berufsunfähige – Aktuelles BU-Rating von M&M zeigt positive Trends. Pressemitteilung 09. April 2014. Internet: www.morgenundmorgen.com [Stand: 12.09.2014].
 - [12] GDV: Berufsunfähigkeit in der Privatversicherung. Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft, Ausschuss für Versicherungsmedizin, Risiko- und Leistungsprüfung, 2006. Internet: www.gdv.de [Stand: 12.09.2014].
 - [13] Kloster, N.; Loebus, H.; Mörlbauer, W.: Neue Rechtsgrundlagen für die Berufsunfähigkeitsversicherung DAV1997. Blätter der DGVM 23(4), S. 519-592, 1998.
 - [14] map-report: Risiko: Berufe und Berufsunfähigkeit. map-report (2011), S. 781-783.
 - [15] Morgen&Morgen: Deutlich mehr Leistungsfälle in der Berufsunfähigkeit – Versichererkompetenz ist entscheidend. Pressemitteilung 18. April 2013, Internet: www.morgenundmorgen.com [Stand: 12.09.2014].
 - [16] BMG: Pflegeversicherung – Versicherte der sozialen Pflegeversicherung am Jahresende nach Altersgruppen (1995-2013). Bundesministerium für Gesundheit, 2014, Internet: www.bmg.bund.de [Stand: 12.09.2014].
 - [17] PKV: Zahlen und Fakten – Die wichtigsten Zahlen auf einen Blick. Verband der privaten Krankenversicherer, Köln 2014. Internet: www.pkv.de [Stand: 12.09.2014].
 - [18] BMG: Pflegeversicherung – Leistungsempfänger der sozialen Pflegeversicherung am Jahresende nach Pflegestufen (1995-2013). Bundesministerium für Gesundheit, 2014. Internet: www.bmg.bund.de [Stand: 12.09.2014].
 - [19] BMG: Geschäfts- und Rechnungsergebnisse der sozialen Pflegeversicherung. Bundesministerium für Gesundheit, 2014. Internet: www.bmg.bund.de [Stand: 12.09.2014].
-

- [20] Statistisches Bundesamt: Demografischer Wandel in Deutschland – Auswirkungen auf Krankenhausbehandlungen und Pflegebedürftige im Bund und in den Ländern. Heft 2, Wiesbaden, 2010. Internet: www.destatis.de [Stand 08.09.2014].
- [21] BMG: Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Pflegeversicherung und den Stand der pflegerischen Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Bundesministerium für Gesundheit, 2011. Internet: www.bmg.bund.de [Stand: 12.09.2014].
- [22] Weidner, R.; Redlich, T.; Wulfsberg, J. P.: Produktionstechnik, Montage, Mensch und Technik – Passive und aktive Unterstützungssysteme für die Produktion. *wt Werkstattstechnik online* 104(9), Düsseldorf, Springer-VDI-Verlag, S. 174-179, 2014.

Technikkritik aus Sicht der philosophischen Anthropologie

Wider eine „Emanzipation des Menschengeschlechts“ durch die Technik

J. Sombetzki

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Philosophisches Seminar

Leibnizstr. 6, 24118 Kiel

sombetzki@philsem.uni-kiel.de

Kurzzusammenfassung

Hannah Arendt stellt in Ihrem Werk *Vita activa* besorgt fest, dass sich die Menschen ihrer Daseinsbedingungen berauben, wenn sie ihren genuinen Wohnraum, den Planeten Erde, verlassen, um den Weltraum zu besiedeln – sowohl in körperlicher als auch in geistiger Hinsicht. Sie befürchtet, dass wir bei der Entwicklung von Technologien, die dem Menschen zur Unterstützung dienen sollen, die für den Menschen als Menschen relevanten Kompetenzen letztlich an die Maschinen abgeben und verlieren. Vor dem Hintergrund einer Diskussion technikkritischer Argumente aus Sicht der philosophischen Anthropologie (phA) lautet die Frage, inwiefern das menschliche Selbstverständnis durch den technologischen Fortschritt negativ beeinflusst und ggf. verändert wird.

Abstract

**Critique of technological progress from a philosophical-anthropological point of view.
Against an “emancipation of man” by technology**

In the introduction to *The Human Condition* Hannah Arendt complains of man's emancipation from (i.e. loss of) his specific physical conditions, mental capacities, and genuine human activities due to the technological progress. In the light of philosophical-anthropological arguments I will focus on the negative influence of technological tools and systems of assistance on man's self-conception and self-understanding.

1 Einleitung

Der technologische Fortschritt stellt den Menschen nicht nur vor soziale, politische und ökonomische Herausforderungen, sondern er verändert auch das menschliche Selbstverständnis. Inwiefern die Technik unser Nachdenken über den Menschen angeht, zeigt sich an den Schnittstellen von Anthropologie und Technikphilosophie. In dem folgenden Beitrag werden die philosophisch-anthropologischen Sorgen bezüglich technischer Unterstützungssysteme ausgebreitet und reflektiert. Die phA stellt die Frage nach dem Menschen immer (zumindest auch) normativ und nicht wie die zahlreichen anthropologischen Disziplinen der Gegenwart (bspw. die biologische oder ethnologische Anthropologie) mit Hinblick auf einzelne deskriptiv feststellbare Facetten des menschlichen Daseins. Kurz gesagt erörtert sie nicht nur, was der Mensch ist bzw. bislang war, indem sie die Ergebnisse der empirischen Anthropologien bündelt und zu

einer umfassenderen Gesamtschau zusammenstellt [1], sondern in ihren genuin philosophischen Aufgabenbereich fällt die Frage danach, was der Mensch sein *sollte*, sofern er sich als Mensch verstehen will. Den Menschen bspw. als „zoon politikon“ zu begreifen, wie es Aristoteles in seiner *Politik* pointiert auf den Punkt bringt [2], sieht nur auf den ersten Blick wie eine bloße Beschreibung des Tatsächlichen aus. Dieser Kurzdefinition liegt die Vorstellung von einem guten Leben zugrunde, die (in Aristoteles‘ Fall) Ethik und politische Reflexion fundamental an das menschliche Dasein knüpft. Will sich der Mensch auch weiterhin als Mensch verstehen können, so Aristoteles sinngemäß wiedergegeben, hat er sich als guter Polis-Bürger in die Belange der öffentlichen Sphäre einzubringen, da nur ein politisches Leben (neben dem kontemplativen) Glückseligkeit („*eudaimonia*“) garantiert – das Ziel, das zu erstreben nur der Mensch als Mensch gedacht ist [3]. Diese Gemengelage der phA bzw. diese Tatsache, dass die phA eine Patchwork-Disziplin darstellt, da sie für ihre normativen Schlüsse stets in andere philosophische Disziplinen (bspw. die Ethik, die politische oder Sozialphilosophie) hineingreifen und sich an ihnen für eine je nach Ansatz spezifische Konzeption des Menschen bedienen muss, kann als die ihr inhärente Schwierigkeit verstanden werden. Ich werde diese disziplinimmanente Problematik hier nicht vertiefen, meine Auseinandersetzung mit verschiedenen Positionen der phA ist jedoch als grundsätzliche Kritik an dem Vorhaben einer solchen als Disziplin zu lesen. Kurz gesagt kann m.E. Technikkritik eigentlich nicht aus Sicht einer selbständigen phA geschehen, sondern stellt eine ethische Kritik anhand einer je eigens zu begründenden Vorstellung von einem guten menschlichen Leben und Dasein dar. Auf diese Weise sind die folgenden Überlegungen nicht nur Weisen der Technikkritik aus Sicht der phA, sondern fußen überdies auf dem Sockel einer tieferliegenden methodologischen Kritik an der phA, die ich mich bemühe, der Leserin [4] an den dafür geeigneten Stellen mit der größtmöglichen Transparenz darzulegen. Man könnte sogar sagen, dass dieser Beitrag damit in erster Linie ein wissenschaftstheoretisches Ziel verfolgt.

Ich nehme insbesondere diejenigen technischen Unterstützungssysteme in den Blick, die die Menschen aus Sicht der phA nicht wollen *sollten*. Der grundsätzliche Einwand, den die technikkritische phA gegen technologische Entwicklungen in Anschlag bringen kann, lautet:

Durch die Technik „entmenschlicht“ sich der Mensch selbst, d.h. er beraubt sich grundlegender Eigenschaften oder Möglichkeiten bzw. transformiert sich in ein anderes Wesen. Manche technologischen Errungenschaften entpuppten sich bei genauerer Betrachtung als Gefährdungen der genuin menschlichen Bestrebungen, ein gelingendes Leben zu führen (Tugendethik, bspw. Aristoteles), sie verringerten die „Menge“ an Glückspotenzial auf Erden (Utilitarismus, bspw. Jeremy Bentham) bzw. griffen die Würde des Menschen und damit seine Autonomie als fundamentales Kriterium des menschlichen Daseins an (deontologische Ethik, bspw. Immanuel Kant).

Meine Überlegungen nehmen davon ihren Ausgang, dass geläufige technikkritische Argumente de facto zumindest implizit auf philosophisch-anthropologischen Prämissen darüber, wie der Mensch ist und sein sollte, beruhen. Insofern dient der folgende Beitrag insbesondere dazu, unsere Intuitionen darüber, was den Menschen ausmacht, freizulegen und kritisch zu überprüfen.

Zur groben Ordnung technikkritischer Argumente aus Sicht der phA nutze ich drei von Hannah Arendt in der Einleitung zu ihrem Werk *Vita activa oder Vom tätigen Leben* [5] formulierten

Vorwürfe gegenüber dem technologischen Fortschritt in Form dreier Emanzipationsbewegungen des Menschen. [6] Mit Emanzipation meint Arendt, dass uns jeweils eine bestimmte konstitutive Kompetenz oder Eigenschaft gänzlich verloren geht. Erstens wolle sich der Mensch durch die Technik von der Erde emanzipieren, was eine Konsequenz seines Wunsches nach einer Emanzipation vom Körper darstelle. Diese Überlegungen übersetze ich im ersten Kapitel in den Vorwurf der phA, durch technologische Entwicklungen laufe der Mensch Gefahr, sich der körperlichen Seite seines genuin menschlichen Daseins zu berauben. Zweitens gebe der Mensch durch die Technik letztlich sein Denkvermögen preis, also seinen Geist und andere mentale oder kognitive Kompetenzen. Diese Emanzipationsbewegung wird im zweiten Kapitel als Kritik an extended-mind-Technologien besprochen. Drittens versuche der Mensch, über die Technik eine Emanzipation von der Arbeit zu erreichen, was ich im dritten Kapitel allgemeiner als Emanzipation von spezifisch menschlichen Praktiken reformuliere. Setzen also die ersten beiden Arendtschen Emanzipationsbewegungen den Cartesischen Substanzdualismus von Materie und Geist in philosophisch-anthropologischem Gewand voraus, können die im Namen der dritten Emanzipationsbewegung bemühten Argumente auch von Denkerinnen wie bspw. Arnold Gehlen angeführt werden, die mit ihrem Ansatz jeglichen Dualismus philosophisch-anthropologisch zu entkräften suchen. [7]

2 Die Emanzipation des Menschen vom Körper

Da die Menschen seit jeher den Körper als eine Last angesehen haben und seit dem 20. Jahrhundert sogar darauf verfallen sind, Körper und Erde unmittelbar miteinander zu verknüpfen, betrachten sie nun nicht mehr nur „den Körper als ein Gefängnis für Geist und Seele“ [8], sondern halten Arendt zufolge ebenso „die Erde für ein Gefängnis des menschlichen Körpers“. Es scheint, als könne eine „Emanzipation des Menschengeschlechts von der Erde“ auch das Versprechen einer Lossagung vom ach so lästigen Körper einlösen. Alle Unternehmungen zur Besiedelung des Weltraums sind deshalb so problematisch, da eigentlich nur die Erde den Menschen die Grundlagen für ein genuin menschliches Leben bereitstellt. Als lebende Organismen, die Luft und Nahrung bedürfen, sind sie auf die Erde angewiesen [9]. Darüber hinaus bauen sie auf der Erde einerseits eine gemeinsame Welt aus menschengemachten Gegenständen (Artefakte) und andererseits aus menschlichen Handlungen und Bezügen (Praktiken). Nur in der menschlichen Welt können sie eine Heimat finden und sich zumindest bedingt auch um Unsterblichkeit bemühen, nämlich in Form dauerhafter Gegenstände und erinnerungswürdiger Taten. Erde und Welt gehen den Menschen Arendt zufolge bei einer Besiedelung des Weltraums verloren. zieht der Mensch hinaus in den Weltraum, entmenschlicht er sich selbst. Im Weltraum lebende Menschen wären fundamental andere Wesen. Dabei hat sie einen zweiten Raum menschlichen Daseins, der sich neben dem Weltraum im 20. Jahrhundert etablierte, noch gar nicht in den Blick genommen: die Virtualität.

Dass erst die Virtualität und nicht bereits der Weltraum die von Arendt befürchtete Körperlosigkeit mit sich bringt, kann im Folgenden nicht diskutiert werden [10]. Der Kerngehalt der Arendtschen These einer Emanzipation des Menschen von der Erde durch die Technik besagt, dass der Mensch im Grunde ein körperliches Wesen ist, das, schiebt man seinem unermüdlichen Entdeckergeist keinen Riegel vor, insbesondere seine körperliche Seite durch die Technik auf kurz oder lang destruiert. In einer längeren Textstelle zeichnet sie den bedenklichen Weg nach,

den die Naturwissenschaften in dem Versuch eingeschlagen haben, gegebene Bedingungen des menschlichen Daseins zu verändern:

„Schon seit geraumer Zeit versuchen die Naturwissenschaften, auch das Leben künstlich herzustellen, und sollte ihnen das gelingen, so hätten sie wirklich die Nabelschnur zwischen dem Menschen und der Mutter alles Lebendigen, der Erde, durchschnitten. Das Bestreben, „dem Gefängnis der Erde“ und damit den Bedingungen zu entrinnen, unter denen die Menschen das Leben empfangen haben, ist am Werk in den Versuchen, Leben in der Retorte zu erzeugen oder durch künstliche Befruchtung den Übermenschen zu züchten oder Mutationen zustande zu bringen, in denen menschliche Gestalt und Funktionen radikal „verbessert“ werden würden, wie es sich vermutlich auch in den Versuchen äußert, die Lebensspanne weit über die Jahrhundertgrenze auszudehnen.“ [11]

Die Krise der Naturwissenschaften besteht laut Arendt darin, dass diese, einen Weg einmal begonnen, aus sich heraus keinen Grund definieren, ihn nicht bis zu seinem womöglich bitteren Ende zu verfolgen. Naturwissenschaftliche Forschung kann die Ziele dieser Forschung nicht wissenschaftsimmmanent reflektieren und zeigt sich in dieser Hinsicht eigenen Ergebnissen gegenüber nicht kritikfähig. Über Arendt lässt sich damit die erste Technikkritik aus Sicht der phA wie folgt wiedergeben:

Technische Unterstützungssysteme, die gravierenden Einfluss auf die Körperlichkeit des Menschen haben, sind zu vermeiden, da die menschliche Körperlichkeit genuiner Bestand einer Definition des Menschen ist.

Dies betrifft, folgt man der oben zitierten Textstelle, (1) die durch Technik evozierte „Herstellung“ menschlicher Körper, (2) „radikale“ Formen von Human Enhancement sowie (3) die Verlängerung des menschlichen Lebens bis in die Unsterblichkeit. Die genannten Sorgen der phA ergänze ich durch eine vierte, die ich oben bereits mit dem Verweis auf die Virtualität angedeutet habe: (4) die gänzliche Loslösung von der menschlichen Körperlichkeit durch einen Einzug in die Virtualität.

(1) Die künstlichen Herstellung von Leben und „in der Retorte“ betrifft den Eintritt des Menschen ins Dasein, wobei unklar bleibt, was sich Arendt darunter genau vorstellt; ob künstliche Befruchtung, In-Vitro-Fertilisation, Embryotransfer, Klonen, allgemeiner alle reproduktionsmedizinischen Verfahren, Methoden der Präimplantationsdiagnostik (PID) oder sogar die Erschaffung humanoider autonomer Systeme. Alle diese technischen Entwicklungen lassen sich auch als Unterstützungssysteme des Menschen lesen. In diesem Zusammenhang stellt ihre philosophisch-anthropologische Kritik, nur das dürfe mit Fug und Recht „Mensch“ genannt werden, was auf „natürlich-menschliche“ Weise ins Leben gerufen wurde, zunächst eine These, doch noch kein Argument dar. Was soll bspw. „natürlich“ überhaupt bedeuten? Warum sollte Natürlichkeit einen Maßstab für gutes menschliches Leben bilden? Und was hat Natürlichkeit mit der Weise, in der menschliche Wesen gezeugt werden und ins Dasein treten, zu tun? Schließlich: Selbst wenn man mit guten Gründen bestreiten könnte, dass gleichwie „künstlich“ erzeugte oder gar „hergestellte“ Wesen Menschen sind, welche Bedenken sollten uns davon abhalten, diese Nicht-Menschen zu erschaffen? Was wäre aus philosophischer (bspw. ethischer) Sicht dagegen einzuwenden? Diese Frage kann zwar mit Recht gestellt werden, doch lässt sie sich nicht mehr im Rahmen der phA allein, sondern nur innerhalb je eigener bereits

bestehender philosophischer Konzeptionen des Menschen (z. B. ethischer, politischer oder sozialer) beantworten. Jürgen Habermas könnte bspw. einwenden, dass Menschen dazu neigen, „gemachten“ – also erschaffenen – Wesen weniger Respekt angedeihen zu lassen, ihnen schlimmstenfalls ihre Würde abzusprechen. Darüber hinaus verfallen die Entwickler im Zweifel einem Narzissmus, dass sie in der Lage seien, Menschen zu erschaffen, und ihre Schöpfungen laufen Gefahr, unter einem gestörten Selbstverständnis zu leiden. [12] Für diese Position muss jedoch eigens argumentiert werden; wir begegnen in ihr also einer ethischen Technikkritik unter Indienstnahme eines philosophisch-anthropologischen Gewands von einem guten menschlichen Leben und Dasein.

(2) Radikale Weisen des Human Enhancements beziehen sich (auch) auf die Spanne des menschlichen Lebens selbst – bis hin zu einer Beeinflussung zukünftiger Generationen durch genetisches Enhancement [13]. Arendt scheint mit ihrem Einwand gegen radikale Verbesserungen der menschlichen Gestalt und Funktion einen aufklärerisch-humanistischen Standpunkt zu vertreten, insofern der Mensch mit seiner gegebenen Leibgestalt zufrieden zu sein habe [14]. Auch in diesem Fall bleibt mein Zweifel bestehen, ob die philosophisch-anthropologische Position eines Aufklärungshumanismus‘, die einer eigenen Begründung bedürfte, gegen die körperliche Veränderung des menschlichen Daseins durch technologische Unterstützungssysteme tatsächlich so viel auszurichten hat. Wieder muss die phA auf bspw. Argumente der politischen Philosophie zur Verteilungsgerechtigkeit von Ressourcen zurückgreifen oder ihren Ansatz mit ethischen Überlegungen, dass z. B. nur das als eigenes Werk anerkannt zu werden verdiene, das selbst durch Training und Leistung erlangt wurde, unterfüttern, ein Argument, das gerne gegen Doping im Sport und die geistige Leistung steigernder Enhancement-Mittel bemüht wird. So diskutiert bspw. Eric T. Juengst in seinem klassischen Text, inwiefern manche Mittel für das Erreichen von Zielen als natürlich und damit erlaubt, andere hingegen als künstlich und damit verwerflich interpretiert werden, und Thomas H. Murray setzt sich damit auseinander, inwiefern der zusätzliche Vorteil, den die Einnahme von Medikamenten wie bspw. Antibiotika im Hochleistungssport verschafft, nachvollziehbar, tolerierbar oder unmoralisch ist. [15]

(3) Die Verlängerung des menschlichen Lebens bis in die Unsterblichkeit hinterfragt den Tod als natürlichen Endpunkt allen Organischen. Unsterblichkeit ist seit den ersten schriftlichen Zeugnissen des Menschen, wie bspw. das *Gilgamesch-Epos* (ca. 2.400-1.800 v. Chr.) belegen, immer das oder zumindest eins der bedeutsamsten erklärten Ziele des Menschen gewesen. Bis zu einigen Auslegungen der christlichen Auferstehungslehren kannte die philosophische und theologische Reflexion auch immer eine körperliche Deutung dieses Unterfangens [16]. Die offensichtliche Herausforderung gegenwärtiger technologischer Errungenschaften besteht darin, das menschliche Leben immer weiter zu verlängern und dabei auch ein hohes Niveau an Lebensqualität sicherzustellen. Diesem impliziten Forschungsziel wird – wie Arendt an den Naturwissenschaften kritisiert – keine ethische Grenze gesetzt. Vielmehr wird grundsätzlich die Gewährleistung körperlicher Unsterblichkeit angepeilt. In diesem Zusammenhang kommen direkt mehrere technologische Unterstützungssysteme in den Sinn, angefangen bei Serviceleistungen (teil-)autonomer Systeme in Medizin und Altenpflege, über Formen des Human Enhancements zur Unterstützung eines gesunden Körpers, bis hin zu transhumanistischen Projekten im Bereich der Kryonik. Bezüglich der beispielhaft genannten Gewänder, in die sich der technologische Fortschritt in diesem Fall kleiden mag, ist nicht auszumachen, was Arendt diesbezüglich vorschwebte. Und wie zuvor stellt auch jetzt die Aussage, dass der Körper und damit

auch Sterben und Tod Teil einer Definition von „Mensch“ ist, erst den anthropologischen, noch nicht aber den philosophischen Begründungsanteil dar. [17]

(4) Die Möglichkeiten des virtuellen Raums, die von Arendt noch nicht antizipiert wurden, bringen dann auch endlich die von einigen populären Posthumanisten bereits lang ersehnte Körperlosigkeit und damit – quasi en passant – Unsterblichkeit des menschlichen Geistes mit sich. Die Pioniere und Verfechter des sogenannten Uploadings aus Robotik (Hans Moravec), Physik (Frank Tipler) und KI-Forschung (Marvin Minsky) verfolgen dieses Projekt mit der Übertragung des menschlichen Geistes auf ein Computer-Interface („Whole Brain Emulation“ oder „Mind uploading“) seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts. Die technikkritische phA würde gegen solche und ähnliche Versuche einer Auflösung des Cartesischen Substanzdualismus‘ zu gunsten des rein Geistigen, losgelöst von jeglicher organischer oder maschineller „Hardware“, auch wieder nur bemerken können, dass dem Menschen auch weiterhin an seiner Körperlichkeit gelegen sein sollte, wollen wir ihn nicht bis zu seiner absoluten Unkenntlichkeit deformieren. Insbesondere diese letzte Sorge gegenüber technischen Unterstützungssystemen scheint mit den Intuitionen vieler Menschen zusammenzuklingen: Wir sind eben doch mehr als nur ein körperloses mentales Vermögen, irgendwie gehört der Körper doch zu dem, was wir als Mensch begreifen wollen. Doch auch wenn diese Intuitionen noch so stark sein mögen, stellen sie für sich genommen noch kein Argument dar. Gesetzt den Fall, man könnte tatsächlich gute Gründe dafür anführen, dass der Mensch mehr als nur sein Geist ist, warum sollte mit dem Einzug in die Virtualität die Erschaffung „posthumaner Wesen“ in irgendeiner Weise problematisch sein? Vielleicht sollten wir erst einmal sicherstellen, dass uns diese Posthumanen auch tatsächlich wohl gesonnen wären [18]? Oder umgekehrt – vielleicht sollten wir erst einmal mit unserem anthropozentrischen Speziesismus aufräumen, dass dem Menschen ein besonderer Status gegenüber anderen Arten zukommt [19]?

3 Die Emanzipation des Menschen vom Geist

Die zweite durch Arendt prognostizierte technikgeleitete Emanzipation des Menschen von seinem menschlichen Wesen betrifft die Befürchtung, der Mensch könnte sein Denkvermögen, seinen Geist, also die andere Seite des Cartesischen Substanzdualismus, an Maschinen abgeben. Aufgrund einer generellen Unfähigkeit der Naturwissenschaften, sich den eigenen Forschungsergebnissen gegenüber kritisch zu positionieren, wird der Mensch auf kurz oder lang nicht mehr befähigt sein, ihren technologischen Entwicklungen geistig zu folgen, sie also nicht mehr „verstehen, d.h. denkend über sie [...] sprechen“ [20] können. Der Mensch versteht die Technik einfach nicht mehr, eine Entwicklung, die schon längst eingesetzt hat. Irgendwann nehmen die Maschinen ihren Schöpfern auch die genuin menschlichen Fähigkeiten des Denkens und Sprechens ab. Pointiert gelangt Arendt zu dem Schluss, dass wir in einem solchen Fall nur mittelbar Sklaven unserer eigenen Erfindungen sind, wie aus technikkritischem Mund häufig mit schneller Zunge behauptet wird. Im eigentlichen Sinne sind wir Sklaven unseres Erkenntnisvermögens, d.h. der naturwissenschaftlichen Theoriebildung und unseres technologischen Know-Hows. Wir können uns dann nur noch darauf verlassen, dass die Maschinen, ausgerüstet mit unseren kognitiven Kompetenzen, an unserer Stelle schon wissen werden, was zu tun ist. Der Mensch ist dann ganz Homo Faber geworden, unter Verlust seiner spezifisch menschlichen Seite, nämlich zu denken. Arendt sieht einen direkten Zusammenhang zwischen der spezifisch menschlichen Tätigkeit, nämlich dem Handeln und Sprechen, und dem geistigen Vermögen,

dem Denken. Das innere Denken stellt die Entsprechung des äußeren Handelns und Sprechens dar. Die Tätigkeit des Herstellens (die Tätigkeit des Homo Faber), die oben mit dem Erkennen, als Ausdenken, und Ersinnen, gleichgesetzt wird, ist eine durchaus wichtige Kompetenz, denn sie dient u. a. dem Bau der Welt, aber sie ist nicht das, was das spezifisch Menschliche ausmacht. [21]

Der auf die Spitze getriebene Homo Faber hat sich in der erfolgreichen Entledigung seiner Denkfähigkeit durch den technologischen Fortschritt quasi selbst maschinisiert – er ist zu einem hohlen Apparat ohne menschliche Substanz geworden. Dies stellt laut Arendt ein Defizit dar. Mit dem Körper beraubt er sich seiner menschlichen Bedingtheiten, was schlimm genug ist, denn damit geht ihm das natürliche Setting verloren, in das eingerahmt Menschen sich zu Menschen erst entwickeln können. Mit dem Denken (und Handeln, das wird im folgenden Abschnitt näher in den Blick genommen) hat er sich nun seine genuin menschliche Weise, tätig und damit Mensch zu sein, genommen, ohne, dass an ihre Stelle etwas anderes getreten wäre. Damit lässt sich über Arendt die zweite Technikkritik aus Sicht der phA formulieren:

Technische Unterstützungssysteme, die gravierenden Einfluss auf spezifisch geistige Vermögen des Menschen haben, sind zu vermeiden.

Arendt zielt in diesem kurzen Abschnitt der Einleitung zur *Vita acitva* maßgeblich auf einen vollständigen Verlust mentaler Kompetenzen, wobei die extended-mind-Kritik traditionell weiter zu fassen ist. Unter „extended mind“ fallen alle zu beobachtenden Entwicklungstendenzen, Fähigkeiten aus dem menschlichen Körper auszulagern, ob nun über Taschenrechner, Navigationssysteme, Computer, Handys oder andere Geräte. Arendt geht davon aus, dass in dem Maße, in dem wir menschliche Fähigkeiten (wobei sie hier explizit nicht von Praktiken und Tätigkeiten spricht, sondern zunächst von mentalen Kompetenzen) externalisieren, sie uns zumindest auf lange Sicht vollständig verloren gehen. Nutzen wir bspw. nur noch Navigationssysteme, um von A nach B zu gelangen oder uns in unbekannten Gegenden zurechtzufinden, werden wir auf kurz oder lang unserem Orientierungsvermögen komplett verlustig gehen und schließlich gänzlich auf nicht-menschliche organische oder maschinelle Hilfestellung angewiesen sein.

In ihrer starken und umfassenden Interpretation beklagt die extended-mind-Kritik die Übertragung jeglicher menschlicher Tätigkeiten, Fähigkeiten, Fertigkeiten, Kompetenzen, Vermögen und Techniken auf Maschinen, ganz gleich, welcher Stellenwert diesen in der Entwicklungsgeschichte der Spezies Mensch insgesamt zugesprochen werden mag. Insbesondere auf den Verlust von Tätigkeiten und Praktiken komme ich im folgenden Abschnitt noch zu sprechen. An dieser Stelle geht es insbesondere um geistige Kapazitäten und Vermögen. Dabei gerät gerne aus dem Blick, dass Menschen immer schon neue Techniken entwickelt, Werkzeuge erfunden, Kompetenzen erworben und auch immer wieder verloren haben, da diese entweder nicht mehr benötigt wurden (wie bspw. das Aussterben vieler traditioneller Handwerksberufe zeigt) oder aber durch andere ersetzt wurden (wie z.B. das Reiten durch das Autofahren). In einem schwächeren und engeren Sinn nimmt die extended-mind-Kritik im Sinne Arendts die technologischen Entwicklungen in den Blick, die nicht den Verlust irgendwelcher Vermögen nach sich ziehen, sondern menschlicher Kernkompetenzen (wie das Denken).

Beide Versionen gründen auf der Vermutung einer Emanzipation von den fraglichen Eigenschaften im Sinne eines vollständigen Verlusts. Tatsächlich bedürfte es einer eigenen Untersuchung darüber, welche Kompetenzen in dem hier vorgestellten Sinne als spezifisch menschlich zu nennen wären, so dass ihr Verlust eine wie auch immer geartete entmenschlichende Funktion

hätte [22]. Daran müsste sich die Frage anschließen, ob wir besagte Vermögen überhaupt vollständig abgeben können. Doch selbst wenn letzteres der Fall sein sollte, bleibt dahingestellt, ob die abgegebenen Fähigkeiten nicht damit auch Raum für neue schaffen oder vielleicht gar nicht verlustig gehen, sondern quasi eine Kompetenz-Transformation durchlaufen, wie man bspw. an Kindern der neuen Generation in ihrem kreativen Umgang mit digitalen Medien nachvollziehen kann. Die Sorge der phA einer tatsächlichen Beraubung des Menschen durch technologische Unterstützungssysteme um elementare geistige Vermögen bleibt ihre Begründung noch schuldig. Alle anderen Techniken und Handwerke betreffend konnte m.E. bislang noch nicht hinreichend dargelegt werden, warum ein Verlust für den Menschen als Menschen tatsächlich so tragisch sein sollte. Wendel Wallach und Colin Allen stellen in ihrem im Bereich der Roboterethik bereits klassisch zu nennendem Werk *Moral Machines* den Ansatz der funktionalen Äquivalenz vor. Kurz zusammengefasst wollen sie damit gegen den implizit metaphysischen Charakter, der zahlreichen geistigen Kompetenzen wie u.a. Willensfreiheit, Bewusstsein und Geist zugesprochen wird, durch ein graduelleres Zuschreibungsmodell ersetzen. Maschinen können Wallach und Allen zufolge in einem funktional äquivalenten Sinn über dieselben Vermögen verfügen, ohne, dass dem Menschen dadurch etwas Substanzielles genommen würde. [23]

4 Die Emanzipation des Menschen von menschlichen Praktiken

Ich komme in diesem Kapitel zur letzten von Arendt beklagten Emanzipationsbewegung des Menschen durch den technologischen Fortschritt, nämlich seine Emanzipation von der Arbeit. In mehrerlei Hinsicht ähnelt ihre Kritik der im vorherigen Abschnitt bereits vorgestellten Sorge bezüglich um sich greifender extended-mind-Technologien – hier jedoch weniger den Verlust mentaler Kompetenzen betreffend (insbesondere das Denkvermögen), sondern menschliche Tätigkeiten und Praktiken [24]. Der Wunsch nach einem sorgenfreien Leben ohne Arbeit ist, das gesteht Arendt ein, zwar so alt wie die Menschheit selbst, und doch erst für die moderne Gesellschaft prekär, da erst diese in der Arbeit ihren wesentlichen Lebenssinn gefunden hat. Ähnlich wie bezüglich der ersten zwei Technikkritiken geht es Arendt weniger darum, jede Erleichterung des Menschen von der Arbeit zu problematisieren, ebenso wenig wie sie generell jeden Gebrauch von extended-mind-Technologien kritisiert oder jeden Ausflug in den Welt Raum per se als Gefährdung der menschlichen Natur einschätzt – solange ein bestimmtes Maß nicht überschritten wird.

Als „ein Grundaspekt menschlichen Daseins“ [25] insbesondere für die gegenwärtige „Arbeitsgesellschaft“ [26] müsse der generelle Verlust der Arbeit, der sich in der „Ausbreitung der Automation“ [27] Mitte der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts drohend ankündigt, die Sinnentleerung des menschlichen Lebens schlechthin bedeuten. Doch eigentlich, so Arendt, arbeitet der Mensch nur um der Notwendigkeit der Lebenserhaltung willen; die Arbeit als Subsistenzsicherung verbindet ihn auf eine ganz spezifische Weise mit der Natur, der er das tägliche Brot abringen muss. Ihr kommt damit ein ähnlicher Stellenwert zu wie dem Planeten. Wie die Erde stellt auch die Arbeit die Bedingungen dafür bereit, dass wir unsere eigentlich menschlichen Kompetenzen und Fähigkeiten, nämlich denken, sprechen und handeln, ausüben können. Insofern bewegt Arendt sich in ihrer Kritik am technologischen Fortschritt im Rahmen der dritten Emanzipationsbewegung argumentativ in zweierlei Hinsicht auf zwei Ebenen: (a) Eine Emanzipation von der Erde sowie von der Arbeit greift die Grundlagen menschlicher Existenz an – ohne einen gemeinsamen Daseinsraum, ohne die Möglichkeit, sich am Leben zu erhalten, gäbe

es den Menschen schlicht nicht. Die Emanzipation vom Denkvermögen betrifft darüber hinaus die genuin menschlichen Kompetenzen (und letztlich Tätigkeiten) selbst, für die der Mensch erst dann Zeit hat, wenn Umwelt und Lebensgrundlagen bereits gesichert sind. Die Emanzipationsbewegungen eins (von der Erde) und drei (von der Arbeit) stehen also auf einer anderen Ebene als die Emanzipationsbewegung zwei (vom Denkvermögen).

(b) Die Konstatierung einer Transformation der modernen Gesellschaft zu einer Gesellschaft des Animal Laborans, in der der Raum zum Handeln und Sprechen auf ein Minimum reduziert bzw. sogar in den Privatbereich verschoben wird, trifft einen wesentlichen Kern von Arendts Kritik am Stand der Dinge bzw. am Stand des Menschen. Um dieses Thema (nicht um das unter a beschriebene) wird es ihr in der *Vita activa* u.a. gehen. Die Arbeit hat nicht nur den ihr zustehenden Platz im menschlichen Leben (die Privatsphäre) bei weitem überschritten, sondern hat das spezifisch Menschliche (das sich eigentlich im Öffentlichen abspielt) regelrecht ersetzt. In Arendts Worten bezieht sich diese Emanzipation von der Arbeit durch technische Entwicklungen – ähnlich der im zweiten Kapitel diskutierten Emanzipation von der Erde bzw. vom Körper – auf das natürliche Rahmengerüst menschlicher Bedingtheiten, denn die Arbeit stellt nichts genuin Menschliches dar wie das Handeln, Sprechen und Denken (auch Tiere müssen gewissermaßen „arbeiten“, um ihr Überleben zu sichern). Es ist also bereits an sich eine pathologische Entwicklung moderner Gesellschaften, sich nur noch über die Tätigkeit des Arbeitens zu definieren [28]. Das Animal laborans der Arbeitergesellschaft entpuppt sich also bereits als quasi entmenschlichter Mensch, es ist der Mensch minus seine genuin menschlichen Fähigkeiten des Denkens, Sprechens und Handelns, und kommt doch in seiner „Reinform“ eigentlich nicht vor. Normalerweise ist der Mensch sowohl handelndes, als auch herstellendes Wesen (*Homo faber*) und Animal laborans (indem es arbeitend seine Lebensgrundlagen garantiert). Unter (b) sind also die Ebenen der antiken Welt, die noch zwischen Privatsphäre (Arbeit) und öffentlichem Raum (Handeln) zu differenzieren wusste und damit das genuin Menschliche im Öffentlichen garantierte, von der modernen Welt, die das eigentlich Private der Arbeit in die öffentliche Sphäre zerrt und dem Menschen damit seine spezifisch menschliche Weise des Tätigseins nimmt, zu unterscheiden.

Wir fühlen uns intuitiv an das Handeln, Sprechen und Denken erinnert – die der Leserin bereits im zweiten Kapitel begegnet sind. Dort ging es Arendt vornehmlich um die Sorge eines Verlusts mentaler und kognitiver Kompetenzen am Beispiel des Denkvermögens. Nun wird diese Kritik in ähnlicher Weise an menschlichen Tätigkeiten und Praktiken wiederholt, wobei sich an der Arbeit zeigt, dass Arendt keine philosophische Anthropologin war und dass es ihr in der Einleitung zur *Vita acitva* nicht primär um eine differenzierte Technikkritik aus Sicht der phA ging. Deshalb muss ihr Ansatz zugunsten meines Vorhabens in Teilen umformuliert werden. Abrückend vom Arendtschen Begriffsverständnis der Arbeit als Tätigkeit, die sowohl von Menschen als auch von Tieren ausgeübt wird (und somit in einem philosophisch-anthropologischen Ansatz zu menschlichen Praktiken ihrer Ansicht nach nicht viel zu suchen hätte) sowie dem Denken, Sprechen und Handeln als der (den) spezifisch menschlichen Aktivität(en) (die also erst an dieser Stelle und nicht bereits im vorherigen Kapitel Aufmerksamkeit finden dürften), möchte ich Tätigkeiten – ähnlich wie Gehlen – als weder rein geistige noch als rein körperliche Phänomene betrachten. Gehlen zufolge ist es insbesondere das Handeln, das den Menschen und nur diesen auszeichnet und eine Brücke über den Dualismus zwischen Geist und Körper zu schlagen einlädt. [29] Weiter unten komme ich deshalb noch einmal auf die von Arendt implizit

befürchtete Gefahr einer zu starken Entlastung des Menschen durch extended-mind-Technologien zu sprechen – nicht nur (wie bereits oben veranschaulicht), da wir dadurch unserer geistigen Kernkompetenzen verlustig gehen, sondern da wir menschlicher Tätigkeiten und Praktiken beraubt werden. Hierfür muss man (wie Gehlen zeigt) noch nicht einmal einen Cartesischen Leib-Seele-Dualismus philosophisch-anthropologisch voraussetzen. Über Arendt lässt sich auf diese Weise die dritte Technikkritik aus Sicht der phA wie folgt zusammenfassen:

Technische Unterstützungssysteme, die gravierenden Einfluss auf Praktiken und Tätigkeiten des Menschen haben, sind zu vermeiden.

Im schlimmsten Fall zeigt sich eine Emanzipation von Aktivitäten, die die Menschen ausführen, in einem vollständigen Verlust derselben, ohne, dass an ihre Stelle etwas anderes treten würde. Es bietet sich hier ein Vergleich mit den im vorigen Abschnitt erläuterten Versionen der extended-mind-Kritik an, denn wie bereits dort deutlich geworden ist, konzentriert sich diese traditionell nicht allein auf mentale oder kognitive Kompetenzen, sondern bezieht ebenso Handwerke, Techniken und Praktiken mit ein. Auch das Handeln lässt sich als menschliche Fähigkeit hierunter fassen, was sicherlich eine starke Intuition bezüglich des technologischen Fortschritts und seiner befürchteten Auswirkungen auf die Gesellschaft aufgreift: Nicht nur wird der Mensch bald nichts mehr zu arbeiten haben (entgegen der Arendtschen Differenzierung zwischen diesen beiden Weisen des Tätigseins wird für gewöhnlich das Arbeiten als eine Form zu handeln begriffen), sondern darüber hinaus nehmen ihm „die Maschinen“ bald jegliche Autonomie und Würde – und bringen damit die Grundlagen der menschlichen Handlungsfähigkeit selbst ins Wanken. Wenn wir uns nicht mehr als Personen und Akteure deuten können, wenn wir nicht mehr in der Lage sind zu handeln, haben wir durch den Luxus technologischer Unterstützungssysteme das Subjekt, das diesen Luxus als solchen genießen können, vollständig nivelliert: den Menschen.

Ohne an dieser Stelle meine Bemerkungen aus dem zweiten Kapitel zu einer Auseinandersetzung mit den verschiedenen Versionen der extended-mind-Kritik zu wiederholen darf man dennoch nicht aus den Augen verlieren, dass die Angst vor einem Verlust an Autonomie und Handlungsfähigkeit de facto eine psychologische Tatsache darstellt. Ob diese jedoch begründet ist – ob sich der Mensch also tatsächlich von seiner Autonomie und Handlungsfähigkeit „emanzipieren“ kann in dem Sinne – und ob dies als negativ bewertet werden sollte, bedarf einer eigenen Begründung, die die phA aus anderen philosophischen Disziplinen wie bspw. der Ethik, Kultur- oder Sozialphilosophie zu rekrutieren hat. Insbesondere die Abgabe von Arbeit an Maschinen wurde im 20. Jahrhundert als große Errungenschaft des technologischen Fortschritts gefeiert [30]. Andere haben indes darauf verwiesen, dass durch die Abgabe von Arbeit für den Menschen entweder neue Arbeit entstehen kann, oder Zeit für andere Aktivitäten [31]. Man sieht, dass auch in dieser Hinsicht ein Vergleich mit den im vorherigen Abschnitt diskutierten Versionen der extended-mind-Kritik angebracht ist.

5 Schluss

Ein anthropologischer Essenzialismus kann aus sich heraus, d.h. nur unter dem Verweis darauf, welche körperlichen, geistigen, biologischen, organischen oder kulturellen Eigenschaften sich der Mensch selbst zuschreibt, keine Einhegung des technologischen Fortschritts und keine Kritik technischer Unterstützungssysteme definieren. Auch aufklärerisch-humanistische Positionen, die auf der jetzigen Leibgestalt beharren, da diese bislang dem Menschen so und nicht

anders gegeben war, müssen, um keinen naturalistischen Fehlschluss zu begehen, begründen, warum die Leibgestalt nicht zur Disposition stehen darf. In den vorausgegangenen Überlegungen hat sich gezeigt, dass die technikkritische phA allein auf der Grundlage anthropologisch-essenzialistischer Intuitionen über das menschliche Wesen – und seien diese auch noch so stark – nichts gewinnt. Das genuin Philosophische ihres Arguments kann sie nur aus anderen philosophischen Disziplinen rekrutieren. Sie muss dafür generell eine spezifische Konzeption eines guten bzw. gelingenden menschlichen Lebens in Anspruch nehmen, das einer ethisch-moralischen Begründung bedarf. In den hier vorgestellten technikkritischen Positionen aus den drei gewählten Perspektiven Körper, Geist und Praktiken bedarf es einer saubereren Differenzierung von Ebenen, nämlich der Ebenen der

1. Intuitionen: Welche meiner Annahmen gehen zwar in mein persönliches Menschenbild mit ein, bedürfen allerdings einer eigenen Begründung? Was entspricht dabei einer subjektiven (oder sogar objektiven) psychologischen Tatsache, ohne, dass sich daraus bereits en passant ein normativer Gehalt ergäbe (was sonst den oben angesprochenen naturalistischen Fehlschluss zur Folge hätte)?
2. Empirie: Was lässt sich deskriptiv über den Menschen feststellen? Wie haben wir den Menschen bislang verstanden, wie definieren ihn die unterschiedlichen Bereichswissenschaften wie Biologie, Ethnologie, die Kultur- und Sozialwissenschaften usw.? Wieder: Die unterschiedlichen Menschenbilder der verschiedenen anthropologischen Disziplinen generieren aus sich heraus noch keinen Einwand gegen technische Unterstützungssysteme, sondern können nur beschreibend wiedergeben, wie sich der Mensch entwickelt hat, auch wenn die verschiedenen Fächer mit konnotierten und moralisch aufgeladenen Begriffen arbeiten, die implizit normative Aspekte über den Menschen transportieren (wie bspw. an der Rede von konkurrierenden oder kooperierenden Genen deutlich wird).
3. Philosophie: Welche Vorstellungen von einem guten Leben bzw. von dem Ziel des menschlichen Daseins können mit welchen guten Gründen untermauert werden? Normative Aussagen darüber, wie der Mensch sein sollte, nehmen implizit Maß an einem ethischen Konzept gelingender Lebensführung, das die phA nicht aus sich heraus gewinnt. Sie ist eine Patchwork-Disziplin, die ihre anthropologische Basis um normative Argumente aus der Sozialphilosophie, politischen Philosophie oder Ethik erweitert. Abhängig davon stellt sie den empirischen Wissenschaften ein normatives Menschenbild in einem je sozialen, politischen oder ethischen Gewand gegenüber.

Die Aufgabe der technikkritischen phA kann nicht darin bestehen, ein „objektiv“ schlüssiges und begründbares Menschenbild zu liefern, sondern die Wege der Argumentation, seien die nun utilitaristische, tugendethische, deontologische, diskursethische, essenzialistische, deliberative, sozialkonstruktivistische, poststrukturalistische oder andere zu entschlüsseln, und denjenigen, die eines solchen normativen Menschenbildes bedürfen, vorzustellen.

6 Endnoten

- [1] Vgl. Habermas, Jürgen (1973): Philosophische Anthropologie. Ein Lexikonartikel. In: Ders.: Kultur und Kritik. Verstreute Aufsätze. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 89-111, hier S. 92: Die phA betreibt „nicht mehr das Geschäft der prima philosophia: sie begründe[t] die Wissenschaften nicht mehr, sie verarbeite[t] sie“. Thies, Christian (2008): Philosophische Anthropologie als Forschungsprogramm. In: Fischer, Joachim/Neschke,

- Ada/Raulet, Gérard/Sepp, Hans Rainer (Hrsg.): Philosophische Anthropologie. Themen und Positionen. Band 1. Ursprünge und Aufgaben. Nordhausen: Bautz, S. 230-248, hier S. 231: Die phA „bildet den letzten großen Versuch, alle Aspekte des menschlichen Da-seins in einer Gesamtvision zu erfassen.“
- [2] Aristoteles: Politik. Übersetzt und mit erklärenden Anmerkungen versehen von Eugen Rolfes. Mit einer Einleitung von Günther Bien. Hamburg: Felix Meiner Verlag, hier Erstes Buch. 2. Kapitel, 1253 a2, 1981.
- [3] Aristoteles: Nikomachische Ethik. Übersetzt und herausgegeben von Ursula Wolf. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, hier Erstes Buch. 2. Kapitel, 1095 a18, 2006.
- [4] Im Folgenden verwende ich, wo möglich, konsequent die weibliche Form, meine die männliche aber immer mit.
- [5] Arendt, H.: Vita activa oder Vom tätigen Leben. 10. Auflage. München, Zürich: Piper. Im Folgenden abgekürzt wiedergegeben mit VA, 2010.
- [6] Es bleibt, darauf zu verweisen, dass es ihr in der Vita activa generell um andere Themen gelegen ist als um eine umfassende Technikkritik. Im Gegenteil nutzt sie die wenigen Seiten der Einleitung, um darzulegen, worum es ihr in diesem Werk genau nicht gehen wird. Für ihre Kritik am technologischen Fortschritt bemüht sie also gerade keinen dichten oder umfassenden Technikbegriff. Zudem kann man Arendt nur schwerlich als Anthropologin bezeichnen. In jederlei Hinsicht nehme ich sie also für die Zwecke dieses Artikels in meine Dienste. Sie bietet sich für das Anliegen dieses Beitrags dennoch an, da sie die klassischen Sorgen bezüglich des technologischen Fortschritts der 60er Jahre, die 2014 ihre Aktualität noch nicht eingebüßt haben, bündelt.
- [7] Gehlen zeigt in seinem Werk Anthropologische Forschung, dass sich der Mensch insbesondere durch seine Handlungsfähigkeit auszeichnet, was ihm zufolge den Geist-Körper-Dualismus als Fundament philosophisch-anthropologischer Überlegungen aufhebt; vgl. Gehlen, Arnold (1961): Anthropologische Forschung. Zur Selbstbegegnung und Selbstentdeckung des Menschen. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, S. 17: „Könnte man nicht, so ließ sich jetzt formulieren, eine Art Schlüsselthema finden, bei dem das Leib-Seele-Problem überhaupt nicht aufgeworfen würde; [...] zugleich mit dem Dualismus überhaupt alle metaphysischen, d. h. unbeantwortbaren Fragen auszugrenzen. Und als einen solchen Ansatz empfahl sich die Handlung“.
- [8] VA, S. 8.
- [9] Alle in ebd., S. 9.
- [10] M.E. ergibt sich die Problematik der Körperlosigkeit in der von Arendt gedachten radikalen Weise tatsächlich erst mit den Möglichkeiten des virtuellen Raums – vor allem im Sinne des von Ray Kurzweil propagierten Anbruchs der Ära der Singularität; vgl. Kurzweil, Ray (2005): The Singularity is Near. When Humans Transcend Biology. New York: Penguin Books.
- [11] VA, S. 9.
- [12] Vgl. hierzu Habermas, Jürgen (2001): Die Zukunft der menschlichen Natur. Auf dem Weg zu einer liberalen Eugenik? Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag (insbesondere der Abschnitt IV „Das Gewachsene und das Gemachte“, S. 80-93), aber auch Karafyllis,

- Nicole C. (2006): „Biofakte – Grundlagen, Probleme, Perspektiven“. In: Erwägen, Wissen, Ethik (EWE) 17, 1 (2006), S. 547-558. Vgl. darüber hinaus Karnein, Anja (2009): „Warum dürfen wir unsere Kinder nicht klonen? Habermas und seine Kritiker in der bioethischen Debatte“. In: Forschung aktuell 2 (2009), S. 68-71, online verfügbar unter URL: http://www.forschung-frankfurt.uni-frankfurt.de/36050561/11_Anja_Karnein.pdf? [Stand: 25.11.2014].
- [13] Für gewöhnlich wird zwischen verschiedenen Enhancement-Formen differenziert; neben den Weisen körperlicher „Verbesserung“ des Menschen können auch seine geistigen Kapazitäten (durch Neuroenhancement) betroffen sein.
 - [14] Vgl. Kettner, Matthias (2005): Humanismus, Transhumanismus und die Wertschätzung der Gattungsnatur. In: Bayertz (Hrsg.): Die menschliche Natur. Welchen und wieviel Wert hat sie? Paderborn: mentis, S. 73-96, hier S. 89: „Humanisten im engen Sinne (H1) beschränken die zulässigen Ideen der verwirklichbar möglichst guten Lebensform [...] durch die Bedingung [...] der Leibgestalt des heutigen Menschen. (Unsere jetzige Leibgestalt ist gut genug, basta.)“
 - [15] Juengst, Eric T. (2007): What Does Enhancement Mean?. In: Parens, Eric (Hrsg.): Enhancing Human Traits. Ethical And Social Implications. Washington: Georgetown University Press, S. 29-47 sowie Murray, Thomas H. (2009): „Zwangssaspekte beim Sport-Doping“. In: Schöne-Seifert, Bettina/Talbot, Davinia (Hrsg.): Enhancement. Die ethische Debatte. Paderborn: Mentis, S. 75-92.
 - [16] Das wiederholt bspw. noch Augustinus mit absoluter Selbstverständlichkeit in seinem Gottesstaat; vgl. Augustinus, Aurelius (1979): Der Gottesstaat/De Civitate Die. Erster Band. Buch I-XIV. In deutscher Sprache von Carl Johann Perl. Paderborn, München, Wien, Zürich: Ferdinand Schöningh, 14. Buch, 3. Abschnitt (S. 915-917): „Wir fühlen uns also beschwert vom vergänglichen Leib, und da wir wissen, daß die Ursache solcher Beschwerden nicht in der Natur und dem Bestand des Leibes liegt, sondern in seiner Verderbtheit, wollen wir ja auch nicht des Leibes ganz beraubt, sondern mit seiner Unsterblichkeit bekleidet werden.“
 - [17] Hans Jonas sieht in der menschlichen Praxis des Begrabens einen „Beweis des Transanimalischen“ (S. 45). Nur der Mensch wisse, dass er sterben muss und habe eine Vorstellung von Zeitlichkeit; Jonas, Hans (1992): Philosophische Untersuchungen und metaphysische Vermutungen. Frankfurt am Main: Insel Verlag, darin insbesondere die Abhandlung, „Werkzeug, Bild und Grab. Vom Transanimalischen im Menschen“, der das Zitat entnommen ist.
 - [18] Ray Kurzweil, Nick Bostrom und weitere sind da anderer Ansicht.
 - [19] Das zeigt Julian Savulescu anschaulich in dem Text „The Human Prejudice and the Moral Status of Enhanced Beings: What Do We Owe The Gods?“. In: Savulescu, Julian/Bostrom, Nick (Hrsg.) (2010): Human Enhancement. Oxford, S. 211-247.
 - [20] Alle in VA, S. 10.
 - [21] „Sollte sich herausstellen, daß Erkennen und Denken nichts mehr miteinander zu tun haben, daß wir erheblich mehr erkennen und daher auch herstellen können, als wir denkend zu verstehen vermögen, so würden wir wirklich uns selbst gleichsam in die Falle gegangen sein, bzw. die Sklaven – zwar nicht, wie man gemeinhin glaubt, unserer Maschinen, aber – unseres eigenen Erkenntnisvermögens geworden sein, von allem Geist und allen

guten Geistern verlassene Kreaturen, die sich hilflos jedem Apparat ausgeliefert sehen, den sie überhaupt nur herstellen können, ganz gleich wie verrückt oder wie mörderisch er sich auswirken möge.“ (VA, S. 11)

- [22] Wie uns bspw. bereits Michel de Montaigne an zahlreichen Stellen seiner Essais vorführt, verfügen zahlreiche Tiere über dieselben Fähigkeiten wie Menschen, nur in sehr viel schwächerem Maße; vgl. dazu Wild, Markus: „Michel de Montaigne und die anthropologische Differenz“. URL: http://www.buendnis-mensch-und-tier.de/pages/bibliothek/texte/Wild_Michel_de_Montaigne.pdf [Stand: 23.11.2014].
- [23] Im Detail nachzulesen in Wallach, Wendel/Allen, Collin (2009): Moral Machines. Teaching Robots Right from Wrong. Oxford University Press, bspw. S. 69: „Just as a computer system can represent emotions without having emotions, computer systems may be capable of functioning as if they understand the meaning of symbols without actually having what one would consider to be human understanding.“
- [24] Arendt differenzier in der Vita activa drei Weisen des menschlichen Tätigseins, nämlich das Arbeiten (der Mensch als Animal Laborans), das Herstellen (der Mensch als Homo Faber) und das Handeln. Nur das Handeln (gekoppelt mit dem Sprechen und Denken) ist spezifisch menschlich.
- [25] VA, S. 12.
- [26] Ebd., S. 13.
- [27] Ebd., S. 12.
- [28] „Was uns bevorsteht, ist die Aussicht auf eine Arbeitsgesellschaft, der die Arbeit ausgegangen ist, also die einzige Tätigkeit, auf die sie sich noch versteht. Was könnte verhängnisvoller sein?“ (VA, S. 13)
- [29] Vielleicht würde Arendt dem sogar folgen, dass das Denken ein geistiges Vermögen darstellt und das Handeln eine Tätigkeit, die sowohl geistige als auch körperliche Aspekte aufweist. Das Arbeiten würde sie dennoch nicht an dieser Stelle behandelt sehen wollen, da es keine spezifisch menschliche Praktik ist.
- [30] Vgl. bspw. die Positionen von Nikolaj Berdjajew, Henri Bergson, Friedrich Pollock und Vilém Flusser.
- [31] Ähnliches ließe sich bspw. bei Fritz Giese, Sybille Krämer und Eberhard Zschimmer nachlesen.

Steigerung der Akzeptanz neuer Technik am Beispiel kooperativer Roboter

R. R. Brauer, N. M. Fischer, G. Grande

HTWK Leipzig, FZE

Eilenburger Straße 13, 04317 Leipzig

robert.brauer@htwk-leipzig.de, nele.fischer@htwk-leipzig.de,
gesine.grande@htwk-leipzig.de

Kurzzusammenfassung

Die kooperative Arbeit mit Robotern ist ein essentieller Bestandteil der Industrie 4.0. In der Automobilindustrie werden sowohl kooperative Roboter als auch andere neue Technik implementiert.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, Berührungsängsten gegenüber neuer Technik schon im Vorfeld zu begegnen und Vertrauen aufzubauen. Dieser Ansatz verfolgt die Steigerung der Akzeptanz gegenüber neuer Technik auf Grundlage der „unified theory of acceptance and use of technology“ von Venkatesh, Morris, Davis und Davis (2003).

Dafür wurde untersucht, ob bei der Einführung eines kooperativen Roboters im Anwendungsfeld der Automobilindustrie untersucht, eine Akzeptanzsteigerung vor der eigentlichen Nutzung des kooperativen Roboters realisiert werden kann.

Abstract

The increasing of acceptance of new technology exemplified by a cooperative robot

Cooperative work with robots is an essential part of the modern industry. Cooperative robots as well as other new technologies are implemented in the automobile manufacturing.

The project deals with reactance against new technologies and tries to build trust even before the workers use new technologies. Here, an increase of the acceptance for new technologies was aimed by applying the unified theory of acceptance and use of technology (Venkatesh, Morris, Davis, & Davis, 2003).

Therefore a way of introducing a new cooperative robot to assembly workers was examined to increase their acceptance even before the workers used this robot.

1 Einleitung

Schon 1951 präsentierte Fitts eine Auflistung von Handlungen, die von Menschen bzw. Maschinen in speziellen Aufgaben besser übernommen werden können. Er trennte dabei zwischen Aufgaben, die jeweils von Menschen bzw. Maschinen effektiver ausgeführt werden können [1]. Diese Unterscheidung ist bis heute relevant. Sowohl menschliche Arbeiter als auch Roboter haben Vor- und Nachteile für den Produktionsprozess. So können zum Beispiel Roboter sehr schwere Dinge heben und Menschen sehr flexibel auf unerwartete Ereignisse reagieren. In der Automobilindustrie führte das zum einen zu einer Handarbeitsquote von etwa 5% im Karosseriebau und zum anderen von etwa 95% in der Montage. Der heutige Stand der Technik erlaubt nun eine interessante Kombination – die kooperative Automation.

Bei der kooperativen Automation werden die Vorteile von Menschen und Robotern im Produktionsprozess kombiniert, um die jeweiligen Stärken zu nutzen und die Schwächen zu kompensieren. Beispielsweise können Mensch und Maschine im selben Arbeitsraum abhängig voneinander arbeiten, um das Arbeitsziel schneller oder besser zu erreichen. Absperrungen wie bei vollautomatisierten Lösungen sind nicht mehr nötig. Kooperative Automation ist technisch umsetzbar und auch die Sicherheit der Arbeiter in einer solchen Kooperation kann gewährleistet werden [2]. Kooperative Automation hat gegenüber der Vollautomatisierung den zusätzlichen Vorteil der Flexibilität. Wenn bspw. Produktionslinien neu gestaltet werden müssen, lassen kooperative Roboter sich einfacher als vollautomatisierte Lösungen räumlich umstrukturieren. Wenig untersucht ist jedoch bisher wie Menschen darauf reagieren, dass ihnen ein Roboter zur Seite gestellt wird. Vor allem, wenn er Arbeitsschritte, die bis dato vom Menschen erledigt wurden, besser ausführt. Verbunden damit ist die Frage, welche Rolle dem Menschen bei immer stärkerer Automation bleibt.

Da in der Automobilmontage auf absehbare Zeit keine Vollautomatisierung realisierbar erscheint, eröffnet sich ein breites Feld an psychologischen Fragestellungen, welche die Interaktion zwischen Menschen und Robotern in der Arbeitswelt betreffen.

Eine praxisrelevante Frage ist dabei, wie Arbeiter mit dieser neuen Form von Robotern, die nicht mehr separiert hinter Absperrungen agieren, zureckkommen. Genauer gesagt wird hier die Frage aufgeworfen, wie die Akzeptanz von Robotern, die ohne Absperrungen in den Produktionsprozess integriert werden, erhöht werden kann.

2 Hintergrund

Wenn man von kooperativer Automation spricht, muss zuerst Automation definiert werden. „Mit Automatisierung und Automation wird der Prozess sowie sein Resultat bezeichnet, in dem Aufgaben (...), die vom Menschen ausgeführt wurden, an eine Maschine übergeben werden.“ [3] Die Kooperation besteht dabei in einer quasi sozialen Interaktion zwischen Menschen und Maschinen, in der die Maschinen als soziale Akteure akzeptiert werden und von beiden Interaktionspartnern auf dasselbe Ziel hingearbeitet wird [4]. Arbeiter und Roboter haben dasselbe Arbeitsziel, wie beispielsweise die Türmontage. Während der Roboter die schwere Tür anhebt, positioniert der Arbeiter den Roboter um diese zu montieren. Der Roboter übernimmt also die kraftzehrende Aufgabe, die Tür anzuheben. Die soziale Komponente der Interaktion besteht in der gegenseitigen Kommunikation. Der Arbeiter zeigt dem Roboter, wo die Tür positioniert werden muss, der Roboter wiederum hat Signale und Anzeigen um den Arbeiter zum Beispiel auf mögliche Fehler bei der Handlungsausführung hinzuweisen. Dies kann auch im selben Arbeitsraum, ohne dass herkömmliche Absperrungen den Menschen vor dem Roboter schützen müssen, geschehen.

Mit verschiedenen Normen ist für die Nutzung kooperativer Roboter ein Rahmen geschaffen [2] [5]. Die Nutzung kooperativer Roboter ist unter der Einhaltung dieser Rahmenbedingungen erlaubt. Physische Absperrungen können demnach zwar entfallen, das wiederum könnte aber auch Ängste im Umgang mit der neuen Technik hervorrufen.

2.1 „Unified theory of acceptance and use of technology“ (UTAUT)

Die „unified theory of acceptance and use of technology“ (UTAUT) beschäftigt sich mit der Akzeptanz von Technik [6] und lässt sich auch auf kooperative Roboter übertragen. Sie wurde

auf Grundlage verschiedener, gut belegter Modelle zur Akzeptanz entwickelt. Diese Modelle klären jedes für sich weniger Varianz auf als die UTAUT, weshalb zur Untersuchung der Akzeptanz bei dieser Untersuchung die UTAUT herangezogen wird (Abb. 1).

Die Nutzung der neuen Technik ist in diesem Modell der entscheidende Schritt für die Akzeptanz. Bevor es zur Nutzung kommt, spielen die Nutzungsabsicht sowie fördernde Bedingungen eine entscheidende Rolle. Die Nutzungsabsicht wiederum wird durch drei Faktoren beeinflusst. Die erwartete Nützlichkeit gibt an, in wie weit sich ein Anwender Arbeitserleichterungen verspricht. Die Handhabung spiegelt die wahrgenommene Schwierigkeit wider, die neue Technik zu benutzen und der soziale Einfluss meint den Einfluss von Mitmenschen auf die eigene Nutzungsabsicht neuer Technik. Die Nutzung selbst ist im industriellen Anwendungskontext obligatorisch. Darum kann sie hier nicht als Maß der Akzeptanz verstanden werden. Vielmehr geht es darum, die Aufgeschlossenheit von Mitarbeitern gegenüber neuer Technik im Vorfeld der eigentlichen Nutzung zu steigern. Die Nutzungsabsicht als Vorstufe der Nutzung wird hier als Maß der Akzeptanz verstanden.

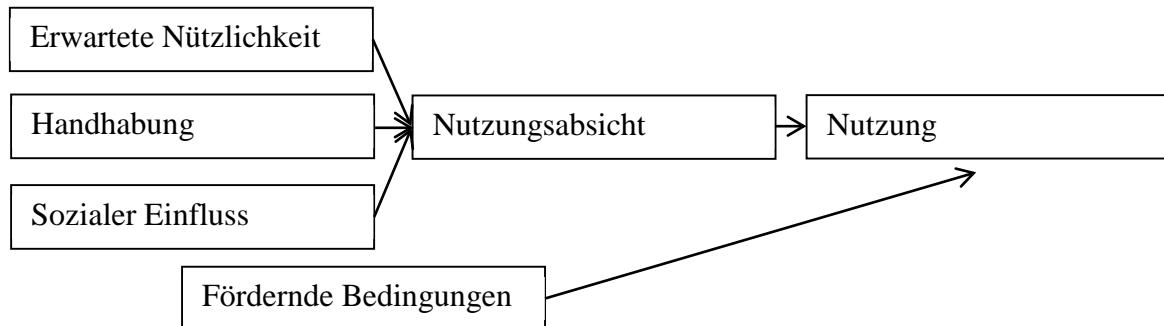


Abb. 1: UTAUT: Direkte Einflussfaktoren [7]

2.2 Zusätzliche Einflussfaktoren

Vertrauen in die Technik wurde im Zusammenhang mit der Einführung neuer Technik untersucht und als Einflussfaktor identifiziert [7]. Ebenso konnte Reaktanz als Einflussfaktor auf die Einstellung zu Technik identifiziert werden. Dabei meint Reaktanz eine sich im Verhalten äußernde Abneigung. Sowohl Vertrauen als auch Reaktanz haben einen nachgewiesenen Einfluss auf die Einstellung zu neuer Technik [7]. Keine von beiden ist Bestandteil der UTAUT. Daher werden beide in ihrem Einfluss auf die Variablen der UTAUT untersucht. Einen Überblick über die Hypothesen bietet der nächste Abschnitt.

2.3 Hypothesen

Die Nutzung neuer Technik ist das zentrale Merkmal für Akzeptanz in der UTAUT. In der Produktion kann ein Arbeiter die Entscheidung zur Nutzung aber nicht treffen, er muss die Technik nutzen, unabhängig von seiner Einstellung und Intention. Daher stellt sich die Frage, inwieweit die Arbeiter an neue Technik herangeführt werden können. Zentral ist für diese Untersuchung also nicht die ohnehin obligatorische Nutzung, sondern die positive Intention der Nutzung. Denn diese kann sich auch auf die Qualität im Umgang mit der neuen Technik auswirken.

H1) Indem Dinge aus dem eigenen Erleben direkt angesprochen werden, lassen sich Menschen stärker beeinflussen als durch rein sachliche Darstellungen [8]. Eine mitarbeiterorientierte Formulierung sollte sich stärker positiv auf die Nutzungsabsicht auswirken als eine aufgabenorientierte Formulierung.

H2) Die Art der Darbietung von Informationen beeinflusst auch deren Wahrnehmung. Wird die Darbietung für die Mitarbeiter erfahrbarer / greifbarer, sollte sich die Wahrnehmung auch auf die Einstellung gegenüber neuer Technik niederschlagen [8]. Ein Video über den Roboter sollte demnach auch die Nutzungsabsicht erhöhen.

H3) Experten und Novizen spielen in der Arbeitswelt eine entscheidende Rolle, wenn es um die Erfüllung von Arbeitsaufgaben geht. Auch im Umgang mit neuer Technik gibt es Experten-Novizen-Unterschiede [9]. Bachelor- und Masterstudierende sollten sich daher in ihrer Wahrnehmung des Roboters unterscheiden.

H4) Vertrauen in neue Technik ist für die Auseinandersetzung mit dieser enorm wichtig. Ein neues Gerät oder System zu integrieren, bedeutet Bestehendes zu ersetzen bzw. zu verändern. Nur wenn das Vertrauen in die neue Technik hoch ist, kann diese auch sinnvoll angewendet werden [7]. Neben den bereits in die UTAUT aufgenommenen Einflussfaktoren, sollte es also weitere, affektive Einflussfaktoren geben. Vertrauen in neue Technik ist ein Einflussfaktor für die Nutzungsabsicht.

3 Methodik

3.1 Stichprobe

Untersuchungsteilnehmer waren 89 Studierende der HTWK Leipzig, die freiwillig an der Untersuchung teilnahmen. Die Studierenden stammten aus wirtschaftswissenschaftlichen ($n = 66$) und aus sozialwissenschaftlichen ($n = 23$) Fächern, wobei 57 Bachelorstudierende und 32 Masterstudierende an der Untersuchung teilnahmen. Davon waren 44 männlich, 44 weiblich und eine Person machte keine Angaben. Das Alter betrug durchschnittlich 25,49 Jahre ($SD = 4,13$).

3.2 Prozedur

Den Untersuchungsteilnehmern wurde eine Beschreibung eines kooperativen Roboters (Abb. 2) vorgelegt. Bei diesem handelte es sich um den Roboterarm UR-10. Er besitzt ein integriertes Sicherheitssystem, welches auftretende Kräfte am Roboter misst. Das Sicherheitssystem bewirkt einen automatischen Stopp des Roboters bei einem Zusammenstoß mit einem Menschen oder Objekten im Arbeitsraum. Trotz dieser integrierten Leistungs- und Kraftbegrenzung handelt es sich um ein unvollständiges System, was bedeutet, dass eine Risikobeurteilung bei der Inbetriebnahme erforderlich ist [2].



Abb. 2: Kooperativer Roboter UR-10

Die Aufgabe der Untersuchungsteilnehmer bestand darin, sich ein Szenario vorzustellen, bei dem der UR-10 als neue Technik in der Automobilmontage eingeführt werden sollte. Dafür wurde seine Funktionsweise mittels einer Beschreibung erläutert. Diese Beschreibung war entweder mitarbeiterorientiert ($n = 53$) oder aufgabenorientiert ($n = 36$) formuliert. Einem Teil der Untersuchungsteilnehmer wurde neben dieser Beschreibung zusätzlich ein Video präsentiert ($n = 53$), welches den Roboter in Aktion zeigt. Dabei stellt die Beschreibung des Roboters die Baseline und das Video die Intervention dar. Diese Gruppenvariablen wurden randomisiert. Weiterhin wurde das Studienfach, der Studienfortschritt sowie Alter und Geschlecht der Untersuchungsteilnehmer erhoben. Eine Auflistung der Gruppenvariablen ist Tabelle 1 zu entnehmen. Zu dem Roboter bekamen die Untersuchungsteilnehmer einen Fragebogen ausgehändigt, der verschiedene Skalen zur Akzeptanz sowie Angaben zur Person selbst enthielt. Diese werden im nächsten Kapitel ausführlicher dargestellt.

Tab. 1: Übersicht der unabhängigen Variablen

Nummer	Name	Abkürzung
UV1	Beschreibung (mitarbeiter- vs. aufgabenorientiert)	BE
UV2	Intervention (zusätzliches Video ja/nein)	INT
UV3	Studiendauer (Bachelor- vs. Masterstudierende)	BAMA
KV1	Alter	A
KV2	Geschlecht	G
KV3	Studienfach (wirtschafts- vs. sozialwissenschaftlich)	S

* UV = unabhängige Variable; KV = Kontrollvariable.

3.3 Operationalisierung der Messinstrumente

Der Fragebogen, enthielt verschiedene Skalen zur Akzeptanz, die sich bereits in anderen Untersuchungen bewährten. Die Skalen erfassen Konstrukte, die der UTAUT zugeordnet werden können. Erhoben wurden die erwartete Nützlichkeit, die Einfachheit in der Handhabung, der soziale Einfluss, die Nutzungsabsicht, Vertrauen und Reaktanz. Eine Übersicht über die erhobenen Skalen ist im folgenden Kapitel zu finden. Die Unterschiedshypothesen wurden aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsannahme mit nicht parametrischen Verfahren getestet. Alle nötigen Voraussetzungen für die Regressionen können als erfüllt angesehen werden.

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Statistik

Die folgenden Analysen wurden mit 89 Datensätzen durchgeführt. Durch lückenhafte Bearbeitung der Fragebögen, sind in einigen Fällen weniger Datensätze in die Analysen eingegangen. Deskriptive Analysen zeigten, dass sich weder das Studienfach, noch das Geschlecht oder das Alter auf die Akzeptanz auswirken.

Tab. 2: Übersicht über die erhobenen Konstrukte im verwendeten Fragebogen

Autor	Konstrukt	Itemzahl (α)	M (SD)	Bsp.
Venkatesh et al. (2011) [6]	Erwartete Nützlichkeit	3 (.81)	4,13 (.67)	Diesen Roboter zu nutzen, ermöglicht es mir schneller zu arbeiten.
	Handhabung	3 (.78)	3,70 (.62)	Es ist leicht für mich den Umgang mit einem Roboter zu erlernen.
Heerink et al. (2010) [7]	Sozialer Einfluss	2 (.82)	3,17 (.89)	Ich denke, dass die Kollegen es gern sehen, wenn ich den Roboter nutze.
	Nutzungsintention	3 (.84)	3,85 (.79)	Ich würde den Roboter sofort nutzen.
	Vertrauen	2 (.76)	3,13 (.90)	Ich würde dem Roboter vertrauen, wenn er mir einen Rat gibt.
	Reaktanz	4 (.67)	2,18 (.69)	Ich finde den Roboter einschüchternd.

* Die Konstrukte wurden auf einer 5-stufigen Skala erhoben.

4.2 Hypothesentests

H1) Eine mitarbeiterorientierte Formulierung sollte sich stärker positiv auf die Nutzungsabsicht auswirken als eine aufgabenorientierte Formulierung.

Diese Hypothese konnte nicht bestätigt werden. In keiner der aus der UTAUT abgeleiteten Variablen unterschieden sich die beiden unterschiedlich formulierten Beschreibungen des Roboters voneinander. Als Konsequenz daraus wurden die unterschiedlich formulierten Beschreibungen als identisch angesehen.

H2) Ein Video über den Roboter sollte die Nutzungsabsicht erhöhen.

In der Videobedingung ($Mdn = 3,5$) werden signifikant höhere Werte des sozialen Einflusses gefunden als in der Bedingung ohne Präsentation des Videos ($Mdn = 3$) ($U = 589,0; z = -2,23; p = ,025; r = -,24$).

H3) Bachelor- und Masterstudierende sollten sich in ihrer Wahrnehmung des Roboters unterscheiden.

Bachelorstudierende ($Mdn = 4$; Range: 2) beurteilen die erwartete Nützlichkeit des Roboters signifikant besser als Masterstudierende ($Mdn = 4$; Range: 3) ($U = 525,5; z = -2,91; p = ,004; r = -,31$).

H4) Vertrauen in neue Technik ist ein Einflussfaktor für die Nutzungsabsicht.

Um diese Hypothese zu untersuchen, wurden zwei Regressionen gerechnet. In der ersten Regression, welche die Faktoren der UTAUT enthielt, zeigte sich nur eine signifikante Beziehung

der Nutzungsabsicht auf die erwartete Nützlichkeit. Darüber hinaus gab es auch keine Interaktion zwischen den Faktoren. Daher wurde in der zweiten Regression die erwartete Nützlichkeit sowie Vertrauen und Reaktanz als Prädiktoren für die Nutzungsabsicht aufgenommen. Es zeigte sich, dass Vertrauen einen signifikanten Einfluss auf die Nutzungsabsicht hat ($\beta = .298$). Weiterhin signifikant wurde theoriekonform nach der UTAUT die erwartete Nützlichkeit ($\beta = .242$).

5 Diskussion

Bei der Präsentation von Beschreibung bzw. Video des Roboters, zeigte sich, dass ein Video den sozialen Einfluss bezogen auf die beabsichtigte Nutzung des Roboters erhöht. Obwohl in der Beschreibung alle relevanten Informationen über den Roboter enthalten waren, wirkte sich die zusätzliche Präsentation des Videos positiv auf den sozialen Einfluss aus. Zwar gibt das Video zusätzlichen visuellen Input, allerdings liefert es keine zusätzlichen Informationen über den Roboter für die Betrachter. Alle Untersuchungsteilnehmer hatten Arbeitserfahrung, aber in dem betreffenden Arbeitsbereich hatte noch niemand gearbeitet. Es ist denkbar, dass die Betrachter des Videos sich die Arbeitsweise des Roboters durch das Video besser vorstellen konnten und die sozialen Aspekte der gemeinsamen Arbeit mit dem Roboter und den Kollegen, also der kooperative Anteil der Arbeit, betont wurde.

Dies lässt sich auch auf andere technische Neuerungen übertragen. Die visuelle Präsentation konnte in der Studie den Nutzen der neuen Technik besser verdeutlichen. Die Visualisierung der konkreten Handlung, die erleichtert werden soll, scheint wichtig zu sein. Die Antizipation und Abstraktion der Handlungserleichterung durch die neue Technik wird den Untersuchungsteilnehmern abgenommen. Die subjektive Vorstellung der Handlungserleichterung durch die Untersuchungsteilnehmer wurde durch das Video unterstützt, vermutlich indem die Art und Weise der Erleichterung verdeutlicht wurde.

An dem Ergebnis, dass Vertrauen zusätzlich zur erwarteten Nützlichkeit einen Einfluss auf die Nutzungsabsicht hat, zeigen sich zweierlei Dinge. Zum einen ist die Beziehung der erwarteten Nützlichkeit auf die Nutzungsabsicht theoriekonform [6] auch in der vorliegenden Arbeit gefunden worden. Zum anderen verweisen jedoch die Ergebnisse der Studie auf die Notwendigkeit über eine Erweiterung der UTAUT nachzudenken. Denn in unserer Studie erwies sich der affektive Faktor Vertrauen als bedeutsam für die Nutzungsabsicht. Dieser Effekt war zudem größer, als derjenige der erwarteten Nützlichkeit. Dieser Einfluss wurde in der UTAUT nicht postuliert.

Bachelorstudierende bewerten die erwartete Nützlichkeit des Roboters signifikant höher als Masterstudierende. Hier kann ein Experten-Novizen-Unterschied angenommen werden. Durch den erworbenen Wissenszuwachs, vor allem des methodisch-wissenschaftlichen Denkens, ist anzunehmen, dass man die gegebenen Informationen differenzierter zu betrachten lernt, was bei den Masterstudierenden der Fall sein könnte. Vor diesem Hintergrund ist die nahezu uneingeschränkt positive Bewertung der erwarteten Nützlichkeit des Roboters durch die Bachelorstudierenden verständlich. Dieser Unterschied muss aber vorsichtig interpretiert werden. Der identische Median in beiden Gruppen zeigt, dass sich die Gruppen vor allem durch ihre Varianz voneinander unterscheiden. Dadurch, dass die Masterstudierenden den Roboter differenzierter betrachten, variieren deren Antworten auch stärker als die der Bachelorstudierenden. Darüber

hinaus gibt es einen Deckeneffekt in dem Konstrukt der erwarteten Nützlichkeit, weshalb Masterstudierende verglichen mit Bachelorstudierenden den Roboter häufiger als weniger nützlich bewerten. Die Antworten aus den sozial- und den wirtschaftswissenschaftlichen Fächern unterscheiden sich hingegen nicht signifikant voneinander. Dieser Befund ist hinsichtlich der thematischen Ausrichtung der Studiengänge interessant. Es kann davon ausgegangen werden, dass das Studienfach trotz unterschiedlich fachlicher Vorbildung keinen Einfluss auf die Akzeptanz gegenüber neuer Technik ausübt.

Auch für das Alter zeigte sich kein signifikanter Effekt auf die Akzeptanz. Das bedeutet, dass das Alter von Personen die Akzeptanz neuer Technik nicht beeinflusst. Allerdings ist zu beachten, dass die Untersuchungsteilnehmer überwiegend im jungen Erwachsenenalter waren und es sich damit um eine junge und altershomogene Stichprobe handelt. Rückschlüsse auf andere Altersgruppen sind deshalb auf der Basis der vorliegenden Daten nicht möglich. Dass das Alter in unserer Studie keinen Effekt auf die hohen Akzeptanzwerte hat, steht damit auch nicht im Widerspruch zu anderen Studien speziell mit älteren Leuten, die zwar auch auf den in unserer Studie gefundenen wichtigen Effekt des sozialen Einflusses hinweisen, aber geringe Akzeptanzwerte älterer Untersuchungsteilnehmer gegenüber neuer Technik im Allgemeinen gefunden haben [10].

Die aufgabebasiert formulierte Beschreibung des Roboters unterscheidet sich nicht signifikant von der mitarbeiterorientiert formulierten. Scheinbar sind also sachdienliche Informationen genauso wichtig wie die Antizipation von Ängsten der Mitarbeiter. Vermutlich dient die aufgabebasiert formulierte Beschreibung als neutrale Informationsquelle, wobei sich die Mitarbeiter eigene Gedanken über die Auswirkungen auf die eigene Arbeit machen können. Antizipierte Auswirkungen der Einführung neuer Technik auf die Arbeit von Mitarbeitern decken nicht den gesamten Erfahrungsbereich der Mitarbeiter ab bzw. spiegeln nicht die real erlebten Arbeitsbedingungen und deren Wirkung auf den einzelnen Mitarbeiter komplett wider. Greift die mitarbeiterorientiert formulierte Beschreibung nicht die von den Mitarbeitern als wichtig empfundenen Aspekte auf, könnte sie auch als unangebracht betrachtet werden und demzufolge weniger zur Erhöhung der Akzeptanz neuer Technik beitragen als möglich gewesen wäre. Dies könnte erklären, warum die mitarbeiterorientierte Formulierung verglichen mit der aufgabebasierten Formulierung keine bessere Akzeptanz hervorruft. Allerdings ist eine Manipulation aufgrund einzelner Worte in einer kurzen Beschreibung schwierig, zumal keine Manipulationskontrolle stattfand. Es fehlten Fragen, in wie weit die Beschreibung auch als aufgaben- bzw. mitarbeiterorientiert wahrgenommen und ob die Beschreibung auch als hilfreich für die Eindrucksbildung über den Roboter eingeschätzt wurde.

6 Zusammenfassung und Fortführung

Die aufgaben- bzw. mitarbeiterorientierte Formulierung der Beschreibung neuer Technik scheint irrelevant für deren Akzeptanz in einer frühen Phase der Einführung neuer Technik zu sein. Hingegen kann ein Video zur Arbeitsweise vermutlich durch den direkteren Anwendungszug die Akzeptanz in einer so frühen Phase der Einführung neuer Technik positiv beeinflussen. Da sich zwar keine Gruppenunterschiede bezüglich des Studienfaches, Geschlechts oder Alters ergaben, jedoch der Studienfortschritt (Bachelor / Master) die Akzeptanz beeinflusste,

ist es ratsam, Interventionen dem Expertenniveau der Teilnehmenden anzupassen. Darüber hinaus ist festzuhalten, dass sich affektive Faktoren wie Vertrauen auf die Akzeptanz neuer Technik auswirken.

In weiteren Untersuchungen ist es nötig einen größeren Anwendungsbezug herzustellen. Eine Stichprobe von Arbeitern, die direkt mit kooperativen Robotern interagieren, kann sicherstellen, dass die Untersuchungsergebnisse auch direkten Anwendungsbezug aufweisen. Dadurch sollte auch die generell sehr positive Bewertung des Roboters, die sich in Deckeneffekten in den Bewertungsskalen zeigte, relativiert werden, weil die Folgen für den Arbeitsprozess (positive und v. a. negative) besser antizipiert werden können.

Des Weiteren sollte eine Folgeuntersuchung nicht auf den Wirksamkeitsnachweis von Videos zur Akzeptanzsteigerung beschränkt bleiben, sondern weitere Möglichkeiten der Einführung neuartiger Technik miteinander vergleichen.

7 Literatur

- [1] Fitts, P. M.: Human Engineering for an effective air-navigation and traffic-control system. Ohio State University Research Foundation, Columbus Ohio, 1951.
- [2] Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 2: Robotersysteme und Integration (ISO 10218-2:2011). Berlin : Beuth, 2012.
- [3] Hauß, Y. und Timpe, K.-P.: Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. Mensch-Maschine-Systemtechnik, Hrsg.: Timpe, K.-P.; Jürgensohn, T. und Kolrep H.; Symposion Publishing GmbH, S. 63-106, 2002.
- [4] Nass, C.; Steuer, J. und Tauber, E. R.: Computers are social actors. CHI'94 Conference Proceedings, S. 72-78, 1994.
- [5] Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter (ISO 10218-1:2011). Berlin : Beuth, 2012.
- [6] Venkatesh, V.; Morris, M. G.; Davis, G. B. und Davis, F. D.: User acceptance of information technology: Toward a unified view. MIS, 27(3), S. 425-478, 2003.
- [7] Heerink, M.; Kröse, B.; Evers, V. und Wielinga, B.: Assessing acceptance of assistive social agent technology by older adults: The almere model. Int. S. Soc. Robot, 2, S. 361-375, 2010.
- [8] Claßen, K.: Zur Psychologie von Technikakzeptanz im höheren Lebensalter: Die Rolle von Technikgenerationen. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2012.
- [9] McLeod, A.; Pippin, S. und Catania, V.: Using Technology Acceptance Theory to Model Individual Differences in Tax Software Use. AMCIS Proceedings, Paper 811, 2009.
- [10] Wu, Y.-H.; Wrobel, J.; Cornuet, M.; Kerhervé, H.; Damnée, S. und Rigaud, A.-S.: Acceptance of an assistive robot in older adults: A mixed-method study of human–robot interaction over a 1-month period in the Living Lab setting. Clinical Interventions in Aging, 9, S. 801-811, 2014.

Kontextspezifität der Akzeptanz von Assistenzsystemen am Beispiel einer Datenbrille

N. M. Fischer, R. R. Brauer, G. Grande

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Fakultät Architektur und Sozialwissenschaften, Arbeitsgruppe Soziales und Gesundheit

Eilenburger Straße 13, 04317 Leipzig

Nele.Fischer@htwk-leipzig.de, Robert.Brauer@htwk-leipzig.de,
Gesine.Grande@htwk-leipzig.de

M. Unger

Hochschule für Technik Wirtschaft und Kultur, Fakultät Elektrotechnik und Informations-technik, Wächterstraße 13, 04107 Leipzig

Michael.Unger@htwk-leipzig.de

S. Wilke

TU Dresden, Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften,
Fachrichtung Psychologie, Institut für Arbeits-, Organisations- und Sozialpsychologie
Zellescher Weg 17, 01062 Dresden
Wilke@psychologie.tu-dresden.de

Kurzzusammenfassung

Grundlegend für die Gebrauchstauglichkeit von Assistenzsystemen und deren Akzeptanz ist die Passung zwischen Zielgruppe, Nutzungskontext und einer geeigneten Technologie. Um dies zu ermöglichen, sollten Produkte bereits während der Entwicklung regelmäßig getestet werden. Dies wurde realisiert, indem eine Datenbrille in drei verschiedenen Nutzungskontexten während der Entwicklung einer Applikation untersucht wurde. Dafür wurde die Akzeptanz des Gerätes in einer abstrakten Aufgabe, einer Trainingsaufgabe mit Anwendungsbezug und einer Anwendungsaufgabe verglichen. Der Unterschied zwischen den Gruppen verdeutlicht, dass die Akzeptanz desselben Gerätes vom Anwendungsbezug des Nutzungskontexts abhängt. Daher sollte die Kontextspezifität stets bei Fragen der Akzeptanz von Assistenzsystemen berücksichtigt werden.

Abstract

Context specificity of the acceptance of assistance systems exemplified by a head-mounted display

Core aspects of the usability and acceptance of assistance systems are the fit between target group, context-of-use and suitability of the device. To provide this fit, products should be tested continuously during the design process. Therefore, we tested a head-mounted display in three different contexts-of-use during an application design process. We compared the acceptance of the head-mounted display in an abstract task, an applied-oriented task and an applied task. The differences between the groups illustrate how the acceptance of a device is influenced by the

application-orientation of the test situation. Thus, context-specificity should be considered in issues of technology acceptance.

1 Einleitung

Datenbrillen, bzw. Head-Mounted Displays oder Smartglasses, sind am Kopf getragene Visualisierungsgeräte, über welche Informationen mobil zugänglich sind. Es können z. B. Zusatzinformationen für manuelle Tätigkeiten eingeblendet werden, für die freie Hände und Mobilität relevant sind [1]. Für Datenbrillen gibt es sehr viele mögliche Anwendungsfälle, an deren Erweiterung stetig geforscht wird [vgl. z. B. 2]. Im industriellen Kontext können Datenbrillen beispielsweise als Assistenzsysteme für die Logistik [3] oder die manuelle Montage eingesetzt werden, über die Orderinformationen oder Montageanleitungen angezeigt werden, während die Nutzer parallel die entsprechenden Aufgaben ausführen [3, 4].

Relevant für den Erfolg solcher Assistenzsysteme sind deren Gebrauchstauglichkeit [5] und die Akzeptanz durch die Nutzer [6]. Die Gebrauchstauglichkeit bezeichnet inwieweit ein System so gestaltet ist, dass Aufgaben damit effizient, effektiv und zufriedenstellend in einem bestimmten Nutzungskontext bzw. einer bestimmten Arbeitsumgebung erledigt werden können [5]. Dasselbe System kann demnach in einem Kontext (z. B. reale Arbeitsumgebung) als mehr, in einem anderen Kontext (z. B. Labor) hingegen als weniger gebrauchstauglich eingeschätzt werden oder vice versa [7]. Die Gebrauchstauglichkeit eines Systems kann erhöht werden, indem es kontinuierlich in verschiedenen Phasen der Systemgestaltung durch Nutzer getestet wird [5]. Auch für die Akzeptanz stellen der Nutzungskontext [8] bzw. die Passung zwischen Technologie und Aufgabe maßgebliche Einflussfaktoren dar [9]. Dieser Einfluss wurde für z.T. bereits implementierte Anwendungen mittels Fragebogenstudien erhoben [8, 9]. Die Akzeptanz von Assistenzsystemen kann über deren wahrgenommene Nützlichkeit und die Zufriedenheit der Nutzer definiert werden [6] und beeinflusst die Nutzung eines Systems [8, 9]. Gebrauchstauglichkeit [5] und Akzeptanz [6] hängen eng zusammen und beziehen sich auf die Passung zwischen Technologie, Kontext und Nutzer. Für den Faktor Nutzer zeigten beispielsweise Van der Laan, Heino, & De Waard [6], dass sich jüngere und ältere Anwender sowohl in ihren Erwartungen bezüglich der Akzeptanz eines Assistenzsystems als auch in ihrer Einschätzung des Systems nach der Nutzung stark unterschieden. Auch unabhängig vom Alter unterschied sich die Akzeptanz vor der Nutzung, also die durch die Beschreibung induzierte Erwartung und nach der Nutzung. Mit dem von den Autoren entwickelten Instrument, der Van der Laan Skala [6], kann die Akzeptanz bei verschiedenen Nutzergruppen oder Nutzungssituationen sensitiv miteinander verglichen werden, z.B. nach Alter oder Nutzungskontext.

Wird ein Assistenzsystem in verschiedenen Stadien der Anwendungsentwicklung getestet, so können sich die oben beschriebenen Faktoren wie Nutzungskontext, Anwendungsbezug der Testaufgabe und Nutzergruppe auf die Gebrauchstauglichkeit [vgl. z. B. 7] und die Akzeptanz [z. B. 6] auswirken.

Werden Datenbrillen für Assistenzsysteme verwendet, können nicht nur die Art der Anwendung sondern auch Form, Gewicht, Displaytyp (durchsichtig, intransparent) [1] sowie die Auswirkungen der entsprechenden Datenbrille auf die Nutzer, z. B. die Beanspruchung durch die Nutzung [3, 4], die Akzeptanz beeinflussen. Beispielsweise haben Kampmeier *et al.* [3] eine Datenbrille zur Anzeige von Montage- und Logistikinformationen getestet, wobei das Modell der Datenbrille von den Nutzern eher abgelehnt wurde. Auch bei Wille, Grauel & Adolph [4]

waren die Reaktionen der Nutzer auf die Datenbrille eher ablehnend im Vergleich zu derselben Anwendung auf einem Tablet, wobei für die Testaufgabe keine Mobilität erforderlich war. Dementsprechend ist es relevant, zu Beginn einer Anwendungsentwicklung ein geeignetes Modell einer Datenbrille auszuwählen, auf der diese Anwendung später genutzt werden soll und die Akzeptanz der Nutzer für dieses Modell zu erfragen [6, 8, 9].

Da sich bei Datenbrillen, anders als bei verschiedenen klassischen Produkten, der spätere Nutzungskontext nicht unbedingt direkt erschließen lässt, kann dieser im Vorfeld beschrieben werden. Dies wirkt sich wiederum auf die Erwartungen der Nutzer aus [6]. Weiterhin kann es einen Einfluss auf die Akzeptanz haben, welche Nutzergruppe die Datenbrille im Vorfeld testet (z. B. Studenten versus Endanwender) [5, 7] und wie stark der Anwendungsbezug der Testaufgabe ist [9] und damit der Nutzen des Gerätes ersichtlich ist. Auch könnte es gerade bei Datenbrillen einen Einfluss haben, ob Mobilität für die Nutzung erforderlich ist und was für eine Aufgabe mit dem Gerät ausgeführt wird.

Basierend auf dem Stand der Forschung ist die zentrale Frage, wie stark die Bewertung der Akzeptanz derselben Datenbrille durch diese Faktoren beeinflusst wird. Es wird dabei angenommen, dass die Akzeptanz mit zunehmendem Anwendungsbezug der Testaufgabe und damit einhergehend der Sichtbarkeit des Nutzungskontextes steigt. Ziel der Studie ist es also, die Akzeptanz einer Datenbrille zu erfassen und wie diese von der Testsituation beeinflusst wird.

2 Methode

Um diese Frage zu beantworten wurde eine Anwendung auf einer Datenbrille experimentell in verschiedenen Entwicklungsstadien getestet und die Akzeptanz durch die Nutzer verglichen. Allen Nutzern wurden die Funktionen der Datenbrille und der Anwendungsfall erläutert. Die Aufgaben unterschieden sich hinsichtlich ihres Anwendungsbezuges (abstrakt, anwendungsnah und anwendungsbezogen) und bezüglich der Interaktion mit dem Gerät. In der abstrakten Bedingung wurden nur Informationen wahrgenommen, in der anwendungsnahen Bedingung wurde eine parallele manuelle Aufgabe ausgeführt sowie auf die Informationen reagiert und in der anwendungsbezogenen Bedingung waren die Nutzer zusätzlich mobil und bedienten das Gerät. Zudem variierten der Nutzungskontext und die Stichprobe sowie die Bearbeitungszeit der Aufgabe.

Die Tests wurden mit der monokularen non-see-through Datenbrille Vuzix M100 durchgeführt (Abb. 1). Bei diesem Modell wird ein intransparenter LCD Monitor mit Hilfe einer Schutzbrille vor einem Auge platziert. In diesen Studien wurde jeweils die Akzeptanz der Datenbrille über die Van der Laan Skala [6] erhoben. Die Teilnehmer wurden instruiert, die Datenbrille insgesamt zu bewerten („Insgesamt schätze ich die Datenbrille ein als …“) ohne das bei der Befragung auf die Anwendung eingegangen wurde. Die Dimensionen, auf denen die Akzeptanz gemessen wurde, waren die wahrgenommene Nützlichkeit sowie die Zufriedenheit mit dem Gerät [6]. Es wurde ein Zwischensubjektdesign mit insgesamt $N = 56$ Teilnehmern durchgeführt. Im Folgenden werden die einzelnen Studien beschrieben.



Abb. 1: Vuzix M100

2.1 Bedingung 1: Abstrakte Aufgabe

Stichprobe: Die Teilnehmer ($n = 30$) wurden am Campus der HTWK Leipzig rekrutiert (Alter: $M = 28.50$, $SD = 5.46$, 70 % männlich).

Ablauf: Auf der Datenbrille wurde eine Testapplikation zur Bewertung der Schriftart und -größe sowie der Displaypolarität (weiße Schrift auf schwarzem Hintergrund und vice versa) angezeigt. Die Bewertung der Displaypolarität schloss einen Gedächtnistest ein, bei dem sich Teilnehmer sowohl die angezeigten Informationen als auch deren Hintergrundfarbe (schwarz oder weiß) merken sollten. Im Anschluss bewerteten die Teilnehmer die Akzeptanz der Datenbrille [6]. Die Nutzer schalteten das Programm selbstständig ein, sonst erfolgte keine weitere Interaktion, sie sollten die Informationen nur lesen und die Anzeige bewerten. Die Teilnehmer hatten keinen Zeitdruck.

2.2 Bedingung 2: Anwendungsnahe Aufgabe

Stichprobe: An dieser Studie nahmen neue Mitarbeiter ($n = 16$) eines Automobilherstellers im Rahmen eines Trainingsprogramms für Montageaufgaben teil (Alter: $M = 27.33$, $SD = 3.50$, 100 % männlich).

Ablauf: Die Mitarbeiter trainierten das Anbringen verschiedener Steckverbindungen an einer Steckerwand (Abb. 2) innerhalb einer vorgegebenen Zeit. Über die Datenbrille wurden zufällige Anweisungen angezeigt, die durch das Anbringen verschiedenfarbiger Kodierungen an der Steckerwand in ihrer Umsetzung überprüft wurden. Im Anschluss bewerteten die Teilnehmer die Akzeptanz der Datenbrille [6]. Die Nutzer stellten das Programm selbstständig ein und reagierten auf die Anweisungen über die Datenbrille.



Abb. 2: Steckerwand

2.3 Bedingung 3: Anwendungsbezogene Aufgabe

Stichprobe: An dieser Studie nahmen weitere Mitarbeiter ($n = 10$) eines Automobilherstellers im Rahmen eines Trainingsprogramms für neue Montageaufgaben teil (Alter: $M = 30.60$, $SD = 8.24$, 100 % männlich).

Ablauf: Bestandteil des Trainingsprogramms war die Montage von 17 Bauteilen an einer Übungskarosse (Abb. 3). Die einzelnen Montageschritte wurden von einem Trainer demonstriert und einmal von den Teilnehmern geübt. Während der anschließenden, selbstständigen Durchführung (auf Zeit) trugen die Teilnehmer die Datenbrille, die ihnen die einzelnen Montageschritte anzeigen. Nach der Durchführung eines Schrittes schalteten die Teilnehmer die Datenbrille per Tastendruck zum nächsten Montageschritt. Anschließend wurde die Akzeptanz der Datenbrille erfragt [6]. In dieser Bedingung war die Mobilität der Nutzer erforderlich. Die Nutzer schalteten das Programm selbstständig ein, interagierten mit dem Gerät über Tastendruck und reagierten auf die Anweisungen.



Abb. 3: Übungskarosse

3 Ergebnisse

Die Daten auf den Dimensionen Nützlichkeit und Zufriedenheit wurden mit einer 5-stufigen Ratingskala erfasst und mit -2 (starke Ablehnung) bis +2 (starke Zustimmung) kodiert.

Eine Varianzanalyse der normalverteilten Daten ergab signifikante Unterschiede bezüglich der Zufriedenheit, $F(2,51) = 6.28, p < .01$, sowie der wahrgenommenen Nützlichkeit, $F(2,51) = 4.48, p < .05$ (Abb. 4).

Auf der Dimension Zufriedenheit zeigten Post-hoc Tests, dass die Akzeptanz in der abstrakten Bedingung ($M = -.30, SD = .71$) signifikant niedriger war als in der anwendungsbezogenen ($M = .70, SD = .64$) Bedingung, $p < .001$. Während der Unterschied zwischen anwendungsbezogener und anwendungsnaher ($M = -.03, SD = .93$) Bedingung signifikant wurde, $p < .05$, konnte kein Unterschied zwischen abstrakter und anwendungsnaher Bedingung gefunden werden.

Post-hoc Tests für die wahrgenommene Nützlichkeit zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen abstrakter ($M = .16, SD = .67$) und anwendungsbezogener ($M = .90, SD = .58$), $p < .01$ Bedingung aber keinen signifikanten Unterschied beider zur anwendungsnahen Bedingung ($M = .50, SD = .79$).

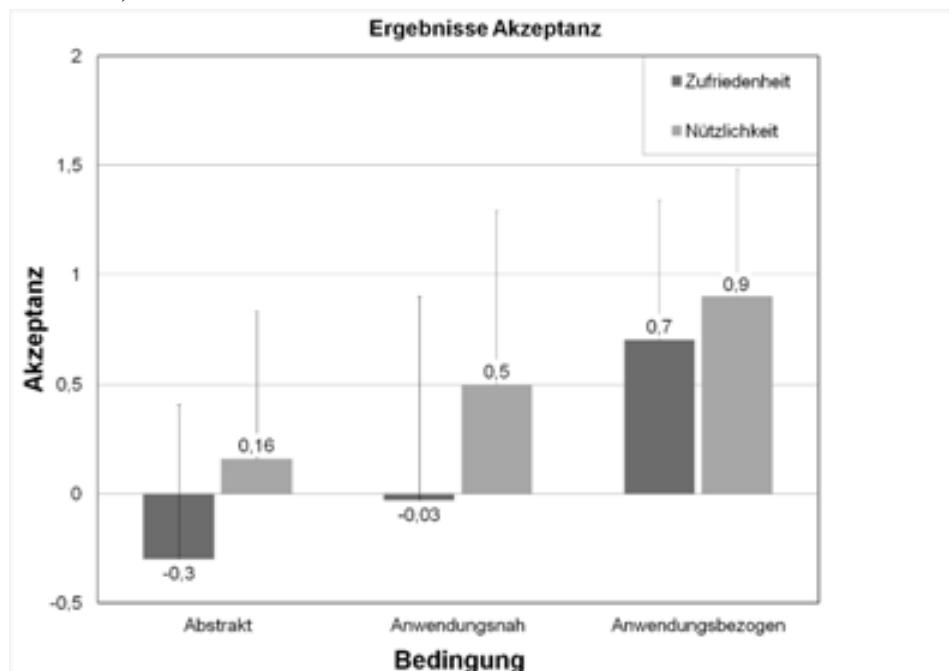


Abb. 4: Ergebnisse Nützlichkeit und Zufriedenheit auf einer Skala von -2 (starke Ablehnung) über 0 (neutral) bis +2 (starke Zustimmung)

4 Diskussion

Die Hypothese, dass sich die Akzeptanz bezüglich des Anwendungsbezuges bzw. der Sichtbarkeit des Nutzens unterscheidet, konnte bestätigt werden. In der anwendungsbezogenen Bedingung war die Akzeptanz am höchsten und in der abstrakten Bedingung am niedrigsten. Bezuglich der Zufriedenheit ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der anwendungsbezogenen und anwendungsnahen Bedingung, aber nicht zwischen der anwendungsnahen und der abstrakten Bedingung. Bezuglich der Nützlichkeit ergaben sich keine signifikanten Unterschiede von der anwendungsnahen zur abstrakten oder anwendungsbezogenen Bedingung. Dies könnte auch mit der geringen Stichprobengröße zusammenhängen, da die Ergebnisse in die

vermutete Richtung tendieren, aber durch die geringe statistische Power nicht signifikant werden.

Die Ergebnisse aus diesem Experiment knüpfen an bisherige Ergebnisse zur Relevanz des Nutzungskontextes bei der Gebrauchstauglichkeit [7] sowie zu Fragebogenstudien der Akzeptanzforschung [8, 9] an. Auch spiegeln sie wieder, dass die Erwartung aufgrund der Systembeschreibung und die tatsächliche Nutzung sich unterschiedlich auf die Akzeptanz auswirken [6]. Die Ergebnisse verdeutlichen die Stärke des Einflusses des Anwendungsbezuges bzw. der Sichtbarkeit des Nutzens einer Anwendung auf die Akzeptanz derselben Datenbrille. Auch die Möglichkeiten einer Datenbrille, parallele Aufgabenbearbeitung und Mobilität nahmen mit dem Anwendungsbezug zu und gingen darüber mit einer höheren Akzeptanz einher.

Es wurde eine Studentenstichprobe mit zwei Mitarbeiterstichproben aus der Automobilindustrie verglichen. Die Mitarbeiter trugen die Datenbrille während einer manuellen Tätigkeit und bewerteten diese als nützlicher und zufriedenstellender als die Studenten, welche keine manuelle Tätigkeit ausführten. Obwohl allen Teilnehmern dieselbe Erklärung gegeben wurde, scheint der erlebte Anwendungsbezug eine große Bedeutung für die Akzeptanz zu haben.

Bei der abstrakten Bedingung, bei der die Nutzer keine manuelle Hauptaufgabe hatten, fiel die Akzeptanz am niedrigsten aus. Je stärker die Interaktion mit dem Gerät war, desto höher war auch die Akzeptanz. Bei der Frage nach der Akzeptanz einer Datenbrille als Assistenzsystem ist demnach die Sichtbarkeit des Nutzens von zentraler Bedeutung. Es konnte gezeigt werden, dass die Akzeptanz am niedrigsten ist, wenn die Nutzer einen abstrakten Test ausführen und sich den Nutzen des Gerätes vorstellen sollen.

Eine klare Limitation der Studie ist, dass sich mit der Zunahme des Anwendungsbezuges stets mehrere Einflussfaktoren änderten und diese Faktoren daher nicht isoliert betrachtet werden konnten. Um den Einfluss einzelner Faktoren zu erheben, wäre eine streng kontrollierte Studie nötig, bei der jeweils nur einer der Faktoren variiert wird.

Die Studie zeigt, wie sich die Akzeptanz derselben Datenbrille nach Nutzungskontext unterscheidet. Um stärkere Aussagen über eine spezielle Datenbrille zu erhalten, wäre es nötig, verschiedene Modelle (z.B. see-through Head-Mounted Displays) oder auch verschiedene andere Visualisierungsmethoden einzubeziehen.

Eine anschließende Fragestellung wäre, inwieweit sich die Akzeptanz einer spezifischen Datenbrille unabhängig vom Anwendungskontext erheben lässt, um beispielsweise ein geeignetes Modell für eine Anwendung auszuwählen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Akzeptanz einer Datenbrille wurde in drei verschiedenen Kontexten gemessen. In der abstrakten Bedingung wurden Designgrundlagen wie Schriftart- und -größe und die Displaypolariität erfasst und im Anschluss die Akzeptanz erfragt. In der anwendungsbezogenen Bedingung führten Teilnehmer eine Montageübung zum Anbringen von Steckern an einer Steckerwand durch und sollten Informationen, die sie über die Datenbrille erhalten, bestätigen. In der anwendungsnahen Bedingung wurde eine Montageanleitung für den Verbau einer Übungskarosse über die Datenbrille angezeigt, die die Montageaufgabe erleichtern sollte. Die Teilnehmer bedienten das Gerät, um den nächsten Montageschritt anzuzeigen und waren während der Aufgabe mobil. Es wurde immer dieselbe Datenbrille, eine Vuzix M100, verwendet.

Es zeigte sich ein Trend steigender Akzeptanz, je anwendungsbezogener die Aufgabe wurde. Dieser Trend verdeutlicht, dass Akzeptanzmessungen an verschiedenen Stellen des Entwicklungsprozesses, je nach Anwendungsbezug oder befragter Stichprobe, zu unterschiedlichen Aussagen führen können. Auch wenn allen Nutzern eine Beschreibung des Anwendungsfalles vorliegt, bewerten sie die Datenbrille dennoch nicht unabhängig von den Aufgaben, die sie mit ihr ausführen. Diese Faktoren sollten beim Testen und Interpretieren von Testergebnissen mit berücksichtigt werden. Daher kann eine niedrige Akzeptanz unter abstrakten Testbedingungen schwierig auf das Gesamtsystem übertragbar sein.

Diese Studie bietet weitere Evidenz für die Relevanz des Kontextbezuges einer Aufgabe. Auch wenn das Assistenzsystem Datenbrille identisch ist, so spielt die exakte Anwendung eine große Rolle.

6 Literatur

- [1] Völker, K.; Adolph, L.; Pacharra, M. und Windel, A.: Datenbrillen - Aktueller Stand von Forschung und Umsetzung sowie zukünftige Entwicklungsrichtungen. In: Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten. Bericht zum 56. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Dortmund: GfA-Press, S. 61-65, 2010.
- [2] Vahabpour, F.; Rantakari, J.; Colley, A. und Häkkilä, J.: Exploring Everyday Use Cases for Smart Glasses. NordiCHI 2014 workshop on Interactions and Applications on See-through Technologies, Helsinki, 2014, retrieved from: http://seethroughworkshop2014.icg.tugraz.at/papers/seeti2014ws_submission_3.pdf (11.11.2014).
- [3] Kampmeier, J.; Cucera, A.; Fritzsche L.; Brau, H.; Duthweiler, M. und Lang, G.: Eignung monokularer „Augmented Reality“-Technologien in der Automobilproduktion. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde 224(7), Thieme Verlag, S. 590-596, 2007.
- [4] Wille, M.; Grauel, B. und Adolph, L.: Strain caused by head mounted displays. In: De Waard, D.; Brookhuis, K.; Wiczorek, R.; Di Nocera, F.; Barham, P.; Weikert, C.; Kluge, A.; Gerbino, W. und Toffetti, A.: (Eds.) Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2013 Annual Conference, S. 267-277, 2014.
- [5] DIN EN ISO 9241-210: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210:Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010); Deutsche Fassung EN ISO 9241-210: 2010.
- [6] Van der Laan, J. D.; Heino, A. und De Waard, D.: A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. Transportation Research - Part C: Emerging Technologies 5, Elsevier Science Publisher, S. 1-10, 1997.
- [7] Maguire, M.: Context of use within usability activities. International Journal of Human Computer Studies 55, Elsevier Science Publisher, S. 453-483, 2001.
- [8] McFarland, D. J. und Hamilton, D.: Adding contextual specificity to the technology acceptance model. Computers in Human Behavior 22(3), Elsevier Science Publisher, S. 427-447, 2006.
- [9] Dishaw, M. T. und Strong, D. M.: Extending the technology acceptance model with task-technology fit constructs. Information and Management 36(1), Elsevier Science Publisher, S. 9-21, 1999.

Abbildung 2: Foto: Johannes Ernst

Wunsch und Wirklichkeit bei der Nutzung von Robotik und Navigation im Operationssaal

Grenzen und Gefahren technischer Unterstützungssysteme

A. Bettermann

Bundeswehrkrankenhaus Hamburg, Abteilung für Orthopädie und Unfallchirurgie
Lesserstraße 180, 22049 Hamburg
Albrecht1Bettermann@bundeswehr.org

Kurzzusammenfassung

Trotz intensiver IT-technischer präoperativer Planung und hochtechnisierter Implantationswerkzeuge stellt der Operationssitus bei Gelenkersatzoperationen immer wieder vor individuelle Probleme, die ein spontanes problembezogenes Handeln erfordern. Insofern ergeben sich spezifische Situationen, die den Einsatz eines technischen Unterstützungssystems für die Verbesserung der Implantationsqualität rasch an seine Grenzen führen kann.

Natürlich wünschen sich Operateure/innen ein technisches Assistenzsystem (z. B. Robotik und Navigation), das ihnen dabei hilft, die allseits dreh- und achsengerechte Positionierung der artikulierenden Endoprothesenteile zu gewährleisten. Hierzu dürfte ein interaktives Kontroll- und Unterstützungssystem sinnvoll erscheinen, das auf einer visualisierten Schnittbildtechnik basiert und dabei anatomische Markerpunkte definiert, die intraoperativ als Orientierungshilfen dienen.

Abstract

Desire and Reality by Using Robotic and Navigation in Operating Theaters

Even if you use technological tools for preoperative planning of endoprostheses operation there are difficulties during the implantation which marks the border of implant quality caused by bone structure and/or rigidity of the surrounding tissue. Then the operation team needs an alternative plan for a satisfying result. Those situations may demand technical support systems grounded on the preoperative planning measurements (CT or MRI), which marks the ideal position of the articulating joint parts for reaching a long term standing.

Intraoperative reproducible marker points as a result of preoperative planning should give 3D orientation, independent from patients positioning on the operation platform.

1 Einleitung

Im Zuge intracranieller Tumor-Operationen werden bereits Navigationssysteme erfolgreich eingesetzt, um die Präzision des Präparierens weitergehend zu erhöhen und damit das Risiko von Verletzungen umgebender Gewebestrukturen des Gehirns zu minimieren. In einem derart hochtechnisierten Operationssaal ist in den Operationstisch, auf dem der Patient absolut stabil und präzisest ausgerichtet gelagert werden muß, eine Schnittbildtechnik integriert, die zusätzlich zum bewaffneten Auge des Operateurs jederzeit eine dreidimensionale Kontrolle des Ope-

rationssitus ermöglicht. Diese Kontrolle kann stets mit dem praeoperativen Befund der Schnittbilduntersuchungen abgeglichen werden. Das setzt den Operateur in die Lage, sich die jeweils notwendigen und für diese Art Neurochirurgie spezifisch ausgestatteten Operationsinstrumente von einem zusätzlich in die Operationseinheit integrierten Roboter steuern/kontrollieren zu lassen und dabei keinesfalls gesundes Gewebe des Gehirns zu verletzen. Diese hochtechnisierte Operationsmethode wurde zunächst nur möglich, weil der Kopf während des gesamten Eingriffes exact fixiert bleiben kann.

Das aber ist bei Gelenkersatzoperationen und anderen Eingriffen am Bewegungsapparat kaum möglich. Dementsprechend müssen andere Verfahrenstechniken aus dem Bereich der Robotik und Navigation zum Einsatz kommen, um z. B. die Implantationsqualität einer Endoprothese oder das Repositionsergebnis eines Knochenbruches zu verbessern [1]. Derartige technische Unterstützungssysteme würden die orthopädischen Chirurgen/innen schon wirklich wollen, zumal die häufiger eingesetzten Systeme (z. B. ein Roboter für das Ausarbeiten des proxi-malen Femurschaftes zwecks Optimierung der Positionierung der Schaftkomponenten im Rahmen der Hüftendoprothetik) alsbald auch gewisse Grenzen und Gefahren aufzeigten, wie die zahllosen Gerichtsverfahren der betroffenen Patienten/innen deutlich machten, bei denen es nach Anwendung des „Roboters“ zur zunächst wohl unbemerkten Schädigung des knöchernen Implantatlagers kam, was u. a. ein vorzeitiges Auslockern der Endoprothesen und andere Komplikationen zur Folge hatte. Zahlreiche dieser unglücklichen Fälle wurden gerichtsanhängig und zwangen teilweise zu Revisionsoperationen, die mit gewisser medizinischer Wahrscheinlichkeit dem (möglicher Weise z. T. auch unsachgemäßen) Einsatz des Operationsroboters zuzuschreiben waren.

2 Problemstellung

Einen wesentlichen ersten Schritt für derartige Gelenkersatzoperationen stellt die präoperative Planung dar, bei der der Prothesentyp, die Prothesengröße und die ideale Verfahrenstechnik festgelegt werden sollen. Normalerweise erfolgt eine derartige Planung anhand von Röntgenbildern (in lediglich 2 Ebenen), deren eher geringe Präzision auch durch die digitale Röntgentechnik kaum verbessert wurde. Es erscheint daher unumgänglich, in Zukunft auf die computertomographische Schnittbildtechnik zurückzugreifen, um die Objektivierbarkeit der Implantationsqualität entscheidend zu steigern und mittels dreidimensionaler Rekonstruktion und entsprechend visueller Animation den idealen Sitz der Endoprothese achs- und drehgerecht in allen Ebenen zu visualisieren, was zum einen das Implantationsverfahren für das Operationsteam entscheidend erleichtert und zum anderen den kombinierten Einsatz eines technischen Unterstützungssystems sinnvoll erscheinen lässt. Dabei spielt aber nicht nur die achs- und drehgerechte Positionierung der beiden Gelenkteile eine wesentliche Rolle, sondern deren funktionell-physiologische Artikulation, die ganz wesentlich für die Vermeidung der gefürchteten Luxationen ist und darüber hinaus von großer Bedeutung auch für die nachhaltige biomechanische und biodynamische Langlebigkeit der Endoprothese [2].

Welche Lösungsansätze können aus der präoperativen Planung außer der Festlegung der Endoprothesengröße in die intraoperative Verfahrenstechnik übernommen werden und welche ob-

jektivierbaren Kontrollparameter können dem Operateur in Form eines technischen Unterstützungssystems an die Hand gegeben werden, um die Implantationsqualität nicht nur theoretisch zu planen, sondern dann auch praktikabel (short – simple - safe) in die Tat umzusetzen [4]?

3 Lösungsansätze

Die permanente Überwachung der dreidimensionalen Orientierung des Operateurs bei jedem einzelnen Verfahrensschritt der z. T. sehr komplexen operativen Eingriffe wäre ein erster wesentlicher Kontrollparameter für eine Optimierung der Implantationsqualität und eine Grundvoraussetzung für die Einschaltung eines auch technisch und nicht nur technologisch hilfreichen „operativen Überwachungs- und Unterstützungssystems“.

3.1 Präoperative Planung mit Hilfe von Schnittbilduntersuchungen

Mit den bei der präoperativen Computertomographie (CT) gewonnenen, individuellen Daten sollte dieses Unterstützungssystem mittels visualisierter unveränderbarer Markierungen am Körper des Implantatempfängers in die Lage versetzt werden, die sich verfahrensgebunden verändernde Lagerung der Patienten/innen während des gesamten operativen Eingriffes zu observieren und bei Bedarf zu korrigieren, weil es durch ein ständiges Nachjustieren der visuell definierten Markierungspunkte die einzige ideale Positionierung der Endoprothese im knöchernen Implantatlager keinesfalls aus den „Augen“ verlieren kann.

3.2 Datentransfer aus dem CT in das visuelle und technische Unterstützungssystem

Dieses „visuelle Engramm“ aus den CT-Daten und den Markierungen sichert als **passiver** (visuell kontrollierender) Beitrag des Unterstützungssystems ein wesentliches Merkmal der Implantationsqualität (optimierte Positionierung der Endoprothesenteile im Implantatlager), die das Operationsteam dann unter **aktiver** (operationstechnischer) Mithilfe des Unterstützungssystems (kontrollierendes Ausarbeiten des knöchernen Implantatlagers) um-setzen kann. Bei dieser Umsetzung der bereits präoperativ festgelegten, optimal erscheinenden Positionierung von Schaft- und/oder Pfannenkomponente z. B. einer Hüftendoprothese, gleichwohl ob diese mit oder ohne Knochenzement eingebracht werden soll, kann das Unterstützungssystem die Ausarbeitungsvorgänge des Implantatlagers im Acetabulum (Pfannenkomponente) und proximalen Femur (Schaftkomponente) zumindest unterstützen, wenn nicht sogar kraft- und positionskontrolliert eigenständig ausführen. Dazu wird das technische Unterstützungssystems neben oder gegenüber dem Operateur am Operationstisch positioniert und kann entweder dem Operateur direkt „unter die Arme“ greifen (hybride Kraftunterstützung) oder eigenständig ihm vorgegebene Werkzeuge (integrierte Operationsinstrumente) bedienen und dabei stets die dreidimensional korrekte Ausarbeitung der Implantatlager kontrollieren (permanente eigenkontrollierte Überwachung des Systems mit ständiger Supervision durch das Operationsteam). Dringend wünschenswert ist dabei eine auch den intraoperativen Bewegungen folgende, visualisierte Observierungs-möglichkeit auf einem 3D-Bildschirm mit Memoration der sich aus der präoperativen Planung ergebenden idealen Positionierung der Endoprothese *in situ*.

3.3 Operateur und visualisierter Kontrolleur

Größtes Problem dürfte dabei die korrekte Ausrichtung des Unterstützungssystems in der Rotationsebene sein, weil der zum Implantatlager auszuarbeitende Innenraum des Oberschenkelknochens z. B. keineswegs konzentrisch konfiguriert ist, was schon den Vorgang des Ausraspelns – insbesondere für ein zementfreies Implantationsverfahren – komplex erscheinen lässt. Wenn es nicht gelingt, ein achs- und drehgerechtes Positionieren der Raspel schon in der intertrochantären Eingangsebene zu erreichen, kann dies beim Raspeln zu Substanzverlusten des knöchernen Implantatlagers führen, was es dringend zu vermeiden gilt. Schlimmstenfalls kann eine nicht ausreichend achs- und drehgerechte Handhabung der Knochenraspel zu einer irreversiblen Schädigung des Knochenrohres führen, was als die durchaus gefürchtete Komplikation der Schaftsprengung bekannt ist. Derlei Komplikationen traten bei der Verwendung von Operationsrobotern gelegentlich auf und wurden nicht immer als solche erkannt [3]. Dem Roboter mangelt es unter Umständen an der notwendigen Fein-fähigkeit gegenüber den zumeist vorgesägten Knochenstrukturen, die der aufgewendeten Kraft des Roboters nicht immer standhalten können. Diese unerwünschten Schädigungen des Implantatlagers stellten ein nicht unwesentliches Problem bei der Nutzung früherer technischer Unterstützungssysteme (Operationsroboter) im Zuge des künstlichen Gelenkersatzes dar. Als Folge dieser operationstechnisch bedingten Schädigung des Implantatlagers traten vorzeitige Lockerungen der Endoprothesen auf, die zu Revisionseingriffen zwangen, bei denen nicht immer ein adäquates, gelenkerhaltendes Resultat erzielt werden konnte.

3.4 Kontrollierender und unterstützender, technischer Operationsassistent

Aber auch das Ausraspeln des knöchernen proximalen Femurinnenraumes mit einer Abweichung von nur 5° in der Rotationsebene z. B. nach außen kann zu einer erheblichen Verminderung der Implantationsqualität führen, die dann Luxationen nach sich zieht oder eine unphysiologische Krafteinleitung in das Implantatlager zur Folge hat, die eine vorzeitige Auslockerung durch Knochenschwund beschleunigt. Bislang lassen sich diese Kriterien der Implantationsqualität in Relation zu den, durch die Implantation zweifelsfrei eintretenden biomechanischen Veränderungen kaum ausreichend objektivieren. Dennoch erscheint es wissenschaftlich als erwiesen, dass die adäquate Positionierung der Endoprothesen-Komponenten eine jede für sich und beider zueinander nur sehr enge Toleranzen duldet und von ganz wesentlicher Bedeutung für die Standzeit ist. Diese Toleranzgrenzen sollte ein technisches Unterstützungssystem kennen und eigenkontrolliert einhalten.

3.5 Definition der Implantationsqualität

Dazu bedarf es einer exakten präoperativen Programmierung/Konditionierung des technologischen Teils des Unterstützungssystems bezüglich der dreidimensional präzise ausgerichteten und einwandfrei artikulierenden Komponenten des künstlichen Gelenkes, um die Ideallinie des Implantationsvorganges elektronisch vorzugeben, die der bestmöglichen Implantationsqualität entspricht.

Dieser Implantationsvorgang muß während des gesamten operativen Eingriffes kontinuierlich vom „elektronisch visualisierten Unterstützungssystems“ überwacht werden, was zusätzlicher Operationsinstrumente bedarf. Insbesondere für das visuelle Abrufen der Markierungspunkte

des jeweiligen Implantatlagers werden mindestens 3 ebenenbezogene, anatomisch eindeutig definierte, punktuelle Knochenformationen festgelegt, an denen sich die 3 korrespondierenden Fixpunkte der Endoprothesenkomponente orientieren müssen, damit diese letztendlich ihre einzige richtige, achsen- und drehgerechte Position findet. Dieser Vorgang des „Einpeilens“ muß natürlich bereits beim Ausarbeiten des Implantatlagers beginnen, was einer Markierung auch der dafür benötigten Instrumente bedarf.

3.6 Minimierung des Versagenspotentials

In den o. g. gerichtsanhangigen Fällen einer nahezu seriellen Schädigung anatomisch wichtiger Strukturen beim robotertechnischen Ausarbeiten des knöchernen Implantatlagers wurde das technische Unterstützungssystem möglicher Weise nicht ausreichend programmiert und kontrolliert. Zwar liegt insofern wohl auch ein „menschliches Versagen“ vor, doch muß heute zwingend gefordert werden, um ein vom Menschen wirklich gewolltes, operatives Unterstützungs-system darstellen zu können, dass dieses menschliche Versagen durch die Implementierung eines entsprechend elektronisch gesteuerten und visuell nachvollziehbaren Kontrollsystems im Prinzip ausgeschlossen wird. Dieses interne Kontrollsysteem muß das technische Unterstü-zungssystem sofort in seiner Aktion unterbrechen, wenn sich die durch die präoperative Pla-nung und die intraoperative Verfahrenstechnik aufeinander abgestimmten Koordinaten auch nur um 1° (ein Grad!) aus einer der drei Dimensionen (Ebenen) in irgendeine (dann falsche) Richtung verschieben. Da diese Koordinaten ganz wesentlich von der Lagerung des Patienten auf dem Operationstisch abhängig sind und sich diese Positionierung während des operativen Eingriffes verändern muß, um die operationstechnischen Zugangswege unter Wahrung minimal invasiver Gesichtspunkte (gewebeschonend) den anatomischen Strukturen anzupassen, wird ein beständiges, eigengeföhrtes Nachjustieren des technischen Unterstützungs-systems erforder-llich sein, um die, den Patenten/innen geschuldete und daher zwingend erforderliche (und zu dokumentierende) Präzision zu gewährleisten.

Das über die anatomisch unverwechselbaren Markerpunkte visualisiert definierte Operations-verfahren muß daher eine komplette Unabhängigkeit von der Positionierung der zu operieren-den anatomischen Strukturen erlangen, um dem technischen Unterstützungssystem ein kontrol-liert fehlerfreies Arbeiten zu ermöglichen. Insofern sind die verschiedenen Operationsverfahren und die entsprechende Handhabung des technischen Unterstützungs-systems sorgfältig aufei-nander abzustimmen. Bei konsequenter Vorgehensweise im Sinne einer wirklich gewollten Verfahrenstechnik darf diese Abstimmung ein menschliches Versagen nicht mehr zulassen, weil das vom Operateur im Zuge der präoperativen Vorbereitung elektronisch programmierte Kontrollsysteem von ihm selbst nur im Notfall außer Kraft gesetzt werden darf und sofort nach Be-herrschung der Notsituation wieder zugeschaltet werden muß. Der Notfall ist sowohl sys-temimmanent (elektronisch und per continuitatem) als auch im Operationsbericht zu begründen und zu dokumentieren. Andernfalls drohen versicherungsrechtliche Konsequenzen, die unan-genehme Folgen für Operateur und/oder Hersteller nach sich ziehen können. Dann offenbaren sich rasch die Grenzen und Gefahren derartiger Verfahrenstechniken und es kann schwer fallen, in einem gerichtlichen Verfahren das menschliche Versagen auszuschließen. Insbesondere wenn die Beweislastumkehr greift, müssen die Beweismittel in Form einer lückenlos adäqua-ten, möglichst objektivierbaren Dokumentation vorgelegt werden können.

3.7 Merkmale der Artikulation

Noch komplexer als die Definition der Implantationsqualität der knöchern zu verankernden Komponenten gestalten sich die Anforderungen an die individuell zu wählenden Zwischenstücke (bei Hüft- und Knieendoprothesen grundsätzlich sehr verschiedener Ausprägung) im Sinne einer adäquaten Artikulation der Hüft- oder Knieendoprothesen, weil zum einen die beiden fest in den anatomischen Strukturen verankerten Bauteile des jeweiligen Endoprothesenmodells sorgfältig miteinander „verbunden“ werden müssen und zum anderen die Körpergegenseite in die Planung einzubeziehen ist, um ein harmonisches Gangbild zu gewährleisten. Insbesondere am Hüftgelenk ist auf ein größtmögliches Bewegungsausmaß zu achten, das neben dem Längenausgleich und dem Offset von wesentlicher Bedeutung für die Funktionalität ist. Dabei bergen die Rotationsbewegungen stets aber auch die Gefahr einer Luxation des künstlichen Gelenkes, die es unbedingt zu verhindern gilt.

Im letzten Schritt der Gelenkersatzoperation an der Hüfte legt das technische Unterstützungs-system vor der endgültigen Artikulation der beiden Gelenkanteile das in der prä-operativen Planung vorherbestimmte „Offset“, den Längenaufbau und das maximal mögliche Bewegungsausmaß (ROM) erneut *in situ* fest, da sich intraoperativ anatomische Veränderungen eingestellt haben können, auf die es im Zuge des Qualitätsmanagements adäquat zu reagieren gilt. Insofern führt das kontrollierende Unterstützungssystem die präoperative Planung und deren allseits optimierte Realisierung zusammen, um das den Patienten/innen geschuldete, bestmögliche Implantationsergebnis zu gewährleisten. Wunsch und Wirklichkeit lassen sich diesbezüglich aber nicht immer zur Übereinstimmung bringen

3.8 Näherungsverfahren beim Implantationsvorgang

Die Grenzen und Gefahren einer derartigen Verfahrenstechnik werden bereits in diesen Ausführungen deutlich, da es sich zweifelsfrei lediglich um ein optimierendes Näherungsverfahren handeln kann, das immer wieder ein Nachjustieren erfordert und nicht selten auch eine Veränderung der Prioritäten notwendig macht. So sind das Bewegungsausmaß von untergeordneter Bedeutung, wenn eine Luxation droht und das Offset alternativ zu erwirken, wenn sonst eine Überlänge in Kauf genommen werden müßte.

1. Schritt: Intertrochantäre Resektionsebene

Schon die winkel- und distanzgenaue Festlegung der Resektionsebene des Schenkelhalses in der sogenannten Linea intertrochanterica muß entsprechend dem jeweiligen Endoprothesenmodell exakt festgelegt werden, um z. B. einen sicheren Kragenaufstieg zu gewährleisten. Auch unter biomechanischen Gesichtspunkten ist der möglichst weitgehende Erhalt der Trochanterregion von Wichtigkeit, um die gefürchteten Abrissfrakturen des Trochanter major unbedingt zu vermeiden (s. Abb. 3).

2. Schritt: Ausarbeiten des Implantatlagers

Bisher gängige Unterstützungssysteme für die Endoprothetik halfen beim Ausraspeln des Implantatlagers bis zur präoperativ festgelegten oder der intraoperativ korrigierten Größe, insbesondere des proximalen Femurknochens (aber auch des Acetabulum für die Einpassung der Pfannenkomponente), was vor allem bei zementfreier Implantation der Schaftkomponente einen nicht zu unterschätzenden Aufwand mit sich bringt, der aus Gründen möglicher Blutverluste eilbedürftig ist.

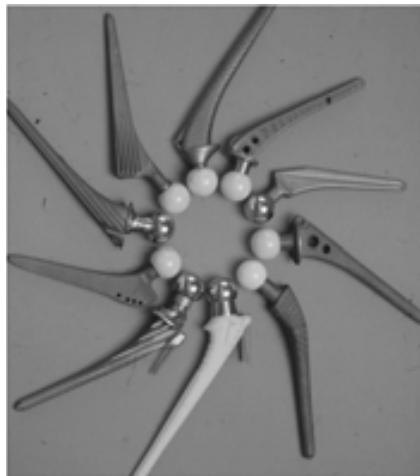


Abb.1: Einige Schaftmodelle für die Hüftendoprothetik. Die Vielfalt macht zumindest die grundlegenden Verankerungsprinzipien deutlich (Zementiertechnik nicht zu vergessen)

Die der Schaftform der Endoprothese entsprechenden Raspeln (in aufsteigenden Größen bis zur endgültigen, größtmöglichen Raspel, die nicht immer der präoperativen Planung entsprechen muß) sollen in allen Ebenen am idealen Einsitz des Endoprothesenstiels ausgerichtet werden, wobei es die Eindringtiefe (longitudinale Ebene) und die Rotationsebene ebenso exakt zu beachten gilt, wie die Winkelgenauigkeit der Femurachsen. Ein visuelles Engramm (Memorationssystem zur Unterstützung des Operationsteams) in Form einer computertomographisch erstellten und als optimal festgelegten 3D-Rekonstruktion/ Animation könnte problemlos alle genannten Achsen einbeziehen und dabei auch die natürlich vorhandene Antetorsion des Schenkelhalses berücksichtigen.

3. Schritt: Einpassen des Endoprothesenschaftes in sein Implantatlager

Nach Fertigstellung der Ausarbeitungsschritte im Implantatlager kann bei vielen Systemen die liegende Raspel auch als Probeprothese fungieren, um eine Vorab-Artikulation herbeizuführen, die der Qualitätskontrolle dienen kann. Derartige Verfahrenstechniken aber werden dann erlässlich, wenn die im Unterstützungssystem programmierte Idealposition visuell kontrolliert erreicht wird und die beiden Bemessungsgrößen Offset und Längenausgleich optimiert miteinander verknüpft worden sind. Grundsätzlich ergeben sich unterschiedliche Verfahrensschritte in Abhängigkeit von der Implantationstechnik mit oder ohne Knochen-zement (s. Abb. 1).

4. Schritt: Einpassen der Pfannenkomponente in das aufbereitete Acetabulum

Die Festlegung der Eingangsebene für die zu implantierende Pfannenkomponente in das ausgefräste Acetabulum gestaltet sich häufig aufgrund der degenerativen Vorschädigung im Zuge der über Jahre entstandenen Arthrose (z. B. Pfannenerker und Dezentrierung, s. Abb. 2) schwierig und bedarf daher eines eigenen präoperativen Planungsschrittes.

Die Größenbestimmung der zu implantierenden und dann in der Realität auch implantierbaren Pfannenkomponente ergibt nicht selten Diskrepanzen und ist daher nicht immer exakt festzulegen. Sie muß häufig dem Grad der Vorschädigung des Implantatlagers im Acetabulum angepasst werden, um eine stabile und langfristige knöcherne Verankerung zu gewährleisten. Ein technisches Unterstützungssystem kann in derartigen Problemfällen nur in einem visuell idealisierten/optimierten Kontrollsysteum bestehen, das es dem Operationsteam erleichtert, die beste Pfannenkomponente auszuwählen und in optimaler Ausrichtung zu positionieren. Dabei stehen

grundsätzlich die Verankerungsprinzipien des Press Fit, der Verschraubung (konisch oder sphärisch) und des Zementierens zur Verfügung sowie spezielle Abstützpfannen.



Abb. 2: Schwerste Coxarthrose mit erheblicher Schädigung von Hüftkopf und Hüftpfanne

Schwierig ist intraoperativ beim Ausarbeiten des Acetabulums die Vermeidung einer (dann iatrogenen) Schädigung des Implantatlagers durch ein zu tiefes Eindringen in die knöchernen Strukturen. Diese zu stark zentralisierten Ausfrässungen des Acetabulums führen nicht selten (früher oder später) zu einer Protrusion der Pfannenkomponente, was einer Lockerung Vorschub leistet und darüber hinaus das Offset, die Beinlänge und die ROM reduziert.

5. Schritt: Herstellen einer gelenkgerechten Artikulation

Wenn beiden Komponenten (Schaft und Pfanne) allseits achs- und drehgerecht (winkelgenau) in die knöchernen Strukturen implantiert sind, kann nur mit Hilfe der variablen Kopf-komponente(n) die Artikulation im Sinne eines adäquaten Offset und Längenausgleichs wiederhergestellt werden. Hierzu erscheint neben der präoperativen Planung eine intraoperative Durchleuchtungskontrolle oder eben der „**visualisierte Unterstützungsassistent**“ sinnvoll. Es gilt dabei die Luxationsgefahr möglichst weitgehend zu minimieren und die ROM (Range of Motion) zu maximieren. Der Grad für die Optimierung dieser beiden Größen ist oft schmal und sollte durch einen, auf der Erfahrung des Operationsteams basierenden Verzicht auf das endgradige Bewegungsausmaß erweitert werden. Beide Größen bedürfen einer sensiblen Verknüpfung, was im Unterstützungssystem einer klugen Programmierung bedarf.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die technischen Fortschritte in der Endoprothetik dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass es unverändert zu früher oder später einsetzenden „Komplikationen“ kommen kann, die nicht selten der kaum ausreichend definierten „unbefriedigenden Implantationsqualität“ geschuldet sind. Daran haben auch technische Unterstützungssysteme bislang nichts zu verändern vermocht. Eine Reihe von Rückschlägen mussten durch die Verwendung derartiger Operationsroboter und Navigationssysteme in Kauf genommen werden.

Dementsprechend gilt es die Implantationsqualität eines jeden Endoprothesenmodells so weitgehend als irgend möglich anhand einer definiert visualisierten präoperativen Planung festzulegen, die es dem Operationsteam am Bildschirm ermöglicht, während des operativen Eingriff-

fes jederzeit sein eigenes Handeln zu überprüfen und dabei gleichzeitig ein unab-hängiges Kontrollsysteem zu implementieren, das bei einem Abweichen von diesem definierten Qualitätsstandard Aufmerksamkeit einfordert (Alarm schlägt).

Die orthopädische Chirurgie wünscht sich trotz der bekannten Grenzen und Gefahren technische Unterstützungssysteme, die gleichzeitig kontrollierende und unterstützende Funktionen haben sollten, um das eigene Handeln zu optimieren und die den Patienten/innen geschuldeten Qualitätsstandards zu gewährleisten. Die nachfolgenden Abbildungen machen einige der möglichen Komplikationen deutlich



Abb. 3: Ungünstige Ergebnisse eines beiderseitigen Gelenkersatzes.



Abb. 4: Worst case mit Fraktur der Endoprothese und des knöchernen Implantatlagers, Pfannendestruktion (nach ROB-OP). Sämtliche Rö-Bilder wurden dankenswerter Weise von der Radiol. Abt. des BWK Hamburg zur Verfügung gestellt.

Derartig unbefriedigende Ergebnisse, wie sie die beiden von der Radiologischen Abteilung des BWK Hamburg freundlicher Weise zur Verfügung gestellten Röntgenbilder dokumentieren, machen den Wunsch nach kontrollierenden und unterstützenden technischen Systemen verständlich, weil es letztendlich um die dauerhafte Erhaltung des aufrechten Ganges des Menschen geht, die einen wesentlichen Teil seiner Lebensqualität bedeuten dürfte. Andernfalls kommt es zum Erliegen der eigenständigen Mobilität, wie ihn das abschließende Bild (Abb. 5) symbolisieren soll.



Abb. 5: Wenn Bewegung zum Erliegen kommt. Quelle: DPA vom Tag nach dem „Unfall“

5 Literatur

- [1] Nakamura, N.; Sugano, N.; Nishii, T.; Miki, H.; Kakimoto, A. und Yamamura, M.: Robot-assisted primary cementless total hip arthroplasty using surface registration techniques: a short-term clinical report. Int. J. of computer assisted radiology and surgery; VOL: 4(2); S. 157-162, 2009.
- [2] Mantwill, F.; Schulz, A.P.; Faber, A.; Hollstein, D.; Kammal, M.; Fay, A. und Jürgens, Ch.: Robotic systems in total hip arthroplasty – is the time ripe for a new approach? The Int. J. of medical robotics + computer assisted surgery: MRCAS; VOL: 1 (4); S. 8-19, 2005.
- [3] Schulz, A.P.; Seide, K.; Queitsch, C.; von Haugwitz, A.; Meiners, J.; Kinast, B.; Tarabolsi, M.; Kammal, M. und Jürgens, C.: Results of total hip replacement using the Robodoc surgical assistant system: clinical outcome and evaluation of complications for 97 procedures. The Int. J. of medical robotics + computer assisted surgery: MRCAS; VOL: 3 (4); S. 301-306, 2007.
- [4] Sugano, N.: Computer-assisted orthopaedic surgery and robotic surgery in total hip arthroplasty. Clinics in orthopedic surgery; VOL: 5 (1); S. 1-9, 2013.

Erfolg durch Akzeptanz der Mitarbeiter: Intelligente Assistenzsysteme in der Produktion, am Beispiel der Textilindustrie.

J. Lemm, M. Löhrer, N. Dartsch, Y.-S. Gloy, T. Gries

Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen

Otto-Blumenthal-Str. 1, 52074 Aachen.

Jacqueline.lemm@ita.rwth-aachen.de

N. Ziesen, R. Häußling

Institut für Soziologie der RWTH Aachen

Eilfschornsteinstraße 7, 52062 Aachen

nziesen@soziologie.rwth-aachen.de

Kurzzusammenfassung

Der Schlüssel zur erfolgreichen Etablierung technischer Unterstützungssysteme liegt in der Bedarfsorientierung. Durch verstärkte Diversifikation von Arbeitsaufgaben muss sich der Analysefokus auf den individualisierten Mitarbeiter und seine Bedürfnisse richten. Durch die Schaffung und Bereitstellung diversitätsgerechter Arbeitsplätze, technischer Werkzeuge und mobiler Informationstechnologien können Unternehmen ihren Mitarbeitern individuelle Hilfen bei der Ausübung ihrer Tätigkeiten zur Verfügung stellen. Diese Maßnahmen führen unmittelbar zu einer Optimierung der Unternehmensprozesse, welche durch die eigenen Beschäftigten initiiert und getragen werden. Die Entwicklung der benötigten Assistenzsysteme erfordert interdisziplinäre Zusammenarbeit und Forschung technischer und geisteswissenschaftlicher Experten. Nur wenn der Einsatz von Technik als Unterstützung akzeptiert wird, kann er erfolgreich sein.

Abstract

Success through acceptance of the Employees: Intelligent assistance systems in production, using the example of the textile industry.

The key to a successful establishment of technical support systems is to know the needs of the employees. From the viewpoint of increasing diversity of the workforce, the differential-dynamic job design in textile production seems more relevant than ever. By creating and providing diversity-driven workplaces, technical tools and mobile information technologies, companies can provide their employees with individual help in the exercise of their activities. This leads directly to the optimization of company processes, which are initiated and supported by their own employees. The development of the necessary assistance systems requires interdisciplinary cooperation and research of technical and humanistic experts.

1 Die deutsche Industrie im Umbruch aufgrund aktueller gesellschaftlicher Entwicklungen

Die deutsche Industrie, darin berücksichtigt auch die deutsche Textilindustrie die später noch als Beispiel für die Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Arbeitswelt dient, muss sich gleich mehreren großen gesellschaftlichen Herausforderungen und kontinuierlichen Veränderungsprozessen in den nächsten Jahrzehnten stellen, will sie ihren Platz unter den führenden Industrienationen verteidigen. Gerade für Deutschland, dessen Wohlstand stärker als bei den meisten anderen hochentwickelten Staaten von der Industrie und dem produzierenden Gewerbe abhängt, sind diese Veränderungsprozesse, wie beispielsweise der verstärkte globale Wettbewerbsdruck, schon heute klar erkennbar oder haben längst begonnen [1].

Im Fokus steht dabei die nötige Symbiose von Chancen und Risiken einer immer stärker vernetzten Produktion im Rahmen der Etablierung der sogenannten Industrie 4.0, mit den Herausforderungen einer sich auf vielfältige Weise verändernden Arbeitnehmerschaft. Gelingt es nicht, diese Herausforderung erfolgreich zu bewältigen, wird der Industriestandort Deutschland im internationalen Wettbewerb immer stärker zurückfallen. Eine besondere Bedeutung haben im internationalen Wettbewerb die Folgen des demografischen Wandels: Einerseits werden bestehende Belegschaften der Unternehmen durchschnittlich immer älter und andererseits schrumpft das zur Verfügung stehende Erwerbspotential auf dem Arbeitsmarkt (vgl. Abb. 1). Die daraus resultierenden Konsequenzen sind ein immer stärker werdender Fachkräftemangel und immer älter werdende Mitarbeiter in den Unternehmen. Besonders die vielen hochspezialisierten klein- und mittelständischen Unternehmen, die oftmals Weltmarktführer mit Produkten sind, drohen so schnell ins Abseits zu geraten. Diesen Konsequenzen des demografischen Wandels, der auch die Textilindustrie stark trifft, versucht ein interdisziplinäres Team aus Ingenieuren und Soziologen am Institut für Textiltechnik (ITA) und des Instituts für Soziologie (IfS) an der RWTH Aachen, u. A. mit der Erforschung Intelligenter Assistenzsysteme zu begreifen. Erst dieser interdisziplinäre Blick ermöglicht es, umfassende Problemanalysen, aber vor allem Lösungskonzepte und erfolgreiche Technologien zu entwickeln und am Markt zu etablieren.

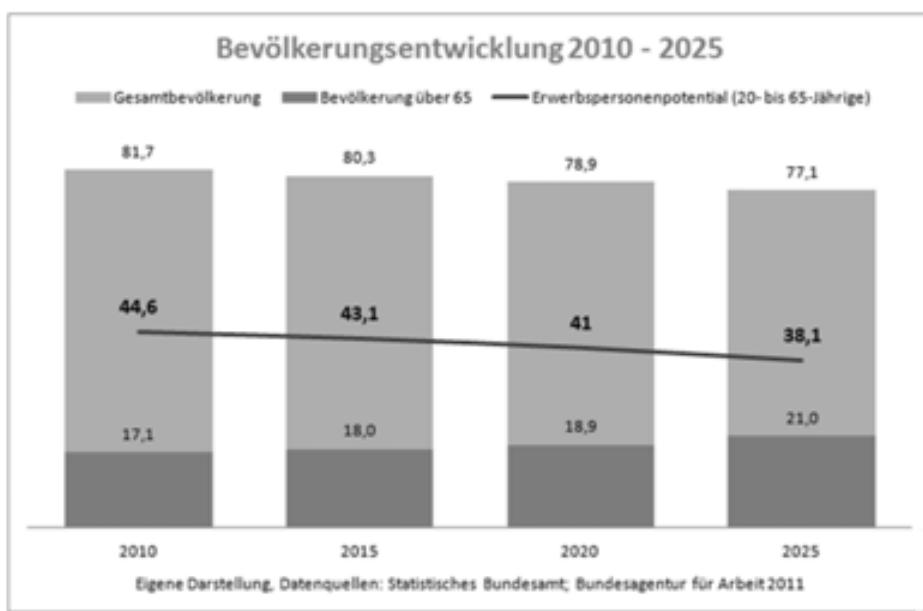


Abb. 1: Bevölkerungsentwicklung 2010 bis 2025 unter Berücksichtigung von Alter und Erwerbspotentialen, Quelle: Eigene Darstellung der sentiso GmbH, www.sentiso.de

Ein technikunterstützter Lösungsansatz kann die Entwicklung von digitalisierten Adaptiv-Lernenden-Systemen (ALS) sein. Mit dem kompetenzfördernden Einsatz von ALS in der Mensch-Maschine-Interaktion des Produktionsprozesses, unter Berücksichtigung einer partizipativen, nutzerorientierten Technikakzeptanz, soll am Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen ein erfolgreicher Lösungsansatz für und mit der Industrie entwickelt werden.

2 Demografischer Wandel und Industrie 4.0 am Beispiel der deutschen Textilbranche

Die deutsche Textilbranche steht beispielhaft für die oben beschriebenen Entwicklungen [2]. Sie ist besonders stark mittelständisch strukturiert, aber zeitgleich sind Textilien die zweitgrößte Konsumgüterbranche in Deutschland. Im Bereich Fashion ist die Produktion im Zuge von Outsourcing-Prozessen nach Asien abgewandert und spielt für die heimischen Unternehmen in der Produktion keine tragende Rolle mehr. Deutsche Unternehmen der Textilwirtschaft sind deutlich spezialisierter und in ihren Anwendungsfeldern enorm breit aufgestellt: Im Bereich der Medizintechnik, der Bekleidung, des Leichtbaus oder des Autointerieurs. Einzelprozesse der Textilindustrie sind hochautomatisiert, besonders im Bereich der technischen Textilien, wie beim Weben technischer Textilien, dem Veredeln technischer Textilien oder dem Konfektionieren als Prozesskette. Die Bedienung moderner Textilmaschinen ist komplex und erfordert zunehmend hohe Kompetenzen seitens der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Bedienung und Instandhaltung. Entlang der „textilen Kette“, d.h. beispielsweise bei der Verarbeitung von Fasern bis zur textilen Fläche, kommen zahlreiche verschiedene Maschinen zum Einsatz. Eine Webemaschine hat ca. 200 Einstellparameter. Arbeitspersonen in Textilbetrieben führen daher keine Anlerntätigkeiten aus, sondern werden in den entsprechenden Lehrberufen, z. B. als Textilmaschinenführer, ausgebildet. Betrachtet man die Interaktion mit Textilmaschinen, so finden sich zwar moderne Touch-Screens und teilweise datenbankbasierte Assistenzsysteme an den Maschinen, jedoch wurden diese bisher noch nicht unter den Aspekten der lernförderlichen Mensch-Maschine-Interaktion sowie der partizipativen nutzerorientierten Technikakzeptanz gestaltet.

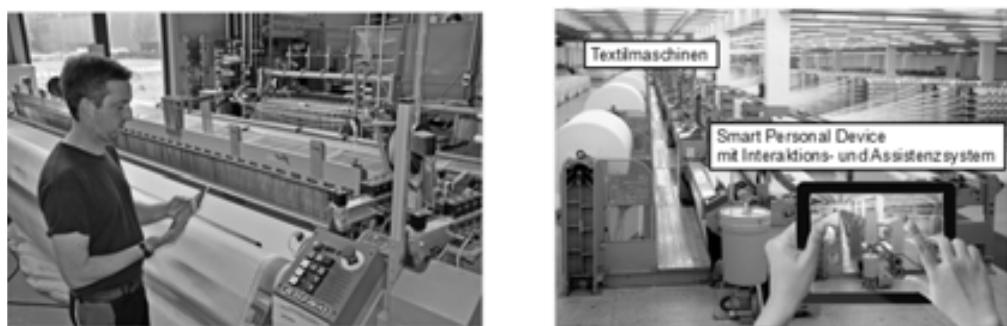


Abb. 2: Darstellung einer möglichen Nutzung von mobilen, persönlichen und digitalen Geräten in einer Weberei. Quelle: [3]

Eine Folge dieser Spezialisierung ist das bereits erwähnte qualitativ hohe Ausbildungsniveau der Beschäftigten in der Textilbranche. Spezialisierte Mitarbeiter sind in der Regel schon lange in ihrem Beruf aktiv, haben sehr viel Erfahrungswissen und sind demnach begehrte Fachkräfte. Sie stehen exemplarisch für den Gesamtrend am deutschen Arbeitsmarkt: Die Gruppe der Arbeitnehmer über 60 Jahre weist nach der Beschäftigungsstatistik der Bundesagentur für Arbeit seit mehreren Jahren ein starkes Wachstum auf (vgl. hierzu Abb. 1). Laut einer Statistik [4]

stieg in dem Zeitraum von September 2011 bis September 2012 die Beschäftigungsanzahl der Arbeitnehmer über 60 Jahre um 12,5%. Ein Vergleich zum September 2007 zeigt, dass diese Gruppe um 76,9% auf insgesamt 1.654.831 Personen angestiegen ist. Gerade auch in Bezug auf eine zu erwartenden kontinuierliche Erhöhung des Renteneintrittsalters scheint eine weitere Vergrößerung dieser Altersgruppe unter den Beschäftigten eine der dauerhaften Herausforderungen für die Unternehmen zu werden.

3 Heterogenität der Beschäftigungsstruktur – Arbeitsprozesse lernförderlich gestalten

Neben Alterungsprozessen der Belegschaften sorgt, wie oben bereits erwähnt, der Rückgang an qualifizierten Schulabgängern für einen wachsenden Fachkräftemangel in der Branche. Der Rückgang von potentiellen Mitarbeitern erfordert neue Strategien und Interventionen, um qualifizierte Nachwuchskräfte heran zu ziehen. Insgesamt ist daher von einer zunehmenden Heterogenität der Beschäftigtenstruktur in der Textilbranche auszugehen: Neben dem Alter sind unter anderem Geschlecht, Sprache, Kultur und Qualifikation die Einflussfaktoren auf eine diverse Belegschaft. Durch die Konfrontation mit immer größeren Mengen an digitalen Informationen sowie durch die zeitliche und räumliche Flexibilisierung von Arbeitsprozessen entstehen neue Formen der Arbeit, der Qualifikation und der beruflichen Zusammenarbeit. Diese Aspekte greift ein Ansatz in besonderer Weise auf, der das *Lernen im Prozess der Arbeit (LiPA)* ermöglicht und unterstützt. Gerade Textilproduzenten und Textilmaschinenbauer in Deutschland geraten im internationalen Verdrängungswettbewerb immer stärker durch die – im relativen Vergleich – augenscheinlich niedrigeren Produktionskosten in Niedriglohnländern unter Druck und sind somit umso stärker einem globalen Wettbewerb ausgesetzt [5]. Die „textile Kette“ ist daher besonders auf innovative und effiziente Lösungen für Kompetenzaufbau und -erhalt angewiesen. Die Lernförderlichkeit industrieller Arbeitssysteme ist dabei der Schlüssel [6; 7]. Digitale Unterstützungssysteme, etwa in der Bereitstellung von Informationen zur Störungs- und Fehlerlokalisierung, können einen enormen Beitrag zur Reduzierung von Komplexität leisten, sind dadurch Zeit- und Kosteneffizienter. An einem konkreten Beispiel lässt sich dies veranschaulichen: Der Wartungstechniker in einer Textilmaschinenhalle bekommt durch ein digitalisiertes Hilfssystem die genau Fehlerstelle und gleichzeitig die nötigen Information zur Behebung bzw. den Ort angezeigt, an dem er diese Informationen finden kann. Durch die Ortung von Fehlern im Produktionsprozess lassen sich Schulungsbedarf und –kosten für das Unternehmen reduzieren.

4 Bedarfsorientierte Assistenzsysteme als Schlüssel zum Erfolg

Durch die Schaffung und Bereitstellung diversitätsgerechter Arbeitsplätze, technischer Werkzeuge und mobiler, digitaler Informationstechnologien, können Unternehmen ihren Mitarbeitern individuelle Hilfen bei der Ausübung ihrer Tätigkeiten zur Verfügung stellen. Diese Maßnahmen tragen bei der großen Gruppe der älteren Beschäftigten dazu bei, entstandene Leistungseinschränkungen zu kompensieren und ihnen eine adäquate Teilhabe am Berufsleben zu ermöglichen. Im Besonderen kann die Einbindung von digitalen Informationstechnologien in manuelle Bearbeitungs- oder Handhabungsvorgänge helfen, altersbedingte Verminderungen kognitiver Prozesse oder nachlassende Sinnesschärfen [8] zu kompensieren. Dadurch können Effekte, wie soziale Ausgrenzung oder ökonomische Konkurrenz zwischen Beschäftigungsgenerationen, reduziert werden.

Der Einsatz intelligenter Assistenzsysteme könnte Einarbeitungsphasen verkürzen und die Etablierung und Orientierung neuer oder gerade in den Beruf eintretender Arbeitnehmer im Unternehmen deutlich verbessern. Die bei den Einarbeitungsprozessen entstehenden Transaktionskosten könnten durch passgenaue Assistenzsysteme (z.B. bei Sprachbarrieren die Unterstützung beim Lernen mit Piktogrammen in der Bedienung von Maschinen) deutlich gesenkt werden; der Arbeitnehmer ist schneller voll einsatzfähig.

ALS unterstützen die Mitarbeiter indem sie Informationen bereitstellen und beim Erlernen von Fähigkeiten, z.B. in der Maschinenführung helfen (vgl. Abb. 3). Der Mitarbeiter nutzt die ALS nach seinem persönlichen Bedarf, ALS sind Instrumente für den Mitarbeiter die ihn unterstützen, nicht ersetzen sollen.

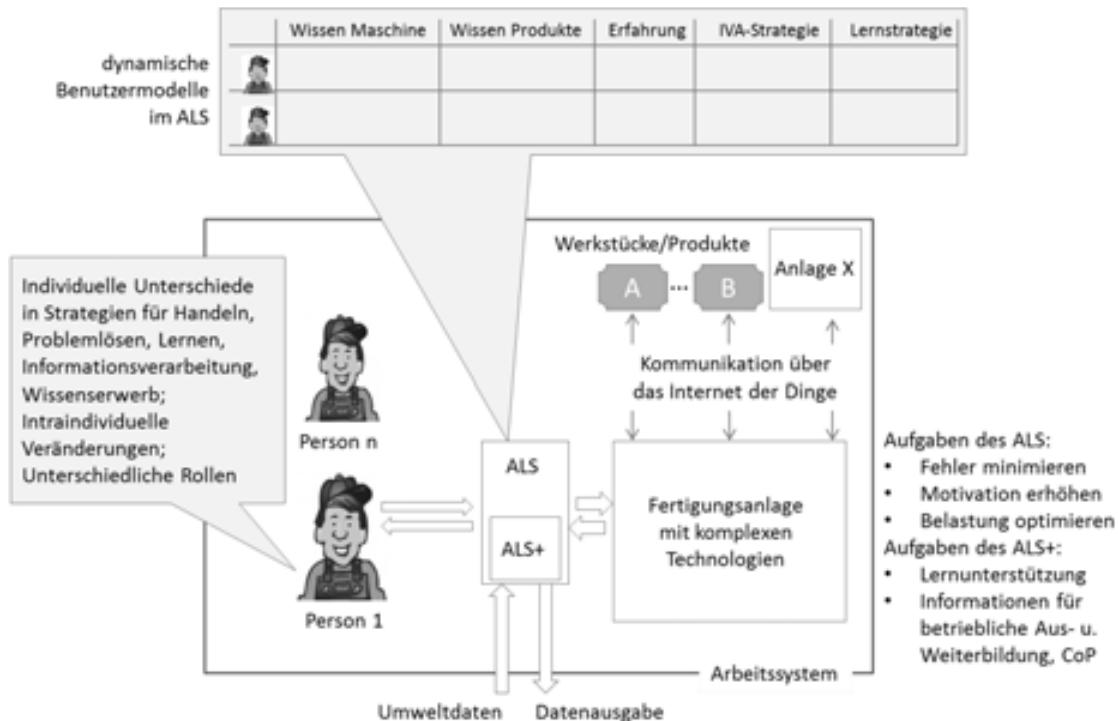


Abb. 3: Mitarbeiter – ALS Bezug. Quelle DMTM

Zunehmend von Bedeutung wird auch der Aspekt der Wiedereingliederung nach Krankheit oder Unfällen werden. Pro Jahr scheiden mehrere Hunderttausend Beschäftigte aufgrund von Krankheiten oder Unfällen mittelfristig aus dem Arbeitsleben aus [9]. Diese Entwicklung wird sich bei einer alternden Bevölkerung und steigender Belastung am Arbeitsplatz verschärfen. Folgeerkrankungen koronarer oder psychischer Belastung kommt immer stärker der Charakter von Volkskrankheiten zu. Die Belastungen für die Wirtschaft sind enorm. Um die betroffenen Personen nach erfolgreicher Rehabilitation nicht dauerhaft an die Verrentung oder Arbeitslosigkeit zu verlieren, aber auch um dem Bedürfnis der Arbeitnehmer auf Wiedereingliederung Rechnung zu tragen, können ALS einen wichtigen Anteil im Unterstützungsprozess leisten. Verloren gegangene Kompetenzen können so wieder trainiert und noch vorhandene kompensierend ausgebaut werden. Eventuell ist ihr Einsatz auch schon im Rehabilitationsprozess selbst möglich.

Zentral bei der bedarfs- und akzeptanzorientierten Entwicklung von Adaptiv-Lernenden-System ist es, den Ängsten und Sorgen der Arbeitnehmer angemessen zu begegnen. Dabei gilt es

deutlich zu vermitteln, dass diese Systeme eine Unterstützung sind und nicht dazu dienen Personal zu ersetzen. Es geht nicht darum, den Mitarbeitern allein nur die Technik an die Hand zu geben, sondern es ist wichtig, den unterstützenden und arbeitsvereinfachenden Charakter der Technik zu unterstreichen. Die eigentliche Wartungsarbeit kommt dem Menschen zu und ist nicht durch Technik ersetztbar. Ziel muss es sein, die Mitarbeiter länger und erfolgreicher – sowohl für den Arbeitnehmer als auch für den Arbeitgeber – durch und nicht trotz des Einsatzes von ALS im Unternehmen zu halten.

Ein weiterer zu beachtender und verstärkt zu untersuchender Aspekt sind die, im deutschsprachigen Raum sehr ausgeprägt scheinenden, Bedenken in Bezug auf Datensicherheit und Mitarbeiterüberwachung. Neben dem Bereitstellen von Hilfe ist auch die Förderung von individuellen Stärken elementar für die Akzeptanz. Erscheinen die eingesetzten Systeme nur als bevormundend und bleibt ein identifikationsschaffender Lerneffekt für den Arbeitnehmer aus, ist die Akzeptanzwahrscheinlichkeit gering. Dabei ist zu beachten, dass der Lerneffekt im Idealfall nicht auf das Individuum beschränkt bleiben sollte. Nicht nur die Abfrage von vorher definiertem Wissen durch den Mitarbeiter von einem Server, sondern auch der direkte Austausch und die unmittelbare Kommunikation in den Beziehungen Mitarbeiter/ALS sowie Mitarbeiter/Mitarbeiter sollten die Stärken, das Wissen und die Erfahrungswerte Einzelner für die Kollegen und das Unternehmen einfacher nutzbar machen. Gefordert ist durch all die zu berücksichtigenden Aspekte ein – über eine reine Schnittstellengestaltung und -optimierung weit hinausreichender – Ansatz.

5 Interdisziplinäre Bedarfsanalyse und Technologieentwicklung

Die beschriebenen Anforderungen und Aspekte im Forschungs- und Entwicklungsfeld Adaptiv-Lernende-Systeme, lassen in ihrer Beschreibung deutlich erkennen, dass wir in unserem Forschungsteam eine interdisziplinäre Perspektive auf das Thema einnehmen. Um die Herausforderungen zu stemmen, die sich aus den Folgen des breiten gesellschaftlichen Wandels am Arbeitsmarkt und den Folgen der Durchsetzung der Industrie 4.0 ergeben, bedarf es deshalb einer wahren technischen Innovation. Ohne die aktive Einbindung der Unternehmensbelegschaften in den Entwicklungs- und Etablierungsprozess und der damit einhergehenden sozialen Innovation ist keine technische Innovation in diesem Gebiet möglich. Ingenieure und Soziologen des ITA und des IfS der RWTH Aachen forschen gemeinsam an dieser Thematik um dem demografischen Wandel und der Industrie 4.0 in der Textilbranche zu begegnen.

6 Literatur

- [1] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Die neue Hightech-Strategie Innovationen für Deutschland. Rostock. Publikationsverband der Bundesregierung. 2013.
- [2] Ebert, A.; Kistler, E.; und Trischler, F.: Altersstrukturen und demographischer Wandel in der Textilwirtschaft, (Abschlussbericht Projekt-Nr. 2007-017-3), Bericht an die Hans-Böckler-Stiftung, copyright Hans-Böckler-Stiftung. 2008.
- [3] Gloy, Y.-S.; Greb, C. und Gries, T.: Industry 4.0: A (r)evolution for the textile industry? In: Hillmer, Janine (Ed.): Proceedings of the 7th Aachen-Dresden International Textile Conference, Aachen November 28-29, 2013. - Aachen: DWI an der RWTH Aachen e.V., Datei: Gloy.pdf. 2013.

- [4] <http://statistik.arbeitsagentur.de/Statistikdaten/Detail/Aktuell/iiia6/sozbe-zr-svb-alter/zr-svb-alter-d-0-xls.xls>; Letzter Abruf: 15.09.2014.
- [5] Brecher, Christian (Hrsg.): Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, 1. Auflage, Springer Verlag. 2011.
- [6] Bigalk, D.: Lernförderlichkeit von Arbeitsplätzen - Spiegelbild der Organisation? (E. Frieling, Ed.) (Schriftenr.). Kassel. 2006.
- [7] Dehnbostel, P.: Lern- und kompetenzförderliche Arbeitsgestaltung. Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis, (2). 2008.
- [8] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrg.): Mit Erfahrung die Zukunft meistern! Dortmund. 2004.
- [9] http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/a748-betriebliche-eingliederung.pdf?__blob=publicationFile; Letzter Abruf: 11.11.2014.

Mensch-Roboter-Kollaboration - Von der industriellen Produktion bis zum Anwendungsgebiet Rehabilitation

C. Thomas, B. Kuhlenkötter

TU Dortmund, Institut für Produktionssysteme (IPS)

Leonhard-Euler-Str. 2, 44227 Dortmund

carsten.thomas@ips.tu-dortmund.de, bernd.kuhlenkoetter@ips.tu-dortmund.de

M. Klöckner

RIF e.V. Institut für Forschung und Transfer

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20, 44227 Dortmund

maike.kloeckner@rif-ev.de

Kurzzusammenfassung

Technische Assistenzsysteme haben für die Optimierung von Arbeitsplätzen und aus betriebswirtschaftlicher Sicht ein bedeutendes Potential. Bei der Gestaltung robotergestützter Assistenzsysteme werden technisches Wissen und Kenntnisse der Informatik mit dem Know-how von Arbeitsphysiologen und -psychologen ergänzt. Erst vor wenigen Jahren wurde die Normungs- und damit Rechtslage für die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) geändert. Durch Motivationen und Anforderungen wird aufgezeigt und begründet, warum der Bedarf an MRK-Systemen stetig steigt. Im zweiten Teil werden aktuelle Forschungsarbeiten zur MRK seitens des IPS vorgestellt. Im Bereich der Produktionssysteme wird Montage- oder Fertigungsmitarbeitern das Handhaben großer und schwerer Bauteile abgenommen. Des Weiteren wird das Anwendungsfeld der Rehabilitation betrachtet.

Abstract

Human-Robot-Collaboration – Industrial Production and transfer of the technologies to the field of application of rehabilitation

Technical assistance systems have significant potential for the optimisation of workplaces and from the business point of view. While designing robot-based assistance systems technical knowledge and computer science skills are complemented with the expertise of ergonomists and psychologists. The standardization and the legal situation for human-robot interaction (HRI) have changed a few years ago. The continuous increase of the interest in HRI systems is presented and justified with the help of requirements and motivations. Current research on HRI at the IPS is presented in the second part.

1 Einleitung

In den meisten produzierenden Unternehmen der Privatwirtschaft besteht stetig die Herausforderung Kosten zu reduzieren, die Effizienz zu steigern und qualitativ hochwertige Produkte zu

fertigen, um im internationalen Vergleich insbesondere gegen Nationen mit deutlich niedrigeren Lohnstrukturen wettbewerbsfähig zu bleiben. Der Demographische Wandel, der zu einem kontinuierlichen Anstieg des Durchschnittsalters in vielen Belegschaften führt, und die Einführung der „Rente mit 63“ stellen derzeit viele Unternehmen im deutschen Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Automobil- und deren Zuliefererindustrie vor große Herausforderungen. Aber auch in öffentlichen Einrichtungen des Gesundheitswesens führen Ressourcenknappheit, der Mangel an qualifiziertem und gut ausgebildetem Fachpersonal sowie die steigende Nachfrage aufgrund der älter werdenden Gesellschaft zu weiterem Handlungsbedarf.

Eine Möglichkeit diesen Problemen entgegen zu wirken ist der Einsatz von technischen Unterstützungssystemen, die in Form reiner Unterstützungssysteme oder als Assistenzsysteme ausgeführt werden können. Technisch einfache Elemente wie Hebehilfen sind seit vielen Jahren im Einsatz, haben jedoch ein begrenztes Potential. Hier ist der Einsatz von Systemen der Mensch-Roboter-Kollaboration eine bedeutende Möglichkeit um zukünftig auch in Hochlohnländern wettbewerbsfähig fertigen zu können. Die Mensch-Roboter-Kollaboration bietet die Möglichkeit die Stärken des Menschen, wie kognitive Fähigkeiten und Entscheidungsfähigkeit, und die Stärken der Automatisierungs- und Robotertechnik, wie hohe Traglasten, Präzision und ein unermüdlicher Einsatz, zu kombinieren. Im Ergebnis folgen oftmals eine physische Entlastung des Mitarbeiters und Steigerungen in den Bereichen Effektivität, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit.

2 Disziplinen der Mensch-Roboter-Kollaboration

Die Entwicklung von Lösungen mit Mensch-Roboter-Kollaboration stellt aber auch neue Herausforderungen dar. Somit besteht die Notwendigkeit das Know-how aus verschiedenen Disziplinen zu vereinigen. „Technische Unterstützungssysteme“ beinhaltet im Bereich der Robotik das interdisziplinäre Zusammenwirken der Disziplinen Maschinenbau, Arbeitswissenschaften, Elektro- und Steuerungstechnik und der Informatik. Darüber hinaus sind Kenntnisse der jeweiligen Prozesse, in deren Rahmen die Mensch-Roboter-Kollaboration eingesetzt werden soll, erforderlich.

Der Mensch als zweiter Teil des Mensch-Roboter-Kollaborationssystems lässt sich aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten und bei „...die die Menschen wirklich wollen“ ist die Antwort auf die Frage was der Mensch wirklich will stark von dessen Standpunkt und dessen Umwelt abhängig. Unmittelbar ist der Mitarbeiter, der in seinem Arbeitsprozess unterstützt werden soll, beteiligt. Sein Interesse ist eine bestmögliche Unterstützung und Entlastung von physischen Belastungen, monotonen, repetitiven sowie taktgebundenen Tätigkeiten. Im Sinne des Mitarbeiters sind zudem eine schnelle Erlernbarkeit und eine intuitive Bedienung eine Grundvoraussetzung. Dem gegenüber stellen eine vollständige Entbindung von der Tätigkeit und die Befürchtung des Arbeitsplatzverlustes, wie es oftmals bei der Vollautomatisierung der Fall ist, negative Assoziationen dar. Eine wissenschaftliche Betrachtung der Sichtweise des Mitarbeiters in der Fertigung kann durch Arbeitspsychologie, -physiologie und -medizin erfolgen. Aus der Perspektive der Unternehmen und aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind die Kosten-Nutzen-Bilanz und der „Return on Investment“ bedeutende Argumente. Aber auch langfristige Betrachtungen, wie eine Steigerung der ergonomischen Arbeitsbedingungen, aus denen geringere Ausfallzeiten resultieren, gewinnen zunehmend an Bedeutung. In den Bereichen Medizin, Re-

habilitation und Pflege sind die gesetzlichen und privaten Versicherer durch den gesellschaftlichen Wunsch geringer Beiträge getrieben, Behandlungs- und Pflegekosten zu reduzieren. Unabhängig vom Einsatz in der Industrie oder des Gesundheitswesens ergeben sich bei der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter viele rechtliche Fragen, wodurch auch die Einbeziehung von Juristen ein probates Mittel sein kann. Aus den verschiedenen Blickwinkeln auf die Mensch-Roboter-Kollaboration lassen sich folgende Anforderungen und Wünsche ableiten:

- Schnelle und einfache Entwicklung sowie Inbetriebnahme von MRK Systemen
- Unterstützung bei der interdisziplinäre Teamarbeit in der Entwicklung
- Unterstützung des Mitarbeiters bei belastenden Tätigkeiten
- Intuitive Bedienung der Assistenzsysteme
- Steigerung der Effektivität
- Schaffung neuer Fertigungsmöglichkeiten
- Schaffung neuer Behandlungsmöglichkeiten
- Geringe Investitionskosten
- Rechtssicherheit für Inverkehrbringer und Betreiber

Die Nachfrage zu Systemen mit direkter Mensch-Technik-Interaktion steigt stetig. Gründe hierfür sind der Demographische Wandel mit den Folgen des steigenden Altersdurchschnitts in den Belegschaften und ein steigender Fachkräftemangel sowohl in technischen Berufen als auch im Gesundheitswesen. Der Einsatz von Assistenzsystemen kann die physischen Belastungen reduzieren und somit Berufskrankheiten verhindern oder Mitarbeiter befähigen, trotz altersbedingter Leistungseinschränkungen weiterhin im Beruf tätig zu sein.

Zudem ermöglichen Systeme mit direkter Mensch-Roboter-Kollaboration neue Fertigungsmöglichkeiten. So können Unterstützungs- und Assistenzsysteme als „3. Hand“ fungieren und dem Mitarbeiter Bauteile anreichen oder in einer gewünschten Position und Orientierung fixieren. Durch ein neues Design von Fertigungslinien, etwa nach dem One-Piece-Flow Prinzip, können Schutzzäune und Fördereinrichtungen zwischen manuellen und automatisierten Stationen entfallen und die Montage kompakt an einer Station erfolgen. Prozesse, bei denen eine vollständige Automatisierung aufgrund der Komplexität einzelner Montageschritte nicht möglich ist, können durch MRK-Systeme in eine hybride Montage überführt werden.

Ein weiterer Mehrwert von Assistenzsystemen ist die Steigerung der Attraktivität von Berufen des Handwerks sowie im Rehabilitations- oder Pflegebereich. Mittelfristig lassen sich durch den Einsatz moderner und entlastender Assistenz- und Unterstützungssysteme Berufe wie Schweißfachkraft, Monteur, oder Kranken- und Altenpfleger als weniger physisch belastend darstellen. In der Metallindustrie kann ein moderner Arbeitsplatz, an dem der Mitarbeiter mit einem Roboter zusammenarbeitet, insbesondere junge Leute motivieren klassische Handwerksberufe zu erlernen. Bei Pflegeberufen rücken die Fürsorge und der direkte Umgang mit dem Menschen in den Fokus der Tätigkeit.

3 Grundlagen für die Mensch-Roboter-Kollaboration

Für eine effektive und direkte Zusammenarbeit von Mensch und Roboter ist eine Aufhebung der räumlichen Trennung, die oftmals durch Schutzzäune erfolgt, unumgänglich. Arbeitsbereiche werden bei der Mensch-Roboter-Kollaboration gemeinsam genutzt. Hierbei ist sicher zu

stellen, dass sowohl im regulären Betriebszustand, als auch im Fall einer Störung, eine Gefährdung des Mitarbeiters ausgeschlossen wird. Dies betrifft neben den am Prozess beteiligten Mitarbeitern auch weitere Personen. Die Änderung des Zellenaufbaus ergibt neben der Befähigung der direkten Zusammenarbeit von Mensch und Roboter weitere neue Möglichkeiten, etwa bei der Anlagengestaltung oder bei der Gestaltung des Prozessablaufes.

Im Bereich der Robotik sind Schnittstellen zur Übergabe von Materialen, wie etwa durch Wendepositionierer oder geschützte Förderbänder, Standardapplikationen. Seit den letzten Jahren können sich erste Systeme mit einer direkten Mensch-Roboter-Kollaboration am Markt etablieren. Verschiedene Unternehmen der Automobilindustrie setzen Systeme ein, um den Mitarbeiter in der Endmontage von mühsamen und belastenden Tätigkeiten, wie dem Setzen von Türdichtungen oder der Handhabung empfindlicher Glühstiftkerzen, zu entlasten [1]. Dass derartige Anlagen zuvor nicht eingesetzt wurden, hat verschiedene Gründe.

Zum einen erfolgte durch die Hersteller die Entwicklung von Komponenten, welche die technische Grundlage für sichere Applikationen der Mensch-Roboter-Kollaboration bieten. Beispiele hierfür sind Roboterkinematiken, die einerseits durch die Integration von Sensorik und der Steuerungstechnik, andererseits durch ein Design ohne scharfe Kanten oder durch nachgiebige Oberflächen ein deutlich geringeres Gefährdungspotential mitbringen. Ferner existieren inzwischen Sensorsysteme wie das Pilz SafetyEye oder Sicherheits-Laserscanner von Sick, die eine flexible Absicherung von Arbeitsräumen ermöglichen.

Zum anderen wurden vor wenigen Jahren Normen, wie die DIN EN ISO 10218 „Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen“ Teil 1 [2] und 2 [3], überarbeitet. Hierdurch sind Schutzprinzipien mit einem sicherheitsgerichteten überwachten Stillstand, durch Führen von Hand, mit Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung sowie leistungs- und kraftbegrenzt möglich, sofern die Prozesse durch sichere Technik überwacht werden. Um trotz der erweiterten Normensituation einen gefahrlosen Betrieb sicherzustellen, muss der Inverkehrbringer, bei Eigenkonstruktionen der Betreiber, nach dem Produktsicherungsgesetz die Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) befolgen, welche die Durchführung einer Risikobeurteilung fordert. Bei der Risikobeurteilung wird untersucht, ob eine Risikominimierung erforderlich ist und wie eine Be seitigung oder - durch den Einsatz von Schutzeinrichtungen - eine Minimierung der Gefährdung erfolgen kann. Zwar steigt der Aufwand für den Inverkehrbringer, jedoch entsteht so erst die Möglichkeit neue Systeme mit einer direkten Mensch-Roboter-Kollaboration zielgerichtet nutzbar zu machen. Weiterführende Informationen sind in [4] zusammengefasst. Da sich die Rechtsprechung meist auf den Stand der Technik und die aktuelle Normenlage stützt, erfolgte durch die Änderung der Normen auch eine Veränderung der juristischen Situation.

4 Assistenzsysteme für die industrielle Produktion

In der industriellen Produktion stellt insbesondere das Handhaben hoher Bauteilgewichte eine physische Belastung der Mitarbeiter dar. Hilfsmittel wie Krananlagen und Handhabungsgeräte stellen zwar eine Unterstützung dar, sind jedoch entweder aufgrund ihrer Universalität nur eine Teilunterstützung oder sehr speziell ausgelegt, was zum einen hohe Investitionskosten, zum anderen kaum Flexibilität mitbringt. Zudem ist der Einsatz oftmals sehr zeitintensiv. Im Rahmen der Entwicklung eines robotergestützten Assistenzsystems für Schweißaufgaben lagen die handhabungsbedingten Nebenzeiten bei 1/3 der Gesamtprozesszeit. Ergonomische Analysen der Tätigkeiten in verschiedenen, manuellen Schweißprozessen ergaben, dass die physischen

Belastungen der Mitarbeiter auf statischen, unergonomischen Haltepositionen resultieren, etwa durch stark gebeugte oder gedrehte Rumpfhaltung und Überkopfarbeiten (siehe Abb. 1, links). Die Bauteile werden in der Regel erst positioniert, fixiert und anschließend verschweißt. Dies geschieht entweder in der späteren Einbaulage, in Spannvorrichtungen oder auf einem starren Schweißtisch. Eine ergonomische Arbeitsposition für den Mitarbeiter oder eine schweißtechnisch optimale Ausrichtung der Bauteile kann nicht berücksichtigt werden. Ein weiterer Einsatzbereich sind Montagetätigkeiten. Hier können schnell einlernbare Assistenzsysteme den Mitarbeiter bei stark monotonen und repetitiven Tätigkeiten unterstützen und von einem Anlagenakt entkoppeln. Durch eine Gestaltung zum Einsatz an verschiedenen Arbeitsstationen können gezielt leistungsgeminderte Mitarbeiter unterstützt werden oder das Assistenzsystem gezielt an Engpässen bei schwankenden Auftragsvolumina unterstützen. In der zum größten Teil manuell erfolgenden Endmontage der Automobilindustrie steigt der Bedarf an roboterbasierten Assistenzsystemen aus ergonomischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Die Fertigungsstruktur sieht vor, viele Baugruppen von Zulieferbetrieben vormontiert in die Montagewerke liefern zu lassen oder die Vormontage von Baugruppen nahe dem Endmontagebereich bedarfsgerecht und ohne Zwischenlagerung zu montieren. Der Einbau der zum Teil sehr großen, sperrigen und schweren Baugruppen in die bereits lackierte Fahrzeugkarosserie erfordert großen technischen und zeitlichen Aufwand sowie hohe Sorgfalt. Die derzeit eingesetzten technischen Hilfsmittel sind zum einen zu unflexibel für die stetig steigende Variantenvielfalt und immer kürzeren Produktlebenszyklen. Zum anderen führt die Bedienung der derzeitigen eingesetzten Hebehilfe immer noch zu ergonomisch kritischen Arbeitsbedingungen.

Assistenzsysteme bieten eine Möglichkeit den Anforderungen nach ergonomischen und altersgerechten Arbeitsbedingungen nachzukommen und die Mitarbeiter durch Entlastung von körperlich schweren und belastenden Tätigkeiten zu unterstützen. Erste Entwicklungen zeigen, dass durch die Änderung der Normenlage der Einsatz von Standardindustrierobotern in Grenzen zulässig ist und somit neue Möglichkeiten entstehen. Die hohe Anzahl an Freiheitsgraden und die Anpassbarkeit an verschiedenste Aufgaben schaffen neue Möglichkeiten der Assistenz. Hierbei ist die Implementierung entsprechender Sicherheitssensorik und Nutzung von sicheren Robotersteuerungen unabdingbar. Ferner gilt es aus den verschiedenen Einzelkomponenten, wie Robotern und deren Steuerungen, Sensorik, und allen weiteren Komponenten einer Roboterzelle, ein sicheres Gesamtsystem zu erstellen. Im Falle der Schweißassistenz wurden zwei Roboter mit Traglasten von bis zu 400 kg genutzt, um dem Mitarbeiter die zu schweißenden Bauteile in einer ergonomisch günstigen Position bereit zu stellen. Des Weiteren konnte erzielt werden, dass optimierte Schweißreihenfolgen eingehalten werden können und das Schweißen in Vorzugslage erfolgen kann. Somit können, neben einer Verbesserung der ergonomischen Bedingungen für den Mitarbeiter, auch die Qualität der Bauteile erhöht und Nacharbeiten reduziert werden [5]. Abbildung 1 zeigt das Schweißen der gleichen Naht einer Baugruppe ohne und mit robotergestütztem Assistenzsystem.



Abb. 1: Schweißen der gleichen Naht ohne und mit robotergestütztem Assistenzsystem

Bei Montageprozessen in der Automobilindustrie, etwa dem Montieren von Sitzen, Armaturentafeln oder Verkleidungselementen, sind oft mehrere Mitarbeiter gebunden, um die Bauteile durch Karosserieöffnungen, wie Türen oder den Kofferraum, in das Fahrzeug zu führen. Das Befestigen selber kann wiederum oftmals nur ein Mitarbeiter durchführen, da der Platz im Fahrzeug begrenzt ist. Hier können robotergestützte Assistenzsysteme neben der Ergonomie auch die Ressourcenplanung verbessern. Als Herausforderungen gelten hier der Einsatz von Robotern in der Fließfertigung und die häufig geringen Platzverhältnisse. Für eine barrierefreie Interaktion von Mensch und Roboter müssen die assistierenden Robotersysteme zum einen sicher gestaltet sein und Gefährdungen ausschließen, zum anderen ist eine Visualisierung der überwachten Bereiche sinnvoll, damit Mitarbeiter die Prozesse nicht ungewollt unterbrechen.

Bei Montagetätigkeiten mit geringen Handhabungskapazitäten können Leichtbauroboter eingesetzt werden. Diese haben den Vorteil, dass ein Teil der erforderlichen Sicherheitssensorik bereits in der Kinematik verbaut ist. Ein weiterer Vorteil ist die geringe Eigenmasse im Verhältnis zur Traglast. Hierdurch kommt es bei Bewegungen des Roboters zu geringeren bewegten Massen und somit zu geringeren Kollisionskräften als bei Standardkinematiken. Dennoch bedarf es beim Einsatz von Leichtbaukinematiken der Durchführung einer Risikobeurteilung. Ziel des Aufbaus eines roboterbasierten Assistenzsystems ist es, dass der Mitarbeiter das System einlernt und anschließend der Roboter die wiederkehrenden Tätigkeiten selbstständig durchführt. Die Interaktion erfolgt hierbei intuitiv durch ein manuelles Führen des Roboters (Abb. 2).



Abb. 2: Grafische Darstellung des manuellen Führens eines Leichtbauroboters

5 Technische Unterstützungssysteme in der Rehabilitationsrobotik

Technische Unterstützungssysteme zu generieren, die die Menschen wirklich wollen ist ein äußerst komplexes Vorgehen, welches von der eigentlichen Entwicklungsstruktur abweicht. Der Endnutzer hat zunächst keine Kenntnisse darüber, was er will. Dazu muss bei ihm zunächst durch einen (äußeren) Reiz ein Bedürfnis geweckt werden. Dadurch erlangt der potentielle Endnutzer zwar einen Eindruck über seine möglichen Bedürfnisse, dieser ist allerdings maßgeblich von außerhalb beeinflusst, sodass die wesentlichen Bedürfnisse der Nutzer häufig ungeachtet bleiben. Dabei kommt die Frage auf, wie beispielsweise Entwickler von Rehabilitationsrobotik Produkte auf Nutzerbasis entwickeln können, ohne weitere Reize oder Impulse zu setzen. Gerade im Bereich der Rehabilitationsrobotik stellt die Ebene der Therapeuten den essentiellen Anknüpfunkt dar, um bedarfsgerecht zu entwickeln.

Im Rahmen der Rehabilitationsrobotik sind im wesentlichen Patienten, Therapeuten und Kostenträger von den Produktentwicklungen der Hersteller betroffen/abhängig. Hier kommt die Frage auf, welche Anreize die Rehabilitationsrobotik für die verschiedenen Institutionen bietet. Um ein optimales Produkt zu entwickeln, ist die durchgängige Zusammenarbeit aller beteiligten Institutionen (vom Entwickler bis zum Endanwender) ein wesentlicher Aspekt, um auf Basis gemeinsamer Ziele zum Gelingen beizutragen. Im Zuge des Demographischen Wandels und einer bei steigender Lebenserwartung immer älter werdenden Bevölkerung, kommt es zu einem erhöhten Bedarf an medizinischer Versorgung. Auffallend ist dabei, dass eine Vielzahl der Erkrankungen nicht nur die alternde Gesellschaft betreffen, sondern auch vermehrt bei jungen Menschen auftreten. Aufgrund intensiver Aufklärungsarbeit, fortschreitender Technik und effektiveren Behandlungsmöglichkeiten haben Patienten zunehmend bessere Überlebenschancen, etwa nach einem Schlaganfall oder einem Schädel-Hirn-Trauma. Die steigende Anzahl an Betroffenen erfordert einen Zuwachs an therapeutischen Ressourcen. Somit sind technische Unterstützungssysteme in der Rehabilitation unausweichlich. Auf diese Weise ist es möglich, der steigenden Anzahl an Patienten gerecht zu werden, wiederholgenaueres Training zu ermöglichen und gleichzeitig die Kapazitäten für eine intensivere Betreuung, bei gleichzeitiger körperlicher und zeitlicher Entlastung der Therapeuten, zu schaffen. Somit ist dies auch ein Weg, um Vorzubeugen, dass der „Helfende“ zum „Betroffenen“ wird.

Bei den bisher entwickelten Rehabilitationsrobotern handelt es sich zumeist um Systeme, die komplexe, vielfach spezielle, bzw. neu entwickelte Komponenten umfassen und so entsprechend teuer bezüglich Anschaffung und Wartung sind (Vgl. Lokomat, Hocoma [6]; HIROB, Intelligent Motion [7]). Ein kommerziell rentabler Einsatz der robotischen Therapiesysteme bzw. der damit verbundenen Therapie kann daher aktuell noch in Frage gestellt werden und mindert die Wahrscheinlichkeit einer entsprechenden Kostenübernahme durch die Rehabilitationsträger. Aufgrund des benötigten Platzbedarfs und der erwähnten Komplexität kann die Mehrheit der bisher entwickelten Systeme ausschließlich in Rehabilitationseinrichtungen einer ausreichenden räumlicher Größe und technischen Ausstattung eingesetzt werden. Es besteht somit bisher ein Mangel an robotergestützten Therapiesystemen, die zum einen entsprechend kostengünstig gestaltet sind sowie zum anderen möglichst geringen Platzbedarf erfordern. Des Weiteren dürfen die Bedienung und die technischen Voraussetzungen den Anwender nicht überfordern, so besteht sogar die Möglichkeit Therapiesysteme im häuslichen Umfeld des Patienten zur motorischen Rehabilitation einzusetzen.

Im Rahmen einer Befragung der Techniker Krankenkasse äußerte sich diese, dass es grundsätzlich nötig sei die Evidenzlage von Rehabilitationsrobotern bezüglich Nutzen und Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Zudem ist es aus Sicht der Krankenkasse erforderlich herauszufinden, wann es am sinnvollsten ist, eine robotergestützte Therapie beim Patienten anzuwenden und welche Patienten am ehesten von einer solchen Therapie profitieren.

Durch Physiotherapeuten (befragte Einrichtungen: AMBULANTICUM, Helios Kliniken) aufgezeigter Handlungsbedarf liegt beispielsweise in der Verbesserung von Möglichkeiten zur Beurteilung des Therapiefortschritts, um so eine entsprechende Dokumentation zu gewährleisten. Des Weiteren spielt die Nutzerfreundlichkeit der zur Verfügung stehenden Systeme eine wesentliche Rolle. Zudem ist es notwendig, dass die Anschaffungskosten und der Personalaufwand für Vorbereitung und Durchführung der Therapie im zukünftigen Entwicklungsprozess von Rehabilitationsrobotern entsprechende Berücksichtigung finden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklungen zeigen, dass Systeme mit direkter Mensch-Roboter-Kollaboration aus Sicht von Industrie und Mitarbeitern, aber auch aus gesellschaftlicher Sicht, sowohl aus industrieller Sicht, als auch für den Bereich der Rehabilitation von großem Nutzen sind. Zudem verstärken der Demographische Wandel und die damit verbundene Veränderung des Durchschnittsalters von Belegschaften und der Gesellschaft zukünftig die Nachfrage. Die Änderungen der Normenlage sowie technische Weiterentwicklungen ermöglichen den Einsatz erster Systeme, in denen Mensch und Roboter direkt miteinander interagieren. Es ist zu erwarten, dass die Nachfrage technischer Unterstützungssysteme stark steigen wird, wodurch sich der technische und Entwicklungstechnische Mehraufwand rechtfertigen lässt. Im Vergleich zur klassischen Automatisierung stellt neben der erweiterten Risikobeurteilung die Entwicklung von intuitiven Benutzerschnittstellen eine Herausforderung dar. Sowohl für den industriellen Einsatz, als auch im Bereich der Rehabilitation, werden die Assistenz- und Unterstützungssysteme von Anwendern genutzt, bei denen weder Expertenwissen aus dem Bereich der Robotik, noch eine außerdörfliche Technikaffinität vorausgesetzt werden kann. Intuitive Systeme, wie grafische Bedienoberflächen in der Kommunikationselektronik oder das Einlernen durch direktes Führen des Systems am Werkzeug des Roboters stellen hier anzustrebende Technologien dar.

Bei der Entwicklung von technischen Unterstützungssystemen in der Rehabilitationsrobotik ist eine durchgängige Zusammenarbeit von Entwicklern, Kostenträgern und Endanwendern (aktiv und passiv) notwendig, um bedarfsgerecht zu entwickeln und eine hohe Nutzung der Unterstützungssysteme zu erlangen.

Da bei Produkten der Reharobotik der Begeisterungsfaktor (Vgl. Kano-Modell) nicht in dem Produkt selbst liegt, sondern in den Ergebnissen, die bei den Patienten und Therapeuten durch dieses Produkt erzielt werden können, ist der Weg, eine breite Anwendergruppe mit dem Produkt zu begeistern, wesentlich erschwert.

Um die Akzeptanz der Nutzer zu erhöhen und eine breite Anwendergruppe zu erreichen werden im Kontrast zu den bislang großen, teuren und nur stationär einzusetzenden Unterstützungssystemen solche benötigt werden, die kleiner und kostengünstiger sind und zudem ortsunabhängig eingesetzt werden können.

7 Literatur

- [1] http://www.automationspraxis.de/home/-/article/33568397/38810240/Robo-Assistentenblasen-zum-Sturm-auf-die-Fabrik/art_co_INSTANCE_0000/maximized/ (Aufgerufen am 13.11.2014).
- [2] DIN EN ISO 10218-1:2011 Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter.
- [3] DIN EN ISO 10218-2:2011 Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 2: Robotersysteme und Integration.
- [4] VDMA Positionspapier: Sicherheit bei der Mensch-Roboter-Kollaboration, herausgegeben vom VDMA Robotik + Automation, 2014.
- [5] Thomas, C.; Kuhlenkötter, B.; Busch, F. und Deuse, J.: Gewährleistung der Humansicherheit durch optische Arbeitsraumüberwachung in der Mensch-Roboter-Kollaboration: Automation. VDI-Berichte 2143 (2011), S. 259-262. 2011.
- [6] Hocoma: Product overview. URL: <http://www.hocoma.com/products/> (abgerufen im Oktober 2014).
- [7] Barth, A.: Hirob. Intelligent Motion GmbH. 2014.
URL: <http://www.intelligentmotion.at/index.php/de/produkte/hirob?limitstart=0> (Abgerufen am 08.08.2014).

Realitätsnahe Information älterer Menschen mit dem VATI-Online-Navigator¹

A. Hoff, G. Thiele

Hochschule Zittau/Görlitz, Fakultät für Sozialwissenschaften

J. Lässig, A. Schulz

Hochschule Zittau/Görlitz, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik

Furtstr. 2, 02826 Görlitz

a.hoff@hszg.de

Kurzzusammenfassung

Technische Assistenzsysteme haben das Potential, älteren Menschen ein Leben in Unabhängigkeit und hoher Lebensqualität in ihrem gewohnten häuslichen Umfeld zu ermöglichen und zugleich die öffentlichen Haushalte/Sozialversicherungssysteme von ausufernden Kosten für stationäre Pflege zu entlasten. Jedoch sind sich viele ältere Menschen nicht der entsprechenden Möglichkeiten und deren Finanzierung bewusst. Der sich im Aufbau befindliche interaktive, webbasierte VATI-Technologie-Navigator ist ein lebensnahes Konzept, das ältere Menschen umfassend, leicht verständlich und frei von wirtschaftlichen Interessen informiert. Parallel dazu werden ältere Menschen in einer Längsschnittbefragung zu Erfahrungen, Barrieren und Verbesserungsvorschlägen im Umgang mit technischen Hilfsmitteln befragt.

Abstract

Realistic Information of Older People Using the VATI Online Navigator

Assisted living technologies have the potential to enable older people continuing to live independent lives in high quality of life in their own homes and, at the same time, relieving public budgets / social insurance systems of costs for institutional care spiraling out of control otherwise. However, many older people are not aware of the appropriate opportunities and how to finance them. The interactive web-based VATI Online Navigator which is currently being developed is a realistic concept providing older people with comprehensive, easy-to-understand and impartial information. In parallel, older people will participate in a longitudinal survey of their experiences in using assisted living technologies, barriers experienced and suggestions for their improvement.

¹ Das Forschungsprojekt „VATI – Vertrauen in Assistenz-Technologien zur Inklusion älterer Menschen“ wird im Rahmen der Förderrichtlinie „Soziale Innovationen für Lebensqualität im Alter“ (SILQUA) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Die Autoren danken ausdrücklich Frau Dr. Ivonne Honekamp und Herrn Prof. Dr. Wilfried Honekamp für ihre Mitwirkung bei der Antragstellung, die sie als Angehörige der Fakultäten Management und Kulturwissenschaften bzw. Elektrotechnik und Informatik der Hochschule Zittau/Görlitz geleistet haben. Beide haben die Hochschule inzwischen in Richtung Hamburg verlassen. Außerdem bedanken wir uns bei Herrn Wilfried Preißler für seine Mitarbeit.

1 Einleitung: Gesellschaftliche Relevanz

Im Vergleich zur Mitte des 20. Jahrhunderts hat sich die Altersstruktur der deutschen Gesellschaft stark verändert. Der Anteil älterer Menschen (65 Jahre und älter) an der Gesamtbevölkerung ist seit 1960 auf mehr als ein Fünftel (20,7%) angestiegen und hat sich somit fast verdoppelt [1,2]. Deutschland ist nun das Land mit der durchschnittlich ältesten Bevölkerung in Europa und der zweitältesten (nach Japan) weltweit. Bis 2030 geht man von einem Anstieg des Anteils älterer Menschen im Bundesdurchschnitt auf 29,5% und bis 2050 auf fast 35% aus [2]. Die Bevölkerungsalterung wird durch die kombinierten Effekte von steigender Lebenserwartung bei gleichzeitig auf niedrigem Niveau stagnierenden Geburtenzahlen verursacht, so dass der Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung im Verhältnis zu jüngeren Menschen stetig zunimmt.

Dieser gesamtgesellschaftliche Trend ist besonders in Sachsen gravierend, dem Bundesland mit der gegenwärtig durchschnittlich ältesten Bevölkerung in Deutschland. Hier liegt der Anteil der 65-jährigen und älteren Menschen schon heute bei einem Viertel [1] und ist damit der bundesweiten Entwicklung um ca. zehn Jahre voraus. Prognosen für die nächsten Jahrzehnte gehen für die fünf ostdeutschen Bundesländer (ohne Berlin) von einem Anstieg des Anteils über 65-Jähriger auf 35,5% (2030) bzw. 39,6% (2050) aus [2], womit Sachsen ebenso wie seine ostdeutschen Nachbarn zu einem Experimentierfeld mit Signalwirkung für ganz Deutschland wird. In einigen Regionen wie zum Beispiel dem Landkreis Görlitz und dem Vogtlandkreis ist schon heute ein Drittel der Bevölkerung 60 Jahre² und älter – die Prognosen des Statistischen Landesamtes Sachsen gehen bis 2025 von einem Anstieg auf bis zu 46% aus [3-5].

Die am schnellsten wachsende Altersgruppe sind die über 80-Jährigen, also die Altersgruppe mit dem höchsten Risiko von Pflegebedürftigkeit. Waren in Deutschland 2011 2,5 Millionen Menschen pflegebedürftig, wird bis 2030 mit einem weiteren Anstieg auf dann 3,36 Millionen gerechnet [14]. Das Prinzip „ambulante vor stationärer Pflege“ wird dementsprechend in Zukunft noch stärker zum Leitmotiv der Versorgung pflegebedürftiger älterer Menschen werden, um die immens hohen Kosten für stationäre Pflege nicht ausufern zu lassen. Es stellt sich die Frage, wie die damit verbundenen Herausforderungen in einer rasch alternden Gesellschaft bewältigt werden können.

Wohnung und Wohnumfeld sind entscheidende Determinanten der Lebensqualität im Alter [6]. Während die Menschen im jüngeren und mittleren Erwachsenenalter bedingt durch ständig wechselnde, stark differenzierte Aktivitäten in Beruf, Familie und Freizeit viel Zeit außer Haus verbringen, wird die Wohnung im Alter zum zentralen Lebensmittelpunkt. Ältere Menschen verbringen viel mehr Zeit zu Hause als jüngere: 20-21 Stunden am Tag [15, 16]. Dementsprechend bestimmen die Wohnbedingungen im Wesentlichen die Lebensqualität älterer Menschen [7].

Die eigene Wohnung ist zudem eng mit der eigenen Identität verwoben. Es ist der ausdrückliche Wunsch der großen Mehrheit der Deutschen, so lange wie möglich unabhängig „in ihren eigenen vier Wänden“ zu leben [15]. Die Fähigkeit, möglichst lange in der eigenen Wohnung leben und noch den eigenen Haushalt führen zu können, wird dabei als Sinnbild der eigenen Kompetenz und Unabhängigkeit erfahren. Aktivitätsbereiche des selbständigen Wohnens sind insbe-

² Leider beziehen sich die Angaben in diesen Landkreisprognosen auf die 60-jährigen und ältere und nicht auf die 65-jährigen und älteren Menschen.

sondere basale Aktivitäten, welche die persönliche Existenz und das Leben in der eigenen Wohnung absichern (Selbstpflege, Essen etc.) sowie instrumentelle Aktivitäten, d.h. komplexe Tätigkeiten des Alltags (Medikamenteneinnahme, Nutzung von Transportmitteln, Nahrungszubereitung, Einkaufen etc.) [7]. Auch aus staatlicher Perspektive macht der Ausbau der häuslichen Pflege Sinn, da die Kosten für ambulante Pflege im häuslichen Umfeld erheblich niedriger sind als die für stationäre Pflege.

Obwohl es also die eindeutige Präferenz älterer Menschen ist, zu Hause alt zu werden, ist das traditionelle Familienpflegemodell schon lange keine Selbstverständlichkeit mehr. Aufgrund der zunehmenden Anziehungskraft der ökonomisch erfolgreichen urbanen Zentren zu Lasten der ländlichen Peripherie nimmt die räumliche Entfernung zwischen älterer, mittlerer und jüngerer Generation immer weiter zu [17, 18]. Wahrscheinlich als Reaktion darauf zu verstehen ist der Befund aus einer Fallstudie zu den Wohn- und Pflegewünschen älterer Menschen im Raum Weißwasser in Ostsachsen, dass inzwischen etwa die Hälfte der Befragten nicht mehr erwartet, von Angehörigen gepflegt zu werden [19]. Unter Berücksichtigung von demografischem Wandel, Familienstrukturwandel und Arbeitsmarktdynamiken stellt sich die Frage, wie in Zukunft die häusliche Versorgung älterer Pflege-/Hilfebedürftiger durch die Familie überhaupt realisiert werden kann. Voraussetzung für eine angemessene häusliche Versorgung älterer Menschen ist eine altersgerechte Wohnraumanpassung. Stand heute sind allerdings nur etwa 1% des Wohnungsbestands in Deutschland altersgerecht [8]. Assistive Technologien oder Ambient Assisted Living (AAL) Technologien können eine wirksame Alternative darstellen, die bis ins hohe Alter Lebensqualität zu Hause ermöglichen können.

2 Das Potential von assistiven Technologien zur Gewährleistung gesellschaftlicher Teilhabe älterer Menschen

Der heutige Wohnungsbestand ist nicht optimal auf die Bedürfnisse älterer Menschen vorbereitet und birgt Gefahren (z.B. Sturzgefahr durch Schwellen, fehlende Handgriffe, rutschige Gehflächen, zu hohe Einstiege in Badewannen oder Duschkabinen usw.) [vgl. u.a.: 9]. Weniger als ein Viertel älterer Menschen sind sich überhaupt der Möglichkeit einer Wohnraumanpassung und deren Finanzierung bewusst [10]. Gerade einmal 9 % hatten ihre Wohnung bereits entsprechend umgebaut (ibid.). Wahl und Oswald (2012) begründen dies mit fehlenden Beratungsmöglichkeiten [11]. Zudem wird bei vorhandenen Beratungsangeboten oftmals die fehlende Neutralität als problematisch gesehen. Die Evaluation der ersten Geriatrie-Netzwerke in Sachsen hat u.a. den Nachweis eines Defizits an neutralen, d.h. von ökonomischem Eigeninteresse freien Beratungsangeboten, erbracht [12].

Es ist in der Forschungsliteratur inzwischen unbestritten, dass die technische Ausstattung in Zukunft eine deutlich größere Rolle bei Wohnraumanpassungen spielen wird [11]. Das Spektrum assistiver Technologien reicht vom Einbau einfacher technischer Hilfen wie Bewegungsmeldern und Infrarotsteuerungen über vernetzte, sensorgesteuerte Alarm- und Assistenzsysteme, die unmittelbar Unterstützung bei der Pflegeleistung („Telecare“) oder Gesundheitsversorgung („Telehealth“) erbringen bis hin zu Technologien des intelligenten Wohnens („Smart Home Technologies“).

Älteren Menschen wird oft eine geringe Technikakzeptanz nachgesagt. Als Pauschalurteil ist dies so nicht zutreffend – auch ältere Menschen unterscheiden sich erheblich in ihren Vorkenntnissen und Kompetenzen im Umgang mit Technik. Neben der Frage, inwieweit die Betroffenen

im Verlauf ihres Lebens beruflich oder privat mit Technik zu tun hatten, hängt dies in starkem Maße davon ab, ob die Bedürfnisse älterer Nutzer/innen bei Design und Usability technischer Produkte berücksichtigt werden [20] und ob die Nutzung eingeübt werden kann [21]. Das trifft im Übrigen auch auf kognitiv beeinträchtigte Personen wie z.B. Demenzkranke zu [22].

Gelingt eine technikbasierte Wohnraumanpassung, erhöht dies Autonomie und Selbständigkeit älterer Menschen, die länger in vertrauter Umgebung wohnen können. Auch ältere Menschen mit physischen und kognitiven Einschränkungen können so weiterhin am gesellschaftlichen Leben teilnehmen und persönliche Kontakte pflegen. Insbesondere erwartet werden, dass der Nutzen für bisher von Einsamkeit und sozialer Isolation besonders stark betroffenen Gruppen wie z.B. verwitwete Frauen oder chronisch Kranke besonders hoch ist. In diesem Sinne stellt das vorliegende Projekt auch einen wichtigen Beitrag zur sozialen Inklusion älterer Menschen dar.

3 Ziele des Forschungsprojekts VATI

Das Forschungsprojekt „Vertrauen in Assistenz-Technologien zur Inklusion“ (**VATI**), das sich vorrangig an ältere Menschen richtet, vereint die Ziele sozialer und wissenschaftlicher Innovation unter einem Dach:

1. Soziale Innovation: Zentrales Ziel von VATI ist die Etablierung eines Unterstützungsnetzwerks für ältere Menschen. Der interaktive, webbasierte VATI-Technologie-Navigator wird dementsprechend als Zugangsportal zu einer Vielzahl möglicher Unterstützungsquellen/-akteure verstanden, die allesamt regional verankert sind. Es muss vor einem etwaigen Missverständnis gewarnt werden, dass assistive Technologien andere Unterstützungsquellen (z.B. Familie, Pflegedienste, etc.) vollständig ersetzen könnten. Sie können im Gegenteil erst dann ihre volle Wirkung zur Unterstützung älterer Menschen entfalten, wenn sie in ein umfassenderes Unterstützungsnetzwerk integriert sind, wie die Ergebnisse einer neueren britischen Studie überzeugend belegen [23]. Der VATI-Technologie-Navigator soll die Rolle des neutralen Mittlers übernehmen, der älteren Menschen den Zugang zu vertrauenswürdigen, neutralen, von wirtschaftlichen Interessen freien Informationen über assistive Technologien ermöglicht. Nicht zu unterschätzen ist dabei auch die Ersparnis von Zeitkosten, die andernfalls durch eine aufwändige Suche nach vergleichbaren Informationen entstehen würde. VATI orientiert sich an den individuellen Bedürfnissen der älteren Nutzer/innen und ermöglicht ihnen einen einfachen und anschaulichen Zugang zur Nutzung assistiver Technologien mit dem Ziel, eine erhöhte Lebensqualität und gesellschaftliche Teilhabe älterer Menschen durch deren Befähigung zur Selbständigkeit im gewohnten häuslichen Umfeld zu erreichen.

2. Wissenschaftliche Innovation: Aus wissenschaftlicher Perspektive besteht der entscheidende Beitrag des VATI-Forschungsprojekts in einer umfassenden Erhebung bisheriger Erfahrungen älterer Menschen mit AAL-Technologien, ihren Nutzerpräferenzen, Barrieren zum Zugang sowie Verbesserungsvorschlägen bezogen auf existierende Technologie. Es gibt zum heutigen Zeitpunkt zwar einige Befragungen von Nutzern und Nutzerinnen spezifischer assistiver Systeme, aber nach wie vor wenig Wissen über die Akzeptanz solcher Technologien in der älteren Bevölkerung. Dieser Mangel soll durch eine flächendeckende Befragung älterer Menschen und ihrer Angehörigen in Ostsachsen behoben werden. In der ländlich geprägten Region Ostsachsens wird nach dem Zufallsprinzip eine regional repräsentative Stichprobe von $n = 1.000$ 60-jährigen und älteren Menschen gezogen. Dieser Survey wird ein Längsschnittdesign haben, d.h.

mit Hilfe von insgesamt drei Messzeitpunkten sollen Veränderungen in der Akzeptanz assistiver Technologien im Zeitverlauf – vor, unmittelbar nach und mit dem Abstand von einem Jahr nach Einführung des VATI-Technologie-Navigators – erfasst werden. Dieses „AAL-Panel“ wird der deutschen Forschung zu assistiven Technologien bisher einmalige Daten zur Akzeptanz technischer Hilfsmittel zur Verfügung stellen. In einem Folgeschritt (daher das Längsschnittdesign) ist von Interesse, ob die Einführung des VATI-Technologie-Navigators die Einstellung zur Verwendung technischer Assistenzsysteme im Wohnbereich älterer Menschen verändert. Ziel ist die Beantwortung folgender Fragestellungen:

- Welche Erfahrungen haben ältere Menschen mit assistiven Technologien gemacht? Gibt es Berührungsängste? Welche Wünsche haben sie an die Technologie? Welchen Nutzen und welche Kosten haben sie durch den Einsatz dieser technischen Hilfen?
- (Wie) Verändert VATI die Zukunftsplanung älterer Menschen (z.B. technische Wohnraumanpassung statt Umzug in betreutes Wohnen)?
- Gibt VATI den Nutzer/innen mehr Sicherheit im Umgang mit assistiven Technologien und hilft es bei der Entscheidungsfindung?
- Verändert das erworbene Produkt die Lebensqualität und sozialen Teilhabemöglichkeiten der Nutzer/innen bzw. ihrer Angehörigen?
- Wie verändern sich die o. g. Aspekte im Zeitverlauf (Längsschnittperspektive)?

In Vorbereitung dieser Längsschnittstudie werden zudem Experten- und Fokusgruppeninterviews mit spezifischen Nutzergruppen durchgeführt. Die Nutzerinnen und Nutzer des VATI-Technologie-Navigators nehmen zudem an einer Nutzerbefragung ebenfalls im Längsschnittdesign (dem „VATI-Panel“) teil, um das Instrument unmittelbar zu evaluieren. Auch hier wird es im Abstand von jeweils neun Monaten drei Messzeitpunkte geben, die es erlauben, den Anpassungsprozess des Navigators an die Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer wissenschaftlich zu evaluieren.

4 Der VATI-Technologie-Navigator

VATI orientiert sich an den individuellen Bedürfnissen der älteren Nutzer/innen und ermöglicht ihnen einen einfachen und anschaulichen Zugang zur Nutzung assistiver Technologien mit dem Ziel, eine erhöhte Lebensqualität und gesellschaftlicher Teilhabe durch Befähigung zur Selbstständigkeit im gewohnten häuslichen Umfeld zu erreichen. Im Folgenden wird die Vorgehensweise dabei detailliert erläutert:

Die Bereitstellung von vertrauenswürdigen Informationen, die frei von wirtschaftlichen Interessen sind, bildet den Kern von VATI. Gewährleistet wird das durch die Trägerschaft, Koordination und Überwachung durch eine wissenschaftliche Einrichtung im Rahmen der Hochschule Zittau/Görlitz. So kann sichergestellt werden, dass den älteren Nutzer/innen bzw. ihren Angehörigen die jeweils am besten geeignete Technologie empfohlen wird. Dieses Vertrauen stellt einen Grundpfeiler des Technologie-Navigators dar. Um eine einheitliche Plattform zu bieten, wird der VATI-Technologie-Navigator als interaktive, webbasierte Online-Plattform allen Nutzern und Interessenvertretern zur Verfügung gestellt. Der Fokus liegt dabei auf einem möglichst niedrigschwelligen und sprachlich barrierefreien Angebot, um ältere Nutzer nicht abzuschrecken. Zu den besonderen Herausforderungen in diesem Zusammenhang gehört die Verwendung von Begriffen, die der Alltagssprache älterer Menschen entlehnt sind und ggf. der

Verzicht auf die in der einschlägigen Forschung zu AAL und assistiven Technologien gebräuchlichen Terminologie bzw. die Übersetzung derselben in die Alltagssprache älterer Menschen.

Ein weiteres wichtiges Detail dieser Umsetzung ist die Realisierung von abgeschirmten Interaktionsräumen der verschiedenen Nutzergruppen, um einerseits eine barrierefreie Kommunikation und andererseits einen umfassenden Datenschutz zu gewährleisten. So werden geeignete Features für eine reibungslose Interaktion der Nutzer bei gleichzeitiger Berücksichtigung vielfältiger Datenschutzinteressen geboten.

Der VATI-Technologie-Navigator fußt des Weiteren auf einer Knowledge-Engineering-Komponente, welche die Fakten und Regeln für die Abbildung von Domain-Informationen zu assistiven Technologiealternativen hinterlegt. Hierzu zählen beispielsweise die Bedürfnisse des Nutzers, mögliche Krankheitsbilder oder bestimmte physische/kognitive Einschränkungen und das gegenwärtige Wohnumfeld. Mithilfe dieser Wissenskomponente erfragt die Nutzeroberfläche des Technologie-Navigators zunächst den Bedarf der Nutzer/innen, um den individuellen Bedürfnissen entsprechende Technologien und Wohnraumanpassungen vorzuschlagen.

Nutzer/innen erhalten dabei alles aus einer Hand: Informationen, Aufklärung, individuelle Vorschläge zu geeigneten AAL-Produkten, Kontakt zu Herstellern/Anbietern solcher Produkte sowie die Möglichkeit des Austauschs mit existierenden Nutzer/innen assistiver Technologien. Weiterhin bietet der VATI-Technologie-Navigator die Möglichkeit, Technologien anhand von Pilotlösungen mit Profilseite und Videosequenzen in Aktion zu betrachten, Informationen über aktuelle Entwicklungen bis hin zur Ansprache von gegenwärtigen Nutzer/innen entsprechender Technologien. VATI trägt somit nicht nur zum Abbau vorhandener Barrieren bei – es verringert auch Such- und Informationskosten/-aufwand.

Neben diesen eher nutzerorientierten Funktionen, bietet der Technologie-Navigator auch Herstellern und Anbietern eine Plattform. So können beispielsweise Interessent/innen AAL-Anlagen aus einem Technologiebaukasten heraus selbst konfigurieren. Dieser Technologiebaukasten wiederum wird durch Hersteller und Lieferanten gepflegt, die VATI als Kommunikationsplattform mit Nutzer/innen anwenden und Informationssuchende so auf dem aktuellen Stand in Bezug auf Neuentwicklungen halten können.

5 Ausblick

Bestandteil von VATI ist eine umfassende Datenerhebung der Bedürfnisse/Präferenzen, des Kenntnisstandes über die Inanspruchnahme von und Barrieren gegenüber einer Nutzung von assistiven Technologien im häuslichen Umfeld durch ältere Menschen in einer in Deutschland einmaligen Längsschnitterhebung in zwei unabhängigen Panel-Stichproben. Diese Daten sollen im weiteren Verlauf in die Weiterentwicklung des VATI-Technologie-Navigators einfließen und der weiteren Verbesserung des Systems dienen. VATI wird zunächst in einer geografisch begrenzten Region, dem Landkreis Görlitz in Ostsachsen, eingeführt und umfassend evaluiert. Aufgrund der eingangs beschriebenen fortgeschrittenen Bevölkerungsalterung in Sachsen und im Landkreis Görlitz kann VATI als Modellprojekt mit Signalwirkung für die gesamte Bundesrepublik verstanden werden. Nach erfolgreicher Etablierung wird eine Replikation in anderen Regionen angestrebt.

6 Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: Ältere Menschen in Deutschland und der EU. Statistisches Bundesamt, 2011.
- [2] Gerostat: Bevölkerungsprognose: Bevölkerung Deutschlands bis 2060. Basisdaten Statistisches Bundesamt, 12. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Deutsches Zentrum für Altersfragen, <http://www.gerostat.de/> (03.09.2014), 2014.
- [3] Statistisches Landesamt Sachsen: Wie entwickelt sich die Bevölkerung in den sächsischen Landkreisen bis 2025? Statistisches Landesamt Freistaat Sachsen, 2011a.
- [4] Statistisches Landesamt Sachsen: Wie entwickelt sich die Bevölkerung in den sächsischen Landkreisen bis 2025? Landkreisinformation Landkreis Görlitz. Statistisches Landesamt Freistaat Sachsen, 2011b.
- [5] Statistisches Landesamt Sachsen: Wie entwickelt sich die Bevölkerung in den sächsischen Landkreisen bis 2025? Landkreisinformation Vogtlandkreis. Statistisches Landesamt Freistaat Sachsen, 2011c.
- [6] Mahne, K.; Naumann, D. und Block, J.: Das Wohnumfeld Älterer. Altern im Wandel. Befunde des Deutschen Alterssurveys. Hrsg.: Motel-Klingebiel, A., Wurm, S. u. Tesch-Römer, C. Kohlhammer, S. 142-162, 2010.
- [7] Thiele, G.: Soziale Arbeit mit alten Menschen. Fortis, 2001.
- [8] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Altersgerecht Umbauen: Mehr Wohn- und Lebensqualität durch weniger Barrieren. Verfügbar unter: <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/SW/altersgerecht-umbauen-lebensqua-litaet.html> (19.08.2013), 2013.
- [9] Iwarsson, S.; Nygren, C.; Oswald, F.; Wahl, H.-W. und Tomsone, S.: Environmental barriers and housing accessibility problems over a one-year period in later life in three European countries. Journal of Housing for the Elderly, 20(3): 23-43, 2006.
- [10] Wahl, H.-W. und Oswald, F.: Sozialökologische Aspekte des Alterns. Entwicklungspsychologie des mittleren und höheren Erwachsenenalters, Hrsg. Filipp, S.-H. u. Staudinger, U. M.; Hogrefe, S. 209-250, 2005.
- [11] Wahl, H.-W. und Oswald, F.: Wohnen, Wohnraumanpassung und Gesundheit. Angewandte Gerontologie. Interventionen für ein gutes Altern in 100 Schlüsselbegriffen, Hrsg. Wahl, H.-W.; Tesch-Römer, C. u. Ziegelmann, J. P.; Kohlhammer, S. 492-498, 2012.
- [12] Hoff, A.: Modellregionen für die geriatrische Versorgung in Sachsen. Ergebnisbericht der ersten Netzwerkbefragung im Rahmen des Evaluationsprojekts. Hochschule Zittau/Görlitz, 2012.
- [13] Lanzieri, G.: The greying of the baby boomers. A century long view of ageing in European populations; Eurostat Statistics in focus 23/2011, 2011.
- [14] Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB): Bevölkerung: Daten, Fakten, Trends zum demografischen Wandel in Deutschland. Verfügbar unter: http://www.bib-demografie.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Download/Broschue-ren/bev3_2008.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [13.10.2012], 2008.
- [15] Saup, W. und Reichert, M.: Die Kreise werden enger: Wohnen und Alltag im Alter. Funkkolleg Altern 2, Hrsg. Niederfranke, A.; Naegele, G. u. Frahm, E.; Westdeutscher Verlag, 1999.

- [16] Kruse, A. und Wahl, H.-W.: Zukunft Altern. Individuelle und gesellschaftliche Weichenstellungen. Spektrum, S. 407-423, 2010.
- [17] Hoff, A.: Intergenerationale Familienbeziehungen im Wandel. Altwerden in Deutschland. Sozialer Wandel und individuelle Entwicklung in der zweiten Lebenshälfte, Hrsg.: Tesch-Römer, C.; Engstler, H. u. Wurm, S.; Verlag für Sozialwissenschaften, S. 231-287, 2006.
- [18] Mahne, K. und Motel-Klingebiel, A.: Familiale Generationenbeziehungen. Altern im Wandel. Befunde des Deutschen Alterssurveys. Hrsg.: Motel-Klingebiel, A., Wurm, S. u. Tesch-Römer, C. Kohlhammer, S. 188-214, 2010.
- [19] Hoff, A.; Thiele, G.; Thiele, S. und Rennhak, T.: Wohn- und Pflegewünsche in der Stadt Weißwasser und in den angrenzenden Gemeinden. Hochschule Zittau/Görlitz, 2012.
- [20] Claßen, K.: Technik im Alltag. Angewandte Gerontologie. Interventionen für ein gutes Altern in 100 Schlüsselbegriffen, Hrsg. Wahl, H.-W.; Tesch-Römer, C. u. Ziegelmann, J. P.; Kohlhammer, S. 499-506, 2012.
- [21] Rogers, W. A. und Fisk, A. D.: Toward a psychological science of advanced technology for older adults. The Journals of Gerontology: Psychological Sciences and Social Sciences, 65(B): 645-653, 2010.
- [22] Heeg, S.; Heusel, C.; Kühnle, E.; Külz, S.; Lützau-Hohlbein, H. von; Mollenkopf, H.; Oswald, F.; Pieper, R.; Rienhoff, O. und Schweizer, R.: Technische Unterstützung bei Demenz. Huber, 2007.
- [23] Yeandle, S.: Frail Older People and their Networks of Support: how does telecare fit in? University of Leeds. <http://circle.leeds.ac.uk/projects/current/aktive/> (20.10.2014), 2014.

Perturmed

Ein aktiv steuerbares Trainingsgerät für den Einsatz in der Rehabilitation und zur Verletzungs- und Sturzprophylaxe

H. Töpfer, D. Kujat, R. Colin, T. Stocker

Hochschule Esslingen, Institut für Angewandte Forschung Mechatronik

Robert-Bosch-Str. 1, 73037 Göppingen

Harald.Toepfer@hs-esslingen.de, Ralf.Colin@hs-esslingen.de

R. Ritzmann, K. Freyler, A. Gollhofer

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Sport und Sportwissenschaft

Schwarzwaldstraße 175, 79117 Freiburg

ramona.ritzmann@sport.uni-freiburg.de, kathrin.freyler@sport.uni-freiburg.de

Kurzzusammenfassung

Der vorliegende Beitrag behandelt eine innovative Idee zur Entwicklung eines Trainingsgeräts für ein reaktives Gleichgewichtstraining. Zum Einsatz kommt hierbei ein aktiv ansteuerbares Trainingsgerät, das mittels Perturbation (vorhergesehene oder unvorhergesehene Auslenkungen) einer schwingenden Plattform Störreize appliziert. Diese Störreize bringen die Menschen, welche auf dieser Plattform stehen, aus dem Gleichgewicht und lösen dadurch posturale Ausgleichsreaktionen aus. Mit einem solchen Gerät können demnach Situationen, welche zu Stürzen führen, realitätsnah simuliert und die dafür nötigen Ausgleichsreaktionen unter kontrollierten Trainingsbedingungen provoziert werden.

Abstract

Active Controlled Platform for Training of Reactive balance control

This article describes an idea of a sporting machine for balance training. The development starts in cooperation with a physiotherapist to build an active controlled machine for expected and unexpected perturbation of a platform. Those perturbations produce oscillations of the humans and activate reactions of balancing on the platform. Such a training can simulate dropping situations and training of balancing under controlled conditions.

1 Einleitung

Der demographische Wandel in Mitteleuropa zeichnet sich durch die voranschreitende Überalterung der Gesellschaft aus. Aufgrund der stetig zunehmenden Zahl älterer Menschen rechnet man zukünftig mit einem deutlichen Anstieg der Gesundheitsausgaben. In Deutschland hat sich laut Altenbericht 2001 in der Zeit von 1900 bis 1998 der Anteil der über Sechzigjährigen von 4,4% auf 18,4% erhöht und wird in den nächsten Jahrzehnten auf 37% ansteigen [1].

Ganz allgemein gehen mit dem Alter Einbußen der Leistungsfähigkeit einher, welche neben der Sinneswahrnehmung auch den Bewegungsapparat betreffen. Altersbedingte Kraft-redukti-

onen, zunehmende Gleichgewichts- und Orientierungsprobleme sowie koordinative Beeinträchtigungen beim Gehen und Stehen zeugen von einer progressiven Abnahme der neuromuskulären Leistungsfunktionen im Alter. Im Genauerem führt der Alterungsprozess zu einem Verlust der Maximal- und Explosivkraft und zu einer veränderten Modulation des Reflexverhaltens beim älteren Menschen. Die altersbedingte Veränderung der Reflexaktivität ist vor allem bedingt durch eine Desensibilisierung der Muskelspindeln, welche wiederum zu einer progressiven Abnahme der sensorischen Nervenbahnen sowie der sensorischen Nervenzellen selbst führt. Der Vorgang des Alterns ist demnach durch strukturelle Degenerationen innerhalb des neuromuskulären Systems gekennzeichnet, welche zu einer Reduktion der neuromuskulären Leistung beitragen. Dies wiederum hat nicht zuletzt Defizite in der Gleichgewichtskontrolle, im Sinne von langsameren und reduziert ausfallenden posturalen Reaktionen auf unvorhergesehene Perturbationen, zur Folge und verursacht somit ein drastisch erhöhtes Sturzrisiko bei älteren Menschen [2].

Um einer durch die aufwändige Altenpflege verursachten Überforderung des öffentlichen Gesundheitssystems entgegenzuwirken, gewinnen Präventions- und Rehabilitationsprogramme zunehmend an Wichtigkeit. Die gesellschaftliche und gesundheitsökonomische Vision solcher Interventionen ist die nachhaltige Stärkung der Autonomie älterer Menschen, der Erhalt ihrer Gesundheit und Selbständigkeit und in Folge dessen eine Verbesserung ihrer Lebensqualität. Konkret werden alte Menschen in diesen Interventionen systematisch in Trainingsprogramme eingebunden. Diese Trainingsprogramme zielen darauf ab, die motorische Kompetenz sowie die Koordination und Kraftfähigkeit alter Menschen zu verbessern und somit die Mobilität bis ins hohe Alter zu erhalten. Gerade den bereits genannten degenerativen Alterungsprozessen des neuromuskulären Systems soll gezielt entgegengewirkt werden. Innerhalb des mannigfaltigen Angebots an Präventions- und Rehabilitationsprogrammen kommt dem Gleichgewichtstraining daher besondere Bedeutung zu.

2 Gleichgewichtstraining

2.1 Im Allgemeinen

Die dynamische und statische Gleichgewichtskontrolle ist von entscheidender Bedeutung bei der Vermeidung von Stürzen. Durch empirische Studien ist ausgesprochen gut dokumentiert, dass Menschen mit einer guten Gleichgewichtsfähigkeit seltener stürzen im Vergleich zu Menschen mit einer schlechten Gleichgewichtsfähigkeit [3]. Eine Störung des posturalen Gleichgewichts kann vor allem durch die altersbedingte Abnahme der sensomotorischen Leistungsfähigkeit verursacht sein. Gerade im Zusammenhang mit Stürzen besagen Studien, dass die Aufrechterhaltung der posturalen Kontrolle und somit die Verhinderung eines Sturzes durch eine effiziente neuromuskuläre Ansteuerung im Allgemeinen und die unwillkürlich rasche reflektorische Muskelaktivierung im Speziellen gekennzeichnet ist. Insbesondere für den alten Menschen besteht also das Ziel, die Gleichgewichtskontrolle zu verbessern.

Gleichgewichtstraining spricht selektiv die Gleichgewichtsfähigkeit an. Das heißt, durch Gleichgewichtstraining werden diejenigen motorischen und neuro-muskulären Parameter trainiert, welche dazu beitragen, den Körper im Gleichgewicht zu halten oder die Balance nach unvermittelten Störreizen wiederzuerlangen. In der Trainingspraxis behilft sich das Gleichgewichtstraining schlicht instabiler Unterlagen zur Erzeugung eines „instabilen Gleichgewichts“.

Zum Einsatz kommen Kippbretter, Matten oder Therapiekreisel. All diese Trainingsgeräte haben gemein, dass der Trainierende kurzzeitig sein Gleichgewicht verliert und es wieder erlangen muss, um stabil stehen zu können [4]. In vergangenen Studien, in welchen der therapeutische Nutzen von Gleichgewichtstraining unter sturz- und verletzungspräventiven Gesichtspunkten untersucht wurde, konnte gezeigt werden, dass ein Gleichgewichtstraining die funktionelle Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Gleichgewichtskontrolle verbessert. Dies bedeutet, dass der posturale Schwankweg nach einer Trainingsintervention deutlich reduziert ist, was wiederum zu einer verbesserten Standstabilität führt. Weiterhin haben empirische Studien gezeigt, dass ein Gleichgewichtstraining neben der posturalen Kontrolle auch die neuro-muskuläre Ansteuerung verbessert [3]. Dieser Effekt zeigt sich in einer deutlich ausgeprägten Steigerung der Kraftfähigkeit. Demzufolge beeinflusst Gleichgewichtstraining neben der Maximalkraft auch die Kraftanstiegsrate positiv. Letztere beschreibt die erzielte Kraft pro Zeit und ist vor allem bei plötzlichen Ausgleichsreaktionen von wesentlicher Bedeutung [2]. Mittlerweile ist belegt, dass ein Gleichgewichtstraining durch die verbesserte neuro-muskuläre Ansteuerung einen gelenkstabilisierenden Effekt in der unteren Extremität erzielt, und somit zu einer verbesserten Gelenkkontrolle führt. In der Literatur wird diskutiert, dass diese funktionellen und neuromuskulären Anpassungen an Gleichgewichtstraining vor allem auf Veränderungen im zentralen Nervensystem (ZNS) zurückzuführen sind [4]. Die verbesserten posturalen Fähigkeiten stehen demnach mit den spezifischen Anpassungen der neuromuskulären Kontrollmechanismen in Zusammenhang.

Auf der Basis dieser Erkenntnisse kann das Gleichgewichtstraining nicht nur zur Nach-behandlung von Sportverletzungen eingesetzt, sondern auch als präventive Maßnahme zur Vermeidung von Verletzungen der unteren Extremitäten oder zur Senkung des Sturzrisikos bei Älteren genutzt werden. In Bezug auf die Sturzprophylaxe sollen die positiven Effekte des Gleichgewichtstrainings den schon angesprochenen altersbedingten Veränderungen im neuromuskulären System, die ein erhöhtes Sturzrisiko zur Folge haben, entgegenwirken und eine gute Gleichgewichtskontrolle wiederherstellen. Durch eine solche Trainingsmaßnahme im Alter können nicht nur die Kraftfähigkeit und die funktionelle Reflexaktivität verbessert werden, sondern auch einen Beitrag zur Reduktion der Sturzgefahr geleistet werden.

2.2 Sonderform Perturbationstraining

Das Perturbationstraining ist eine Sonderform des Gleichgewichtstrainings und basiert auf der Idee des reaktiven Balancierens. Dem perturbationsbasierten Gleichgewichtstraining liegt insbesondere die Spezifität des Belastungsreizes zu Grunde [5]. Der Trainierende wird durch mechanische Auslenkung der Unterstützungsfläche zunächst aus dem Gleichgewicht gebracht. Trotz des destabilisierenden Moments durch die Perturbation soll die Körperstellung beibehalten und das entstandene Ungleichgewicht durch Muskelkontraktion aus-geglichen werden. Diese Reize stellen hohe Anforderungen an das sensomotorische System. Die unvorhersehbaren, in alle Richtungen wirkenden Perturbationen schaffen somit realitätsnahe Bedingungen zur Simulation von Stürzen [6]. Dadurch werden die Gleichgewichtskontrolle sowie die mobilitäts- und funktionalitätserhaltenden Komponenten des alten Menschen auf sehr realistische Weise gefordert und gefördert. Die Reaktionen auf ein plötzliches Hindernis, wie etwa das abrupte Abfangen, werden selektiv angesprochen und trainiert. In der Literatur ist ausgesprochen gut dokumentiert, dass die neuromuskuläre Ansteuerung und motorische Kontrolle in Folge von

Perturbationstraining verbessert sind. Insbesondere spezifische koordinative Fertigkeiten, welche das Ausbalancieren nach einem Stolpern simulieren, können mit Hilfe des Perturbationstrainings adäquat geschult werden [5]. Die Untersuchungen von Obuchi [7] und Bieryla [6] belegen den positiven Einfluss des reaktiven Balancierens im Hinblick auf dessen Einsatz in der Sturzprävention bei Älteren. Nach der Trainings-intervention zeigten die älteren Probanden eine schnellere und verbesserte neuromuskuläre Reaktion auf den jeweiligen Störreiz [7] sowie eine gesteigerte Reaktionsfähigkeit und Verbesserung der Bewegungskoordination [6]. Die Ergebnisse zeigen auf, dass auch das sensomotorische System des alten Menschen über ausreichend Plastizität verfügt und mit einem adäquaten Trainingsreiz die posturale Leistungsfähigkeit verbessert werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass Perturbationstraining zielgerichtet spezifische Aspekte der Gleichgewichtswiederherstellung anspricht, welche nach einer Stolpersituation zur Wiedererlangung des Gleichgewichts von Nöten sind und vor allem bei Älteren beeinträchtigt sind. Aufgrund dieser Eigenschaften ist das Perturbationstraining eine Trainingsintervention, welche gezielt spezifische, schnelle posturale Reaktionen hervorruft und somit annähernd die natürliche Variabilität der Gleichgewichts- und Bewegungsanforderungen simuliert [8]. Aufgrund der genannten Aspekte wird dem Perturbationstraining in der internationalen Fachliteratur bedeutende Relevanz in Bezug auf Sturzprävention im Alter zugesprochen.

3 Technische Umsetzung

3.1 Anforderungen an das Trainingsgerät

Das Trainingskonzept sieht die Entwicklung eines aktiv steuerbaren Trainingsgeräts vor, das mittels Perturbation Störreize appliziert, welche die Versuchsperson aus dem Gleichgewicht bringen und dadurch posturale Ausgleichsreaktionen auslösen. Das Trainingsgerät soll stufenweise einstellbar sein und neben moderater Störreizapplikation (durch schwache und langsame Auslenkung) auch starke Störreize (durch schnelle und große Auslenkung) realisieren können. Das zielgerichtete Training mit dem genannten Gerät verspricht gemäß internationaler Fachstudien optimale Anpassungerscheinungen im Bereich der statischen und dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit sowie der motorischen Kontrolle.

Das Basiswerk des Perturmeds ist das Posturomed (Abb. 1). Das Posturomed ist ein von der Firma Haider Bioswing gefertigtes Therapie- und Trainingsgerät. Es besteht aus einer oszillierenden Platte, die mittels Dämpfungselementen an einem Rahmen aufgehängt ist. Diese Konstruktion erlaubt der Platte das freie Schwingen in alle Richtungen der horizontalen Ebene. Das Training auf dem Posturomed unterstützt die Stabilisierung der vertikalen Körperposition des Menschen. Geringste Abweichungen des Gleichgewichts führen zu einer Bewegungsreaktion der Standfläche, sodass der Trainierende verstärkt neuromuskulär beansprucht wird und arbeiten muss, um den Körper im Gleichgewicht zu halten [9].



Abb. 1: Posturomed von Haider Bioswing – eine an acht Stahlseilen aufgehängte Plattform

Aus der physiotherapeutischen Praxis heraus entstand die Idee, derartige Trainingsgeräte auch von außen, für den Probanden unvorhersehbar und spontan auszulenken, um durch gezielte Perturbation den Trainingsreiz zu verändern und dadurch den Trainingserfolg zu verstärken. Daher wurde im Rahmen dieses Projektes ein aktiv steuerbares Trainingsgerät zum reaktiven Gleichgewichtstraining entwickelt.

3.2 Konzeption des Trainingsgeräts

Das Gerät ist so konstruiert, dass es in der horizontalen Ebene beliebig und für den Probanden oder Patienten zeitlich und räumlich unvorhersehbar ausgelenkt werden kann. Aus technischer Sicht sollte das oben beschriebene Perturbationstraining mit einem Trainingsgerät realisiert werden, das folgende Eigenschaften erfüllen musste:

- Maximale Beschleunigung $1G \approx 9,81 \text{ m/s}^2$
- benötigte Kraft zur Auslenkung ca. 1000 N
- Plattform in ausgelenkter Position halten (150 N)
- Auslenkung $\pm 50 \text{ mm}$ aus der mittigen Neutralposition in alle Richtungen der Horizontalen
- Auslenkung möglichst lautlos
- möglichst wenig Dämpfung der schwingenden Platte, d.h. wenig Gewicht durch Antriebs-einheit
- mechanisch entkoppelt um freies, ungedämpftes Schwingen zu realisieren
- Spannungsversorgung 230V, geringe Stromaufnahme

3.3 Aufbau des elektromagnetischen Antriebssystems

Die Aufgabe im Projekt bestand zusätzlich darin, das vorhandene Trainingsgerät so zu modifizieren, dass ohne große konstruktive Änderungen des Basisgeräts Posturomed (Abb. 1) ein Aktivmodul nachgerüstet werden kann. Dies konnte durch ein elektromagnetisches Antriebssystem aus 4 Spulen und einem Permanentmagnet erreicht werden (Abb. 2).

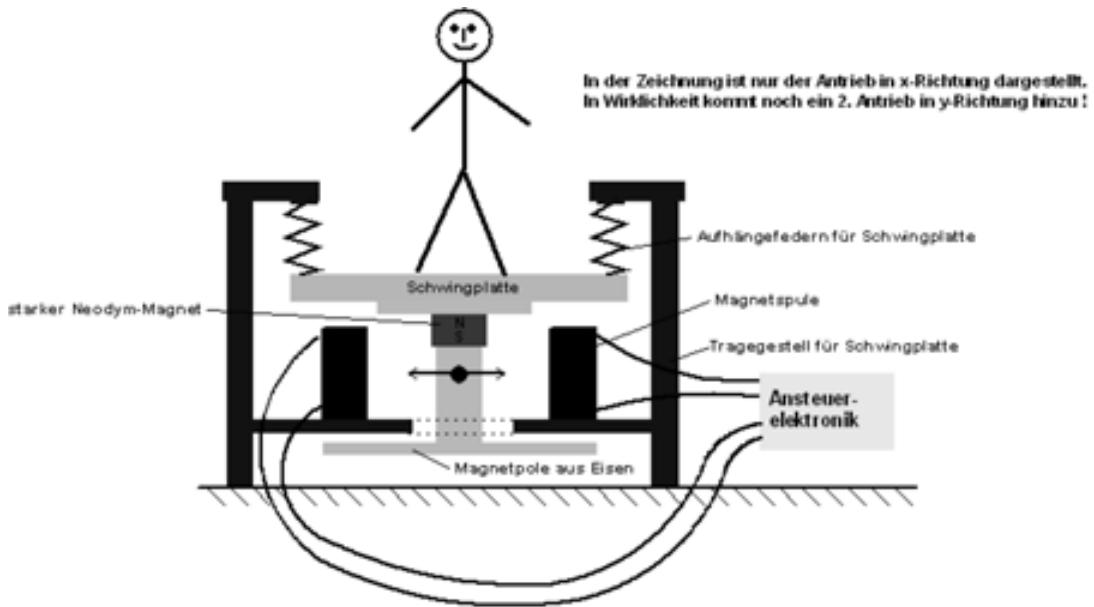


Abb. 2: Elektromagnetisches Antriebsprinzip

Am bisherigen passiven Posturomed wird lediglich ein Permanentmagnet auf der Unterseite zentral angebracht. Das bedeutet eine nur geringe Gewichtszunahme und damit keine mechanische Kopplung oder Dämpfung durch die Antriebseinheit, d.h. das Gerät kann wie bisher auch als passives System eingesetzt werden. Die freischwingende, mechanisch entkoppelte Trittplatte lässt weiterhin die Bewegungen in der horizontalen Ebene für die eigentliche sogenannte erste Koordinationsaufgabe des Probanden, den eigenen Körper in Ruhelage zu bringen, zu.

In dem feststehenden Teil des Geräts wird die Antriebseinheit mit 4 Spulen und optimierter Jochführung integriert. Damit sind die größeren Gewichte in dem statischen Teil des Geräts verbaut und behindern das Bewegungsausmaß der Trittplatte nicht (Abb. 3 und 4).



Abb. 3: Permanentmagnet an der Trittplatte

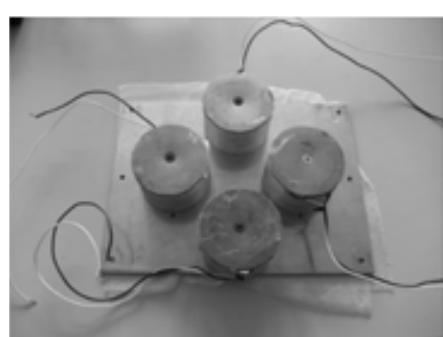


Abb. 4: Aufbau des Spulenantriebs

Es wurden Versuche mit Variation der Größe und Zugkraft der Permanentmagnete sowie der Spulen mit unterschiedlichen Drahtstärken, Windungszahlen und Kernmaterialien durchgeführt um die geforderte Auslenkung und Dynamik für unterschiedliche Gewichte der Probanden (bis zu 150 kg müssen aus der therapeutischen Erfahrung heraus bewegen können).

Die 4 verwendeten Spulen sind kommerziell erhältlich, was hinsichtlich Verwertung und Vermarktung des Trainingsgeräts wesentlich ist (Technische Daten: 1200 Wicklungen, $0,85 \text{ mm}^2$ Kupferdraht, Widerstand 7,7 Ohm). Die Spulen sind jeweils in Längs- und Querrichtung gekoppelt, um einen möglichst geringen Stromfluss zu erreichen und damit eine Erwärmung und

gegebenenfalls Überhitzung der Spulen im Dauerbetrieb zu reduzieren. Für diagonale Auslenkung können alle 4 Spulen mit einem Stromfluss beaufschlagt werden. Je nach Stromrichtung sind damit beliebige horizontale Auslenkungen möglich. Der zugehörige Permanent-magnet hat eine Zugkraft von 400 kg bei Abmessungen von 80 mm x 80 mm x 20 mm.

3.4 Optimierung des elektromagnetischen Flusses in den Spulen und Eisenjoch

Zur Optimierung der Flussführung wurde für das Antriebssystem ein Simulationsmodell entwickelt und nach den o.g. Parametern optimiert. Insbesondere die Geometrie und Anordnung der Spulen sowie die Höhe des Luftspalts zwischen Eisenjoch und Spulen hat hierbei maßgeblichen Anteil der Funktionalität und Dynamik des Antriebssystems. Es muss ein ausreichend großes elektromagnetisches Feld aufgebaut werden können, um die Kraftübertragung zu realisieren. Andererseits hat sich aus praktischen Versuchen ergeben, dass das Gewicht der Personen auf der Plattform stark variiert (bis zu 200 kg) und damit die Aufhängung der Stahlseile aufgrund der Belastung nachgibt. Das führt dazu, dass einerseits zur Flussoptimierung der Luftspalt möglichst klein sein sollte, andererseits aber ein Aufsetzen und Blockieren der Platte durch die Gewichtsbelastung verhindert werden muss. Dies war mitauschlaggebend eine Simulation durchzuführen (Abb. 5).

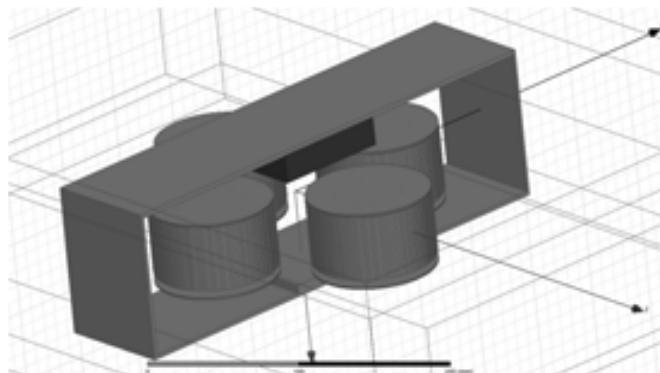


Abb. 5: Simulationsmodell der Antriebseinheit

3.5 Aufbau des Prototypen

Das gewählte Antriebssystem ermöglicht eine aktive Auslenkung der Trittplatte aus der Ruhelage, mit einstellbaren Beschleunigungen und frei wählbarer Richtung in der horizontalen Ebene. Damit wird eine zweite Koordinationsaufgabe für den Patienten realisiert, den Körper auch aus zufällig erwirkten Störungen zurück in die Gleichgewichtslage zu bringen und diese zu halten (Abb. 6 und 7).

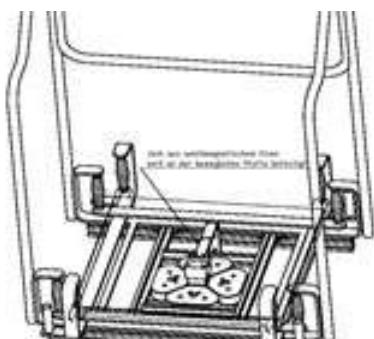


Abb. 6: Konstruktion des Gesamtgeräts

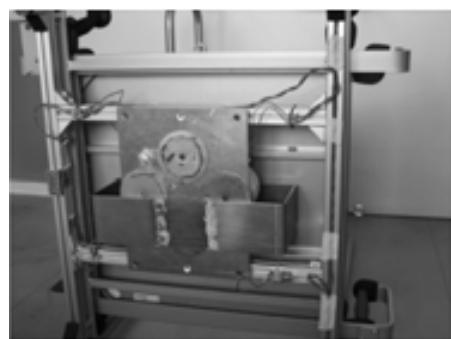


Abb. 7: Aufbau des Prototypengeräts

Die Ansteuerung des Perturmeds erfolgt durch eine eigenentwickelte Elektronikleiterplatte (Abb. 8) zur Ansteuerung der jeweiligen Spulen und Mikrocontroller-Schaltung zur Programmierung verschiedener Benutzermodi. Im Prototypengerät ist noch eine einfache Taster-Schaltung für die implementierten Programme realisiert. In der ersten Optimierung der Leiterplatte wurde bereits ein kleines LCD-Display zur Benutzerführung und Parametrisierung vorgesehen. Im späteren Gerät soll das externe Bedienteil für Therapeuten und Trainer als Touch-Display ausgeführt werden, wo dann Richtung und Beschleunigung der aktiv erwirkten Auslenkung der Trittplatte intuitiv eingestellt und für den Patienten unvorhergesehen bewirkt werden kann.

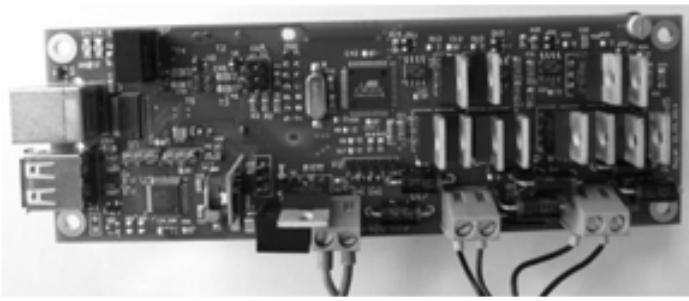


Abb. 8: Leiterplatte zur Ansteuerung

3.6 Steuerung des Trainingsgeräts

Die optimale Lösung zur Realisation dieser Zielsetzung bietet eine 4x4 Matrix mit 4 Schwierigkeitsstufen (in der vorangeführten Abbildung in der Vertikalen – mit Beginner / Advanced / Advanced Plus / Professional dargestellt) und jeweils vier verschiedenen Modi (in der Horizontalen dargestellt). Es werden dabei jeweils die Parameter Richtung/ Pause/Pulsbreite/Randomisierung der Perturbation variiert (Abb. 9). Das vorhandene Spektrum bildet alle Schwierigkeitsstufen von moderat bis sehr schwer ab und bietet somit neben Anfängern auch Fortgeschrittenen adäquate Trainingsmöglichkeiten.

A - Beginner

Schwierigkeitsvel	1	2	3	4
Richtung	Anterior/Posterior (vor/zurück)	Anterior/Posterior	Mediolateral (rechts-links)	Mediolateral
Reihenfolge	nicht randomisiert (gleichbleibend)	nicht randomisiert	nicht randomisiert	nicht randomisiert
Pulsbreite Rechtecksignale	100 ms	275 ms	100 ms	275 ms
Pulsfolge	3-4 s	3-4 s	3-4 s	3-4 s

B - Advanced

Schwierigkeitsvel	5	6	7	8
Richtung	Anterior/Posterior & Mediolateral	Anterior/Posterior & Mediolateral	Anterior/Posterior & Mediolateral & Diagonal	Anterior/Posterior & Mediolateral & Diagonal
Reihenfolge	nicht randomisiert	nicht randomisiert	nicht randomisiert	nicht randomisiert
Pulsbreite Rechtecksignale	100 ms	275 ms	100 ms	275 ms
Pulsfolge	3-4 s	3-4 s	3-4 s	3-4 s

C – Advanced Plus

Schwierigkeitslevel	9	10	11	12
Richtung	Anterior/Posterior & Mediolateral	Anterior/Posterior & Mediolateral	Anterior/Posterior & Mediolateral & Diagonal	Anterior/Posterior & Mediolateral & Diagonal
Reihenfolge	randomisiert (zufällig)	randomisiert	randomisiert	randomisiert
Pulsbreite Rechtecksignale	100 ms	275 ms	100 ms	275 ms
Pulsfolge	1-2 s	1-2 s	1-2 s	1-2 s

D - Professional

Schwierigkeitslevel	13	14	15	16
Richtung	Anterior/Posterior & Mediolateral	Anterior/Posterior & Mediolateral	Anterior/Posterior & Mediolateral & Diagonal	Anterior/Posterior & Mediolateral & Diagonal
Reihenfolge	nicht randomisiert	randomisiert	randomisiert	randomisiert
Pulsbreite Rechtecksignale	1500 ms	1500 ms	1500 ms	275 & 1500 ms
Pulsfolge	2 s	2 s	2 s	2 s

Abb. 9: 4x4 Matrix für die Realisierung der Trainingsmodi – 16 verschiedene Trainingsprogramme decken das Anforderungsprofil im Hinblick auf ein geübtes und ungeübtes Trainingsklientel ab.

4 Studie zur Validierung des Trainingsgeräts

Einsetzbarkeit und den Nutzen des Perturmeds in einem Querschnittsvergleich zu überprüfen. Mittels dieser Untersuchung sollte festgestellt werden, ob der Perturmed unterschiedliche Schwierigkeitsstufen abbilden kann, die in Abhängigkeit von der posturalen und neuromuskulären Reaktion beschreibbar sind. Ferner sollte untersucht werden, ob sich der Effekt von Perturbationsamplitude, -geschwindigkeit und -richtung voneinander abgrenzen lässt und im Hinblick auf die Beanspruchung unterschiedlicher Muskelgruppen und Reflexphasen differenzieren lässt.

Insgesamt nahmen 20 freiwillige Probanden an dieser Studie teil. Die Teilnehmer waren körperlich gesunde Sportstudenten an der Universität Freiburg (6 Frauen und 14 Männer, Alter 27 ± 3 Jahre, Gewicht 73 ± 12 kg, Größe 178 ± 9 cm) mit keinerlei neurologischen Vorerkrankungen oder Verletzungen der unteren Extremität. Das Experiment wurde von der Ethikkommission der Universität Freiburg positiv bewertet und entsprechend der Richtlinien der „Declaration of Helsinki“ durchgeführt.

Je 10 Probanden trainierten auf dem Perturmed, eine Vergleichsgruppe auf konventionellen Therapiegeräten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Perturbationstraining zum reaktiven Balancieren aus gesellschaftspolitischer Sicht vor allem im Hinblick auf dessen Einsatz in der Verletzungsprophylaxe beim alten Menschen von Bedeutung ist. Darüber hinaus verspricht diese neuartige

Trainingsform einen wesentlichen Beitrag in der Rehabilitation und Prävention von Verletzungen leisten zu können. Alle drei Anwendungsgebiete stehen augenblicklich im öffentlichen Diskurs um gesundheitspolitische Fragen zur Kostenminimierung bei der Pflege im Alter und der Vorbeugung von Verletzungen sowie der Rehabilitation verunglückter Menschen.

Es konnten im Rahmen der Studie sowohl die Verbesserung der statischen Gleichgewichtsfähigkeit und Sensomotorischen Reaktion, als auch die motorische Leistungsfähigkeit nach einem Perturbationstraining nachgewiesen werden.

Dabei sind spezifische neuromuskuläre und kinematische Adaptionen zu beobachten, die an die jeweilige Aufgabenanforderung angepasst werden. So kann zum einen die Aufrecht-erhaltung und zum anderen die Wiederherstellung der posturalen Kontrolle trainiert, gefördert und schließlich in alltägliche Situationen übertragen werden.

Während für die statische Gleichgewichtsfähigkeit ähnliche Ergebnisse für beide Gruppen aufgezeigt werden konnten, sind die funktionellen und neuromuskulären Adaptionen beim Perturmed sowohl für die reaktiven Aufgaben, als auch für die explosive Sprungkraft ausgeprägter als bei der Vergleichsgruppe. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass der Fixpunkt (*punctum fixum*) bei konventionellem Gleichgewichtstraining durch die Unterstützungsfläche gegeben ist. Beim Perturbationstraining „pendelt“ der Mensch als *punctum fixum* hingegen über einer mobilen, „freien“ Fläche. Dadurch muss der Körper in ständigem Abgleich mit der Umwelt dynamisch stabilisiert werden. Demnach lässt sich begründen, dass die Anpassungen gerade in Bezug zur angewandten Stabilisierungsstrategie durch das Perturmed ausgeprägter waren, als für das Standardtraining.

Das Training stellt daher eine sehr alltagsnahe Trainingsmethode dar. Die Übertragbarkeit der Laborergebnisse in den Alltag ist außerdem durch die Differenzierung unterschiedlicher Messmethoden im Vergleich zu den Trainingsmethoden gewährleistet.

Insgesamt stellt demnach das Training mit dem Perturmed ein effektiveres Training dar, um reaktive Antworten zu generieren und die Stabilisierungsstrategie an die jeweilige Aufgabe anzupassen. Dies lässt sich wiederum auf die Effektivität der Trainings für die Sturzprävention übertragen: Zwar wurden in vorliegender Studie junge, gesunde Probanden untersucht, es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass ebendiese funktionellen und neuromuskulären Steuerungsmechanismen durch Perturbationstraining angesprochen wurden, die im Alter degenerieren. Schließlich wurden mithilfe des perturbationsbasierten Trainings zwar nicht die unerwarteten Störreize aus der Umwelt angesprochen, hingegen aber die neuromuskulären und funktionellen Reaktionen – im Vergleich zum Standardtraining *stärker* – verbessert, sodass eine Instabilität, bspw. nach Stolpern oder Ausrutschen, ausgeglichen und die posturale Kontrolle wiederhergestellt werden kann. Dadurch kann das Training auf dem Perturmed für vielfältige Settings empfohlen werden, um die posturale Kontrolle im Alltag zu verbessern und Stürze zu minimieren.

Die technischen Spezifikationen des Perturmeds - dem neu entwickelten Trainingsgerät zum reaktiven Balancieren - sind insbesondere durch das elektromagnetische Antriebssystem bestimmt, das neben der in Amplitude und Geschwindigkeit beliebig einstellbaren Auslenkung in der horizontalen Ebene den Vorteil eines geringen Zusatzgewichts mit sich bringt. Dadurch kann die Trittplatte des Perturmeds wie bisher frei schwingen und das Gerät folglich auch unter bisherigen Bedingungen zum Einsatz kommen. Ferner verfügt der Perturmed über vier Schwierigkeitsstufen mit je vier frei einstellbaren Varianten. Diese Softwarelösung gewährleistet, dass

sowohl moderate als auch fortgeschrittene Formen des Trainings auf dem Trainingsgerät durchgeführt werden können.

Die erste Untersuchung zur Tauglichkeit und Anwendbarkeit des Perturmeds zeigt, dass mit dem Trainingsgerät unterschiedliche Schwierigkeitsstufen des reaktiven Balancierens abgebildet werden können. Posturale und neuromuskuläre Reaktionen können mittels Perturbationsamplitude, -geschwindigkeit und -richtung dosiert und somit an den Trainingsstatus des Trainierenden angepasst werden.

6 Literatur

- [1] Freiberger, E.; Menz, H. B.; Abu-Omar, K. und Rutten, A.: Preventing falls in physically active community-dwelling older people: a comparison of two intervention techniques. *Gerontology*, 53(5), S. 298-305, 2007.
- [2] Granacher, U.; Gollhofer, A. und Strass, D.: Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men. *Gait & posture*, 24(4), S. 459-466, 2006.
- [3] Zech, A.; Hübscher, M.; Vogt, L.; Banzer, W.; Hänsel, F. und Pfeifer, K.: Balance training for neuromuscular control and performance enhancement: a systematic review. *Journal of athletic training*, 45(4), S. 392-403, 2010.
- [4] Taube, W.; Gruber, M. und Gollhofer, A.: Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta physiologica (Oxford, England)*, 193(2), S. 101-116, 2008.
- [5] Mansfield, A.; Peters, A. L.; Liu, B. A. und Maki, B. E.: Effect of a perturbation-based balance training program on compensatory stepping and grasping reactions in older adults: a randomized controlled trial. *Physical therapy*, 90(4), S. 476-491, 2010.
- [6] Bieryla, K. A. und Madigan, M. L.: Proof of concept for perturbation-based balance training in older adults at a high risk for falls. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 92(5), S. 841–843. 2011.
- [7] Obuchi, S.; Kojima, M.; Shiba, Y.; Shimada, H. und Suzuki, T.: A randomized controlled trial of a treadmill training with the perturbation to improve the balance performance in the community dwelling elderly subjects, *Nihon Ronen Igakkai zasshi. Japanese journal of geriatrics*, 41(3), S. 321-327, 2004.
- [8] Crevecoeur, F.; Kurtzer, I. und Scott, S. H.: Fast corrective responses are evoked by perturbations approaching the natural variability of posture and movement tasks. *Journal of neurophysiology*, 107(10), S. 2821-2832, 2012.
- [9] Dohm-Acker, M.; Spitzenpfeil, P. und Hartmann, U.: Auswirkung propriozeptiver Trainingsgeräte auf beteiligte Muskulatur im Einbeinstand (Effect of proprioceptiv trainings tools for the muscles in stance stability), *Sportverletzung Sportschaden, Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*, 22(1), S. 52-57, 2008.

Technische Pflegeassistenz für die NutzerInnen von HEUTE

Das Beispiel des Projekts TABLU

D. Buhr, L. Haug

Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Institut für Politikwissenschaft

Melanchthonstraße 36, 72074 Tübingen

daniel.buhr@uni-tuebingen.de, lisa.haug@uni-tuebingen.de

T. Heine

Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Institut für physikalische und theoretische Chemie

Auf der Morgenstelle 15, 72076 Tübingen

thomas.heine@ipc.uni-tuebingen.de

Kurzzusammenfassung

Im Anwendungsgebiet Pflege ist der Unterstützungsbedarf sehr hoch, die Skepsis gegenüber Technik allerdings auch. Die Befürchtung, Menschen bzw. soziale Kontakte sollten durch Technik ersetzt werden, ist besonders virulent. Das Projekt TABLU (Technische Assistenzsysteme befähigen zu einem Leben in Unabhängigkeit) verfolgt deshalb die Strategie eines begrenzten Technikeinsatzes. Die multimedialen Möglichkeiten von Tablet-PCs werden genutzt um Entscheidungssituationen der häuslichen Pflege zu erleichtern und die Handlungsfähigkeit pflegender Angehöriger zu erhöhen. Die soziale Dimension von Innovation rückt damit in den Mittelpunkt der transdisziplinären Forschung und Entwicklung. Der Beitrag beleuchtet dazu auch Barrieren für den Einsatz technischer Unterstützungssysteme anhand erster Ergebnisse der projektbegleitenden Akzeptanzstudie.

Abstract

Technical assistance for informal caregivers today

In the field of elderly care, the need for assistance is unquestionable but so are the doubts regarding technology. The fear that technology is going to (inadequately) replace human care is especially virulent. The research project TABLU (Technical assistance systems enable an independent life) therefore purposefully avoids high tech and uses consumer products instead. The multi-media properties of tablet PCs are utilized to help with decisionmaking in care situations at home and to improve agency of informal caregivers. The social dimension of innovation becomes the focus of transdisciplinary research and development.

1 Einleitung

Zunächst einige grundlegende Fakten zur Pflegesituation in Deutschland. Derzeit sind ca. 2,5 Millionen Menschen im Rahmen der Pflegeversicherung als pflegebedürftig eingestuft. Ungefähr 70% von ihnen, 1,8 Millionen Menschen, werden in der Häuslichkeit betreut. Von diesen

werden wiederum 1,2 Millionen allein von informell Pflegenden (meist Angehörigen) versorgt [1]. Die Zahl der LaienpflegerInnen ist allerdings noch weitaus höher, da auch viele Menschen Unterstützung brauchen, die unterhalb der Schwelle für die Einstufung nach SGB XI liegt. Schätzungen zufolge beläuft sich die Zahl der informell Pflegenden auf ca. 4 Millionen [2]. Die körperliche und psychische Belastung, die diese Personengruppe erfährt, ist in vielen Fällen gravierend. Verschiedene Studien gehen von einem Depressionsrisiko von 40-70% aus.

Überfordernde häusliche Pflege ist ein Problem, das sich in Zukunft aller Voraussicht nach noch verschärfen wird. Durch den medizinischen Fortschritt steigt die Lebenserwartung weiter, die Auswirkungen des demografischen Wandels (Altenquote) und der sich fortsetzende Mangel an professionellen Pflegekräften machen eine Professionalisierung dieser Pflege unmöglich. Der traditionelle Rückgriff auf die Familie als Leistungserbringerin im konservativen Wohlfahrtsstaatsmodell, wie es in Deutschland vorherrscht, wird sich im Bereich der Pflege in absehbarer Zeit nicht vermeiden lassen. Hier sind also alternative Lösungsansätze nötig. Das Potenzial aus dem Bereich technischer Assistenzsysteme wird seit einigen Jahren verstärkt ausgelotet. Davon zeugen auch die aktuellen Ausschreibungsrounds des BMBF zu „Mensch-Technik-Interaktion im demografischen Wandel“ für die Zielgruppe informell und professionell Pflegender.

Projekte in diesem Feld sind auf ein hohes Maß an transdisziplinärer Zusammenarbeit angewiesen. Auf die Gründe dafür und die Potenziale und Synergien, die sich ergeben, soll im Folgenden anhand des Projekts TABLU eingegangen werden.

TABLUS ist ein Verbundprojekt im BMBF-Förderschwerpunkt „Assistierte Pflege von morgen“. Die TABLU-Lösung vereint technische (Tablet-PC-basierte) mit persönlichen Hilfen und besteht aus vier Modulen: Pflege-Schulung, Pflege-Mediathek, Pflege-Kontakt, Pflege-Bildtelefon. In der Pflege-Schulung werden in drei Stunden Grundlagen der Mobilisation vermittelt und außerdem die Bedienung des Tablet-PCs und der TABLU-App erklärt. Auf dem Tablet-PC befindet sich eine Mediathek mit Anleitungsvideos zum Thema Mobilisation, die helfen das Gelernte aus der Schulung aufzufrischen und zu vertiefen. Außerdem besteht die Möglichkeit bei individuellen Fragen und Problemen eine professionelle Pflegefachkraft zu kontaktieren. Entweder schriftlich per Kontaktformular oder über das Bildtelefon.

2 Technische Assistenzsysteme in der häuslichen Pflege – transdisziplinäre Aspekte

Die Einführung technischer Unterstützungssysteme im Bereich der häuslichen Pflege ist in vielerlei Hinsicht voraussetzungsvoll. Sie steht vor technischen, aber eben auch vor sozialen Hürden. So mindern beispielsweise mangelnde Information und Infrastruktur, schlechtes Design und fehlende Standards, unsichere Finanzierungs- und fehlende Geschäftsmodelle, ungeklärte Fragen des Datenschutz und der Datensicherheit noch vielerorts die Akzeptanz solcher Lösungen.

Fragen wir also nach der Bereitschaft technische Hilfen auch tatsächlich zu nutzen, bedarf es noch einiger weitergehender Überlegungen zur Zielgruppe. Aus der Perspektive der Pflegeforschung fällt zunächst auf, dass unter pflegenden Angehörigen allgemein die Bereitschaft Hilfsangebote zu nutzen überraschend gering ist. Wie etwa die Teilstudie zu Deutschland im Rahmen der EUFAMCARE-Studie zeigt, ist ein nicht zu unterschätzendes Angebot an Unterstützmöglichkeiten vorhanden. Dazu gehören sozial-rechtliche Beratung, Informationsan-

gebote im Internet, Selbsthilfegruppen, Telefonseelsorge, Pflegekurse sowie Pflegeberatungsstellen. Diese werden allerdings in überraschend geringem Maß in Anspruch genommen. Obwohl die Zufriedenheit im Fall der Nutzung sehr hoch ist und auch die Effektivität von Hilfsangeboten (gemessen an der Verweildauer des Pflegebedürftigen in der Häuslichkeit) nachgewiesen werden konnte [3]. Erklären lässt sich die zögerliche Nutzung einerseits dadurch, dass die Informationen über die Angebote nicht zu den potenziellen NutzerInnen gelangen, oder die Informationen unübersichtlich und die Angebote schwer überblickbar sind. Auch logistische Probleme spielen eine Rolle, wenn es etwa darum geht die pflegebedürftige Person für die Dauer einer Veranstaltung zu betreuen oder speziell in ländlichen Gegenden der Aufwand, der nötig ist, um Veranstaltungsorte zu erreichen. Aber auch angebotsseitig wird noch Verbesserungspotenzial diagnostiziert, da der Zuschnitt von Unterstützungsangeboten oft nicht nahe genug am konkreten Bedarf der Zielgruppe geplant wird.

Nicht nur die Inanspruchnahme von technischen Unterstützungsangeboten ist also eine Herausforderung sondern das Matching von Personen mit Hilfebedarf mit den jeweils vorhandenen Unterstützungs- und Beratungsangeboten insgesamt. Hier gilt es Wege zu erforschen, wie Technologie den Zugang zu Dienstleistungen erleichtern kann, ohne selbst eine weitere Hürde darzustellen. Wie eingangs vorangestellt stehen die potenziellen NutznießerInnen dem Technikeinsatz in der Pflege kritisch gegenüber. Pflegeroboter sind ein Schreckensszenario für Pflegebedürftige und informell Pflegende, aber auch eine Vorstellung, die professionell Pflegende in ihrer beruflichen Identität angreift. Die Befürchtung, dass die Lücke, die demografischer Wandel und Pflegefachkraftmangel reißen, zu einem weiteren Verlust der menschlichen Kontakte in der Pflege führen werden, spielt diesem Szenario in die Hände. Die kleinteiligen Reformen der Pflegeversicherung und der Mangel an politischen Visionen für eine Zukunft der häuslichen Pflege verstärken dieses Misstrauen.

Allerdings ist es nicht zielführend eine generelle Technikskepsis für den Pflegebereich anzunehmen, auch wenn die erwähnten Befürchtungen und die soziodemographische Zusammensetzung der Zielgruppe dies bisweilen nahelegen. Informell Pflegende sind häufig die PartnerInnen oder Kinder, d.h. Menschen, die selbst hochaltrig sind oder die Generation der Kinder. 30% der pflegenden Angehörigen sind über 65 Jahre alt, nur 16% sind unter 45 Jahre alt. Über 70% der Pflegenden sind Frauen. [4] Alltagsvorstellungen zur Technikakzeptanz gehen häufig davon aus, dass Geschlecht und Alter eine signifikante Rolle spielen. Allerdings ist dieser Zusammenhang komplexer als oft vermutet. Fähigkeiten und Bedürfnisse differenzieren sich im Alter extrem aus, altersgruppenbezogene NutzerInnenprofile zu erstellen, ist deshalb schwer möglich. Die Möglichkeit der Bildtelefonie wird von einigen NutzerInnen sehr positiv aufgenommen, da sie damit leichter Kontakte zu nahestehenden Menschen aufrechterhalten können. Andererseits reagieren aber z.B. Menschen mit Demenz laut anderer Studien negativ auf diese Form der Kommunikation [5]. Der Stand der Forschung ist demnach, dass ältere Menschen generell nicht weniger bereit sind Technik zu nutzen. Allerdings ist Technik hauptsächlich mit der Aussicht auf einen unmittelbaren Nutzen interessant und nicht als Errungenschaft an sich [6]. Die Motivation Geräte anzuschaffen um am technologischen Fortschritt teilzuhaben ist weniger stark ausgeprägt als in jüngeren Generationen. Diese Ergebnisse bestätigen sich auch in unserer InteressentInnenbefragung von über 200 potenziellen NutzerInnen. Die Ablehnung der Teilnahme an der Studie wird nur in ca. einem Viertel der Fälle auf den technischen Charakter

zurückgeführt. Viel häufiger wird die Teilnahme aus Zeitgründen abgelehnt. Für Alter und Geschlecht ließ sich zwar kein signifikanter Zusammenhang mit der Inanspruchnahme des Unterstützungssystems feststellen, allerdings haben diese Faktoren mittelbare Erklärungskraft. Soziodemographische Faktoren spielen immer noch eine Rolle beim Zugang zu Informations- und Kommunikationstechnologien: 2010 nutzen nur 31% der über 65-Jährigen das Internet, bei den Hochaltrigen über 80 Jahren nimmt auch diese Zahl noch rapide ab [7]. Dieser „digital divide“ ist nicht nur hinsichtlich der Altersstruktur feststellbar sondern auch bezüglich des Unterschieds zwischen Stadt und Land. Im ländlichen Raum ist beispielsweise der Zugang zu Hochgeschwindigkeitsinternet immer noch relativ gering ausgebaut. Die bundesweite Abdeckung von 99,7% Ende 2012 gilt nur für eine Verbindungsgeschwindigkeit von mindestens 1Mbit. Dies ist für internetbasierte Serviceangebote für den aktuellen wie zukünftig nötigen Datentransfer ungenügend. Die Versorgung des ländlichen Raum liegt in Deutschland bei 26% und damit zwar über dem EU-Durchschnitt, aber doch auch weit abgeschlagen gegenüber Vorreitern im AAL-Bereich wie Niederlande mit 80% Versorgungsrate [8]. Diese Fragen der Infrastruktur sind in die Produktentwicklung mit einzubeziehen. Zum einen um zu verhindern, dass weiter teuer Produkte erforscht und entwickelt werden, die keinen Absatzmarkt finden können. Zum anderen auch um die Zugangsbarrieren für LandbewohnerInnen nicht weiter zu erhöhen und die bestehende Schieflage zwischen Stadt und Land zu verstärken. Die Problematik des Zugangs besteht selbstverständlich auch bei unterstützenden Dienstleistungen. Im ländlichen Raum ist die Dichte an Angeboten weitaus geringer, sie sind weiter entfernt von den Menschen, die sie brauchen und die wiederum häufig altersbedingt in ihrer Mobilität eingeschränkt sind. Nicht nur Pflege- und Versorgungsforschung sowie Infrastrukturmaßnahmen spielen eine große Rolle sondern eine Vielzahl anderer Disziplinen und Perspektiven (s. Abbildung 1). Einige von ihnen werden im Folgenden näher ausgeführt.

Spotlight Ethik

Ethische Fragen spielen eine große Rolle. Datenschutz ist ein Anspruch, der immer interdisziplinär angegangen werden muss. Technische Machbarkeit und soziale Erwünschtheit müssen in Einklang gebracht werden. Die Debatte ist nicht nur im Bereich der technischen Assistenzsysteme oft einseitig, da ExpertInnen mit Sachverstand in beiden Bereichen rar sind. Um sensorbasierte Lösungen zu implementieren muss eine große Menge an Daten gesammelt und ausgewertet werden. Diese Daten sind häufig nicht in der Kontrolle der Menschen selbst sondern ihrer Angehöriger oder der Dienstleister. Die Annahme, dass die Bedürfnisse und Wünsche von Pflegebedürftigen und pflegenden Angehörigen oder von verletzlichen Personen und Sorgetragenden deckungsgleich (und das konstant über einen langen Zeitraum) sind, wird oft vorausgesetzt ohne sie zu hinterfragen. Das Idealbild einer Familie, die konfliktfrei füreinander sorgt, wird zur Grundlage des Handelns gemacht, obwohl persönliche Erfahrung, Beratungspraxis und wissenschaftliche Erkenntnisse dem widersprechen. Auch hier müssen sich erst Praktiken für technische Unterstützungssysteme einüben. Dazu sind zunächst Projekte nötig, die mit Datensparsamkeit Ängste abmildern können, bevor Big Data Lösungen implementiert werden können.

Einige Herausforderungen aus interdisziplinärer Sicht



Abb. 1: Herausforderungen verschiedener Disziplinen und Perspektiven

Weitere ethische Fragen betreffen den Zugang zu AAL-Lösungen. Early Adopter zu sein bedeutet oft viel Geld zu investieren. Häufig ist bei der Infrastruktur ein Stadt-Land-Gefälle vorhanden. Da Überforderung in der Pflege ein gesamtgesellschaftliches Phänomen und Problem ist, müssen die (begrenzten) Ressourcen derer, denen durch Technik geholfen werden soll, immer mitbedacht werden. Wenn Robotik für Unternehmen oder Wearables für KonsumentInnen entwickelt werden, spielt der Preis nur im Rahmen des Geschäftsplans eine Rolle. Im Fall von Versorgungsforschung und wohlfahrtsstaatlichen Leistungen ist die Finanzierung auch ein politisches Problem.

Weiterhin ist für den Bereich der AAL-Forschung zur Pflege wichtig zu bedenken, dass hier Geschlechterverhältnisse zementiert werden. 70% der Pflegenden sind Frauen, die oft ihre Erwerbsarbeit einschränken oder ganz beenden um zu pflegen und dementsprechend Nachteile in ihrer Altersversorgung riskieren. Durch technische Assistenzsysteme wird zwar deren Arbeit erleichtert, allerdings ändert sich nichts an der grundlegenden Problematik von un(ter)bezahlter Carearbeit und der ungleich größeren Konsequenzen für Frauen.

Spotlight Politikwissenschaft

Zusammen mit der Frage der Finanzierung entfaltet auch diese grundlegende Frage nach der Verteilung der Wohlfahrtsproduktion eine politische und politikwissenschaftliche Dimension.

Gerade in konservativen Wohlfahrtsstaaten wie der Bundesrepublik Deutschland ist die Familie traditionell wichtigster Standort der Wohlfahrtsproduktion. Die Vor- und Nachteile dieses Typus werden in der vergleichenden Wohlfahrtsstaatsforschung untersucht. Zudem kann hier auch die Policy-Analyse einen wichtigen Beitrag leisten: wo existieren weitere politische Hürden für AAL-Innovationen, wie können diese beseitigt und Innovationen gefördert werden – angebots- wie nachfrageseitig. Politischer Wille: Technische Assistenzsysteme sollen klassischer Weise in den Hilfsmittelkatalog (s. Empfehlungen von Weiß et al. 2014).

Spotlight Medizin/Psychologie

Das Beharren auf Randomised Control Trials (RCTs) mit großen N als Goldstandard klinischer Studien ist problematisch in einem Bereich, wo Rekrutierung so schwierig ist. Medizinische Wirksamkeit ist nur ein Kriterium für erfolgreiche Assistenz. Psychologische Faktoren sind genauso wichtig: Leuten geht es besser, weil sie wissen, es ist jemand da, den sie fragen können. Zudem wird häufig der Fokus auf den Pflegebedürftigen gelegt. Sekundäre und tertiäre NutzerInnen bleiben außen vor. Das ist zwar einerseits nachvollziehbar, da die pflegebedürftige Person am verletzlichsten ist. Allerdings muss, wie eingangs beschrieben, auch der Gesundheitszustand der Pflegenden beachtet werden. Gerade die Prävention ist für informell und professionell Pflegende von größter Bedeutung. Diese Bedürfnisse sind aber in der Logik der Pflegeversicherung beispielsweise nicht bedacht.

Kurzum: Inanspruchnahme ist das (soziale) Paradox in der Pflegeassistenz. Wie kann das durch Technik adressiert werden, sodass Technologie nicht als zusätzliche Hürde wirkt sondern als Hilfsmittel?

3 Transdisziplinäre Arbeit bei TABLU

Der Ansatz, den das Projektkonsortium mit dem TABLU-Projekt verfolgt, ist niedrigschwellige Hilfe anzubieten.

Technik kommt nur als Medium der Vermittlung zum Einsatz und nicht als (Selbst)Zweck. Die Technik ermöglicht die Niedrigschwelligkeit: Menschen finden von Zuhause aus Hilfe und müssen keine auswärtigen Termine wahrnehmen. Sie können sich für das Medium entscheiden, das ihnen angenehm ist – keine Interaktion, nur Anleitung; Schriftkontakt; direkter audiovisueller Kontakt. Hilfe ist auch nachts und am Wochenende gewährleistet, wenn andere Unterstützung rar ist (ÄrztInnen und NachbarInnen nicht zur Verfügung stehen) und deshalb die Sorgen überhand nehmen und im Zweifelsfall nur das Absetzen eines Notrufs bleibt.

Trotz seines niedrigschweligen Ansatzes sieht sich auch TABLU den erwähnten Herausforderungen gegenüber. Das interdisziplinär zusammengesetzte Konsortium ermöglicht es aber, darauf flexibel und adäquat zu reagieren.

Design

TABLU folgt konsequent einem nutzerzentrierten Innovationsprozess. Von Beginn an sind Design Expertinnen und –experten (LUNAR Europe) im Team, die – unterstützt von „In-Home-Interviews“ und mehreren Feedbackschleifen – gemeinsam mit der NutzerInnen-Gruppe ein möglichst intuitives und ansprechendes Design entwickeln. Die Menüführung ist so gehalten, dass die Nutzenden nicht den 4 Modulen gegenüberstehen sondern inhaltlich geleitet werden. Es gibt unterschiedliche Rubriken „Mobilisation“, „Einführung zu gesetzlichen Leistungen“

etc. Das heißt: Die Menschen suchen Hilfe zu Themen und bekommen sie in unterschiedlicher Form. Hinter „Mobilisation“ verbergen sich Videos, und hinter allen eine Möglichkeit Kontakt aufzunehmen. Denn Menschen wollen sich nicht für ein Medium entscheiden, sondern für Inhalte. Sie suchen nach einer konkreten Lösung für ein Problem.

Technik

TABLUS folgt einem klaren Motto: Keine Umbaumaßnahmen, keine Sensoren, keine stigmatisierende Hardware. Wir sind bestrebt, gerade das Potenzial einer sozialen Innovation zu nutzen. Internet und Tablet-Computer sind technische Innovationen, die dadurch für weitere Gruppen und Anwendungsbereiche nutzbar gemacht werden können. Durch Informations- und Kommunikationstechnologien ist es auch für die Gruppe der Pflegenden Angehörigen leichter geworden ihre Bedürfnisse nach Information, Beratung und sozialen Kontakten zu befriedigen. Die intuitive Bedienbarkeit von Tablet-Computern ermöglichen auch Menschen den Zugang zu internetbasierten Diensten, denen Desktop-Computer zu voraussetzungsvoll erschienen. Daher wird bei TABLU auch viel Wert auf den sozialen und bildenden Mehrwert gelegt. Dazu gehört auch die intensive Arbeit am ästhetisch ansprechenden Gesamteindruck von TABLU.

Tablet-PCs haben in diesem Sinn einen Kollateralnutzen. Nicht nur können dringend benötigte Pflegeanleitungen und –beratung zur Verfügung gestellt werden, sondern darüber hinaus haben die interessierten NutzerInnen Zugang zu allen weiteren Anwendungsmöglichkeiten, wie Erinnerungsfotos, Medienkonsum etc. Diese wurden von Teilnehmenden an der TABLU-Studie auch durchaus nachgefragt. So kann über den konkreten Nutzen der Anwendung im Pflegebereich auch eine Akzeptanz der Technik für Unterhaltung und Kommunikation geschaffen werden. Zudem eröffnet dieser „minimal invasive“ Erstkontakt mit Technik die Möglichkeit bei den NutzerInnen, schrittweise Vertrauen in „technische Assistenzsysteme“ und ihren Mehrwert aufzubauen und allgemein die Akzeptanz für diese Systeme zu erhöhen.

Bisher bestätigen sich Ergebnisse aus anderen Studien, dass soziodemografische Faktoren wie Alter und Geschlecht nicht direkt auf die Technikakzeptanz wirken sondern nur mittelbar z.B. über die Internetnutzung. Hochaltrige Menschen haben oft keinen Internetanschluss. Und die Internetnutzung beeinflusst signifikant die Bereitschaft zur Nutzung von TABLU. Der erwartete Nutzen und die Bedienbarkeit eines Geräts spielen die größte Rolle.

4 Fazit und Handlungsempfehlungen

Abschließend sollen unsere bisherigen Erfahrungen in erste Handlungsempfehlungen fließen. Es ist ein überzeugter Aufruf nach mehr transdisziplinärer und nutzerzentrierter Forschung. Derlei Forderungen gehören seit einiger Zeit beinahe zum guten Ton in der Forschung zu Ambient Assisted Living. Dennoch ist ihre Anrufung nicht müßig, da immer noch Produkte ohne Rücksicht auf die tatsächliche Nützlichkeit entworfen werden. Dabei ist ein ergebnisoffener Ansatz entscheidend, der auch Raum lässt für die Erkenntnis, dass in manchen Anwendungsbereichen Hochtechnologie nicht massentauglich ist, aber Entwicklungen aus dem Low Tech Bereich AnwenderInnen finden können. Konzepte wie Human Hybrid Robots und die Erforschung der Möglichkeiten, die Avatare, künstliche Intelligenzen und Roboter auch im sozialen Bereich bieten, ist zweifelsohne ein lohnender Forschungsansatz um Innovationen der Zukunft

zu ermöglichen. Aber soziale Innovationen von heute und morgen sind angewiesen auf NutzerInnen, die dem technischen Fortschritt folgen können und wollen. Diese Menschen sind zu einem nicht vernachlässigenden Teil Menschen höheren Alters.

5 Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt (Hg.): Pflegestatistik 2011 – Pflege im Rahmen der Pflegeversicherung, Deutschlandergebnisse, 2011.
- [2] Institut für Demoskopie Allensbach (Hg.): Monitor Familienleben, 2010.
- [3] Kofahl, C.; Lüdecke, D. und Döhner, H.: Der Einfluss von Betreuungsbedarf und psychosozialen Determinanten auf Belastung und Wohlbefinden von pflegenden Angehörigen alter Menschen. Ergebnisse aus der deutschen Teilstichprobe des Projekts EUROT-FAMCARE, Pflege & Gesellschaft 14 (3), S. 236-253, 2009.
- [4] Meyer, M.: Pflegende Angehörige in Deutschland. Überblick über den derzeitigen Stand und zukünftige Entwicklungen (2006). Online verfügbar unter <http://www.uke.de/extern/eurofamcare/publikationen.php?abs=2>, zuletzt geprüft am 31.10.2014.
- [5] Metzger, F.; Niebler, R. und Eschweiler, G.: Moderne Telekommunikation bei kognitiv eingeschränkten Patienten in der gerontopsychiatrischen Regelversorgung. Eine Machbarkeitsstudie. Deutsche medizinische Wochenschrift (137:A220), 2012.
- [6] Betz, D.; Cieslik, S.; Dinkelacker, P.; Glende, S.; Hartmann, C.; Klein, P. et al.: Grundlegende Anforderungen an AAL-Technologien und –Systeme, in: BMBF/VDE-Innovationspartnerschaft AAL (Hg.): AAL in der al-ternden Gesellschaft : Anforderungen, Akzeptanz und Perspektiven; Analyse und Planungshilfe. 11. Aufl. Berlin: VDE-Verlag, S. 63-108, 2012.
- [7] Czajka, S.: Internetnutzung in privaten Haushalten in Deutschland. Ergebnisse der Erhebung 2010. Hg. v. Statistisches Bundesamt, 2011.
- [8] Digital Agenda Scoreboard (EC / 12 Jun 2013), 2013.

Technische Unterstützungssysteme im Hochleistungssport

K. Mattes, N. Schaffert

Universität Hamburg, Fakultät für Psychologie und Bewegungswissenschaft,
Institut für Bewegungswissenschaft, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft
Mollerstr. 2, 22043 Hamburg
Klaus.Mattes@uni-hamburg.de

Kurzzusammenfassung

Im Hochleistungssport werden seit ca. 40 Jahren technische Systeme zunächst zur sportartspezifischen Leistungs- und Bewegungsdiagnostik, später zur Optimierung der Belastung im Konditions- und Techniktraining (maschinengesteuerte Trainingsgeräte, Messplatztraining mit akustischem, visuellem und/oder haptischem Feedback) sowie in jüngster Zeit zum robotersimulierten Training und Wettkampf (Kraft-, Bewegungs- und Umweltsimulation) sowie zur Kompensation von körperlichen Behinderungen (Paralympics) eingesetzt. Eine Voraussetzung ist die Akzeptanz der technischen Systeme durch Trainer und Athleten, die durch eine hohe Praktikabilität (Aufwand, keine Bewegungsbeeinträchtigung), Sportartspezifik und spezielle Leistungswirksamkeit erreicht wird. Im Beitrag werden anhand von Beispielen (Rennrudern, Leichtathletik) Unterstützungsmöglichkeiten, Anwendungsfelder und Potenziale, aber auch Risiken und zukünftige Forschungsschwerpunkte aufgezeigt.

Abstract

Technical support systems in high-performance sport

Technical systems are used in high-performance sports for about 40 years, first for sport-specific performance and movement diagnostics, later to optimize the training (measuring station with acoustic, visual and/or haptic feedback), and more recently also for robot-simulated training and competition (force, motion, environmental simulation) as well as to compensate for physical disabilities (Paralympics). A prerequisite is the acceptance of technical systems from coaches and athletes, achievable due to high practicability (cost, without movement disturbance), sport specificity and specific performance effectiveness. The article demonstrates support options using examples (rowing, athletics), applications and opportunities, as well as risks and future research focus.

1 Einleitung

Im Hochleistungssport werden seit ca. 40 Jahren technische Systeme zunächst zur sportartspezifischen Leistungs- und Bewegungsdiagnostik, später zur Optimierung der Belastung im Konditions- und Techniktraining sowie in jüngster Zeit zum robotersimulierten Training und Wettkampf eingesetzt. Charakteristisch ist dabei eine enge Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren, Biomechanikern, Trainern und Sportlern, denn die geräte- und messtechnischen Lösungen müssen die biomechanischen Eigenschaften und Voraussetzungen des Bewegungsapparates sowie

die Anforderungen der Sportart berücksichtigen und für das Training bzw. den Wettkampf tauglich sein. Nur dadurch lassen sich mit technischen Systemen neue Höchstleistungen erschließen, gezielte körperliche Anpassungen provozieren bzw. Verletzungen durch Fehlbelastungen im Training und Wettkampf reduzieren. Die Entwicklungen werden dabei nicht nur von den Anforderungen der Sportart selbst und Einzelpersonen, wie technisch affine Trainer, sondern auch vom Erkenntnisstand der Biomechanik, von Interessen der Industrie sowie vom rasanten technischen Fortschritt bestimmt. Eine Voraussetzung für den Einsatz ist die Akzeptanz der technischen Systeme durch Trainer und Athleten. In erster Linie dürfen diese Systeme die Bewegungsausführung nicht oder nur gering beeinträchtigen, müssen eine gewünschte Trainingswirkung im Konditions- oder Techniktraining unterstützen oder sogar erst ermöglichen und eine Spitzenleistung im Wettkampf begünstigen.

Technische Innovationen fließen zudem in die Optimierung bzw. Neukonzipierung von Sportgeräten zur weiteren Steigerung der Wettkampfleistung, um im internationalen Vergleich Schritt zu halten oder zumindest zeitweise einen Leistungsvorteil gegenüber der Konkurrenz zu besitzen. Letzteres widerspricht jedoch dem Grundgedanken der Chancengleichheit im Wettkampfsport. Entsprechend werden in Wettkampfregeln Festlegungen zum Sportgerät getroffen, wie Mindestgewichte von Ruderbooten oder die Normierung von Speeren in der Leichtathletik (Länge, Gewicht, Lage des Körperschwerpunktes, Oberflächenbeschaffenheit). Die Wettkampfbestimmungen werden dabei von den internationalen Sportverbänden nach Bedarf angepasst, um die Chancengleichheit zu erhalten oder wieder herzustellen, die Attraktivität der Sportart oder -disziplin zu steigern oder, wie am Beispiel des Speerwurfens, die Flugweiten zu verringern, damit der Wettkampf auch in den vorhandenen Sportstadien ohne Gefahr für die Zuschauer durchgeführt werden kann.

Im Beitrag werden Erfahrungen aus dem Hochleistungssport des Rennruderns zum Einsatz von Messsystemen in der Leistungsdiagnostik, dem gerätegestützten Feedbacktraining sowie den Wettkampf- und Trainingsgeräten dargestellt. Anhand von Beispielen werden Unterstützungs möglichkeiten, Anwendungsfelder und Potenziale, aber auch Risiken und zukünftige Forschungsschwerpunkte aufgezeigt.

2 Entwicklung und Akzeptanz von Messsystemen

Rennrudern gehört zu den Olympischen Sportarten, wobei in vierzehn Bootklassen Medaillen vergeben werden. Als Mittelzeit- oder Kraftausdauersportart zeichnet sich Rudern durch ein komplexes Sportgerät Ruderboot/Ruderwerk aus, an dem physikalische Messsysteme zur Untersuchung der Ruderleistung und Rudertechnik sehr gut appliziert werden können ohne die Bewegungsausführung der Ruderer zu beeinträchtigen. Außerdem lässt sich das Ziel des Ruderrennens, die 2000-m-Distanz in kürzester Zeit zurückzulegen, sehr gut im mechanisch-biomechanischen Sinne als Maximierung der mittleren Bootsgeschwindigkeit formulieren und messtechnisch kontrollieren. Neben der physischen Leistungsfähigkeit (Kraft, Ausdauer, Kraftausdauer) determiniert die Rudertechnik, z.B. eine zweckmäßige Bewegungsausführung im Durchzug und Freilauf, die Ruderleistung [1].

Sicher begünstigt durch die guten Messmöglichkeiten und die klare mechanische Zielstellung erfolgten frühzeitig direkte Messungen im Rennruderboot. Bereits 1896 wurden mechanische Messdollen eingesetzt [2]. In Vorbereitung auf die Olympischen Sommerspiele 1972 in Mün-

chen setzte politisch begünstigt die systematische wissenschaftliche Untersuchung des Rennruderns in der ehemaligen DDR ein. Mittels sportlicher Leistungen sollte die Überlegenheit des sozialistischen Systems gezeigt und internationale Anerkennung erzielt werden. Die Münchener Sommerspiele stellten einen passenden Rahmen dafür dar. Auf dem aktuellen Stand der Technik wurden Ruderleistung und -technik zunächst im Kleinboot, später in allen Bootklassen untersucht. Nach und nach entstand eine vollständige Messbootflotte für alle Bootsklassen. Ein besonderes Problem bestand in der Datenspeicherung im Boot, die anfangs mit sehr schweren Spulentonbandgeräten, später mit analogen Datenkassetten und schließlich durch digitale Speichermedien erfolgte (Abb.1).

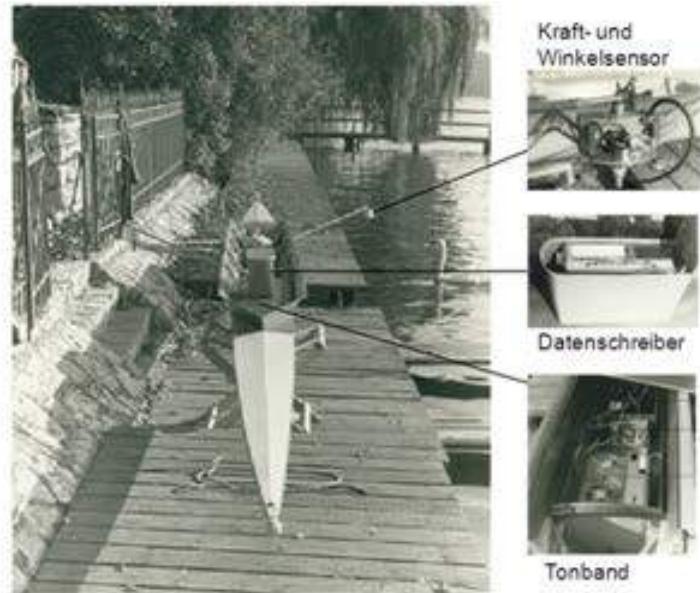


Abb. 1: Messbootzweier 1968 mit schweren Geräten.

Obwohl eine zusätzliche Gewichtsbelastung die Eintauchtiefe des Bootes verändert, den Wasserwiderstand erhöht und den Lauf des Bootes verfälscht, wurde das im Anfangsstadium aus Mangel an Alternativen toleriert.

Die systematischen Untersuchungen im Rennrudern wurden nahtlos im vereinten Deutschland weitergeführt. Begünstigt durch die Miniaturisierung der Mess- und Sensortechnik vollzog sich rasch eine Ablösung der Messboote. Heute wird im Rahmen der Leistungsdiagnostik im eigenen Rennboot bei Verwendung der individuellen Ruder (Riemen oder Skulls) getestet (Abb.2). Die weitgehend rückwirkungsfreie Messung im Rennboot, ein Online-Feedback während der Bewegungsausführung visuell per Display für den Ruderer, die Online-Übertragung der Messdaten ins Begleitboot für den Trainer und die Synchronisation von Video und Messdaten sind Standard und werden mittlerweile durch Messtechniker in Bundesleistungszentren oder Olympiastützpunkten vorgenommen. In Deutschland existieren ca. 20 Mess- und Informationssysteme. Die Herausforderung besteht in der Applikation der Messtechnik an die Vielfalt der in der Trainingspraxis verwendeten Ruderboote, Ausleger und Ruder mit baulichen Unterschieden verschiedener Hersteller.

Mit dem Fortschritt der Messtechnik verbesserte sich das Wissen um die mechanisch-biomechanisch zweckmäßige Ruderleistung und -technik, deren messtechnische Abbildung durch geeignete Sensorsysteme und die richtige Applikation am Sportgerät. Dabei ist es wichtig, die Bewegung und Kraftabgabe des Sportlers möglichst unmittelbar zu messen, z.B. Kräfte direkt

an der Wechselwirkungsstelle Sportler/ Sportgerät und nicht irgendwo im System. Darüber hinaus muss der resultierende Effekt aller wirkenden inneren und äußeren Kräfte, z.B. als resultierende Bootsgeschwindigkeit und -beschleunigung oder vortriebswirksame Blattkraft, erfasst werden. Außerdem geht es nicht mehr darum, alles was möglich ist zu messen, sondern nur die leistungs- und trainingsrelevanten Daten zu erheben, um den Mess- und Auswertaufwand erheblich zu senken und dadurch die Messungen mehrmals im Trainingsjahr durchführen zu können.



Abb. 2: Das heutige Mess- und Trainingssystem (FES Berlin und Universität Hamburg).

Ein weiteres Problem besteht in der Aufbereitung und Präsentation der physikalischen Daten in verständlicher Form für Trainer und Athleten. Die Übersetzung in die Sprache der Trainer und Athleten setzt ein gewisses Maß an trainingspraktischem und sportartspezifischem Wissen voraus. Idealerweise verfügt der Messauswerter selbst über die notwendige Expertise oder erhält Unterstützung durch einen Sportwissenschaftler. Die Synchronisation der Messdaten mit Videosequenzen erleichtert das Verständnis, denn Trainer und Athleten sind Bewegungsanalysen per Video gewohnt. Ferner sind Messergebnisse im Hochleistungssport vom aktuellen Leistungs- und Trainingszustand abhängig, der makrozyklischen (im Verlauf eines Trainingsjahrs), mikrozyklischen (innerhalb einer Trainingswoche) und Tagesschwankungen unterliegt. Die Messergebnisse müssen folglich ohne Zeitverzug (am besten unmittelbar nach dem Test) übermittelt werden, da sie ansonsten erheblich an Aussagekraft und Akzeptanz verlieren. Wirkliche Akzeptanz entsteht jedoch erst, wenn die diagnostischen Maßnahmen wirksam sind und mit spürbaren Verbesserungen im Training und in der sportlichen Leistung einhergehen.

3 Feedbacksysteme zur Verbesserung der Bewegungstechnik

Trotz umfassender Technikdiagnostik und gezieltem Techniktraining gelingt es nicht alle Bewegungsmerkmale im normalen Training anzusteuern. Schwierigkeiten bestehen insbesondere bei der Ansteuerung dynamisch-zeitlicher Merkmale der Bewegungsstruktur, da bei Athleten und Trainern ein Informationsdefizit besteht. Zum einen sind dynamisch-zeitliche Merkmale in einer Feinabschätzung visuell nur schwer zugänglich und zum anderen als verbale Bewegungsanweisung an die Athleten begrenzt, z.B. hinsichtlich des Zeitpunktes der Informationsgabe erst nach der Bewegungsausführung. Gerätegestützte Feedbacksysteme können hier unterstüt-

zen, indem sie die Information mit der notwendigen Genauigkeit, zeitsynchron mit der Bewegungsausführung (online) und in geeigneter Weise (akustisch, visuell oder taktil) für die Athleten und Training zur Verfügung stellen.

Im Rennrudern wird der überwiegende Anteil des Wassertrainings im niedrigen Intensitätsbereich (Schlagfrequenzen im Mittel bei 20 Schlägen pro Minute) absolviert. Das begünstigt den Einsatz von Feedbacksystemen, da den Athleten ausreichend Zeit für die Informationsaufnahme und -verarbeitung bleibt und die objektive Zusatzinformation im nächsten Ruderschlag berücksichtigt werden kann. Die Rückmeldung erfolgt auf verschiedene Arten, wobei das visuelle Feedback die häufigste Form darstellt. Im Rennrudern wurde zudem mit *Sofitrow* (BeSB GmbH Schalltechnisches Büro Berlin) ein akustisches Feedbacksystem erfolgreich entwickelt, das den Bootsbeschleunigungs-Zeit-Verlauf erfasst und akustisch präsentiert. Mittels Parameter-Mapping-Sonifikation wird jeder Beschleunigungswert algorithmisch einem Ton zugeordnet und den Athleten online im Rennboot über Lautsprecher rückgemeldet. Die Klangsequenz verändert sich in Abhängigkeit zur Bewegungsausführung und bietet so die Möglichkeit zweckmäßiges und unzweckmäßiges Bewegungsverhalten akustisch zu differenzieren [3]. Gerade hier liegen die Stärken des auditiven Sinneskanals, der im Vergleich zum visuellen, die Informationen besonders gut in ihrem zeitlich-dynamischen Ablauf und mit hoher zeitlicher Genauigkeit verarbeitet. Zudem erfolgt die akustische Informationsaufnahme und -verarbeitung während der Bewegungsausführung ohne Einbußen an Wahrnehmungskapazität, da parallel weitere Informationskanäle (visuell, kinästhetisch) verarbeitet werden können. Damit ist akustisches Feedback für die Analyse und Ansteuerung der Bewegungsausführung besonders geeignet und wird für den Einsatz im Leistungssport zunehmend interessant. Insbesondere bei hochautomatisierten und zyklischen Bewegungen (wie Rudern) besteht so eine Möglichkeit, Ansteuerungseffekte zur Verbesserung der Bewegungstechnik im Training zu erzielen sowie die Mannschaft zu synchronisieren.

Bei der Umsetzung der technischen Lösung sollte beachtet werden, dass die Umgebungsgeräusche von der Sonifikation nicht verdeckt, sondern zusätzlich wahrgenommen werden können. Eine weitere Besonderheit bei akustischem Feedback betrifft ästhetische Aspekte, die den funktionalen Aspekten der Information gegenüberstehen. Im Leistungssport überwiegt die Notwendigkeit einer unverfälschten Rückmeldung der zu übermittelnden Information gegenüber den individuellen ästhetischen Präferenzen des Klangergebnisses [4].

Aufgrund der Charakteristik des Wahrnehmungssystems bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung (multimodale Kombination), bei dem sich die Sinne komplementär ergänzen und so ein vollständigeres Gesamtbild ermöglichen, werden zunehmend multimodale Ansätze verfolgt, bei denen die Informationen kombiniert präsentiert werden (audio-visuell oder visuell-taktile). Zudem erfolgt eine Hinwendung zum Robot-Assisted Training und der Simulation von Bewegungen sowie der Schaffung virtueller Welten, um das Lernen sportmotorischer Fertigkeiten zu beschleunigen [5].

Generell sollte beim Einsatz von Feedback neben den biomechanisch zweckmäßigen Merkmalen der Bewegungstechnik immer auch die subjektive Empfindung und Bewegungsvorstellung des Athleten mit einbezogen werden. Die Schaffung einer verbesserten Empfindung, Differenzierung und Kontrolle der dynamischen und kinematischen Parameter steht dabei im Vordergrund. Das Feedback dient u.a. zur Bewertung der subjektiven Information, dabei soll das ei-

gene Gefühl bei der Bewegungsausführung (kinästhetische Wahrnehmung) unterstützt und ausdifferenziert werden, um eine genauere Vorstellung vom Bewegungsablauf entwickeln zu können.

4 Wettkampf- und Trainingsgeräte

Die Unterscheidung zwischen Wettkampf- und Trainingsgeräten ist notwendig, denn Wettkampfgeräte müssen dem Reglement entsprechen. Das Training verfolgt dagegen spezifische Ziele, die z.T. erst durch spezielle Trainingsgeräte, wie z.B. Ruderergometer im Konditionstraining, ansteuerbar werden. Das Wettkampfgerät im Rennrudern (Boot, Ausleger, Ruder) ist vergleichsweise teuer, wird aus modernen Werkstoffen (Kunststoff, Karbon) gefertigt, muss bei verschiedenen Wetter- und Wasserbedingungen gerudert und an die individuellen konditionellen und rudertechnischen Voraussetzungen des Athleten angepasst werden können. Aufgrund der notwendigen Gewöhnung und sicher auch aus praktischen Gründen werden hohe Kilometerumfänge (>5000 Wasserkilometer) im Trainingsjahr mit dem Wettkampfgerät zurückgelegt, sodass es einem natürlichen Verschleiß unterliegt. Der weltweite Gesamtbedarf an Rennruderbooten ist jedoch überschaubar, selbst unter Einbeziehung aller potentiellen Nutzer (Nachwuchs-, Master-, Freizeitrudern) wird er durch einige klein- und mittelständige Bootsbauunternehmen abgedeckt. Zudem werden für deutsche Spitzenathleten durch das Institut Forschung und Entwicklung von Sportgeräten Berlin (FES) Rennruderboote oder Ruder mit hydrodynamisch wirksamen Blattformen (asymmetrische Tragflügelform mit Vortexkante und Deltawing Effekt) konstruiert, gebaut und im Idealfall auch bei internationalen Meisterschaften eingesetzt.

Wettkampftaugliche Sportgeräte, die zu einer messbar höheren Leistung führen, werden dabei sehr schnell in die Praxis übernommen. In der Vergangenheit traf das für den Rollausleger zu. Im Gegensatz zu aktuellen Rennruderbooten mit Rollsitzen werden beim Rollausleger das Stemmbrett und der Ausleger beweglich gelagert und der Sitz ist fixiert. Beide Konstruktionen ermöglichen einen aktiven Einsatz der starken Beinstreckmuskulatur für den Antrieb des Bootes. Die Idee des beweglichen Auslegers wurde durch den englischen Ingenieur James Pacher bereits 1883 entwickelt und als Patent angemeldet, konnte sich jedoch lange Zeit nicht durchsetzen, weil es trotz einiger Versuche mit Prototypen nicht gelang, praxistaugliche Boote zu konstruieren [6]. Erst 1981 wurde das Rollauslegerboot im Renneiner wettkampftauglich und trat einen sturmischen, aber kurzen Siegeszug an. Bereits bei den Weltmeisterschaften 1982 starteten alle Finalteilnehmer im Einer mit einem Rollauslegerboot. Die Vorteile des Rollauslegers im Vergleich zum Boot mit beweglichem Rollsitz liegen in einer geringeren Verschiebung der Teilmassen Sportler und Boot zum Systemschwerpunkt, dadurch resultieren eine geringere Schwankung der mittleren Bootsgeschwindigkeit, eine reduzierte Stampfbewegung (Vertikalbewegung) des Bootes und somit ein geringer Wasserwiderstand [6]. Der internationale Ruderverband (FISA) verbot jedoch ab 1984 den Rollausleger und führte als Begründung die hohen Kosten für die Neuaustrüstung mit Booten an, die insbesondere kleinere Rudernationen nicht tragen können und damit ihre Konkurrenzfähigkeit verlieren [7].

Ein Beispiel hoher Akzeptanz für den weltweiten Einsatz von Trainingsgeräten stellt das Concept II Ruderergometer (Concept2, Inc. Morrisville) dar. Aufgrund der Wetterbedingungen ist in einigen Regionen ein ganzjähriges Wassertraining nicht möglich. Als Alternativen wurden

Ruderbecken bzw. Trockenrudergeräte entwickelt, die den Anspruch erheben, die Ruderbewegung und die damit verbundene Belastung mehr oder weniger gut zu simulieren. Bemerkenswert ist dabei, dass sich international das Concept II Ergometer durch setzte obwohl es in wesentlichen Punkten von der Ruderbewegung im Boot (z.B. in der Geometrie der Zugbewegung) abweicht. Im Vergleich zu Ruderbecken sprechen generell für Ruderergometer die geringen Anschaffungs- und Unterhaltungskosten sowie auch die Tatsache, dass die zu erbringende äußere mechanische Leistung als Äquivalent für die innere Beanspruchung der Ruderer exakt vorgegeben werden kann. Das ist für leistungsphysiologische Untersuchungen (z.B. Laktat-Stufen-Test) zwingend notwendig und erleichtert die Belastungsgestaltung beim Ergometerrudern. Warum sich letztlich das Concept II Ergometer durch setzte, entzieht sich einer sportwissenschaftlichen Begründung. Das Ergometer nutzt Luftströmung am Windrad als Bewegungswiderstand, liefert über eine einfache Messung metrische Daten zur mechanischen Ruderleistung und zu weiteren Belastungsmerkmalen wie Schlagfrequenz, Belastungszeit sowie eine umgerechnete virtuelle Bootsgeschwindigkeit, die über ein Grafikdisplay online angezeigt werden. Dadurch sind leistungsdiagnostische Tests und eine Vergleichbarkeit der individuellen Sportlerleistungen auf verschiedenen Ergometern möglich. Außerdem ist es robust, leicht zu transportieren und letztlich in großer Anzahl in der Trainingspraxis vorhanden. Inzwischen gibt es Weltmeisterschaften auf dem Ergometer als eigenständigen Wettkampf. Insgesamt kann das Ergometer als semispezifisches Trainingsgerät eingestuft werden, bei dem die Bewegungs- und Belastungsstruktur teilweise mit der Wettkampfbewegung im Rennboot übereinstimmen. Es ist sehr gut für das Konditionstraining und hierbei besonders zur Entwicklung der runderspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit geeignet. Die Rudertechnik kann jedoch mit dem Concept-Ergometer nicht verbessert werden, im Gegenteil durch umfangreiches Ergometerrudern besteht die Gefahr, dass sich wesentliche Technikmerkmale verschlechtern und unerwünschte Interferenzen für die Bewegungsqualität im Rennboot resultieren. Grundsätzlich ist immer davon auszugehen, dass beim längeren Einsatz von Trainingsgeräten eine Anpassung an die mechanischen Bedingungen des Gerätes erfolgt, die sowohl die konditionellen als auch die koordinativ-bewegungstechnischen Voraussetzungen einschließt. Hochleistungsruderer werden aufgrund ihrer enormen Bewegungserfahrung und bewegungstechnischen Variabilität in der Regel problemlos damit fertig und können sich schnell wieder an die Bedingungen im Rennboot gewöhnen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die skizzierten Anwendungsfelder technischer Systeme im Hochleistungssport (Leistungsdiagnostik, Feedbacktraining, Wettkampf- und Trainingsgeräte) bleiben auch in Zukunft bestehen. In Abhängigkeit von den sich wandelnden Leistungsanforderungen in Training und Wettkampf und unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts wird jedoch eine permanente Anpassung erfolgen.

Für die Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung lassen sich bereits einige aktuelle Trends erkennen. Unverzichtbar bleiben Videoanalyse und Videokinematik allerdings mit neuen Schwerpunkten. Die automatische Mustererkennung zur Identifikation von Bewegungen, Bewegungsteilphasen und Körperteilbewegungen sowie die hochauflösende Highspeed 3D-Kinematik mit markerloser Punktverfolgung (Senkung des Auswerteaufwandes) und outdoorfähige

gen Kameras (auch bei Sonneneinstrahlung) werden an Bedeutung gewinnen. Die Messelektronik wird sich durch weitere Miniaturisierung und steigende Leistungsfähigkeit (Sensor, Stromversorgung, Speicher), Wlan-Übertragung und Nutzung von allgemein vorhandenen Geräten (Smartphone) auszeichnen. Die Sensoren werden weiterhin am Sportgerät und zunehmend mittels Microchip in der Sportkleidung bzw. am Sportler appliziert. Aktuell boomen inertiale Messsysteme (3D-Gyroskope, 3D-Beschleunigungssensoren) in Kombination mit GPS und weiteren Hilfssensoren, die über großes Potential zur 3D-Bewegungsanalyse von Sportlern oder Sportgeräten verfügen.

Weitere Potentiale bestehen bei der Entwicklung von Wettkampfgeräten und noch stärker von Trainingsgeräten. Ausgangspunkt können eine bessere Ausnutzung und gerätetechnische Umsetzung bekannter physikalischer Effekte, biomechanischer oder leistungsphysiologischer Gesetzmäßigkeiten unter Nutzung geeigneter neuer Werkstoffe bilden. Neue Wettkampfgeräte müssen einen für den Athleten wahrnehmbaren am besten messbaren Vorteil zeigen und dabei das Reglement einhalten. Demgegenüber unterliegen Trainings- und Feedbackgeräte zunächst keinen Beschränkungen. Die Ziele und Inhalte des Trainings entscheiden letztlich womit trainiert wird und damit über die Auswahl der Trainingsgeräte. Deshalb sollten Trainer oder Athleten bereits in die Entwicklung neuer Systeme mit einbezogen werden. Spezifische Trainingsziele lassen sich nur durch geeignete Geräte ansteuern. Technische Hilfsmittel liefern die notwendigen Voraussetzungen, indem sie typische Wettkampfsituationen simulieren und leichtere, höhere oder Zwangsbedingungen im Training schaffen. Weitere Potentiale liegen in der elektronischen Steuerung und Regelung der äußeren Belastung durch intelligente Systeme, z.B. die feindosierte Vorgabe und automatische Anpassung der Belastung. Trainingsgeräte werden auch daran gemessen, inwieweit sie den Trainingsprozess in seiner Gesamtheit unterstützen. Wesentliche Aspekte sind dabei die Erfassung und Dokumentation der Trainings- und Leistungsdaten, die Vergleichbarkeit der Ergebnisse und deren Eignung für die Trainingssteuerung. Bei der Entwicklung von Feedbacksystemen wird es zukünftig verstärkt darum gehen, die Rückmeldung akustisch (Sonifikation) oder unter simultaner Einbeziehung mehrerer Sinneskanäle (multimodal) zu präsentieren sowie virtuelle Welten zu schaffen, in denen spezifisches Training erfolgen kann. Technische Systeme, die sich zunächst im Hochleistungssport etabliert haben, finden später auch im Freizeit-, Breiten- und Gesundheitssport oder in der medizinischen Trainingstherapie weitere Anwendungsfelder.

Risiken bestehen bei der Einführung neuer Gerätesysteme in die Trainings- und Wettkampfpraxis. Regeländerungen können den Einsatz etablierter Systeme im Wettkampf verbieten. Die Entwicklung und Einführung neuer Systeme sollte durch einen erfahrenden Sportwissenschaftler oder Trainer begleitet werden, um möglichen Schwierigkeiten zu begegnen. Sehr wichtig ist die frühzeitige Verfügbarkeit des neuen Gerätes und dessen regelmäßiger Einsatz im Training und Wettkampf, um die umfangreichen Anpassungsprozesse des Bewegungsapparats an die veränderte mechanische Belastung vollziehen zu können. Aufgrund der ungewohnten Belastung kann eine stärkere oder andere Ermüdungsreaktion resultieren, die kurzfristig die individuelle Sportlerleistung reduziert. Außerdem muss der Athlet lernen das veränderte Wettkampf- oder Trainingsgerät zu beherrschen. Das neue Gerät verhält sich im Detail abweichend, die Bewegungswahrnehmung des Athleten verändernd, das kann kurzzeitig verunsichern und den Wunsch nach dem alten gewohnten Gerät aufkommen lassen. Erst wenn alle Prozesse vollzo-

gen sind, wird der Athlet das Gerät auch unter den enormen Stressbedingungen eines Topwettkampfes einsetzen. Letztlich ist der entscheidende Schritt zur Akzeptanz von technischen Systemen deren tatsächliche Wirksamkeit für die Leistungsentwicklung und bei Wettkampfgeräten deren erfolgreicher Einsatz bei internationalen Spitzensportwettbewerben.

6 Literatur

- [1] Mattes, K.: Rowing technique. Manual for rowing training. Technique, high performance and planning (2nd ed), Hrsg.: Altenburg, D., Mattes, M. und Steinacker, J.; Wiebelsheim: Limpert Verlag, S. 53-108, 2012.
- [2] Atkinson, E.C.: A Rowing Indicator.1. Natural Science: A Monthly Review of Scientific Progress, 8 (1896). Reprint. London: Forgotten Books, S. 178-185, 2013.
- [3] Schaffert, N. und Mattes, K.: Designing an acoustic feedback system for on-water rowing training. International Journal of Computer Science in Sport, 10 (2): S.71-76. 2011.
- [4] Schaffert, N.; Mattes, K.; Barrass, S. und Effenberg, A.O.: Exploring function and aesthetics in sonifications for elite sports. Human Communication Science: A Compendium. ARC Research Network in Human Communication Science, Hrsg.: Dale, R.; Burnham, D. und Stevens, C.J., S. 465-472. ISBN: 978-1-74138-363-8. 2011.
- [5] Sigrist, R.; Rauter, G.; Riener, R. und Wolf, P.: Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. Psychonomic Bulletin & Review, 20(1), S. 21-53, 2013.
- [6] Nolte, V.: Rollausleger - eine Weiterentwicklung im Ruderbootsbau. Leistungssport, Berlin: Bartels und Wernitz 11 5, S. 334-338, 1981.
- [7] Neufert, K.: Rollausleger verboten. Rudersport, 27, S. 617, 1983.

Die intelligente Wohnung als Baustein im Internet der Dinge

Potenzialanalyse und Konzept einer domänenübergreifenden Lösung

J. Bauer, A. Kettschau, M. Michl, J. Bürner, J. Franke

E|Home-Center, Bayerisches Technologiezentrum für privates Wohnen, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

Fürther Straße 246b, 90429 Nürnberg
jochen.bauer@faps.fau.de

Kurzzusammenfassung

Im SmartHome-Umfeld existieren zahlreiche Insellösungen, etwa für das Energiemanagement. Die Domäne Ambient Assisted Living gewinnt angesichts des demografischen Wandels zusehends an Bedeutung. Des Weiteren gibt es am Markt tragbare Sensorik, beispielsweise Armbänder zur Aktivitätsmessung. Es fehlen hingegen tragfähige Geschäftsmodelle. Ursächlich sind zwei Faktoren: Erstens ist die Bedienung der Systeme zu komplex, zweitens ist der wahrgenommene Nutzen pro Inselsystem zu gering. Das im Artikel dargestellte Lösungskonzept beinhaltet Entwürfe für eine nutzerzentriert entwickelte Oberfläche und zeigt Ideen zur Anbindung von Subsystemen (Hausautomation, Energiemanagement, Gesundheit, Kommunikationswerkzeuge). Die Webanwendung verbirgt die Komplexität der Subsysteme undbettet sich unaufdringlich in die Lebenswelt des Menschen ein.

Abstract

The SmartHome as one object in the Internet of Things: capability analysis and concept for a cross-domain approach

There are a lot of SmartHome systems serving one single purpose, for example managing energy related functions. Ambient assisted living is increasingly important due to demographic change. Moreover, wearable sensors are available as well. However, there is a lack of sustainable business models. There are two reasons for this: usability is insufficient for older people and the apparent benefit for one domain-specific solution is unsatisfactory. The paper shows how solutions to these challenges could be created.

1 Einleitung

Der Begriff des Internets der Dinge (IoT) [1] kennzeichnet einen Verbund interagierender Objekte. Es ist naheliegend, die Wohnung selbst als ein Objekt dieses Verbunds zu begreifen. Ebenso bilden die Objekte innerhalb der Wohnung wiederum einen Verbund, der dem Bewohner den Alltag erleichtert. Bestenfalls unterstützt die intelligente Wohnung den Bewohner unmerklich und effizient. Im häuslichen Umfeld werden mit dem SmartHome-Begriff vorwiegend

die Bereiche Hausautomation sowie Energie- und Gesundheitsmanagement assoziiert. Angrenzend sind die Bereiche tragbare Sensortechnik – beispielsweise Armbänder zur Aktivitätsmessung – und Servicerobotik, repräsentiert durch Mäh- oder Saugroboter, zu nennen.

Es wird klar, dass die Wohnung als Baustein im IoT sowohl mit Komponenten im Wohnungsinneren als auch mit Objekten oder Webdiensten außerhalb der Wohnung kommunizieren sollte (Abb. 1). Eine derart ausgestattete Softwareanwendung kann als Serviceplattform [2] bezeichnet werden. Die Gestaltung der Serviceplattformschnittstelle ist eine ethische, moralische und rechtliche Herausforderung. Grundsätzlich ist die Plattform um ein für alle Beteiligten tragfähiges Geschäftsmodell zu ergänzen, damit ein nachhaltig erfolgreiches Produkt entsteht.

Nachfolgend wird das Potenzial für eine SmartHome-Serviceplattform analysiert. Aufbauend auf dieser Analyse wird ein Lösungskonzept für die Umsetzung einer solchen Plattform entwickelt und diskutiert.

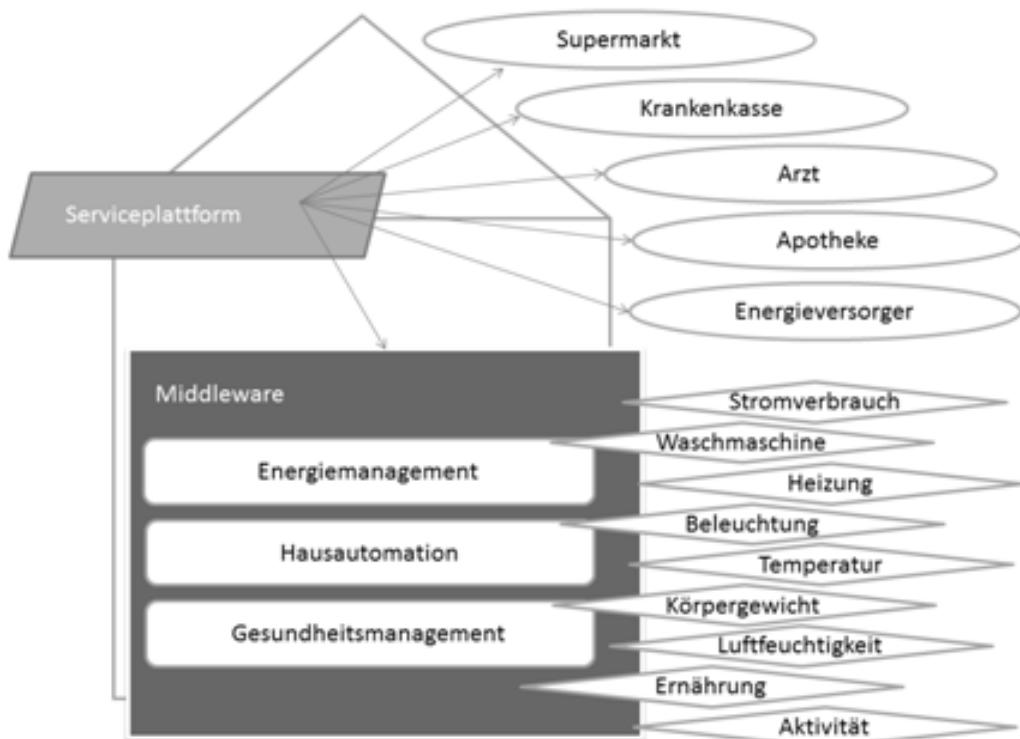


Abb. 1: Repräsentation einer intelligenten Wohnung als Serviceplattform im Internet der Dinge. Webdienste externer Anbieter werden über eine Schnittstelle angesprochen. Der Zugriff auf Sensor- und Aktorkomponenten erfolgt unter Zuhilfenahme einer Middleware. Die Serviceplattform verfügt darüber hinaus über eine Mensch-Maschine-Schnittstelle.

2 Potenzialanalyse domänenübergreifender SmartHome-Lösungen

Einerseits sind auf Verbrauchermessen und Fachkongressen seit mehreren Jahren technisch vielversprechende Lösungen aus dem SmartHome-Bereich zu sehen. Andererseits beklagen die Anbieter dieser Lösungen, dass die Marktsituation unbefriedigend sei. Der Abschnitt beleuchtet das Potenzial domänenübergreifender SmartHome-Lösungen, indem die Relevanz der Bereiche Energie, Gesundheit und Hausautomation untersucht wird. Ebenso werden aktuelle Trends zur Repräsentationsmöglichkeit einer intelligenten Wohnung im Internet betrachtet.

Im häuslichen Umfeld wünscht sich der Bewohner, dass er durch überlegtes Verhalten die Kosten unter Beibehaltung des Komforts minimiert. Ältere Menschen wollen möglichst lange selbstbestimmt in der eigenen Wohnung leben [3]. Internetaffine Personen bevorzugen die omnipräsente Nutzbarkeit der von ihnen verwendeten digitalen Dienste. Weiterhin wird begrüßt, wenn diese Dienste auf Wunsch bestehende Daten austauschen und synchronisieren. Es ist davon auszugehen, dass der wahrgenommene Nutzen maximiert wird, wenn alle genannten Bedürfnisse und Erwartungen kombiniert werden. Dies bedeutet, dass bestehende Insellösungen der Bereiche Hausautomation sowie Energie- und Gesundheitsmanagement über eine einzige, passend gestaltete Benutzerschnittstelle ansprechbar gemacht werden.

Mit dem Begriff SmartHome assoziieren Verbraucher häufig den Bereich Hausautomation. Bis spätestens 2020 werden 1 Million Haushalte vernetzt sein [4]. Insbesondere wird sich die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit funkbasierter Komponenten verbessern. Darauf hinaus erlaubten Open-Source-Middleware-Plattformen, etwa fhem oder openHAB, das protokollübergreifende Ansteuern von Hausautomationskomponenten. Die Analyse der Systemnutzung liefert Erfahrungswerte. Aufbauend auf diesen Werten kann entschieden werden, wie diverse Anwendungsfälle angemessen zu implementieren sind. Mit funkbasierten Komponenten ist es möglich, Bestandsbauten mit niedrigen Investitionskosten um Automatisierungsmöglichkeiten zu erweitern. Ein SmartHome-System, bestehend aus 5 HomeMatic-Funksteckdosen, einem Set Fenstersensoren und einem Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor ist für rund 500 bis 700 Euro zu erwerben. Geht man davon aus, dass die Absatzzahlen für SmartHome-Systeme rasant steigen, wird sich der Wunsch nach herstellerübergreifender Systemerweiterung durchsetzen. Um domänen- und herstellerübergreifende Interoperabilität zu erreichen, ist die Einhaltung von Standards oder Konventionen zu gewährleisten.

Der demografische Wandel führt zu steigenden Kosten im Gesundheitssystem. Im Bereich der technischen Assistenzsysteme für Ältere wird ein hohes Potenzial für die Verbesserung und Aufrechterhaltung der Gesundheit vermutet [5]. Dieser Bereich wird als Ambient Assisted Living (AAL) bezeichnet. Hier sind beispielsweise Vitaldatenmonitoring, intelligente Rollatoren oder Hausnotrufsysteme zu nennen. Verbreitete Anwenderszenarien werden katalogisiert und gesammelt – dies ist eine notwendige Maßnahme aus Perspektive der beabsichtigten Interoperabilität. Aus gesundheitsbezogener Sicht ist es ratsam, die Bereiche Ernährung, Bewegung und Verhalten zu beobachten. Das tragbare Armband „Up“ von Jawbone in Kombination mit der zugehörigen Android-App und der Programmierschnittstelle erlaubt es, solche Daten zu erheben und in der Serviceplattform zu visualisieren. Durch eine Integration der elektronischen Gesundheitsakte (eGA) werden zum einen weitere fusionsfähige Daten erhalten. Zum anderen ist es aussichtsreich, dass durch einen eGA-Anbieter eine Schnittstelle zum professionellen Gesundheitssystem geschaffen werden kann, etwa zu einer Arztpraxis oder einem Krankenhaus.

In Bestandsgebäuden werden 74 % der Energie für Wärme verbraucht [6]. Demzufolge erkennen Verbraucher hier eine Möglichkeit, Kosten zu sparen. Passive Systeme arbeiten ohne Nutzerinteraktion. Ein Beispiel für ein passives System ist ein intelligentes Heizkörperthermostat. Das selbstlernende, energieautarke Thermostat erkennt die Anwesenheit und das bevorzugte Raumklima eines Bewohners und liefert Einsparpotenziale von bis zu 30 % pro Raum. Neben den passiven Systemen schätzt der Verbraucher die Möglichkeit zur Fernwartung und zum Kos-

tenmonitoring. Setzt sich der Trend fort, dass der Bewohner neben der Rolle des Energieverbrauchers auch die des Energieproduzenten einnimmt, wird dieser weitere Parameter beobachten wollen.

Zahlreiche Internetdienstleister bieten Webservices an. Es ist möglich, einen Service als Nutzer per Mobiltelefon, per PC oder mit einer eigenen Webanwendung zu konsumieren. Regionale Dienstleister und Einzelhändler verfügen immer häufiger über einen Internetauftritt und erkennen diesen Kanal als potenziellen Vertriebsweg. Sie sind demnach empfänglich für Angebote von Webserviceanbietern, die das bestehende Angebot des regionalen Dienstleisters mit der existierenden lokalen Nachfrage zusammenbringen. Als Beispiel ist der ambulante Pflegedienst zu nennen, der sich im Vorfeld bereits über den tatsächlichen Bedarf des Bewohners informieren kann.

Webservices beschreiben die von ihnen angebotenen Funktionen. Sie bieten demnach eine Schnittstelle für externe Softwareentwickler und deren Anwendungen. Wird dieser Ansatz weitergedacht, findet Kommunikation zwischen zwei Webservices statt. Es handelt sich um die Maschine-Maschine-Kommunikation zweier Objekte, die einen Zusatznutzen generieren möchten. Dies wird gemeinhin als Kernidee des Internets der Dinge verstanden. Wird dieser Ansatz um eine zusätzliche semantische Komponente erweitert, entspricht dies dem Industrie-4.0-Gedanken [7]. Hier sind sich die Maschinen darüber im Klaren, über welche Fähigkeiten sie verfügen und welche Ressourcen sie zur Abarbeitung bestimmter Funktionen benötigen. Falls es möglich ist, werden solche Objekte oder Maschinen um Selbstmanagementfähigkeiten erweitert.

Die beabsichtigte Fusion der Daten aus den Bereichen Gebäudeautomation, Energie- und Gesundheitsmanagement impliziert besondere Herausforderungen: Produkte, die Gesundheitsdaten verwenden, kommen gegebenenfalls mit dem Medizin-Produkte-Gesetz (MPG) in Berührung. Für MPG-zulassungspflichtige Anwendungen entstehen deutlich höhere Kosten als für konventionelle Produkte. Des Weiteren werden die Zulassungsanforderungen auf das gesamte Produkt ausgeweitet, auch auf gesundheitsferne Anwendungsbestandteile. Die Verbrauchermeinung zur möglichen Datenfusion variiert stark: Insbesondere der Zugriff auf die medizinischen Daten ist häufig ein Ausschlusskriterium für eine Investition in eine Serviceplattform. Andererseits ist für Nutzer, die bereits ähnliche Webanwendungen als Insellösungen nutzen, das zusätzliche Risiko oft tolerierbar. Serviceplattformhersteller verfügen somit weder über Rechtssicherheit noch über eine vorhersagbare Akzeptanzquote. Es ist somit unabdingbar, eine Serviceplattform nutzerzentriert zu entwickeln, um auf Nutzererwartungen dynamisch reagieren zu können und eine flexible Zusammenstellung des Sensor- und Aktorbedarfs ins Auge zu fassen, am besten in Anlehnung an verbreitete Krankheitsbilder.

Apple und Google ermöglichen die Nutzung der angebotenen Webdienste auf mehreren Endgeräten. Ebenso drängen beide Anbieter sowohl in den Gesundheitsbereich als auch in das häusliche Umfeld – Apple bietet seit iOS 8 das health- und das home-Kit. Google hat mit dem Kauf der Firma Nest, einem Hersteller von Rauchmeldern, für die Möglichkeit gesorgt, eine zentrale Komponente mit Ankopplung ans Android-Betriebssystem im häuslichen Umfeld zu platzieren. Es ist somit davon auszugehen, dass die Smartphone-Generation zeitnah auf das Potenzial intelligenter Wohnungen aufmerksam wird. Medienwirksame Werbekampagnen deutschsprachiger Anbieter wie RWE SmartHome oder Somfy sind der Aufmerksamkeitsbildung ebenfalls zuträglich.

Es konnte gezeigt werden, dass die Verbraucher ganzheitliche SmartHome-Systeme in den kommenden Jahren vermehrt wahrnehmen werden. Es liegt nahe, dass anschließend Fragestellungen zur Systemerweiterung relevant werden, die nur herstellerübergreifend zu beantworten sind, aber bereits jetzt bedacht werden müssen. Bei Fragen zur Systemerweiterung spielt neben der Interoperabilität auch die Möglichkeiten der Fernwartung sowie der Selbstinstallation eine Rolle. Werden diese Faktoren berücksichtigt, ist zu erwarten, dass der wahrgenommene Nutzen für eine Investition ausreicht und die beim Gebrauch gemachten Erfahrungen zur Akzeptanz der Lösung führen.

3 Lösungskonzept einer SmartHome-Serviceplattform

Das Ziel eines Lösungskonzepts für eine intelligente Wohnung oder Serviceplattform kann nur darin bestehen, die bei der Potenzialanalyse aufgezeigten Bereiche zu adressieren und in Form eines Demonstrators der Zielgruppe zur weiteren Evaluation anzubieten. Über mehrere Iterationen ist der Demonstrator durch nutzerzentrierte Entwicklung in einen vielversprechenden Prototyp zu überführen, der im Nachgang von einer Firma zur Marktreife gebracht werden kann. Das Lösungskonzept beschreibt den Aufbau und die Architektur der Serviceplattform. Ebenso werden die Anforderungen an den Softwareentwicklungsprozess genannt und ein Geschäftsmodellentwurf für die Serviceplattform gezeigt.

Es empfiehlt sich, eine intelligente Wohnung als Webanwendung im IoT zu realisieren. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle basiert auf HTML5, einem vielversprechenden und sich aktuell etablierenden Webseitenstandard. Für die Oberfläche wird ein Rahmenwerk eingesetzt, hier Twitter Bootstrap in der Version 3.x. Twitter Bootstrap erlaubt responsives Design, es wird dadurch machbar, die einmal entwickelte Oberfläche auf allen Endgeräten zu nutzen. Es ist folglich möglich, dass der Nutzer ein für ihn gewohntes Endgerät einsetzen kann. Anforderungen an die Barrierearmut können durch eine Erweiterung des Twitter Bootstrap Frameworks adressiert werden. Insbesondere im AAL-Umfeld ist die Tauglichkeit der Serviceplattform für Menschen mit Einschränkungen unabdingbar. Neben der Präsentationsschicht existieren die Schichten der Geschäftslogik und der Datenhaltung in einer Webanwendung. Der Demonstrator nutzt hierfür das Model-View-Controller-Architekturmuster (MVC). MVC trennt die Nutzerschnittstelle von der Geschäftslogik und der Datenhaltung. Dadurch kann flexibel erweiterbare und leicht wartbare Software kreiert werden. Für den MVC-Einsatz existieren je Programmiersprache spezifische Rahmenwerke, etwa das Zend Framework in der Version 2.x für die Programmiersprache PHP. Die beiden Rahmenwerke sind in Kombination einsetzbar (Abb. 2).

Rechtliche Fragestellungen in Bezug auf das MPG und bestehende Datenschutznormen werden hier bewusst ausgeklammert. Es soll lediglich erwähnt werden, dass die Hauptverantwortung der Gesundheitsdaten beim Anbieter einer eGA gesehen wird. Dieser muss in der Lage sein, die Daten auf passende Weise in das professionelle Gesundheitssystem zu transferieren, hier also den Transfer zwischen dem personal health record zum electronic health record zu meistern. Auf Seiten der intelligenten Wohnung werden exemplarisch die Schnittstellen der Dienste von Jawbone und Withings genutzt (Abb. 3). Die Herausforderung besteht darin, die Komplexität der Handhabung dieser Dienste vor dem Endanwender zu verbergen und durch die Datenfusion einen Mehrwert zu schaffen. Etwa kann beim Adipositas-Patienten durch das Monitoring von Bewegung, Ernährung und Körnergewicht eine Verbesserung der Situation bewertet und

auf Wunsch der Krankenkasse zugänglich gemacht werden. Die Krankenkasse kann dann wiederum eine Rückzahlung an den Versicherten einleiten und unterstützt somit aktiv die beabsichtigte Lebensstiländerung. Es ist aus der Datenschutzperspektive günstiger, wenn die zur Messung herangezogenen Webdienste in Deutschland ansässig wären - da die Dienste der im Ausland ansässigen Firmen im Entwicklungsprozess weiter fortgeschritten sind, werden diese genutzt. Es ist dadurch möglich, die Funktionalität dem Nutzer durch einen Prototyp anzubieten und Erkenntnisse zu Erwartungshaltungen der Zielgruppe und der Usability des Prototyps zu erlangen.

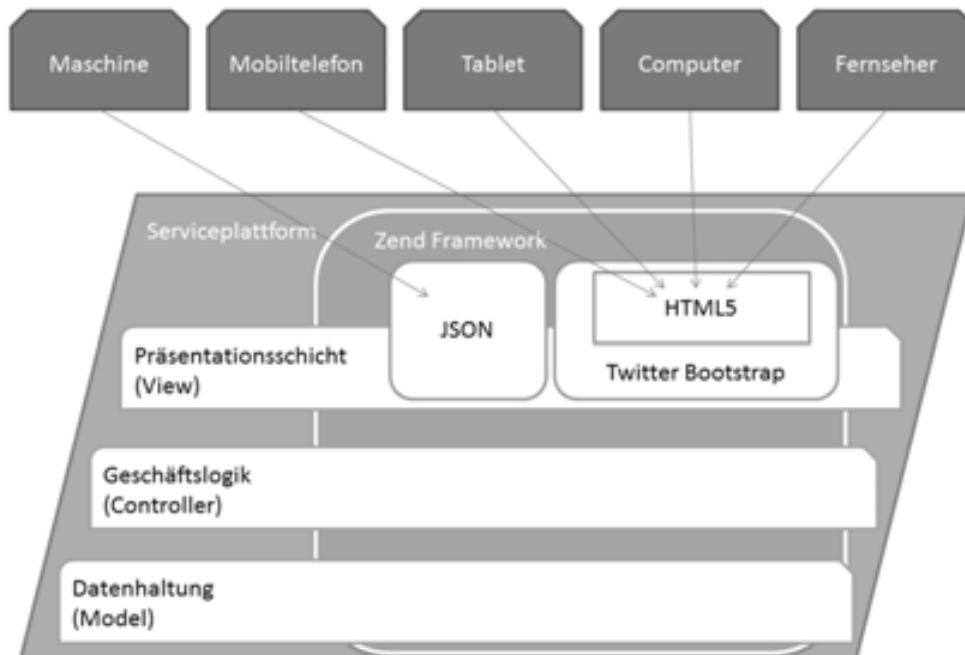


Abb. 2: Softwarearchitektur der Serviceplattform. Das Model-View-Controller-Muster wird durch das Zend Framework realisiert. Twitter Bootstrap erlaubt responsives Design. Je nach Endgerät eines Nutzers wird die passende HTML5-Oberfläche ausgeliefert. Für maschinelle Zugriffe existiert eine JSON-Schnittstelle, die JSON-Dateien werden von der Zend Framework View-Komponente erzeugt.

Der nutzerzentrierte Entwicklungsprozess [8] beruht unter anderem darauf, dass häufig vorzeigbare Prototypen für Usability-Tests zur Verfügung stehen. Als Vorgehensmodell für die Softwareentwicklung eignen sich somit agile Verfahren, hier Scrum [9]. Dadurch ist es möglich, die zu entwickelnde Software den Nutzerbedürfnissen dynamisch anzupassen. Es wird folglich darauf vertraut, dass sich passende Architekturen durch die Mitbestimmung und Einbindung des Nutzers ergeben werden. Besonders bewährt hat sich der Einsatz der testgetriebenen Entwicklung für Webanwendungen. Im Projekt werden als Technologien unter anderem die Programmiersprache PHP für die Webserverprogrammierung und MySQL als Datenbank eingesetzt. Zur Umsetzung des MVC-Musters wird das ZendFramework in der Version 2.x genutzt. Durch die Werkzeuge PHPUnit sind Einheitentests möglich und durch Selenium Integrationstests. Selenium erlaubt die programmatische Steuerung des Webbrowsers. Komplette Anwendungsfälle können so automatisiert ablaufen.



Abb. 3: Links wird das Jawbone Up-Armband gezeigt. Es misst die Aktivität, bietet semiautomatische Eingabemöglichkeiten für Stimmungslage, Schlafstunden und Ernährungsgewohnheiten. Rechts ist das Konkurrenzprodukt des Anbieters Withings zu sehen. Je nach erworbeiner Sensorik erlaubt es die Aufzeichnung von Schlaf, Aktivität, Puls, Gewicht und weiteren Parametern, etwa dem Blutdruck (Quelle: eigene Darstellung nach tabscape.com, gadfit.com).

Ein Zugriff fernab des lokalen Netzes soll möglich sein. Auf Wunsch soll der Bewohner den Datenaustausch auf das lokale Netz beschränken können. Um dieser Idee gerecht zu werden, kann die Webanwendung auf einem Webserver und im lokalen Netz ausgeführt werden. Es existieren also gleichzeitig zwei aktive Instanzen der Webanwendung. Befindet sich der Bewohner außerhalb des lokalen Netzes, stellt dieser eine Anfrage an den von überall erreichbaren Webserver. Diese Webanwendung nutzt wiederum die JSON-Schnittstelle (Abb. 1) der lokalen Webanwendung, um die gewünschte Aktion an die Middleware zu übermitteln und etwa die Heizung im Wohnzimmer einzuschalten.

Das System soll hersteller- und domänenübergreifende Interoperabilität bieten. Ebenfalls ist es wünschenswert, wenn das System generisch erstellt werden kann. Es soll also möglich sein, das System einmalig zu konfigurieren, anschließend den benötigten Programmiercode zu generieren und ein lauffähiges System zu erhalten. Für beide Anforderungen ist es entscheidend, in einer Konfigurationsdatei die beabsichtigten Eigenschaften des Systems vorzuhalten. Insbesondere werden hier zum einen alle Räume und zum anderen alle Funktionen genannt und einander zugeordnet (Abb. 4). Durch den parametrierbaren und generischen Ansatz wird es möglich, die Konfiguration etwa bei einer gewünschten Systemerweiterung dialoggestützt anzupassen und dann das System sich selbst neu generieren zu lassen.

```
<?php
return array(
    'room' => array(
        array('name' => 'Arbeitszimmer', 'id' => 1),
        array('name' => 'Flur', // ...
    )),
    'action' => array(
        array( 'name' => 'Ventilator', 'id' => 1, 'type' => 'switch', 'roomId' => 1,
            'typeId' => 2, "value" => EhomeConstants::TURMOW, 'protocol' => EhomeConstants::HOMEMATIC),
        array( 'name' => 'Tischlampe', // ...
    )));
?>
```

Abb. 4: Auszug der Konfigurationsdatei in Form verknüpfter PHP-Arrays. Die Räume (room) werden genannt, ebenso alle beabsichtigten Ereignisse (action) und miteinander in Verbindung gebracht. Auf Grundlage der Konfigurationsdatei kann das System neu generiert werden.

Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“

Eine Kernherausforderung besteht in der Kreation eines flankierenden Geschäftsmodells für diese Plattform. Das Geschäftsmodell kann hier nur angedeutet werden und dient lediglich als Startpunkt. Als Visualisierungsmethode wird der Business Model Canvas (BMC) [10] eingesetzt, ein Werkzeug, um Geschäftsideen schnell zu erfassen, zu bewerten und weiter zu entwickeln. Der BMC betrachtet 9 Blöcke, die 2 Bereichen zugeordnet werden: die Seite der Wertschöpfung und die Seite der Effizienz. Die Blöcke der Wertschöpfungsseite sind das Wertangebot, die Vertriebswege, die Kundenbeziehungen und die Einnahmequellen. Auf der Effizienzseite finden sich die Schlüsselressourcen, die Schlüsselaktivitäten, die Kundensegmente und die Kostenstrukturen. Die Geschäftsidee des geschilderten Konzepts soll unter Zuhilfenahme des BMC visualisiert werden (Abb. 5).



Abb. 5: Der Business Model Canvas für die Serviceplattform, die als Open-Source-Software am E|Home-Center, dem bayerischen Technologiezentrum für privates Wohnen, konzepti- niert und prototypisch entwickelt wird.

4 Diskussion und Ausblick

Nachdem das Potenzial einer intelligenten Wohnung als Baustein im Internet der Dinge analysiert und das Lösungskonzept für eine domänenübergreifende Serviceplattform gezeigt wurden, beleuchtet die Diskussion die zukünftige Marktentwicklung und alternative Ansätze zur Unterbringung der Geschäftslogik und des Konfigurationsansatzes. Ebenso werden die Konsequenzen des Einsatzes von Webservices betrachtet.

Die SmartHome-Marktentwicklung wird durch die geschilderten Kampagnen und Bemühungen deutschsprachiger und international agierender Unternehmen vermutlich ausreichend gefördert, sodass die Erwartung von 1 Million vernetzter Haushalte in Deutschland weit vor 2020 erfüllt wird. Jeder weitere vernetzte Haushalt mit eingesetzter SmartHome-Technologie führt

dazu, dass Erfahrungswissen darüber generiert wird, inwieweit die katalogisierten Anwendungsszenarien tatsächlich relevant und gewünscht sind. Dies wird für die Standardisierungsbemühungen förderlich sein. Ebenso werden System- und Komponentenanbieter die Erfahrungswerte bezüglich der Akzeptanz begrüßen. Durch die gesteigerten Absatzzahlen ist vermutlich mit Technologiesprünge zu rechnen.

Es scheint sehr vielversprechend, bereits existierende Webdienste von Drittanbietern zu nutzen, insbesondere für die Authentifizierung und die mit tragbarer Sensorik verknüpften Webdienste. Darüber hinaus ist es sinnvoll, einen genutzten Webdienst für mehrere Zwecke zu gebrauchen. Als Beispiel kann der Dienst zur Videotelefonie neben der gewohnten Aufnahme eines Gesprächs in einem virtuellen Gruppentraining zur Kontaktaufnahme des Trainers genutzt werden. Anwendungsmodule von Drittanbietern sollten somit für die optionale Nutzung aktuell verbreiteter Webdienste vorbereitet sein. Die Vorbereitung ist ebenfalls für existierende Hardware denkbar – so kann eine Kinect-Kamera, die an das System zur Bewegungsanalyse gebunden ist, auch für die Gestensteuerung oder die Lokalisierung beziehungsweise die Identifikation einer Person genutzt werden.

Es ist zu diskutieren, an welcher Stelle die Geschäftslogik zu platzieren ist. Bleibt man auf Softwareebene und bündelt diese in einer Zentraleinheit, erhält man eine kostengünstige, beherrschbare Lösung mit niedrigem Kommunikationsaufwand. Verschiebt man die Geschäftslogik in die einzelne Sensor- oder Aktor-Komponente und bestückt diesen Komponentenverbund mit passenden Kommunikationswerkzeugen, erhält man autonome Systembausteine, die wiederum um Self-X-Attribute bereichert werden können. Die Kosten steigen, da mehr Technik redundant einzubauen ist. Passende Informationsmodelle vorausgesetzt, wird es durch diesen dezentralen Ansatz möglich, dass beliebige Zusatzeffekte durch reine Systemerweiterung generiert werden können. Es erscheint plausibel, dass sich diesem dezentralen Ansatz durch immer modularer werdende Softwaremodule genähert werden kann. Nachdem die benötigte Funktionalität der Softwaremodule und der Kommunikationsaufwand des Modulverbunds geklärt sind, kann die Geschäftslogik in eigene Hardwareeinheiten ausgelagert werden.

Der Konfigurationsansatz hat sich als erste interoperabilitätsfördernde Maßnahme für die Hausautomation vorerst bewährt. Bei der Integration der Energiedomäne wird es mit dieser Methode bereits unübersichtlich. Es wird sich zeigen, inwieweit Standardisierungsbemühungen – etwa die aus dem Industriemfeld bekannte Erstellung von Informationsmodellen oder die aus der Softwareentwicklung bekannte Festlegung domänenspezifischer Sprachen oder die Erfahrungen aus dem Nutzeralltag – zu exakt implementierbaren Anwendungsfällen mit eindeutig vorhersagbaren Ergebnissen der beteiligten Fremdsysteme führen werden.

Der Einsatz einer Middleware zur Ansteuerung der Sensoren und Aktoren hat sich bewährt und kann bis zum Durchbruch der Standardisierung oder einer de-facto-Standardisierung problemlos weiter verwendet werden. Um neue Dienste zur Laufzeit einzubinden scheint openHAB vielversprechender als fhem. Neben dem Einsatz von Open-Source-Technologie ist es ratsam Nutzer und Zulieferer über Open-Innovation-Verfahren an der fortlaufenden Evolution eines SmartHome-Ökosystems partizipieren zu lassen.

Es konnte gezeigt werden, dass sich die Marktsituation für den SmartHome-Markt in naher Zukunft verbessern wird. Ebenso ist ersichtlich, dass durch eine intuitiv nutzbare domänenübergreifende Serviceplattform viele der bestehenden und zukünftigen Markthemmisse beseitigt werden.

5 Literatur

- [1] Kopetz, H.: Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. New York: Springer, S. 308, 2011.
- [2] Bauer, J.; Kettchau, A.; Franke, J.: Optimierung der Datenvisualisierung von AAL-Serviceplattformen durch Usability-Tests. In: 7. Deutscher AAL-Kongress, Berlin, Tagungsbeiträge. Berlin: VDE Verlag GmbH, 2014.
- [3] BAGSO: Ergebnisse einer Befragung „Wohnen im Alter“. S. 67, 2005. 14.11.2014, <<http://www.bagso.de/fileadmin/Aktuell/WohnenimAlterEndbericht.pdf>>
- [4] Wagner, G. et al.: Vor dem Boom – Marktaussichten für Smart Home: Fokusgruppe Connected Home des Nationalen IT-Gipfels, Bitkom Deloitte, S. 10, 2014.
- [5] Berndt, E.; Wichert, R.; Schulze, E.; Oesterreich, D.; Böhm, U.; Gothe, H.; Freytag A.; Daroszewska, A.; Storz, P.; Meyer, S. und Dierks, C.: Marktpotenziale, Entwicklungschancen, Gesellschaftliche, gesundheitliche und ökonomische Effekte der zukünftigen Nutzung von AAL-Technologien, Schlussbericht des vom BMBF geförderten ITA-Projekts FKZ 16|1575. <http://publica.fraunhofer.de/>
- [6] Umweltbundesamt: Energieeffizienzdaten für den Klimaschutz, Umweltbundesamt Pressestelle, S. 15, 2012.
- [7] Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. 2013, S. 17.
- [8] DIN EN ISO 9241-210: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme
- [9] Wintersteiger, A.: Scrum: Schnelleinstieg. 2. Auflage. Frankfurt am Main: entwickler.press. 2013.
- [10] Osterwalder, A. und Pigneur, Y.: Business Model Generation: A Handbook for Visionaires, Game Changers, and Challengers. New Jersey: John Wiley & Sons. 2010.

Intelligente Automatisierung für energiesparende Privathaushalte - ein Simulatorwerkzeug

J. Haase, D. Meyer, M. Eckert

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Fakultät für Elektrotechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

haase@hsu-hh.de, dmeyer@hsu-hh.de, eckert@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Der interessierte und technikbegeisterte Hausbesitzer kann heutzutage viele Geräte kaufen, mit denen er sein Haus sicherer, komfortabler und energiesparender machen kann. In diesem Beitrag wird ein Simulationswerkzeug für Wohnungen und Häuser vorgestellt, das sowohl die Effekte der Benutzung verschiedener Geräte bei verschiedenen Archetypen von Bewohnern als auch Informationen über den zu erwartenden Energieverbrauch des Haushalts gibt.

Abstract

Towards Smart Building Automation for Private Homes

The interested home owner can buy different technical devices in order to make his home a) more secure, b) safer, c) more comfortable, or d) less energy consuming (i.e., cheaper or “greener”). The focus of this work lies on a simulation method for apartments and/or buildings that helps assessing the effect of new devices on different archetypes of residents as well as giving energy consumption estimations for simulated use cases.

1 Einleitung

Der Bereich der Gebäudeautomatisierung ist heutzutage im Aufwind. Im Lichte der Vision einer zukünftigen „Smart City“ können mehrere Aspekte durch Geräte abgedeckt werden, die der Interessierte kaufen kann, um sein Haus oder seine Wohnung zu verbessern. Diese Aspekte zielen zumeist auf a) (Daten-)Sicherheit, b) Funktionssicherheit, c) Komfort und d) Energieverbrauch.

Einige dieser Themen können gekoppelt werden, beispielsweise bei einer Gebäudeüberwachung, die per Mobiltelefon gesteuert werden kann (a und c), einem Treppenlift für ältere Menschen (b und c) oder auch einem Heizungssystem, das nur aktiv wird, wenn auch Menschen im Haus detektiert werden (c und d). Ein besonders wichtiger technischer Aspekt ist die Kommunikation zwischen verteilten Geräten, die die Umgebung abtasten und auf vordefinierte Muster reagieren. Dies wird im Wesentlichen durch Sensor/Aktor-Systeme erreicht.

Es stellt sich aber die Frage, ob ein neu auf dem Markt erschienenes intelligentes System, das installiert werden könnte, wirklich dabei helfen wird, Energie dadurch zu sparen.

Der Fokus dieser Arbeit liegt in einer Simulationsmethode für Wohnungen und/oder Gebäude, das dieser Frage nachgeht und dabei das Verhalten verschiedener Archetypen von Bewohnern berücksichtigt (z.B. eine Familie mit kleinen Kindern im Vergleich zu einem arbeitenden Paar, das morgens früh aus dem Hause geht und spät zurück kommt). Außerdem werden Energieverbrauchsabschätzungen für simulierte Fälle erstellt und Hilfestellung für Steuerungsmechanismen (die die Funktion von Aktoren aufgrund von Sensor-Eingaben regeln) gegeben.

Die Information, die ein solches Simulationswerkzeug liefert, kann auch von Energieversorgern genutzt werden, um zu entscheiden, ob ein neues Tarifschema erfolgversprechend ist. Außerdem kann abgeschätzt werden, welche Einsparungseffekte die Renovierung eines Gebäudes bringen wird.

2 Stand der Forschung

Informations- und Kommunikationstechnologie sind wichtige Teile neuer Energie-Optimierungsmechanismen. Diese Lösungen versuchen den Energieverbrauch von Haushalten intelligenter zu gestalten, um weniger Energie zu verschwenden oder zu verbrauchen [1]. Dadurch kann in vielen Haushalten Geld eingespart werden. Eine der Visionen von der nächsten Generation von intelligenten Gebäudeautomatisierungslösungen ist, dass ein autonomes, Entscheidungen unterstützendes System die Einstellungen von Haushaltsgeräten, Steuerungsgeräten von Licht und Heizung und Unterhaltungselektronik mit den jeweiligen Bewohnern des Haushaltes, ihren Gewohnheiten, Vorlieben und Bedürfnissen verknüpfen kann. Basierend auf dieser Verknüpfung kann dann ein Gebäudeautomatisierungssystem die Einstellungen auf die Vorlieben des jeweils Anwesenden anpassen, um den Komfort zu verbessern und den Energieverbrauch zu optimieren, z.B. den gesamten Energiebedarf zu senken oder die Zeit, wann Energie benötigt wird, zu verbessern (oft ist Energie nachts billiger als tagsüber) [2]. Da einige der Entscheidungen zum Energieverbrauch immer unter der direkten Kontrolle der Bewohner sein müssen, die das automatische System manipulieren oder durch unkluge Bedienung dejustieren könnten, muss das Gebäudeautomatisierungssystem nach einer solchen Veränderung die Einstellungen selbsttätig immer wieder neu optimieren können. Die Visionen von Gebäudeautomatisierungen werden von zwei Trends bestimmt [3,4]: auf der einen Seite wird es möglich sein, eine große Anzahl unterschiedlicher intelligenter Geräte in das Kommunikationsnetz des Hauses einzubinden und mit Diensten außerhalb des Hauses zu kommunizieren, z.B. dem Stromanbieter [5]; auf der anderen Seite gibt es Bestrebungen, ein zentrales Gerät im Haushalt zu etablieren, das „Gateway“, das als die zentrale intelligente Komponente nicht nur die Kommunikation innerhalb des Haushaltes, sondern auch die zentrale Entscheidungsfindung für Energieverbrauch und Gebäudeautomatisierung im Haushalt übernimmt [6-8].

Diese Gateways sollen dann auch die Kommunikation mit den intelligenten Stromnetzen übernehmen, um das Energiemanagement in den zukünftigen Haushalten zu verbessern, z.B. direkt durch den Stromzähler, der einen beschränkten und sicheren Zugriff für die Strom- und Diensteanbieter der intelligenten Netze ermöglicht.

3 Beeinflussende Faktoren

Dieses Kapitel hebt mehrere Einflussfaktoren von Micro Grids und Heizungssystemen in privaten Haushalten hervor.

1. Gebäudestruktur

Ein offensichtlicher Einflussfaktor ist die thermische Isolierung von Gebäuden. Durch thermische Brücken in der Außenwand oder zu Nachbarräumen kann es zu einem höheren Energieverbrauch kommen. Dieser Einfluss kann sehr gut durch die physikalische Wärmeleitfähigkeit des Wandmaterials modelliert werden. Trotzdem müssen weitere Faktoren in Betracht gezogen werden – vor allem, wenn menschliches Verhalten eine Rolle spielt. Zum Beispiel sind dünne

Wände nicht nur eine thermische Brücke, sondern auch weniger lautstärkedämmend. Dieser Faktor führt dann zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit, in dem Raum z.B. eine Waschmaschine nachts laufen zu lassen. Dies führt zu einem limitierenden Faktor bei der Energieoptimierung.

Energiespeicherung in Gebäuden ist derzeit ein wichtiges Thema. Energie kann durch Vorheizen von Räumen in diesen gespeichert werden, wenn die Nutzungsvorhersagen für diesen Raum genau genug sind. Es gibt Fälle, bei denen ein Raum früher zu einem günstigeren Preis aufgeheizt werden kann und die Raumtemperatur zum Zeitpunkt der Nutzung immer noch komfortabel ist. Wenn das verwendete Gebäude in einer sehr windigen oder sonnenbeschienenen Gegend steht, kann zusätzlich lokale Energiegewinnung in Betracht kommen. Solarzellen oder kleine private Windkraftwerke kommen dafür in Frage.

2. Konsumenten-Flexibilität

Die Flexibilität der Einwohner eines Hauses oder einer Wohnung hat ebenfalls einen großen Einfluss auf ihr Verhalten. Dies wird hauptsächlich über die Einteilung der Einwohner in unterschiedliche Archetypen modelliert, wie z.B.

- Ein arbeitendes Paar ohne Kinder; dieses Paar wird den größten Teil des Tages nicht zu Hause sein und dadurch wird der Energieverbrauch hauptsächlich in den Abendstunden stattfinden. An Wochenende wird dieser Energieverbrauch auch tagsüber stattfinden.
- Eine Familie mit kleinen Kindern; diese Familie wird ihren Tag früh beginnen und hat einen mehr oder weniger regelmäßigen Tagesablauf für jeden Tag in der Woche. Energie wird den ganzen Tag verbraucht, verringert sich aber in den Abendstunden, wenn die Kinder und die erschöpfsten Eltern zu Bett gehen.
- Eine Studenten-Wohngemeinschaft; In vielen Fällen haben Studenten einen leicht verschenbenen Tagesablauf. Sie stehen spät auf und gehen spät ins Bett. Außerdem haben sie häufiger Besuch am Abend. Dies führt zu einem höheren Energieverbrauch in diesem Zeitraum.
- Bewohner, die eine Fernbeziehung führen; diese Personengruppe wird sehr häufig über das Wochenende verreisen und deshalb wird der Energieverbrauch am Wochenende gering sein. Außerdem spielt die Flexibilität eine große Rolle dabei, ob der Konsument bereit ist, sein Verhalten kurz- oder langfristig zu verändern, um Energieeinsparungen zu erreichen. Dies ist eine Abwägung zwischen Komfort und Kosten. Viele Menschen bevorzugen einen höheren Energieverbrauch zu höheren Kosten, als sich eingeschränkt zu fühlen. Die Anbieter decken diesen Bedarf durch das Anbieten von Flatrates. Unabhängig davon gibt es viele Geräte, deren Betrieb nicht zu einem anderen Zeitpunkt stattfinden kann, um Strom zu sparen. Dazu gehören zum Beispiel Fernseher oder Computer: Wenn der Bewohner den Fernseher einschaltet, erwartet er in diesem Moment fernzusehen, nicht eine halbe Stunde später, wenn der Energiepreis etwas günstiger sein mag.

3. Gesetzliche und Gesellschaftliche Einflüsse

Einige Methoden bei der Energieoptimierung wie auch beim Informationsaustausch in Smart Grids können illegal, unhöflich oder anderweitig ungewollt sein. Ein sehr wichtiges Thema in diesem Bereich ist die Privatsphäre: Technisch ist es möglich, das Verhaltensprofile von Konsumenten leicht zum Energieversorger übertragen werden könnten. Dies ist aber in den meisten Fällen nicht gewollt.

Ein Modell, das versucht eine gute Darstellung eines Gebäudes oder auch von mehreren Häusern, wie einer kleinen Siedlung, zu erreichen, müssen alle diese Einflussfaktoren berücksichtigen.

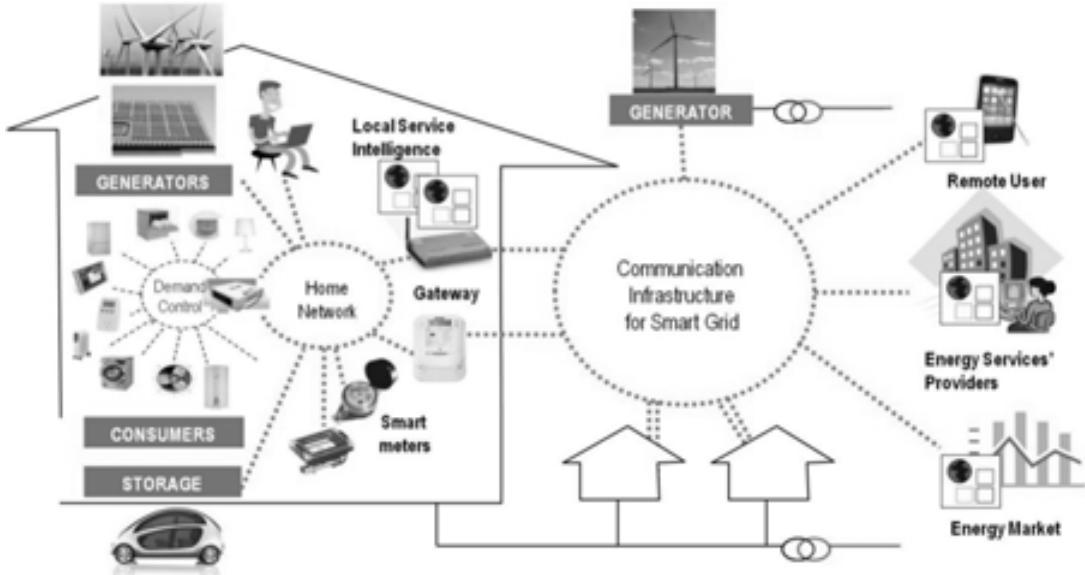


Abb. 1: GreenHome: Grid Responsive Energy Efficient Networked Home

Das GreenHome [9] Projekt (Abb. 1) versucht ein intelligentes Gerät zu entwickeln, welche alle diese Faktoren berücksichtigt. Ein Test Szenario ist in Abb. 2 dargestellt. Als Teil dieses Projektes wurde der im nächsten Kapitel beschriebene Simulator entwickelt.

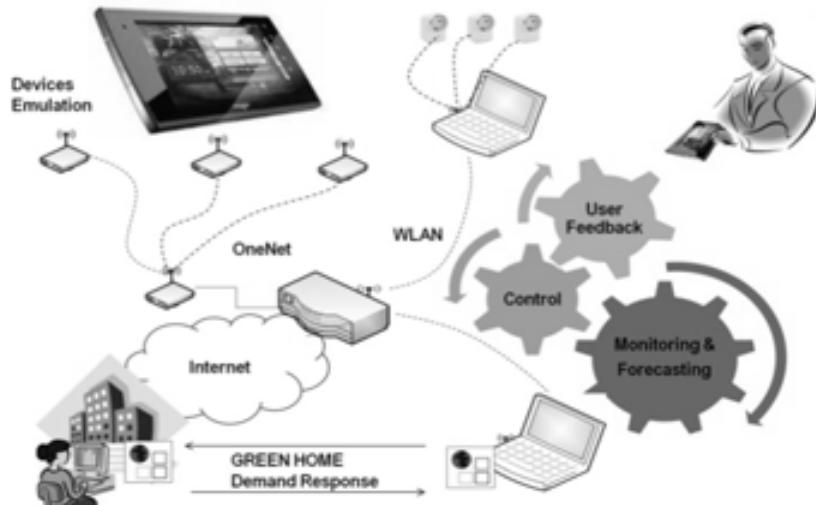


Abb. 2: Testszenario des GreenHome Projektes: Mehrere smart Devices sind drahtlos mit einem zentralen Gateway verbunden.

4 Der Simulator und Ergebnisse

Das Werkzeug zur Untersuchung und Simulation der oben genannten Fragestellungen basiert auf SystemC und SystemC AMS. Obwohl im Bereich der Gebäudeautomatisierung keine integrierten Schaltkreise simuliert werden, ist der zeitdiskrete, ereignisgesteuerte Simulationsmechanismus von SystemC geeignet, die Kommunikation zwischen Geräten oder zwischen dem Energieverbraucher (Anwohner) und den genutzten Geräte nachzubilden [10].

Die Simulation eines Gebäudes inklusive der Gewohnheiten und Verhaltensweisen der Verbraucher, die im vorherigen Abschnitt beschrieben wurden, ist zwar etwas ungenau aber dennoch ausreichend. Die Ursache für die Ungenauigkeit liegt in der hohen Komplexität der Simulation der Wärmeflüsse, des Energieverbrauchs der Geräte, der drahtlosen Kommunikation zwischen den Geräten, der Datenverschlüsselung von Datenpaketen, den Kommunikationsfehlern usw.

Dieser hohe Detailgrad würde zu sehr langen Simulationszeiten führen. Um dieses Problem zu lösen, wurde auf Simulationsverfahren für eingebettete Systemen zurückgegriffen. Die Simulatoren für eingebettete System haben einen lange Entwicklungsweg im Hinblick auf die Optimierung der Rechenzeit einer Simulation erfahren. Dadurch können heute Simulationsergebnisse in Minuten anstelle von Tagen berechnet werden.

Im Umfeld eingebetteter Systeme umfasst ein einzelner Simulationsschritt nur wenige Nanosekunden. Im Umfeld von Gebäuden umfasst ein einzelner Simulationsschritt hingegen mehrere Stunden, Minuten oder zumindest Sekunden. Unabhängig von diesem Unterschied in der Zeitauflösung sind die anzuwendenden Simulationsverfahren sehr ähnlich. Daher wurde ein auf SystemC basiertes Werkzeug für den Systementwurf erfolgreich für die Gebäudesimulation angepasst.

Es wurde gezeigt, dass der neue Gebäudesimulator ähnliche Ergebnisse produziert, wie sie in einer realen Umgebung gemessen werden können. Abbildung 3(a) und 3(b) zeigen, dass das Standard-Last-Profil für Haushalte („H0-Profil“) ohne Berücksichtigung von Erwärmungsverhalten durch die Simulation reproduziert werden kann. Die Ähnlichkeit steigt – wie erwartet – mit einer steigenden Anzahl von simulierten Haushalten.

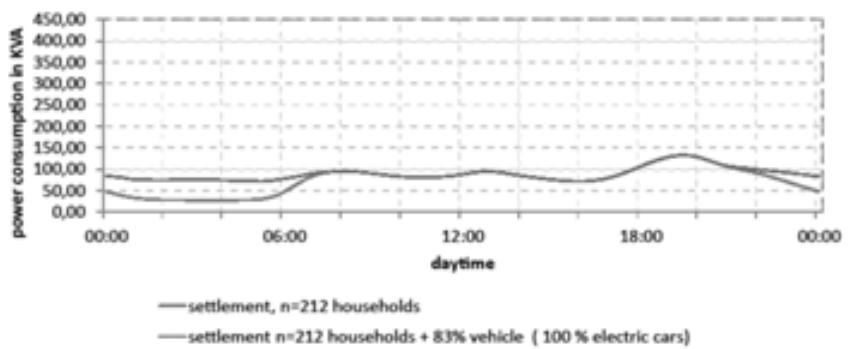


Abb. 3(a): Das Standard-Last-Profil in kVA; untere Kurve: normale Haushalte, obere Kurve: Haushalte mit Elektroautos (entnommen aus [11])

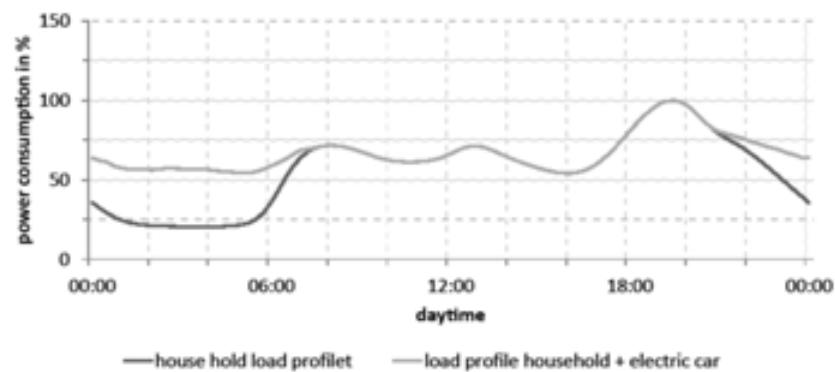


Abb. 3(b): Das Standard-Last-Profil: prozentualer Anteil am Energieverbrauch; untere Kurve: normaler Haushalt, obere Kurve: Haushalt mit Elektroauto (entnommen aus [11])

Wird das Erwärmungsverhalten mit berücksichtigt, so zeigt sich, dass benachbarte Wohnungen in einem Haus sich gegenseitig beeinflussen. Im Gegensatz dazu beeinflussen sich freistehende Einzelhäuser in einer Straße so gut wie oder gar nicht.

Es gibt Energieverbraucher, die nicht flexibel sind. Beleuchtung wird z.B. in der Regel nur dann gebraucht, wenn es dunkel ist. Diese inflexiblen Energieverbraucher machen allerdings einen großen Anteil am gesamten Energieverbrauch aus, der daher nur geringfügig von anderen, flexibleren Energieverbrauchern beeinflusst wird. Ein Beispiel ist hier die Waschmaschine, die in der Nacht wäscht anstatt am Abend.

Als generelles Ergebnis zeigt die Simulation, dass, wenn die Anzahl der simulierten Haushalte sehr stark ansteigt, das statistische Verhalten der Bewohner sich dem Standard-Last-Profil angelebt. Dies ist auf der einen Seite gut, zeigt es doch, dass der Simulator die erhofften Ergebnisse produziert. Auf der anderen Seite ist es schlecht, da es auch zeigt, dass minimale Änderungen in der Preisgestaltung der Energieversorger für große Zahlen von Verbrauchern nicht wirklich wahrnehmbar sind und die dadurch erhofften Auswirkungen in der Gesamtmenge der verbrauchten Energie verschwinden. Offensichtlich kann nur ein „großer Wurf“, z.B. das Verteilen von intelligenten Geräten wie dem Gateway in nahezu jeden Haushalt zu einem spürbaren Effekt führen. Allerdings wird selbst dann das unterschiedliche Verbraucherverhalten einen großen Teil des Einspareffektes aufheben.

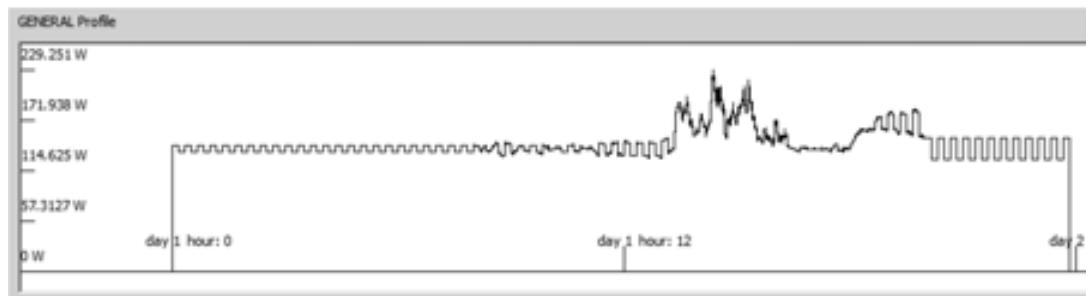


Abb. 4: Simulierter Energieverbrauch eines Gebäudes mit 80 Wohnungen. Die periodischen Anteile zeigen typische Schlafzeiten der Einwohner. Daher sind nur die Heizvorgänge sichtbar, die sich recht gut überlappen.

Abbildung 4 zeigt die Simulationsergebnisse für ein 80 Wohnungen umfassendes Hochhaus. Alle Wohnungen wurden von Paaren mit einem Kind bewohnt. Weiterhin wurde als Mittagessen-Kochzeit einen Zeitraum zwischen 12:30 und 15:00 Uhr sowie frühes zu Bett gehen angesetzt. Die Abbildung zeigt den Anfang der Simulation, wo die jeweiligen Geräte und Temperaturen noch nicht weit auseinandergedriftet sind. Daher zeigt das durchschnittliche Lastprofil kleine, rechteckige Signalverläufe. Diese werden durch parallel betriebenen Kühlschränke und Heizungen verursacht. Im weiteren Verlauf der Simulation verwischt sich dieser Effekt mehr und mehr durch statistisch gesehen leicht unterschiedliche Heiz- und Kühlzeiten.

Der Implementierte Simulator ist bereits bei einigen Firmen wie Infineon und Alcatel-Lucent (für die Simulation der Effekte von neuen drahtlosen Kommunikationsgeräten in Gebäuden) und der Energieversorgung Niederösterreich (EVN, zur Simulation des Nutzerverhaltens bei der Entwicklung von neuen Preistarifen) im Einsatz.

5 Zusammenfassung

Das vorgestellte Werkzeug ist in der Lage, realistische Standard-Last-Profile für typische Fälle zu generieren. Es zeigt außerdem nachvollziehbar die Abhängigkeiten zwischen Szenarien und Faktoren, die empirisch überprüft werden konnten. Noch offen ist allerdings der Vergleich zu realen Daten aus Messungen in einer Modellregion (z.B. eine Modellsiedlung, in der alle Häuser mit intelligenten Gateways ausgestattet sind).

Des Weiteren würden zusätzliche Funktionen wie die Einbeziehung von lokal erzeugter Energie (durch Photovoltaik oder Windturbinen auf Hausdächern) das Werkzeug noch nützlicher machen.

6 Literatur

- [1] Taylor, A. S.; Harper, R.; Swan, L.; Izadi, S.; Sellen, A. und Perry, M.: Homes that make us smart. In: Personal Ubiquitous Computing 11, S. 383-393, 2007.
- [2] Tomic, S.; Fensel, A. V.; Schwanzer, M.; Kojic Veljovic, M.; and Stefanovic, M.: Semantics for energy efficiency. In: Applied Semantic Technologies: Using Semantics in Intelligent Information Processing. Taylor and Francis, USA, 2011.
- [3] Haase, J.; Molina, J.M.; Dietrich, D.: Power-Aware System Design of Wireless Sensor Networks: Power Estimation and Power Profiling Strategies. IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 7, no. 4, S. 601-613, Nov 2011.
- [4] Haase, J.; Zucker, G. und Alahmad, M.: Energy efficient building automation. Proceedings of 40th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON) 2014
- [5] Schmidt, A. and v. Laerhoven, K.: How to build smart appliances? In: Personal Communications, IEEE, vol.8, no.4, S. 66-71, 2001.
- [6] Device Expert Group, Open Service Gateway Initiative, <http://www.osgi.org>.
- [7] Smart House Roadmap, CENELEC, smartHouseRoadmap.pdf from <ftp://ftp.cenorm.be/CENELEC/SmartHouse>.
- [8] Standardization Trends of OSGi Technology, NTT, <https://www.ntt-review.jp>.
- [9] Tomic, S.; Haase, J. and Lazendic, G.: Green home: The concept and study of grid responsiveness. In: Models, Methods, and Tools for Complex Chip Design. Springer International Publishing, S. 165-178, 2011.
- [10] Wenninger, J. und Haase, J.: Using circuit simulation techniques for building automation simulations. Proceedings of Forum of Specification and Design Languages (FDL) 2012
- [11] M. Faschang: System fur die koordinierte Ladung von Elektrofahrzeugen. Master's thesis, Vienna University of Technology, 2011.

SMART-iBrush - Individuelle Unterstützung der Zahnreinigung durch Messung von Bewegung und Druck mit einer intelligenten Zahnbürste

G. Al-Falouji^{1,5}, D. Prestel^{2,3}, G. Scharfenberg¹, R. Mandl¹, A. Deinzer², W. Halang³, J. Margraf-Stiksrud⁴, B. Sick⁵, R. Deinzer⁶

¹Fakultät Elektro- und Informationstechnik, BiSP Labor

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

Prüfener Str. 58, 93049 Regensburg

georg.scharfenberg@oth-regensburg.de, roland.mandl@oth-regensburg.de

²Fakultät Informatik, HS Kempten

arnulf.deinzer@hs-kempten.de, dietmar.prestel@hs-kempten.de

³Fakultät Mathematik und Informatik, FernUniversität in Hagen

wolfgang.halang@fernuni-hagen.de

⁴Institut für Psychologie, Philipps-Universität Marburg

margrafs@uni-marburg.de

⁵Intelligent Embedded Systems, Fachbereich Elektrotechnik/Informatik, Universität Kassel

bsick@uni-kassel.de, g.n.falouji@gmail.com

⁶Institut für Medizinische Psychologie, Justus-Liebig-Universität Gießen

renate.deinzer@psycho.med.uni-giessen.de

Kurzzusammenfassung

Der Forschungsansatz der intelligenten Zahnbürste (SMART-iBrush) verfolgt das Ziel, dass Menschen die für sie effektivste Zahnpflegemethode unter individueller Anleitung der Zahnbürste interaktiv trainieren können. Hierzu wurde eine Zahnbürste entwickelt, die Bewegung und Druckverlauf erfasst. Daten werden an ein Smart Device übertragen und können dort in Echtzeit visualisiert werden, z.B. in eher spielerischer Form für Jugendliche oder sachlich-nüchterner Form für Erwachsene. In einem Feldversuch wurden Daten von 100-Probanden erfasst. Zukünftig soll mit der SMART-iBrush Technologie, bei deren Entwicklung Wissenschaftler in den Bereichen Psychologie, Zahnmedizin, Embedded Systems und Machine Learning kooperieren, auch die Güte des Putzvorgangs bewertet werden, um die Putzenden aktiv anzuleiten.

Abstract

SMART-iBrush – Individual Guidance for Teeth cleaning by measuring Motion and Force using an intelligent Toothbrush

Intelligent toothbrush research (SMART-iBrush) aims to support humans in learning their individual, most effective tooth brushing technique. Therefore, a toothbrush was developed that

measures motion and force applied to its tip. Measurements are transferred to a smart device where they can be visualized in real-time, for example in a more playful fashion for children or a more factual fashion for adults. Field trials were conducted with 100 participants. Future features of SMART-iBrush will include interactive guidance and training techniques. To achieve these goals, researchers from the fields of psychology, dentistry, embedded systems, and machine learning cooperate in SMART-iBrush project.

1 Einleitung

Zähneputzen gilt als die wirksamste Methode, Zähne von Plaque zu befreien und damit kariösen und parodontalen Erkrankungen vorzubeugen [1]. Daher zielen sowohl Gruppenprophylaxeprogramme als auch die Individualprophylaxe im Wesentlichen auf Unterweisungen zu angemessenem Bürstverhalten ab. Zugleich weisen sowohl epidemiologische Daten [2] als auch Beobachtungsstudien [3,4] darauf hin, dass die überwiegende Mehrheit der Bevölkerung trotz der oben angesprochenen Prophylaxeprogramme nicht zu ausreichender Plaquekontrolle in der Lage ist. Damit besteht dringender Bedarf, die Mundhygienefertigkeit im Sinne der Fähigkeit zu erfolgreicher Plaquekontrolle zu verbessern.

Bis heute ist allerdings unklar, welche Zahnbürsttechnik sich am besten zur Plaque Entfernung eignet [5, 2, 6, 7]. Zwar werden in der Zahnmedizin zahlreiche Techniken beschrieben, für evidenzbasierte Aussagen, welche dieser Techniken Anwendung finden sollte, fehlen allerdings die entsprechenden Studien [3]. Wesentlich ist dabei nicht nur, ob die Technik aufgrund physikalischer Überlegungen effektiv sein könnte oder standardisierte automatisierte Bürstversuche (sogenannte Putzroboter) eine Effektivität der Technik sogar am Modell demonstrieren. Von mindestens ebenso großer Bedeutung ist die Frage, welche Bewegungsabläufe bei der Zahncleaning motorisch umgesetzt werden können und welche davon am ehesten zu stabilen Gewohnheiten führen und damit zur Beibehaltung einer effektiven Mundhygiene beitragen. Um hier zu weiteren Erkenntnissen zu kommen, ist die Analyse des täglichen Bürstverhaltens selbst (im Sinne eines Studiums der Bewegungsabläufe) unabdingbar. Dieser haben sich bislang nur wenige Studien gewidmet [8, 3, 9, 4]. Einige dieser Studien zeigen, dass trotz regelmäßiger Teilnahme an gruppen- und individualprophylaktischen Unterweisungen große interindividuelle Unterschiede in der Durchführung des Zähneputzens bestehen. Dabei zeigen sich systematisches Putzen und kreisende Putzbewegungen als relevanter für die effektive Entfernung der Plaque als andere Parameter (z.B. Dauer des Putzens [3]). Bisher konnten diese Studien nur unter visueller Beobachtung (direkt oder über Videoaufnahmen) des Zahnbürstens durchgeführt werden, wobei die Analysen aufgrund der zum Teil nicht sichtbaren Aktivität im Mund noch nicht mit ausreichender Präzision differenziert sein können [3, 4].

Eine spezielle Zahnbürste, die die Putzbewegungen im Mund direkt aufzeichnet und elektronisch speichert, könnte dagegen dreidimensionale Bewegungsabläufe während des Bürstvorgangs erfassen und ständig Informationen darüber liefern, wo und wie im Mund geputzt wird. Diese Informationen können dabei helfen, den Zahnbürstvorgang besser zu verstehen, das spezifische Zahnbürstverhalten mit der Plaqueentfernung in Verbindung zu bringen und auch das individuelle Zahnbürstverhalten zu optimieren. Bei der Entwicklung einer solchen Zahnbürste müssen allerdings Experten aus verschiedenen Bereichen zusammenarbeiten, z.B. Elektrotechnik (Entwicklung der Hardware), Informatik (Entwicklung der Software) und Psychologie bzw. Zahnmedizin (Analyse des Bürstverhaltens und Entwicklung effektiver Techniken).

Dieser Artikel beschreibt den aktuellen Entwicklungsstand der intelligenten Zahnbürste SMART-iBrush. Nach einer Projektübersicht in Abschnitt 2 wird in Abschnitt 4 eine durchgeführte Feldstudie beschrieben. Der Entwicklungsstand von Hard- und Software wird in Abschnitt 3 vorgestellt, Abschnitt 5 beschäftigt sich mit der Datenanalyse. Abschnitt 6 fasst die bisherigen Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

2 Überblick

2.1 Zielsetzungen und Entwicklungsschritte

Aus der Motivation in Abschnitt 1 leiten sich u.a. die folgenden Zielsetzungen ab, die langfristig mit der Entwicklung des SMART-iBrush Systems verfolgt werden.

Mit Hilfe des SMART-iBrush muss zunächst ein besseres Verständnis des Zahnbürstvorgangs möglich sein. Folgende Aspekte sind dabei von Bedeutung:

- Analyse des spontanen Bürstverhaltens: Wie systematisch wird geputzt? Welche Bewegungen werden in welchen Bereichen ausgeführt? Welche Bewegungsformen kommen am häufigsten vor?
- Umsetzbarkeit und Qualität der Umsetzung unterschiedlicher Zahnbürsttechniken: Wird die Technik an allen Flächen mit ausreichender Präzision und Intensität ausgeführt? Wie lange dauert es, bis die Technik adaptiert ist? Wie verändert sich die Ausführung der Technik über die Zeit?
- Analyse typischer globaler und auch lokal begrenzter Problemfelder: Kommt es bei bestimmten Techniken oder in bestimmten Bereichen zu Fehlverhalten wie zu hohem Bürstdruck? Werden bestimmte Bereiche regelhaft schlechter erreicht als andere?

Darüber hinaus muss ein Zusammenhang zwischen Bürstverhalten und Plaqueentfernung festgestellt werden können. Wichtig ist dabei:

- Spontanes Bürstverhalten: Welche Bedeutung hat die Bürstsystematik? Welcher Zusammenhang besteht zwischen bestimmten Bürstbewegungen und der Plaqueentfernung (lokal und global)?
- Bürsttechnik: Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Qualität der Technikumsetzung und der Plaqueentfernung? Eignen sich bestimmte Techniken für bestimmte Bereiche besser als für andere?
- Problemfelder: Können typische Defizite in der Plaqueentfernung identifiziert werden? Stehen diese in Zusammenhang mit bestimmten Bürstbewegungen?

In einem letzten Schritt sollen dann Techniken zur Optimierung des individuellen Zahnbürstverhaltens entwickelt werden. Dies beinhaltet folgende Aspekte:

- Identifikation erfolgreicher individueller Strategien des spontanen Bürstverhaltens,
- Monitoring des spontanen Bürstverhaltens und
- Feedback zur Qualität der Anwendung spezifischer Bürsttechniken.

Die Entwicklung des SMART-iBrush erfolgt in drei Schritten: Der **erste Entwicklungsschritt** zielt auf ein Erfassungssystem ab, das eine präzise wissenschaftliche Analyse des Bürstvorgangs erlaubt. Im **zweiten Schritt** soll das SMART-iBrush dann dahingehend erweitert werden, dass er den Benutzer zur Anwendung einer zuvor als nützlich identifizierten Zahnpflegemethode anleitet und gegebenenfalls auch eine Warnung generieren kann, wenn suboptimales Bürstverhalten erkannt wird. Im **dritten Schritt** wird das System dann zu einem individuellen Trainingssystem zur Optimierung der Mundhygiene weiterentwickelt.

2.2 Wissenschaftliche Perspektiven

Aus Sicht der Psychologie und der Zahnmedizin besteht die besondere Herausforderung bei der Entwicklung des Systems darin, Erfolgsindikatoren richtigen Putzens sowohl auf der Ebene des Verhaltens als auch auf klinischer Ebene zu definieren. Diese müssen so gestaltet sein, dass sie der Entwicklung des Systems möglichst gut nutzbar gemacht werden können. Dies kann nur in ständiger Interaktion mit den Ingenieurwissenschaften erfolgen, die einerseits vorgeben, was technisch möglich ist, andererseits aber auch technische Weiterentwicklungen (z.B. in der Analyse der erfassten Daten des Systems) betreiben, über die zunehmend valide Erfolgsindikatoren auf Verhaltensebene erfasst werden können. Die entsprechenden Prozesse sind also iterativ zu sehen. Eine weitere Herausforderung besteht darin, alle Entwicklungsschritte, die die Interaktion zwischen Gerät und Nutzer einbeziehen, zu begleiten, um diese aus dentalpsychologischer Perspektive so zu gestalten, dass ein möglichst großer Nutzen bei zugleich möglichst großer Akzeptanz durch den Anwender erreicht wird.

Aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht lassen sich mehrere Herausforderungen aus den Zielsetzungen ableiten. Um die Zahnpflegemethode zu erfassen und dann auch zu bewerten, ist es erforderlich, mittels Sensoren die Bewegung der Zahnbürste im 3D-Raum relativ zum Kiefer zu erfassen. Dazu werden die lineare und die rotatorische Bewegung der Zahnbürste sowie der Druck auf den Bürstenkopf erfasst. Die Sensordaten werden online an ein Smart Device (PC oder Tablet) übertragen und zur Evaluierung gespeichert. Die gespeicherten Daten liefern dann die analytische Basis zur Erarbeitung einer Zahnpflegemethode, die die individuelle Zahnpflege verbessern und vorbeugend Zahnd- und Mundkrankheiten vermeiden soll. Dabei sind neueste Techniken der Datenanalyse einzusetzen (beispielsweise Partikelfilter zur Bestimmung des aktuell geputzten Bereichs im Mundraum) bzw. neue Techniken zu entwickeln (beispielsweise überwacht lernende Verfahren zur Bewertung der Güte eines Bürstvorgangs).

Auch die notwendige Kooperation von Experten aus verschiedenen Gebieten stellt eine große Herausforderung bei der Entwicklung des SMART-iBrush dar.

2.3 Anwendersicht

Aus Anwendersicht soll eine benutzerfreundliche Methode entwickelt werden, die durch ein interaktives Training zu einer medizinisch anerkannten Zahnpflegemethode anleitet, wobei beispielsweise das Lebensalter des Benutzers als Parameter eingehen kann, um für Jugendliche das Verfahren eher in spielerischer bzw. für Erwachsene eher in sachlich-nüchterner Form zu vermitteln. Später soll das System außerdem den Vorgang der Zahnpflege überwachen und gegebenenfalls Hilfestellung liefern sowie den Benutzer warnen, falls ein suboptimales Bürstverhalten erkannt wird. Dabei hängt es von der Handhabbarkeit des Geräts, seinem objektiven und vom Nutzer subjektiv erlebten Nutzen und nicht zuletzt von den mit seinem Einsatz verbundenen Kosten ab, ob und in welchem Benutzersegment es Anwendung finden wird.

3 Aktueller Entwicklungsstand von Hard- und Software des SMART-iBrush

3.1 Komponenten des SMART-iBrush

Das SMART-iBrush besteht aktuell aus den Komponenten Sensorik, Controller und Visualisierung (siehe Abb. 1).

Zur Erfassung der Bewegung der Zahnbürste bzw. des Drucks sind folgende Sensoren eingesetzt: Ein 3D-Beschleunigungssensor (MPU6000) erfasst sowohl die lineare Bewegung als

auch die Neigung im Mundraum, während ein 3-achsiges Gyroskop (MPU6000) der rotatorischen Bewegungserfassung dient. Ein Kraftsensor ist mittels Dehnmessstreifen (N5K-13-S5030K VISHAY) realisiert. Er soll später beispielsweise der Vorbeugung gegen Verletzungen des Zahnfleisches dienen. Außerdem wird erwartet, dass sich die einzelnen Putzphasen durch Auswertung der Kraftinformation leichter segmentieren lassen.

Ein eingebetteter Mikrocontroller (CC2511f32) erfasst die Sensorinformationen mit einer Abtastrate von 750 Samples/s und überträgt den Datenstrom an ein Smart Device. Der Controller ist im Kern zu einem 8051 Controller kompatibel, besitzt einen 32 KByte großen Programm speicherbereich als Flash und verfügt über ein 4 KByte großes RAM. Die Software wurde in C programmiert. Die für die Kommunikation mit der Visualisierungskomponente genutzte Schnittstelle USB 2 wird als serielle Schnittstelle durch den Mikrocontroller realisiert. Zudem realisiert er eine 2.4 GHz Funkschnittstelle für das ISM/SRD Band. Diese Schnittstelle wird in der aktuellen Version des SMART-iBrush nicht genutzt und kann später für die drahtlose Kommunikation eingesetzt werden. Die elektronischen Funktionen der Zahnbürste sind auf einer 6-lagigen Leiterplatte im Format 50 x 12 mm² untergebracht.

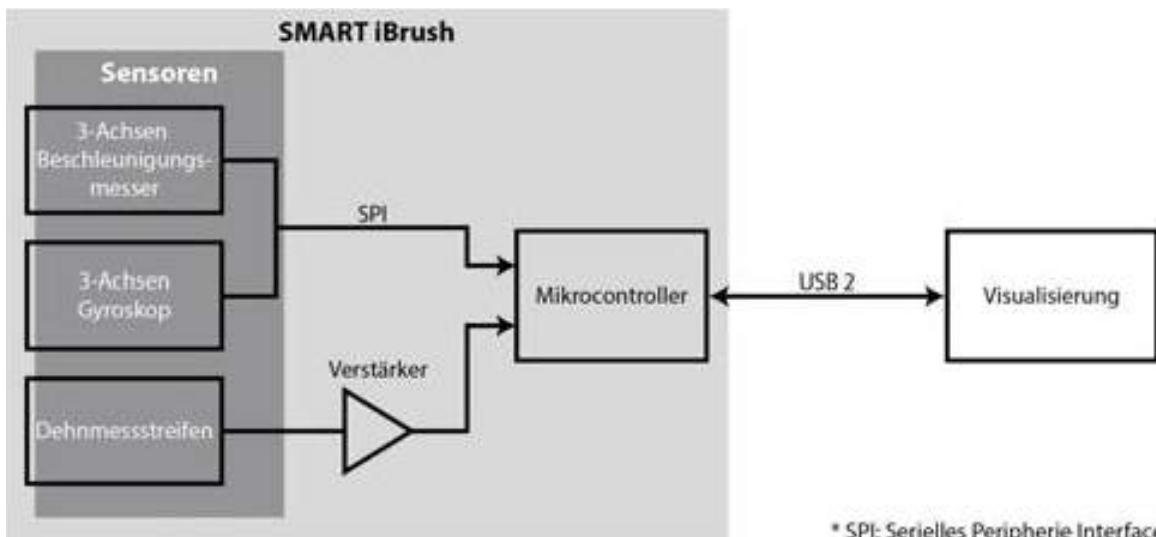


Abb. 1: Blockdiagramm des Systems.

Die Visualisierungskomponente erfasst die vom Mikrocontroller via USB 2 gesendeten Sensordaten. Ziel ist es, in der Visualisierungskomponente Anleitungen zum Training zu geben, um das individuelle, interaktive Zahncleaningssystem zu implementieren. Aktuell gehört zur Visualisierungskomponente eine Kamera, die den Benutzer bei der Zahncleaning aufnimmt. Diese Kamera wird u.a. für Feldstudien verwendet (siehe Abschnitt 4). Mit der Kamera ist die Visualisierungskomponente auch in der Lage, den Benutzer in einem Display zu zeigen (Spiegelbild) und dabei Informationen über den Status der Zahncleaning einzublenden.

3.2 Mechanische Ausführung

Der mechanische Aufbau der Zahnbürste ist weitgehend über einen 3D-Druck in Kunststoff erstellt. Lediglich der Träger eines tauschbaren kommerziellen Bürstenkopfs wird zur Aufnahme des Kraftsensors (DMS) in Aluminium gefertigt (siehe Abb. 2).



Abb. 2: Ansicht der Zahnbürste und des innenliegenden Funktionsträgers.

3.3 Technische Spezifikation

In Tabelle 1 sind die detaillierten Daten der elektronischen Funktionselemente angegeben.

Tab. 1: Spezifikation der elektronischen Funktionen der Zahnbürste.

		Typ	Auflösung	Spezifikation		
Sensoren	Beschleunigungsmesser	MPU6000	16-bit	3-achsig ±8 g		
	Gyroskop		16-bit	3-achsig ±1000 °s		
	Dehnmessstreifen (DMS)	N5K-13-S5030K VISHAY	10-bit	Halbbrücke ±8 N		
Microcontroller		CC2511F32	8051 (Core) 32KB Flash			
Sample Rate		750 Hz				
Baud Rate für die Datenübertragung		21 Kb/s				
Datenprotokoll		Full speed USB-2				
Dateiform		Textdatei				
Leiterplatte		50x12 mm ²				

4 Feldstudie

Zum präzisen Monitoring des Zahnpflegevorgangs wurde ein Feldversuch an der Justus-Liebig-Universität Gießen mit 100 Teilnehmern begonnen.

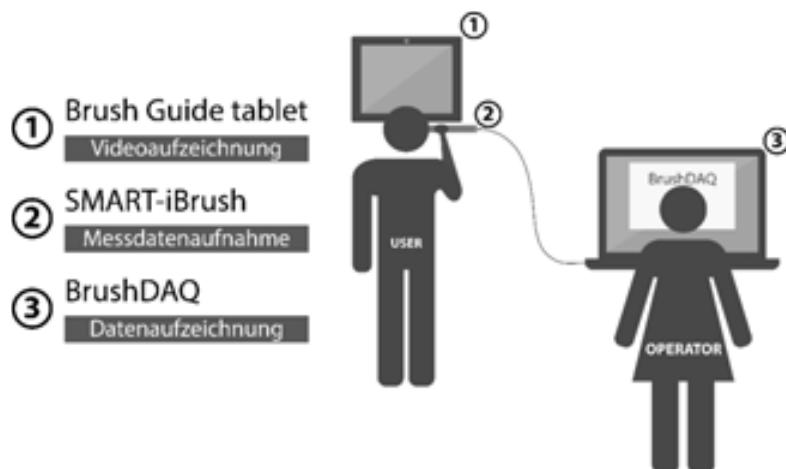


Abb. 3: Datenaufnahme der Feldstudie.

Die Studie wird mit jungen Erwachsenen (18 - 19 Jahre) durchgeführt. Es wird die gewohnte Form der Zahncleaning erfasst, die Probanden werden allerdings angehalten, so gründlich wie möglich zu putzen. Parallel werden klinische Parameter der Plaquekontrolle und der Mundgesundheit erfasst, die mit den Beobachtungsdaten und den Messdaten des Geräts in Beziehung gebracht werden können. Neben den genannten Zielsetzungen einer ersten Validierung des Messsystems dient der Versuch der softwaretechnischen Weiterentwicklung der Messdatenanalyse. Weiterhin werden in der Untersuchung das Mundgesundheitswissen, die mundgesundheitsbezogene Entscheidungsbalance und Selbstwirksamkeit sowie Lebensqualität, Zahnbefindungsangst, Mundhygieneverhalten und demografische Merkmale (Geschlecht, sozialer Status) erfasst und mit den erhobenen Beobachtungs- und iBrush-Daten in Beziehung gesetzt. Abb. 3 zeigt schematisch die Datenaufnahme. Das BrushGuide Tablet erfasst den Nutzer über eine Videokamera. Gleichzeitig zeigt es dem Nutzer sein Spiegelbild (siehe auch Abb. 11). Das SMART-iBrush erfasst die Bewegung der Bürste und die Kraft an der Bürstenspitze. Die Daten werden zu einem PC geschickt, auf dem das BrushDAQ Programm läuft. Mit diesem kann der Betreuer der Feldstudie (Operator) die Datenaufnahme und Datenarchivierung überwachen. Der Operator bereitet auch die einzelnen Durchgänge der Feldstudie vor (Sterilisieren der Bürste, Wechsel des Bürstenkopfes, Ablegen der Bürste in definierter Stellung). Vor und nach einem Durchgang werden Tests durchgeführt, die gewährleisten, dass die erfassten Daten valide sind.

Die Videoaufzeichnung liefert die Möglichkeit einer optischen Untersuchung der Putzmethode. Die Videoanalyse ist sehr zeitaufwendig. Die Erwartung ist, dass mit dem SMART-iBrush in Zukunft diese Form der Untersuchung abgelöst werden kann. Mit den parallel zur Videoanalyse gewonnenen Sensordaten des SMART-iBrush kann mittels Signalverarbeitung die exakte Bewegung der Zahnbürste untersucht werden. Mit der Videoanalyse als Referenz können der Putzort und die Putztechnik bestimmt werden.

5 Datenanalyse

Dieser Abschnitt beschreibt zunächst aktuelle Arbeiten im Bereich der Analyse der mit der Zahnbürste erfassten Daten. Anschließend wird auf weitere Arbeiten kurz eingegangen.

5.1 Aktuelle Arbeiten im Bereich der Datenanalyse

Die Position und die Orientierung der Zahnbürste werden mit zwei unterschiedlichen Ansätzen aus den Beschleunigungs- und Gyroskopwerten gewonnen, zum einen der Berechnung des Bewegungsverlaufs der Bürste (Regression) und zum anderen der Bestimmung des Putzortes gemäß einem Sextantenmodell (Abb. 4), das den Putzort in Regionen innerhalb des Gebisses unterteilt (Klassifikation). Beide Ansätze erfordern ein gründliches Verständnis der Sensorik und der auftretenden Störungen durch Rauschen, Drift und statische Verzerrung (Bias).

Das Gyroskop liefert die Drehrate der Zahnbürste in Bezug zu den lokalen 3D-Achsen X, Y und Z (Abb. 5, Signalverlauf oben). Über eine Integration wird der Drehwinkel errechnet. Aufgrund von Bias und Signalstörungen entsteht zunehmende Drift (Abb. 5, Signalverlauf unten), so dass ein zweites Messkriterium benötigt wird.

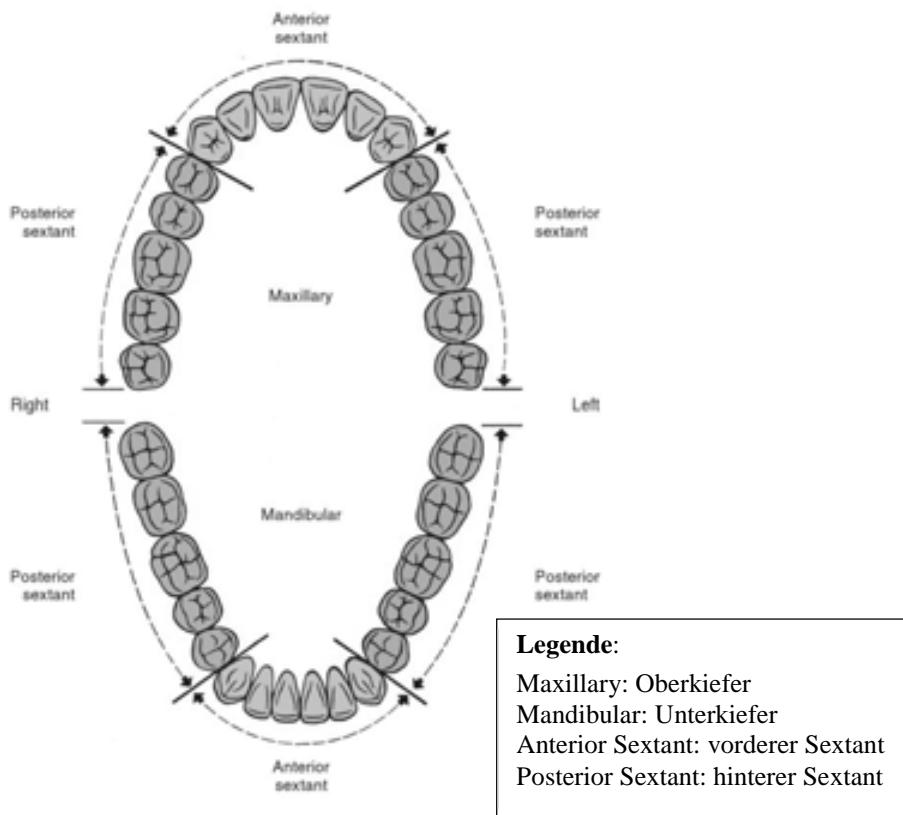


Abb. 4: Aufteilung des Zahnschemas in Sextanten des Erwachsenen [10]

Das zweite Messkriterium liefert der Beschleunigungssensor. Dessen Daten entstehen aus der linearen Beschleunigung der Zahnbürste überlagert mit der Erdbeschleunigung, deren Einfluss auf die lokalen drei Achsen in Bezug auf die Neigung zu berücksichtigen ist.

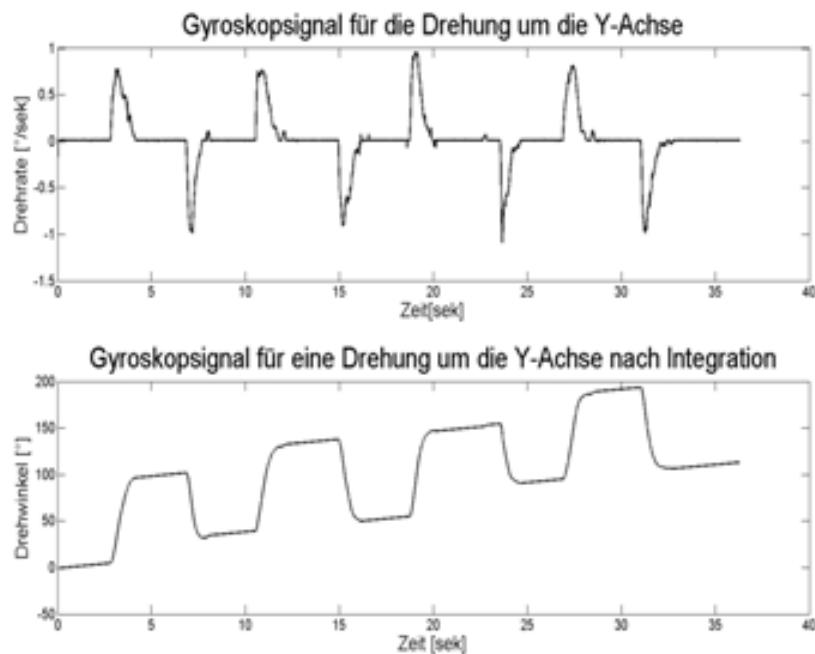


Abb. 5: Oben: Signal der Drehrate der Y-Achse bei Vor- und Rückdrehung um 90°;
Unten: Integrationsergebnis des Drehwinkels der Y-Achse mit erkennbarer Drift.

Um die Bewegung ohne den Einfluss der Erdbeschleunigung zu bestimmen, muss deren Wirkung rechnerisch eliminiert werden. Anschließend wird der Ort durch zweifache Integration der korrigierten Beschleunigung berechnet. Jede Integration wandelt auch hier das Rauschen in Drift.

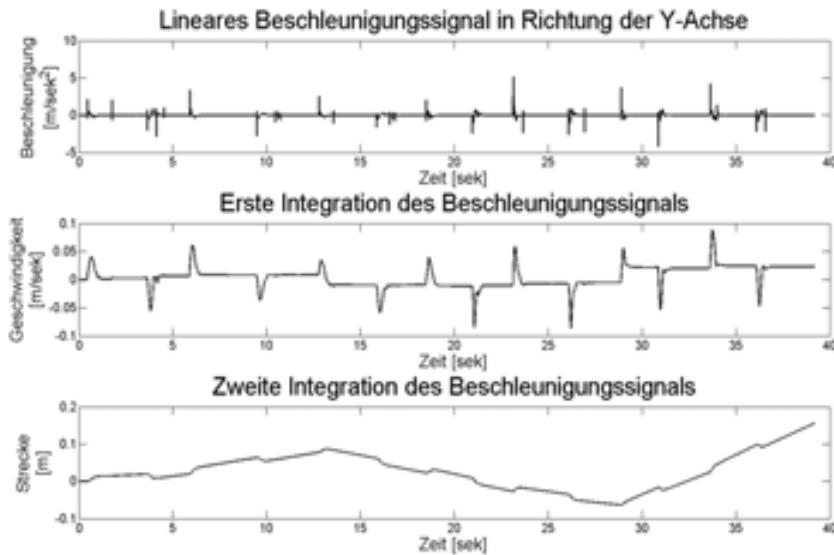


Abb. 6: Oben: Signal des Beschleunigungssensors bei einer Hin- und Herbewegung der Bürste um etwa 30 cm; Mitte: Geschwindigkeitsergebnis nach der ersten Integration; Unten: Distanzergebnis nach der zweiten Integration.

Trotz der erkennbaren Drift nach der Integration der Sensordaten (Signalverlauf unten in Abb. 6) kann gezeigt werden, dass durch Fusion der Ergebnisse eine korrekte Bestimmung der Bewegung möglich ist. Eine Sensor-Fusion erlaubt die Kombination von linearen Beschleunigungswerten und Drehraten zu einer angenäherten Bewegungsbestimmung. Die Bestimmung des Anstellwinkels (Pitch, zur lokalen Y Achse) und des seitlichen Drehwinkels (Roll, zur lokalen X-Achse) erfolgt aus den dreidimensionalen Erdbeschleunigungs-Vektoren nach Gleichungen 5.1 und 5.2:

$$Pitch = \arctan\left(\frac{Grav_X}{\sqrt{(Grav_X)^2 + (Grav_Z)^2}}\right) \quad (5.1)$$

$$Roll = \arctan\left(\frac{Grav_Y}{\sqrt{(Grav_Y)^2 + (Grav_Z)^2}}\right) \quad (5.2)$$

Abb. 7 zeigt zwei Verfahren, um den Drehwinkel um die Y-Achse zu bestimmen. Die Aufnahme ist ohne Linearbeschleunigung durchgeführt worden, um die Wirkung der Erdbeschleunigung im Beschleunigungssensor im Vergleich zum Drehwinkel des Gyroskops zu sehen. Der Signalverlauf unten zeigt die Integration der Drehrate des Gyroskops und die kontinuierliche Drift. Ein anderer Ansatz ist die Erfassung der Erdbeschleunigung mittels Beschleunigungssensor (Signalverlauf oben) und deren Berechnung nach Gleichung 5.1. In diesem Signal ist Rauschen als Störgröße erkennbar. Beide Störungen werden beherrschbar, indem eine Fusion der unterschiedlichen Sensorsignale vorgenommen wird.

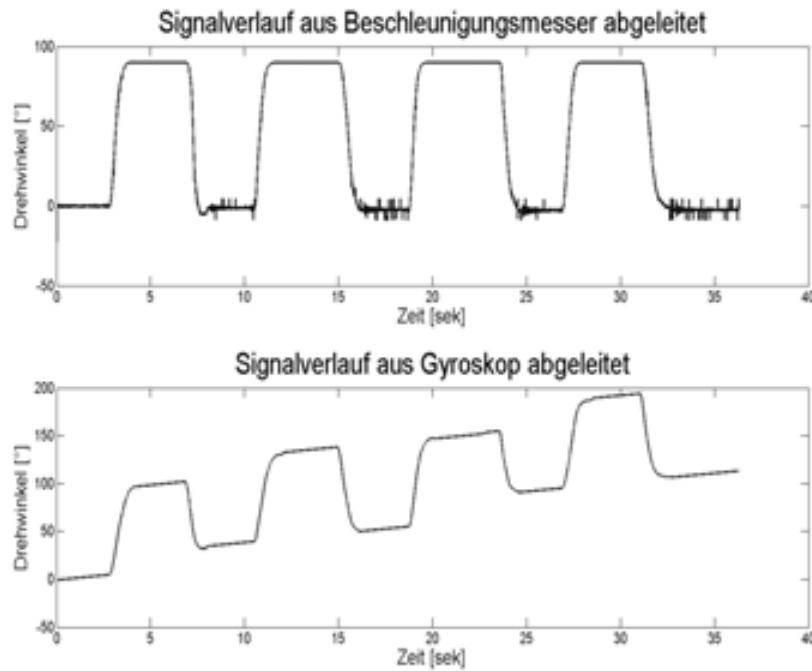


Abb. 7: Oben: Anstellwinkel (Pitch) bestimmt aus den Erdbeschleunigungs-Vektoren; Unten: Anstellwinkel (Pitch) bestimmt aus der Gyroskope-Integration.

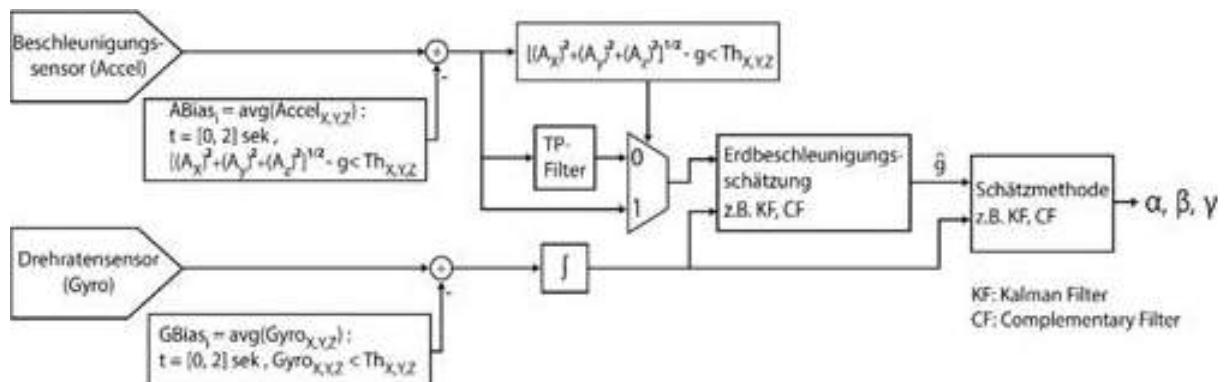


Abb. 8: Mathematische Bestimmung der Rotation der Zahnbürste zur Ebene.

In Abb. 8 ist das getestete Konzept der Sensor-Fusion zur Bestimmung der Rotation um alle drei Achsen zur Ebene dargestellt. So werden beginnend beide Sensoren kalibriert (Bestimmung ABias und GBias). Die Bewegung wird nur bewertet, wenn eine bestimmte Signalschwelle ($TH_{X,Y,Z}$) überschritten wurde. Der Erdbeschleunigungs-Vektor \hat{g} wird mittels Filter (KF bzw. CF) aus beiden Sensordaten geschätzt. In einem letzten Schritt erfolgt die Schätzung der Drehwinkel α, β, γ .

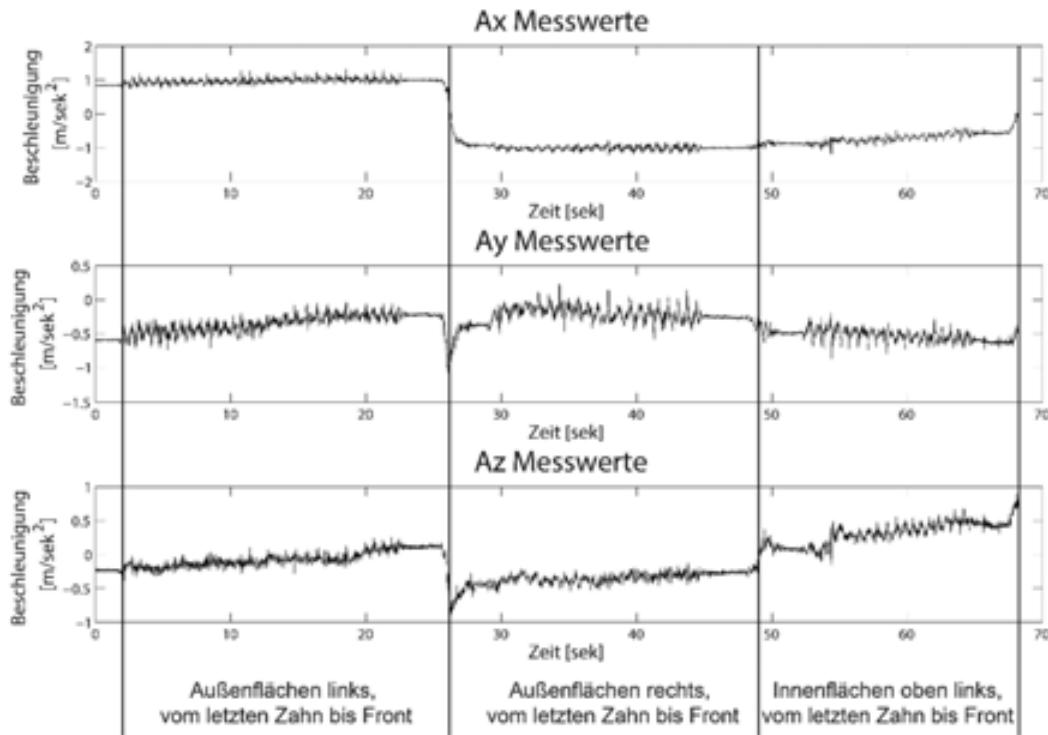
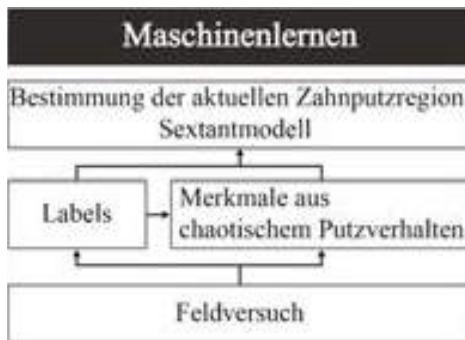


Abb. 9: Differenzierung der Beschleunigungsinformationen in 3D-Koordinaten mit eingezeichneten Labels aus der Videoanalyse (Rechtshänder, kreisende Bewegung).

In einem weiteren Schritt muss der Ort der Zahnbürste bezogen auf das Sextanten-Zahnschema (Abb. 4) bestimmt werden. Dazu wird eine Klassifikations-Methode angewendet, die alle zur Verfügung stehenden Sensorinformationen in Verbindung mit der berechneten Rotation sowie der detaillierten Informationen aus der Videoanalyse nutzt. Abb. 9 zeigt einen ersten Schritt einer Klassifikation (Segmentierung), die auf der Basis der Videoanalyse durchgeführt wurde.

5.2 Nächste Schritte im Bereich der Datenanalyse und Datenbewertung

Mit den aus dem Feldversuch (und weiteren Versuchen) gewonnenen Sensordaten und den aus der Fusion berechneten Bewegungsinformationen kann ein Datensatz erstellt werden, mit dem mit Hilfe geeigneter Verfahren aus dem Bereich des Maschinellen Lernens ein Klassifikator trainiert werden kann, der dann online die aktuelle Zahlputzregion im SMART-iBrush bestimmt (siehe Abb. 10 und das in Abb. 4 dargestellte Zahnschema eines Erwachsenen mit Sextanten). In Frage kommen hier überwacht trainierende Verfahren wie beispielsweise Support Vector Machines. Eine wichtige, noch zu bewältigende Aufgabe ist allerdings die Bestimmung geeigneter Merkmale (als Eingaben der Klassifikatoren) aus den Sensordaten.



Hinweis:

Labels sind Informationen zur Zahnputzmethode und -region aus der Videoanalyse

Abb. 10: Plan für die Klassifikation der Putzregion anhand des Sextantenmodells.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der Forschungsansatz der intelligenten Zahnbürste (SMART-iBrush) verfolgt das Ziel, den Zahnbürstvorgang besser zu verstehen, das (meist chaotische) Zahnbürstverhalten mit der erreichten Plaquefreiheit in Beziehung zu setzen und auf der Basis dieser Erkenntnisse die Zahnbürste letztlich dafür zu nutzen, die individuell effektivste Zahnputzmethode unter Anleitung der Zahnbürste interaktiv zu trainieren. Nach Abschluss der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten soll das SMART-iBrush ein verlässliches System zur langfristigen Überwachung des Putzvorgangs und zum Training einer individuellen Putztechnik dienen, die den etablierten Techniken ähnlich ist, beispielsweise der Rotations-Methode nach Fones oder der Rütteltechnik nach Bass.

Mit dem aktuellen Stand der Arbeiten steht bereits ein System zur Verfügung, dass die sensor-technische Erfassung von Putzvorgängen erlaubt. Einfache Anwendungen wurden bereits jetzt realisiert (siehe beispielsweise ein „BrushGuide“ in Abb. 11). Vor allem sind nun umfangreiche Studien möglich, mit denen zwei eng zusammenhängende Ziele verfolgt werden:

- Zum einen liefern die dabei massiv anfallenden Daten Informationen für ein „medizinisches Screening“ über die Korrelation zwischen Putzgewohnheiten und den Faktoren, die die Mundhygiene beeinflussen (z.B. Plaqueentfernung). Dies unterstützt Mediziner und Psychologen bei der Empfehlung einer geeigneten Putztechnik.
- Zum anderen können nur mit sorgfältig analysierten Beispieldaten durch Informatiker und Ingenieure Modelle erstellt werden, die einen Zusammenhang zwischen Sensordaten bzw. daraus extrahierten charakteristischen Merkmalen und der Güte des Bürstvorgangs beschreiben.



Abb. 11: BrushGuide: Anleitung zum systematischeren Putzen der Zähne.

Das letztendliche Ziel der Forschungsarbeit – ein interaktives System zur Zahncleanigung, das ausgehend von der angewandten Zahncleansingmethode den Benutzer zu einer medizinisch anerkannten Methode trainiert – ist somit nur in einem transdisziplinären Ansatz erreichbar. Eine Vielzahl von Aufgaben ist auf diesem Weg noch zu bewältigen: Analyse von Feldstudien, Entwicklung maschineller Lernverfahren zur Bewertung eines Putzvorgangs, Entwicklung nutzerfreundlicher interaktiver Bediensysteme und Schnittstellen (z.B. für geeignetes Feedback an den Nutzer), Entwicklung von Trainingsverfahren zum Erlernen eines effizienten Bürstverhaltens (unter Berücksichtigung verschiedener Parameter wie z.B. Alter des Nutzers) usw.

7 Literatur

- [1] Axelsson, P.; Nystrom, B. und Lindhe, J.: The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *Journal of Clinical Periodontology*, 31, S. 749-757, 2004.
- [2] Dörfer, C. E.; Schiffner, U. und Staehle, H. J. Häusliche mechanische Zahn- und Mundpflege. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 62, S. 616-620, 2007.
- [3] Harnacke, D.; Winterfeld, T.; Erhardt, I.; Schlueter, N.; Ganss, C.; Margraf-Stiksrud, J. und Deinzer, R.: Which is the best predictor for oral cleanliness after brushing? Results from an observational cohort study. *Journal of Periodontology*. (Im Druck).
- [4] Winterfeld, T.; Schlueter, N.; Harnacke, D.; Illig, J.; Margraf-Stiksrud, J.; Deinzer, R. und Ganss, C.: Toothbrushing and flossing behaviour in young adults - a video observation. *Clinical Oral Investigations*. *Clinical Oral Investigations*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014.
- [5] Davies, R. M.; Davies, G. M.; Ellwood, R. P. und Kay, E. J.: Prevention. Part 4: Toothbrushing: What advice should be given to patients? *British Dental Journal*, 195, S. 135-141, 2003.
- [6] Jepsen, S.: The role of manual toothbrushes in effective plaque control: advantages and limitations. In *Proceedings of the European Workshop on Mechanical Plaque Control: Status of the art and science of dental plaque control Castle of Münchenwiler, Berne, Switzerland, May 9-12, 1998*. Hrsg.: Lang, N. P.; Attström R. und Löe, H., S. 121-137. Chicago: Quintessence Pub. Co, 1998,
- [7] Muller-Bolla, M.; Courson, F.; Manière-Ezvan, A. und Viargues, P.: Toothbrushing: which methods to use? *Revue d'Odonto-Stomatologie*, 40, S. 239-260, 2011.
- [8] Ganss, C.; Schlueter, N.; Preiss, S. und Klimek, J.: Tooth brushing habits in uninstructed adults—frequency, technique, duration and force. *Clinical Oral Investigations*, 13, S. 203-208, 2009.
- [9] MacGregor, I. D. M. and Rugg-Gunn, A. J.: Effect on filming on tooth brushing performance in uninstructed adults in north-east England, *Community Dentistry and oral Epidemiology Journal*, Volum 14, Issue 6, 1986.
- [10] Finkbeiner, B. und Johnson, C.: *Comprehensive dental assisting*, St Louis, Mosby, 1995.

Unterstützung von Wartungsarbeiten durch verteilte AR-Assistenzsysteme

A. Junghans

Junghans+Schneider GbR

Software-Entwicklung

Haid-und-Neu-Straße 7, 76131 Karlsruhe

junghans@junghans-schneider.de

K. Wodrich, M. Jeretin-Kopf, R. Haas

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Institute of Materials and Processes (IMP)

Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe

kevin.wodrich@hs-karlsruhe.de, maja.jeretin-kopf@hs-karlsruhe.de, ruediger.haas@hs-karlsruhe.de

Kurzzusammenfassung

Die rasante Entwicklung von Wearable Computing ermöglicht die Nutzung von Assistenzsystemen in zunehmend mehr Bereichen. Am Beispiel von fertigungstechnischen Maschinen kann gezeigt werden, wie die Kopplung von tragbaren Brillen, Armbandrechnern und Smartphones zur Unterstützung von Wartungsarbeiten eingesetzt werden kann. Über Augmented Reality und Sprachsteuerung wird die Arbeit insbesondere für ältere Techniker erleichtert, deren großer Erfahrungsschatz eine wertvolle Ressource für Unternehmen darstellt. Dabei wird durch Vernetzung die Rechenleistung aktueller Smartphones genutzt, ohne auf die direkte Bildschirmbedienung beschränkt zu sein, und die Verwendung von Standardkomponenten ermöglicht den kosteneffizienten Einsatz speziell in mittelständischen Betrieben, die dadurch an Wettbewerbsfähigkeit gewinnen.

Abstract

Support of maintenance work through distributed AR assistance systems

The rapid development of wearable computing enables the use of assistance systems in more and more areas. The example of machines related to production technology shows how the coupling of wearable glasses, wristband computers and smartphones can be used in support of maintenance work. Through augmented reality and voice control work is made easier, especially the work of elder technicians, whose great experience is a valuable resource for business companies. There, the computing power of the current smartphones is used through networking, without being restricted to direct screen-based operation, and the use of standard components allows a cost-effective utilization, particularly in medium-sized companies, which makes them more competitive.

1 Einleitung

Die Instandhaltung in deutschen Fertigungsbetrieben war in den vergangenen Jahrzehnten einem stetigen Wechsel unterworfen: Während sie sich in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts auf die Reparatur der Maschinen und Anlagen bei einem Ausfall beschränkte und die Reparaturleistung von den Maschinenbedienern zu erbringen war, entwickelte sich die Instandhaltung zu einer der zentralen Organisationsstrukturen in den fertigungstechnischen Unternehmen. Allerdings erfolgte dieser Wandel in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) unter anderen Bedingungen als in Großbetrieben und führte dort auch zu anderen Organisations- und Prozessstrukturen. Unabhängig davon leistet die Instandhaltung einen wichtigen Beitrag zum Wertschöpfungsprozess, sichert sie doch die Funktionsfähigkeit und den Wert von Maschinen und Anlagen (DIN 31051), was vor allem für die produzierenden und dienstleistenden Betriebe von Bedeutung ist [1]. Am Industriestandort Deutschland – und durch die Exporte auch im Ausland – wächst auch im produzierenden Gewerbe das Sachanlagenvermögen, was zur vermehrten Inbetriebnahme von Produktionsprozessen, zur Installation von Produktionsystemen, zu einer permanenten Optimierung und Erneuerung des Sachanlagenvermögens und zu immateriellen Leistungen auf den Gebieten Instandhaltung und Recycling führt [1]. Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Instandhaltung lässt sich aufgrund der Tatsache erahnen, dass z. B. die jährlichen Verluste in den Volkswirtschaften der Industrieländer durch Reibung und Verschleiß etwa 5 % des Bruttosozialprodukts betragen [1]. Die statistischen Daten belegen, dass Wartung und Inspektion bei den Werkzeugmaschinen den größten Anteil an den Betriebskosten ausmachen (z. B. betrugen in Deutschland im Jahr 2010 die Kosten für Wartung und Inspektion 37 % der Betriebskosten, gefolgt von „nur“ 21 % Energiekosten) [2]. Die Einsparpotentiale in den Unternehmen durch die Instandhaltung sind vielfältig. Beispielsweise können Einsparungen durch höhere Nutzungsgrade, bessere mechanische Wirkungsgrade, eine erhöhte Lebensdauer der Betriebsanlagen und eine Verringerung der Produktionskosten erzielt werden [1]. Dennoch wird die Instandhaltung in den Unternehmen noch häufig als Kostentreiber angesehen, da der Aufwand durch Instandhaltungsmaßnahmen den Wertschöpfungszugewinn, der durch die Steigerung der Produktivität eintritt, durchaus übertreffen kann.

Größere Unternehmen haben häufig eine eigene zentral gesteuerte Abteilung für die Instandhaltung, die in kleinen und häufig auch mittleren Unternehmen fehlt. In KMU stellt sich häufig die Frage, ob die Instandhaltung als Dienstleistung eingekauft werden soll oder von den Mitarbeitenden des eigenen Unternehmens ausgeführt werden kann. Leidinger erstellte dazu eine Entscheidungshilfe. Vor allem bei spontanem Bedarf an Instandhaltungsmaßnahmen, die einen schnellen Handlungsbedarf nach sich ziehen, wird die Instandhaltung aus eigener Kompetenz empfohlen – und zwar auch dann, wenn das eigene Know-how noch nicht unmittelbar vorhanden ist, sondern erst aufgebaut werden muss und die externen Dienstleistungen geringer sind als die eigenen [3]. Sogar bei Gewerken, die verzögert durchgeführt werden können, wie z. B. geplante Wartungsarbeiten, lohnt es sich meist aus wirtschaftlichen Gründen, eigene Mitarbeitende so weit zu schulen, dass sie die Instandhaltungsarbeiten selbst übernehmen können. Die einzige Ausnahme stellen hier die Instandhaltungsarbeiten dar, für die kein Know-how im eigenen Unternehmen vorhanden ist und die Fremdleistung deutlich unter dem eigenen Aufwand liegen würde [3].

Wenn es die Wirtschaftlichkeit gebietet, die Instandhaltung im eigenen Unternehmen zu belassen, dann erfordert allerdings diese Zielsetzung Qualifizierungsmaßnahmen, damit sowohl bei

spontan eintretenden Ereignissen als auch bei geplanten Wartungsarbeiten die Kosten möglichst gering gehalten werden können. Eine Umfrage im Rahmen des Forschungsprojekts „Kostenrechnung für die Instandhaltung“ ergab, dass nach der Meinung der Fertigungsunternehmen, also aus der Praxissicht, der Ausbildungsstand der Mitarbeitenden und die technische Ausrüstung der Instandhaltung den größten Einfluss auf das Kostenniveau der Instandhaltung hat [4]. Hinzu kommt, dass vor allem in KMU die Mitarbeitenden verschiedene Maschinen und Anlagen bedienen müssen und sich zudem mit vielfältigen Aufgaben konfrontiert sehen. Den Mitarbeitenden fehlen somit häufig die erforderlichen Kenntnisse bzw. die vorhandenen Kenntnisse können nicht ohne weiteres abgerufen werden. Zwei weitere Faktoren kommen hinzu: Die rasante technologische Entwicklung erfordert von den Mitarbeitenden einen stetigen Erwerb neuer Kenntnisse, während die demografische Entwicklung auch in KMU dafür sorgt, dass in einer älter werdenden Belegschaft jüngere Fachkräfte nicht im erforderlichen Maße nachkommen. Dies bedeutet für die älteren Mitarbeitenden, dass sie sich trotz des großen Fachwissens und Erfahrungsreichtums immer wieder weiterqualifizieren müssen, um den Anforderungen gerecht zu werden.

Hier setzt unser Projekt an: Um den Mitarbeitenden in den Unternehmen die Durchführung der Instandhaltungsarbeiten zu erleichtern, ist die Entwicklung eines Assistenzsystems erforderlich, das den Anforderungen in den Produktionsbetrieben gerecht wird und von den Mitarbeitenden als hilfreich angenommen wird. Das soll durch den Einsatz moderner Technologien wie Augmented Reality (AR), Spracherkennung und Sprachsynthese sowie Wearable Computing erreicht werden, die sich unter Verwendung von kostengünstigen Standardkomponenten (Smartphones, Armbandrechner, Datenbrillen) zu einem effizienten Gesamtsystem kombinieren lassen. Dieses Projekt ist eines der Projekte der „Lernfabrik 4.X“ am Institute of Materials an Processes (IMP) an der Hochschule Karlsruhe, welche gemeinsam mit dem Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe sowie in Kooperation mit kleinen und mittelständischen Unternehmen Assistenzsysteme entwickelt, die sich sowohl in der Weiterbildung als auch innerhalb der Arbeitsabläufe in der Fertigung einsetzen lassen.

2 Vorüberlegungen zur Akzeptanz von Assistenzsystemen

Neu eingeführte informationstechnische Systeme stoßen bei den Nutzern in vielen Fällen auf Akzeptanzprobleme. Durch sie verändern sich bestehende Abläufe, und es kann einen erheblichen kognitiven Aufwand erfordern, sich den neuen Gegebenheiten anzupassen – auch und gerade wenn damit Arbeitserleichterungen verbunden sind und bestehende Hürden beseitigt werden. Für erfahrene Mitarbeiter spielt die Fähigkeit, eine Situation korrekt einschätzen und Lösungen für Probleme finden zu können, eine große Rolle bei der Arbeitsmotivation und der Selbstwertschätzung. Wenn hier durch ein Assistenzsystem Unterstützung geleistet wird, kann mitunter der Eindruck einer Geringschätzung der eigenen Fähigkeiten und einer Relativierung des Werts der eigenen Erfahrungen entstehen. Auch die Automatisierung von Routinearbeiten wird nicht notwendigerweise als Erleichterung gesehen; wenn vergleichsweise anspruchslose Aufgaben wegfallen und Prozesse nur noch aus komplexen Arbeitsschritten bestehen, kann das zu Überforderung und Stress führen.

Hinzu kommt, dass neue Systeme oft wenig oder gar keine Arbeitserleichterung bedeuten. Gerade bei IT-Projekten besteht die Gefahr einer reinen Bürokratisierung von Abläufen bei gleichzeitiger Einschränkung der Flexibilität und Verminderung der Effizienz (vergleiche [5], Teil 1). Es entsteht ein Gefühl der Bevormundung, wenn die Werktägigen sich den Automatismen anpassen müssen, insbesondere wenn mit IT-Systemen eine zunehmende Aufzeichnung und Auswertung der eigenen Tätigkeiten verbunden ist. Nicht zuletzt kann die Wahrnehmung von System-Architekten und Endnutzern stark divergieren, insbesondere wenn Letztere nicht in die Entwicklung eingebunden werden und sich im Ergebnis mit Produkten zurechtfinden müssen, die ihrer Alltagserfahrung widersprechen.

Ein weiterer Aspekt, speziell bei Assistenzsystemen, stellt das Problem der (fehlenden) künstlichen Intelligenz dar. Zum einen sollen Nutzer genau die Hilfen angeboten bekommen, die sie in einer bestimmten Situation benötigen. Im einfachsten Fall können das Wortvorschläge bei der Texteingabe sein, die im jeweiligen Kontext Sinn ergeben oder häufig benutzt werden. Idealerweise lernt das System aus dem Nutzerverhalten und passt sich entsprechend an. Auf der anderen Seite wird die Nutzung erschwert, wenn die Systemlogik aufgrund unzutreffender Annahmen oder mangelnder Informationen Vorschläge präsentiert, die für einen menschlichen Nutzer offenkundig unsinnig sind und im schlimmsten Fall auch nicht manuell korrigiert werden können.

In engem Zusammenhang mit der vermeintlichen Systemintelligenz steht auch die Präsentation. Eine bewusst „lockere“ Darstellung kann das gesamte System als nachgerade absurd erscheinen lassen, deutlich zu sehen am Beispiel der Microsoft-Office-Assistenten aus den späten 90er Jahren. Im umgekehrten Fall kann eine zu künstliche/„robotische“ Darstellung einen abschreckenden Effekt haben. Für beide Extreme gilt, dass durch eine Präsentation, die nicht dem jeweiligen Umfeld angepasst ist, die Akzeptanz leidet, selbst wenn die zugrunde liegenden Mechanismen die Aufgabenstellung an sich gut unterstützen könnten.

3 Ergonomische Aspekte

Ein alltagstaugliches System muss einfach benutzbar sein und sich im besten Fall „gut anfühlen“, auch wenn Endnutzer oft nicht präzise schildern können, wieso das (nicht) der Fall ist. Das betrifft im Kern die Systemlogik, die sich dem Nutzer erschließen muss – idealerweise auch ohne eingehende Schulung. Einzelne Bedienschritte müssen logisch aufeinander folgen, und der Nutzer sollte ein geistiges Modell der Abläufe und jeweiligen Systemzustände aufbauen können, ohne dass es zu Überraschungen oder Unklarheiten kommt. Eine besondere Bedeutung kommt dieser inneren Logik bei verteilten Systemen zu; wenn dem Nutzer nicht klar ist, welches Gerät welchen Teil der Aufgabenstellung erfüllt, leidet das Vertrauen in das Gesamtsystem. Zu beobachten ist das beispielsweise bei dem Assistenzsystem „Siri“ von Apple: Viele Aktionen, die damit ausgelöst werden können, beispielsweise das Anlegen von Kalendereinträgen, betreffen das lokale Gerät. Dennoch ist eine Netzwerkuübertragung für die Sprachanalyse erforderlich, und bei Verbindungsproblemen oder Server-seitiger Überlastung kann eine als lokal empfundene Aktion nicht durchgeführt werden – ohne dass den Benutzern notwendigerweise klar ist, wo die Ursache liegt und was sie gegebenenfalls unternehmen können, um das Problem zu beseitigen.

Neben der Systemlogik muss auch auf einer im wörtlichen Sinn oberflächlicheren Ebene die Nutzbarkeit gewährleistet sein. Das betrifft zum einen klassische grafische Oberflächen bei

komplexeren Assistenzsystemen, aber auch Augmented Reality und Spracherkennung bzw. -synthese. Mit diesen Schnittstellen interagieren die Nutzer direkt. Sie repräsentieren das Gesamtsystem, geben Auskunft über dessen Zustände und erlauben das Auslösen von Aktionen. Für Touch-Oberflächen von Smartphones, Tablets und Armbandgeräten gelten klassische ergonomische Regeln (siehe [6]), auch wenn diese auf modernen Geräten zunehmend verletzt werden. Als besonders nutzerunfreundlich hervorzuheben sind hier Texte, die – bei identischer Gestaltung – teilweise der reinen Informationsanzeige dienen, teilweise aber auch bearbeitet werden können oder beim Antippen Aktionen auslösen, ohne dass der Benutzer das Verhalten im Voraus zuverlässig einschätzen kann. Diese Unklarheiten sollten in Assistenzsystemen vermieden werden, auch wenn die resultierenden Oberflächen dadurch möglicherweise als „unmodern“ wahrgenommen werden.

Bei AR- und Sprachschnittstellen muss der Effekt des „Uncanny Valley“ [7] berücksichtigt werden; zwischen eindeutiger Künstlichkeit („Roboterstimme“, grobe Pixeldarstellung) und weitgehender Natürlichkeit (menschlich klingende Sprachausgabe, fotorealistische Darstellung) liegt ein Grenzbereich, der als unangenehm empfunden wird. Die optische und akustische Präsentation ist dort nicht mehr grob abgestuft, weist aber noch etliche Lücken oder Fehler auf, die auch außerhalb der bewussten Wahrnehmung liegen können. Im AR-Bereich wären das beispielsweise fotorealistische Einblendungen von Maschinenteilen, die aber – beispielsweise aufgrund von Hardwarebeschränkungen – nicht perfekt zum aufgenommenen Bild passen. Bei der Sprachsynthese betrifft das vor allem die Aussprache, die bei vielen Wörtern korrekt und nahezu natürlich sein kann, in manchen Fällen aber fehlerhaft ist und damit Unbehagen erzeugt. Für alle Bedienschnittstellen gilt, dass sie hinreichend performant funktionieren müssen, um die Arbeit zu unterstützen und nicht zu behindern. Das trifft sowohl für Echtzeitaspekte wie die AR-Darstellung zu als auch für den Wechsel zwischen verschiedenen Bedienschritten und die Kommunikation mit externen Komponenten. Ein trüges System wird von den Nutzern als Hemmnis empfunden, selbst wenn es an sich gute Unterstützung leisten kann. Andererseits muss bei schnellen Vorgängen Rücksicht auf die Benutzer genommen werden. Ein klassisches Beispiel stellen Informationen zu Netzwerkübertragungen dar („Daten zu Bauteil werden geladen ...“), die aufgrund einer schnellen Verbindung für einen kurzen Augenblick aufblitzen, ohne vom Benutzer erfasst werden zu können, und zu dem Eindruck führen, eine möglicherweise entscheidende Information verpasst zu haben.

Neben der Software spielt bei der Arbeit an Maschinen auch der Hardware-Komfort eine große Rolle. Datenhelme oder Armbandrechner, die über einen längeren Zeitraum getragen werden, dürfen dem Nutzer nicht durch Gewicht oder unzureichende Befestigungssysteme zur Last fallen. Das gilt auch für die Batterielaufzeit, die für die jeweiligen Arbeitsgänge ausreichend bemessen sein muss. Dazu kommt, dass die Hardware-Ausstattung gegebenenfalls – aus Kostengründen oder anderen praktischen Erwägungen – von mehreren Mitarbeitern geteilt genutzt wird, von denen jeder andere Einstellungen bevorzugt. Letzteres gilt auch für die Software, sofern sie eine Personalisierung zulässt.

4 Folgerungen für die Systemeigenschaften

Aus den geschilderten Herausforderungen für die Akzeptanz und den Überlegungen zur Ergonomie ergibt sich eine Reihe von Eigenschaften, die ein System erfüllen muss, damit Nutzer es annehmen und als Bereicherung und/oder Erleichterung ihrer Arbeit empfinden. Viele dieser

Punkte stellen im Grunde selbstverständliche Eigenschaften dar, die in der Praxis allerdings oftmals vernachlässigt werden.

„Geschmeidigkeit“: Die Arbeit mit dem System muss sich „flüssig“ anfühlen. Optische Echtzeitdarstellungen müssen ausreichend schnell aktualisiert werden, und Eingaben über die verfügbaren Schnittstellen (Berührung, Sprache) müssen kurzfristige Reaktionen bewirken. Insbesondere darf die Bedienung nicht „hängen“, d. h., sie darf nicht in einen Zustand geraten, in dem keine Eingaben möglich sind und in dem nicht klar ist, ob fehlende Reaktionen auf Eingaben verspätet erfolgen oder die Eingaben ignoriert werden. Bei Berechnungen oder einer Netzwerkkommunikation, die längere Zeit in Anspruch nehmen, muss eine entsprechende Anzeige erfolgen – idealerweise mit einem Überblick über den Fortschritt und die verbleibende Zeit.

„Gelassenheit“: Als Gegenstück zum vorhergehenden Punkt darf das System dem Nutzer nicht „davonlaufen“. Informationen zu Wartezeiten müssen für eine gewisse Mindestdauer dargestellt werden, selbst wenn beispielsweise eine Datenübertragung nach einer halben Sekunde bereits beendet ist. Wechsel zwischen Arbeitsschritten oder Oberflächenbereichen sollten erkennbar sein, z. B. durch den Einsatz von Animationen, ohne dabei den Bedienfluss zu hemmen. Konkrete Beschreibungen in Form von Text oder Sprachausgabe müssen vom Benutzer steuerbar und wiederholt abrufbar sein, um entsprechend seinem Arbeitsrhythmus verfügbar zu sein.

„Gesprächigkeit“: Dem Nutzer muss jederzeit klar sein, in welchem Zustand sich das System befindet. Das betrifft sowohl einfache Anzeigen wie die verbleibende Batterieladung als auch komplexe Zusammenhänge wie den aktuellen Punkt in den Bedienabläufen, an dem sich der Nutzer befindet („Ölwechsel Schritt 1 von 4: Kontrolle des Füllstands“). Das gilt auch für Fehlerzustände, die sowohl intern im System als auch aufgrund externer Faktoren wie etwa der Netzwerkverfügbarkeit auftreten können. In jedem Fehlerfall sollte dem Nutzer klar sein, was zur Behebung des Fehlers zu tun ist oder wo er Hilfe bekommen kann.

„Bescheidenheit“: Die Präsentation des Systems gegenüber dem Nutzer sollte der Aufgabenstellung angemessen sein. Dabei muss sowohl übertriebener Realismus als auch zu weit gehende Abstraktion vermieden werden. Im AR-Bereich bedeutet das den Verzicht auf fotorealistische Einblendungen oder zu detaillierte Objektumrisse, die ein nicht gegebenes Maß an Erkennungsgenauigkeit suggerieren. Bei Touch-Oberflächen muss ein Wiedererkennungswert durch eindeutige Symbole gegeben sein, die aber dennoch einfach gestaltet sein sollten. Eine Sprachsynthese bei erklärenden Texten darf nicht zu menschlich klingen, um keine übertriebene Erwartungshaltung zu erzeugen und um beim Nutzer die Toleranz für Fehlausprachen zu erhalten.

„Selbsterkenntnis“: Ein Assistenzsystem sollte dem Benutzer gegenüber nicht als intelligenter in Erscheinung treten, als es tatsächlich ist. Sowohl im AR-Bereich (Erkennung von Umrissen) als auch bei der Spracherkennung (Erfassung von Silben und Wörtern) bedeutet das, dass bei Uneindeutigkeit keine (Fehl-)Erkennung präsentiert wird, sondern bestenfalls eine Auswahl an Möglichkeiten oder eine Ergebnispräsentation „unter Vorbehalt“. Auch die automatische Abarbeitung von Arbeitsschritten oder „intelligente“ Vorschläge an den Nutzer sollten gezielt nur dort erfolgen, wo eine hinreichende Wahrscheinlichkeit für Korrektheit besteht.

„Veto-Recht“: In Zusammenhang mit dem vorhergehenden Punkt ergibt sich die Anforderung, dass Fehlleistungen des Assistenzsystems vom Nutzer übersprungen oder rückgängig gemacht werden können. Eine korrekte automatische Erkennung ist zwar wünschenswert, aber selten

mit absoluter Zuverlässigkeit umsetzbar. Umgekehrt gilt, dass Nutzer auch eigene Fehleingaben zurücknehmen oder korrigieren können müssen. Was die generelle Systemsteuerung betrifft, muss es möglich sein, einzelne Bedienstränge jederzeit zu unterbrechen und zu einem definierten Zustand zurückzukehren.

„Vertrautheit“: Wesentliche Funktionen des Systems sollten einprägsam erreichbar sein und nicht regelmäßig neu gesucht werden müssen. Beispielsweise sollte vermieden werden, Symbole je nach Bildschirmausrichtung anders anzurichten, wie es auf aktuellen Tablets oft der Fall ist. Solche Inkonsistenzen führen zu einer verminderten Memorierbarkeit von Bedienelementen anhand der räumlichen Anordnung und damit zu einem erhöhten kognitiven Aufwand bei der Nutzung. Ferner sollte der Zustand des Systems, soweit sinnvoll, über Neustarts hinweg erhalten bleiben.

„Formbarkeit“: In Bereichen, die nicht objektiv entschieden werden können und sich von Person zu Person unterscheiden, sollte eine Anpassung des Systems an die eigenen Bedürfnisse und Vorlieben möglich sein. Dazu zählen Abkürzungen für häufig benutzte Funktionen ebenso wie die Komplexität von Bildschirm- oder AR-Anzeigen (größere/kleinere Texte, mehr/weniger Details). Die Möglichkeit, ein System nach eigenen Vorstellungen zu gestalten, erhöht die Akzeptanz und die Zufriedenheit und/oder Effizienz bei der Nutzung.

5 Weitere fachliche und wirtschaftliche Anforderungen

Im Umgang mit Maschinen im Fertigungsbereich ist die kontextabhängige Verfügbarkeit von Informationen eine der Hauptanforderungen. Das macht AR-gestützte Systeme attraktiv, da die Darstellung von Plänen und Hinweisen hier direkt im Blickfeld und bezogen auf den aktuellen Arbeitsschritt erfolgen kann. Dabei muss gegebenenfalls eine Auswahl aus einer großen Menge von Informationen getroffen werden (automatisiert oder manuell). Für beidhändige Arbeiten kann dabei unter Umständen nicht auf eine reine Bildschirmeingabe zurückgegriffen werden. Hier bieten sich Spracherkennungssysteme an, die für die Steuerung der Bedienabläufe genutzt werden können. Umgekehrt kann es notwendig oder nützlich sein, statt rein visueller Informationen auch akustische Hinweise zu geben, beispielsweise wenn ein freies Blickfeld benötigt wird.

Um für möglichst viele KMU wirtschaftlich interessant zu sein, sollte ein Assistenzsystem keine spezialisierte Hardware erfordern. Hier spielen nicht nur die reinen Anschaffungskosten eine Rolle, sondern auch die langfristige Verfügbarkeit von Ersatzgeräten und die erwartete Weiterentwicklung von Plattformen. Daher sollte auf Standardkomponenten gesetzt werden, die von verschiedenen Herstellern bezogen und kombiniert werden können.

6 Verfügbare Basiskomponenten

Ein AR-Assistenzsystem, das die beschriebenen Anforderungen erfüllt, lässt sich mit aktuell verfügbarer Hard- und Software umsetzen. Als Betriebssystembasis bietet sich Googles Android an, da mittlerweile zahlreiche Geräte auf dieser Basis verfügbar sind. Dazu gehören Smartphones, Tablets, Uhren/Armbänder, Datenbrillen und weitere Komponenten im Embedded-Bereich. Vorteilhaft ist die freie Verfügbarkeit des Quellcodes, um auch langfristig eine Wartung zu ermöglichen und Probleme notfalls ohne Herstellerhilfe selbst lösen zu können. Die Oberflächenelemente lassen sich dabei auf hoher Abstraktionsebene in Java entwickeln, während

grundlegende Bibliotheken zur Objekterkennung oder Sprachsteuerung hardwarenah in optimiertem C- oder Assembler-Code geschrieben werden können.

Für den AR-Bereich existieren Lösungen verschiedener Hersteller, wobei noch untersucht werden muss, inwieweit sie für ein Assistenzsystem im industriellen Umfeld eingesetzt werden können. Eine kleine Auswahl zeigt [8]. Bei Bedarf ist auch eine komplexere Eigenentwicklung auf der Basis von Bibliotheken zur Bildverarbeitung und Objekterkennung denkbar. Die benötigten 3D-Modelle können mit handelsüblichen CAD-Werkzeugen erstellt und bearbeitet sowie anschließend in mobile Formate konvertiert werden.

Die Spracherkennung kann auf den eingebauten Fähigkeiten von Android aufsetzen, wobei die industrielle Einsetzbarkeit noch geklärt werden muss. Hier stehen aber ebenfalls zahlreiche Bibliotheken zur Verfügung, teilweise im Quelltext (Beispiel: [9]), die bei Bedarf angepasst werden können. Für das Assistenzsystem ist dabei eine hohe Toleranz gegenüber Umgebungsgeräuschen und unterschiedlichen Aussprachen entscheidender als ein großer Wortschatz. Ähnlich breit wie bei der Spracherkennung sind auch Module für die Sprachsynthese verfügbar.

7 Systemarchitektur

Die Schlüsseltechnik für ein kostengünstiges AR-Assistenzsystem stellt die Modularisierung und Verteilung der einzelnen Komponenten dar. Beispielsweise kann die Datenhaltung der 3D-Modelle und weiterer Metadaten auf dem gleichen Gerät erfolgen, das das Kamera-Modul enthält (Smartphone, Datenbrille), oder auf einem weiteren mobilen Gerät oder stationären Server. Auch eine komplexe Verarbeitungslogik kann auf externe Systeme ausgelagert werden, z. B. eine leistungsfähige Bild- und Spracherkennung. Damit steigt die Flexibilität bei gleichzeitig verbesserter Kosteneffizienz: Statt leistungsfähige mobile Hardware vorauszusetzen, die alle nötigen Fähigkeiten mitbringt (Ergonomie, Sensorik, Datenverarbeitung, Speicherplatz), können verteilte Komponenten eingesetzt werden, die günstiger angeschafft und bei Bedarf ersetzt werden können. Auch „Bring Your Own Device“-Modelle lassen sich auf diese Weise umsetzen, was insbesondere für Techniker im Außeneinsatz sinnvoll sein kann.

Die Kommunikation der einzelnen Systemkomponenten kann per Bluetooth und/oder WiFi erfolgen. Ein Beispiel dafür liefert Apple mit den aktuellen Betriebssystemen iOS 8 und OS X 10.10: Verschiedene Geräte kommunizieren über Bluetooth LE (Low Energy) und WiFi, um Anrufe, Kurznachrichten und Dokumente auszutauschen. Auch das Teilen von Netzwerkverbindungen oder die Übertragung von Bildschirminhalten sind damit möglich. Der Datenaustausch in einem verteilten Assistenzsystem stellt sich im Vergleich damit einfacher dar, kann aber auf ähnliche Techniken zurückgreifen. Abgesehen von der rein technischen Aufgabenverteilung kann mit einer solchen Architektur auch die Personalisierung unterstützt werden; ein Smartphone, das ein Nutzer immer bei sich trägt, kann zur Identifikation und zum Abruf persönlicher Einstellungen und Arbeitsfortschritte dienen.

Neben den beschriebenen Vorteilen bringt eine verteilte Architektur auch Risiken und Herausforderungen mit sich. Mit der Beteiligung verschiedener Geräte steigt die Zahl der möglichen Fehlerzustände durch Verbindungsabbrüche, Inkompatibilitäten, leere Batterien und ähnliche Komplikationen. Um dem entgegenzuwirken, muss das System robust ausgelegt sein, und Funktionen müssen sich einfach von ausgefallenen oder nicht erreichbaren Geräten verlagern lassen, im Zweifel auch unter Inkaufnahme von funktionalen oder Geschwindigkeitseinbußen.

Entscheidend sind dabei die eindeutige Darstellung des aktuellen Zustands gegenüber dem Nutzer und die Möglichkeit zur Einflussnahme, beispielsweise durch direktes Verschieben von Funktionsbereichen zwischen Geräten über eine Touch-Oberfläche.

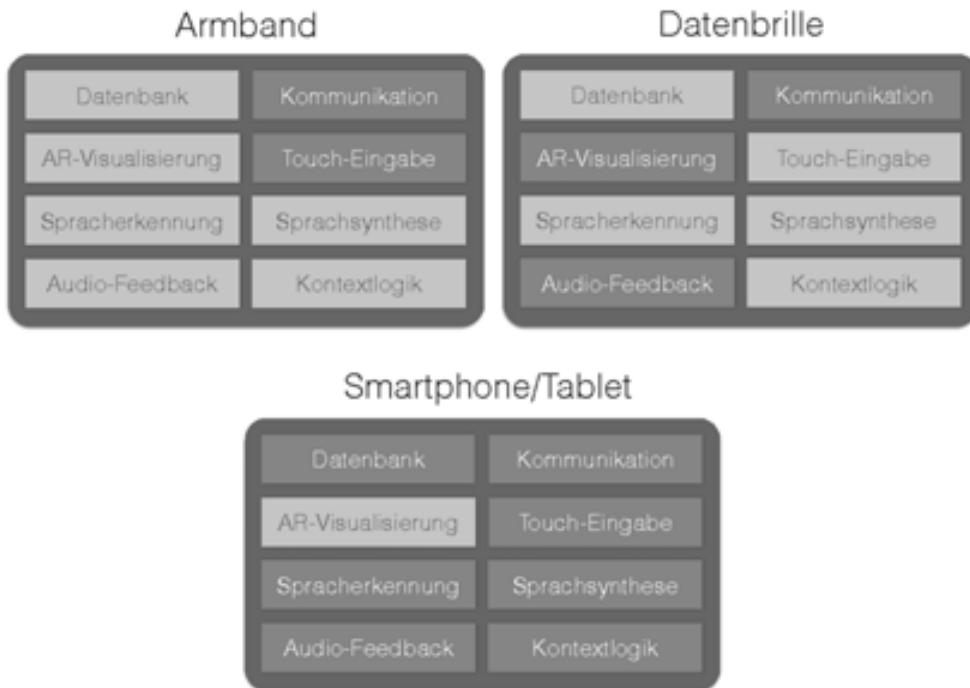


Abb. 1: Eigenschaftsmatrix einiger Devices

Um eine einfache Installation und Übergabe von Funktionalität zu gewährleisten, sollten die Module dem Nutzer gegenüber in einer einzigen App zusammengefasst werden. Diese kann allein für sich oder im Zusammenspiel mit Installationen auf anderen Geräten genutzt werden. Zur Unterstützung einer zentralen Datenhaltung und Konfiguration kann eine Server-Version dienen, die die gleiche Code-Basis verwendet wie die App, allerdings ohne einen sensor- oder anderweitig gerätespezifischen Code. Server-Installationen können von der App per Zeroconf oder UPnP (Universal Plug and Play) lokalisiert werden, so dass keine manuellen Einstellungen oder Eingaben von Netzwerkadressen durch den Nutzer nötig sind. Der Server kann auch neue Versionen der App verteilen, um alle Geräte auf dem gleichen Stand zu halten.

8 Anwendungsfelder

In KMU ist das Aufgabengebiet der Wartung breit gefächert, vom Wechseln eines Filterbauteils bis hin zur Reparatur von simplen Fertigungseinrichtungen. Die hierfür jeweils notwendige Teilaufgabe ist in einem prozeduralen Ablauf dokumentiert, zumeist schriftlich. Jedoch nicht immer sind diese Unterlagen für jeden Mitarbeiter verständlich, was zu einer fehlerhaften Bearbeitung des Prozesses führen kann. Fehler bei dieser Tätigkeit können zu vermehrten Prozessstillstandzeiten oder im extremen Fall sogar zur Beschädigung der Fertigungsmaschine führen. Hier stellen neue und ungewohnte Abläufe sowie die Einarbeitung neuer Arbeitnehmer die größten Herausforderungen dar. Eine Möglichkeit, bei diesem und ähnlichen Sachverhalten im Fertigungsbezug Abhilfe zu schaffen, ist die Unterstützung durch ein intelligentes und verteiltes

Assistenzsystem für die Mitarbeitenden. Diesen könnte die Durchführung komplizierter Angelegenheiten erleichtert werden, indem ihnen unter anderem Arbeitsanweisungen auf einem Display bildlich dargestellt werden und mittels Assistenzsystem eine direkte Kommunikationsmöglichkeit mit einem erfahrenen Kollegen bereitsteht. Hierbei ist eine Integration in weitere Arbeitsfelder denkbar, da zusätzliche oder ergänzende Informationen durch verschiedene Assistenzhardware an den Anwender übermittelt werden könnten. Des Weiteren kann die technische Kognition der Hardware genutzt werden, um Prüfaufgaben unmittelbar durchzuführen, was eine höhere Prozesssicherheit und niedrigere Durchlaufzeiten bewirkt.

Mit Blick auf den demografischen Wandel und ein damit verbundenes späteres Renteneintrittsalter gilt es zu prüfen, ob ein Assistenzsystem die Einarbeitungszeit verringern kann, da bildlich geführte Arbeiten leichter befolgt und verstanden werden. Möglicherweise könnten die anschaulichen Arbeitsanweisungen auch die Einarbeitungszeit von fremdsprachigen Mitarbeitern verringern, da zum einen Grafiken und Bilder besser universell verstanden werden und es zum anderen AR-Anwendungen gibt, die einen optisch aufgenommenen Text direkt in eine gewünschte Sprache übersetzen. Das Assistenzsystem kann durch integrierte Kameras den Dokumentationsaufwand für den Arbeitnehmenden reduzieren, indem dieser Vorgang softwareseitig auf einem Server erfolgt und die aufgenommenen Daten in einer Datenbank gespeichert werden. Diese Daten stehen dann für spätere Auswertungen und zur Planung von Verbesserungen zur Verfügung. Aufgrund der erweiterten kognitiven Möglichkeiten der Hardware kann die Software hier durch angepasste Algorithmen Divergenzen zwischen geforderten und realen Merkmalen bestimmen. Die Aufnahme von Dokumentationsmaterial erfolgt nur dann, wenn der Arbeitnehmende dies bestätigt; es soll nicht der Eindruck einer Überwachung der Tätigkeit entstehen.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Service- und Inspektionsmaßnahmen der Werkzeugmaschinen verursachen hohe Betriebskosten, nicht zuletzt deshalb, weil eine entsprechende Qualifizierung des Personals erforderlich ist. Kosteneffiziente und leistungsfähige Assistenzsysteme könnten bei den Service- und Inspektionsarbeiten an Werkzeugmaschinen Abhilfe schaffen. Die Kopplung von tragbaren Brillen, Armbandrechnern und Smartphones könnte der Unterstützung von Service- und Inspektionsmaßnahmen dienen. Allerdings stoßen neu eingeführte informationstechnische Systeme bei den Nutzern häufig auf Akzeptanzprobleme. Damit Assistenzsysteme von den Nutzern angenommen und in ihre Arbeitsabläufe integriert werden können, müssen sie folgende Anforderungen erfüllen:

- „Geschmeidigkeit“: Nutzereingaben müssen unmittelbare Reaktionen erzeugen.
- „Gelassenheit“: Das System darf den Benutzer nicht in Stress versetzen.
- „Gesprächigkeit“: Der aktuelle Systemzustand muss jederzeit klar kommuniziert werden.
- „Bescheidenheit“: Nicht alles, was technisch möglich ist, unterstützt den Nutzer auch sinnvoll.
- „Selbsterkenntnis“: Das System gibt dem Nutzer gegenüber seine Grenzen zu erkennen.
- „Veto-Recht“: Der menschliche Bediener wird unterstützt, hat aber das letzte Wort.
- „Vertrautheit“: Das System muss sich einprägsam und konsistent präsentieren.
- „Formbarkeit“: Der Nutzer kann das System an seine Bedürfnisse anpassen.

Um den Mitarbeitenden in kleinen- und mittelständischen Unternehmen die vielfältigen Service- und Inspektionsmaßnahmen zu erleichtern, ist die Entwicklung eines Systems erforderlich, das den oben genannten Anforderungen genügt und auf der Basis moderner Technologien wie Augmented Reality, Spracherkennung und -synthese sowie Wearable Computing entwickelt wird.

10 Literaturangaben

- [1] Strunz, M.: Instandhaltung. Grundlagen – Strategien – Werkstätten. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg 2012.
- [2] Statista: Werkzeugmaschinen in Deutschland – Statista-Dossier 2013, 2013. <http://de.statista.com/statistik/studie/id/9929/dokument/werkzeugmaschinen-statista-dossier/>, abgerufen am: 10.11.2014.
- [3] Leidinger, B.: Wertorientierte Instandhaltung. Kosten senken, Verfügbarkeit erhalten. Wiesbaden: Springer Gabler 2014.
- [4] Becker, W. und Brinkmann, F.: Kostenrechnung für die Instandhaltung. Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. Bamberger betriebswirtschaftliche Beiträge. Bamberg, 2000.
- [5] Brödner, P.: Der überlistete Odysséus. Über das zerrüttete Verhältnis von Menschen und Maschinen. Berlin: Ed. Sigma, 1997.
- [6] Nielsen, J. und Molich, R.: Heuristic Evaluation of User Interfaces. CHI '90 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing System, S. 249-256, 1990.
- [7] Mori, M.; MacDorman, K. F. (Übers.) und Kageki, N. (Übers.): The Uncanny Valley. IEEE Robotics & Automation Magazine 19, Nr. 2, S. 98-100, 2012.
- [8] Baldwin, B.: Top 5 Augmented Reality SDKs. [augmentedrealitynews.org, 18.03.2014.](http://augmentedrealitynews.org/ar-sdk/top-5-augmented-reality-sdks/) <http://augmentedrealitynews.org/ar-sdk/top-5-augmented-reality-sdks/>, abgerufen am: 11.11.2014
- [9] CMU Sphinx: Open Source Toolkit for Speech Recognition. <http://cmusphinx.sourceforge.net/>, abgerufen am: 11.11.2014

Integration der Kompetenzentwicklung in die Montage mit Hilfe von Assistenzsystemen

C. Dollinger, C. Lock, G. Reinhart

Technische Universität München,

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

christiane.dollinger@iwb.tum.de; christopher.lock@iwb.tum.de

Kurzzusammenfassung

Heutige Marktbedingungen führen aufgrund kürzerer Lebenszyklen, kundenindividueller Produkte und eines ständigen Zeit- und Kostendrucks zu deutlich höheren Belastungen der Montagemitarbeiter. Hierzu existieren bereits zahlreiche Ansätze, die eine physische und kognitive Belastungsreduzierung der Montagemitarbeiter mittels technischer Unterstützungssysteme ermöglichen. Um in Zukunft nachhaltig auf diese Megatrends reagieren zu können und wettbewerbsfähig zu bleiben, beschäftigten sich aktuelle Forschungsaktivitäten mit der Integration von Kompetenzentwicklung in soziotechnische Wertschöpfungssysteme. In diesem Zuge wird ein innovativer Lernansatz vorgestellt, der unter Nutzung von Assistenzsystemen sowohl den Werker, als auch weitere Systemelemente beim Kompetenzaufbau individuell unterstützt. Es werden Lernbeziehungen zwischen Mensch-Maschine und Maschine-Mensch gebildet, die zu einem optimierten und produktivitätssteigernden Beanspruchungsfall für den Mitarbeiter führen.

Abstract

Integrating the development of competences into socio-technical Systems with the use of assistance systems

Today's market situation leads to a higher workload on assembly workers, because of shorter lifecycles, customized products and increased time and cost pressure. For this purpose many approaches exist, which enable a physical and cognitive load reduction to the workers by using an assistance system. In order to achieve a sustainable reaction to mega trends and remain competitive in the future, current research projects deal with integrating development of competence into socio-technical systems. Therefor an innovative learning approach is presented. It supports the worker and further elements individually in order to develop their competences with the use of assistance systems. In this context learning relations are built up between human-machine and machine-human, which lead to an optimized and more productive increased load status for the worker.

1 Herausforderungen für die Produktion der Zukunft

Die soziodemografische Entwicklung zeigt, dass eine steigende Lebenserwartung und gleichzeitig sinkende Geburtenzahlen dazu führen, dass der Anteil der arbeitsfähigen Bevölkerung sich weiter reduzieren wird. Dies hat gravierende Auswirkungen auf das Arbeitskräfteangebot, das sich heute bereits durch Fachkräftemangel in der Industrie kenntlich macht. Zusätzlich belegen Studien, dass bis zum Jahr 2040 der Altersdurchschnitt in Deutschland auf 51 Jahre ansteigen wird. Im Vergleich dazu lag der Durchschnitt 1950 bei 35 Jahren [1]. Demnach besteht

die Herausforderung für die Industrie darin, trotz eines höheren Anteils an älteren und teilweise in ihrer Leistungsfähigkeit eingeschränkten Mitarbeitern, wettbewerbsfähige Produktivitätskennzahlen zu erreichen. Neben dem demografischen Wandel gibt es noch weitere Trends mit denen sich Unternehmen in Zukunft verstärkt auseinandersetzen müssen. So spielen Themen wie z.B. Globalisierung, Ressourcenknappheit oder Dynamisierung von Produktlebenszyklen eine wichtige Rolle [2]. Der Kunde wird dabei noch stärker in den Produktionsprozess eingebunden und erhält die Möglichkeit, Produkte nach seinem persönlichen Geschmack vollständig zu gestalten. Diese Entwicklung wird als „Mass Personalization“ bezeichnet. Für die Produktion bedeutet dies, dass sich die Stückzahl gleicher Teile noch weiter verringern und die Anzahl an Varianten zunehmen wird. Zur Sicherung ihrer Wettbewerbsfähigkeit müssen Industrieunternehmen auf diese Randbedingungen und Anforderungen mit Veränderungsmaßnahmen reagieren. Lösungen hierfür versprechen insbesondere die Ansätze der vierten industriellen Revolution – Industrie 4.0. Diese beschreibt das Zusammenwachsen von Informations- und Kommunikationstechnologien mit industriellen Produktionsprozessen. Durch eine dezentrale Datenutzung und -verarbeitung soll eine autonome Kommunikation zwischen Anlagen, Maschinen, Werkstücken etc. und deren Umgebung erreicht werden. Jedes Produktionsobjekt entwickelt über diese Interaktionen eine künstliche Intelligenz, die es dazu befähigt selbstständig Entscheidungen zu treffen und Informationen an andere Systemelemente zu übermitteln [3]. So können durch die intelligente Kombination von Einzelfähigkeiten/-informationen, neue Fähigkeiten generiert werden, die zur Optimierung der Fabrik der Zukunft führen [4]. Diese Weiterentwicklung zur „Smart Factory“ setzt eine schnelle und aussagekräftige Informationserfassung und -verfügbarkeit voraus, sowie einen kontinuierlichen Austausch zwischen den Mitarbeitern und Systemelementen.

2 Auswirkungen auf den Menschen und seine Rolle im Produktionsumfeld

In Zukunft wird sich das Produktionsumfeld aufgrund des soziodemografischen Wandels, mit einem höheren Durchschnittsalter und geringerem betrieblichen Nachwuchs auseinandersetzen müssen. Das höhere Alter der Mitarbeiter ist zum einen kritisch für die Leistungsfähigkeit zu bewerten und zum anderen auch für deren Motivation Neues zu erlernen. Wissenschaftliche Veröffentlichungen belegen, dass ältere Menschen sich weniger begeistern lassen neue Sachverhalte oder Arbeitstätigkeiten zu erlernen [5]. Die Herausforderungen eines turbulenten und schnelllebigen Marktfelds, zwingen allerdings die gesamte Belegschaft dazu, sich stetig weiterzuentwickeln. Daher müssen auch ältere Mitarbeiter ihre persönlichen Kompetenzen erweitern und Neues lernen. Um dieses Motivationsproblem zu umgehen, empfiehlt es sich Lernprozesse nicht nur durch Off-Line-Schulungen, Seminare oder Selbststudien abzudecken. Diese Lernformen bedeuten für Mitarbeiter häufig einen Zusatzaufwand zur täglichen Arbeitsbelastung und stellen das Lernen zu offensichtlich in den Fokus. Des Weiteren findet auf diese Weise keine Wertschöpfung statt und kann als Verschwendungen für die Produktion gewertet werden. Aus diesem Grund bietet es sich an, Lernprozesse in den Wertschöpfungsprozess zu integrieren, damit sowohl junge als auch ältere Mitarbeiter unterbewusst eine Kompetenzerweiterung erfahren. Die Kompetenzen der Mitarbeiter werden durch individuelle Maßnahmen so beeinflusst, dass sich ihre Fertig- und Fähigkeiten gezielt verändern. Das Resultat soll dem Werker einen für sich persönlich optimierten und leistungsfördernden Beanspruchungszustand ermöglichen.

lichen. Des Weiteren ist der Mensch aufgrund einer steigenden Varianz und Kundenindividualität gefordert zahlreiche Kombinationen von Arbeitsschritten mit geringer Wiederholhäufigkeit zu beherrschen. Dies stellt für ihn eine hohe kognitive Belastung dar, die es durch unterstützende Maßnahmen zu reduzieren gilt. Eine Möglichkeit der Unterstützung stellt die Weiterentwicklung seiner Kompetenzen dar. Diese erfolgt durch die Bereitstellung von relevanten Informationen am Arbeitsplatz und kann je nach Bedarf über die Art und Menge gesteuert werden. Dabei spielt die Individualität, welche durch Fertig- und Fähigkeiten eines jeden Mitarbeiters geprägt ist, eine zu beachtende Rolle. Das durch die Bewegung Industrie 4.0 entstehende Produktionsumfeld benötigt trotz der autarken Verknüpfung von Anlagen und Maschinen, den Menschen als Schnittstelle und Steuerungseinheit. Das menschliche Wissen ist für Industrie 4.0 essentiell und muss mit Hilfe von intelligenten Arbeitsunterstützungssystemen optimal genutzt werden. Daher besteht der Bedarf nach Assistenzsystemen, die während der Ausführung von Tätigkeiten relevante Daten vom Menschen erheben und dem System zur Verfügung stellen.

3 Bestehende Ansätze von Assistenzsystemen und Lernformen in der Produktion

In der Produktion existieren bereits zahlreiche Assistenzlösungen, die eine Unterstützung des Menschen während der Ausführung seiner Tätigkeiten ermöglichen. Allgemein lassen sich auf oberster Ebene drei Grundtypen von Assistenzsystemen definieren [6]: Agierende, selektierende und analysierende Systeme. Agierende Systeme greifen direkt im Basissystem auf die Tätigkeiten des Arbeiters ein, selektierende Systeme unterstützen bei der Lösungssuche mit Hilfe von vorgegebenen Eingangsgrößen bzw. Randbedingungen und analysierende Systeme untersuchen die Lösung, ob sie den Anforderungen entspricht. Das hier vorgestellte Assistenzsystem zur Kompetenzentwicklung enthält eine Verknüpfung aller drei Typen.

Die Unterstützung am Arbeitsplatz kann sowohl physisch als auch kognitiv erfolgen. Im Bereich der physischen Unterstützung existieren verschiedene Ansätze, die zum einen den Menschen durch die Übernahme von Tätigkeiten und zum anderen bei der Ausführung seiner Arbeiten unterstützen. In der Industrie lassen sich physische Unterstützungssysteme in Form von Automatisierungslösungen, Hebehilfen oder Mensch-Roboter-Kooperationen finden [7]. Aufgrund seiner begrenzten Aufnahme- und Verarbeitungsfähigkeit von Informationen benötigt der Mensch neben physischen Eingriffen auch eine kognitive Unterstützung [8]. Die adaptive Erzeugung von Montageanweisungen weiß allerdings noch Forschungsbedarf auf. Als Beispiel für kognitive Assistenz im Bereich der Montage kann das visuelle Assistenzsystem genannt werden. Dabei wird der Werker bei der Montage komplexer Bauteile schrittweise mit Hilfe von virtuellen Anleitungen und Hinweisen unterstützt [9]. Häufig wird in diesem Bereich auf Augmented-Reality-Technologien zurückgegriffen, die z. B. reale Bilder mit digitalen Modellinformationen ergänzen. Die meisten bestehenden Ansätze verfolgen das Ziel den Menschen bei seiner Arbeit so zu unterstützen, dass seine fehlenden Fähig- und Fertigkeiten mit Unterstützungsmaßnahmen kompensiert werden. Es fehlt in diesem Zusammenhang die Überlegung einer temporären und individuellen Unterstützung, die nur so lange eingreift, bis der Mitarbeiter durch den Ausbau seiner Fähig- und Fertigkeiten selbstständig seine Arbeit erledigen kann. Die Veränderung seiner Fähig- und Fertigkeiten führt dazu, dass bei gleichbleibender Belastung aus dem System, sich eine für ihn als geringer empfundene Beanspruchung ergibt. Dieser Weiterentwicklungsprozess kann bspw. durch Lernen in der Montage erreicht werden.

Lernformen im Montageumfeld sind sehr vielseitig. Neben den klassischen Formen des Lernens über Bücher, Ausbildung oder Schulungen haben sich zunehmend vernetzte Lernformen etabliert. Im Zuge der schlanken Produktion sind hierbei sog. Lernfabriken entstanden, die ein selbstgesteuertes, kreatives und experimentelles Lernen ermöglichen [10]. Diese bieten dem Lernenden die Chance, sein bisher nur theoretisch erworbenes Wissen mit praktischen Erfahrungen zu verknüpfen. Abbildung 1 fasst zum einen bestehenden Formen von Assistenzsystemen und Lernansätzen zusammen und zum anderen weist sie auch auf Lücken im heutigen Stand der Technik hin (Abb. 1). Diese Lücken gilt es im Rahmen des Forschungsprojekts zu untersuchen und mit der Entwicklung eines geeigneten Assistenzsystems zu schließen. Aufgrund der in Abschnitt 2 genannten Motivationsproblematik und weiteren Herausforderungen im Produktionsumfeld, bietet es sich an Lernprozesse in den Wertschöpfungsprozess zu integrieren. Des Weiteren gilt es die kognitive Unterstützung stärker auf den einzelnen Werker und seine Bedürfnisse auszulegen. Bestehende Assistenzsysteme sind überwiegend am Arbeitsplatz vorzufinden und auf die Unterstützung des Werks ausgelegt. Besonders im Rahmen von Industrie 4.0 gewinnt die Überlegung, eine prozessübergreifende Unterstützung für die Betriebsorganisation zu entwickeln, an Bedeutung.

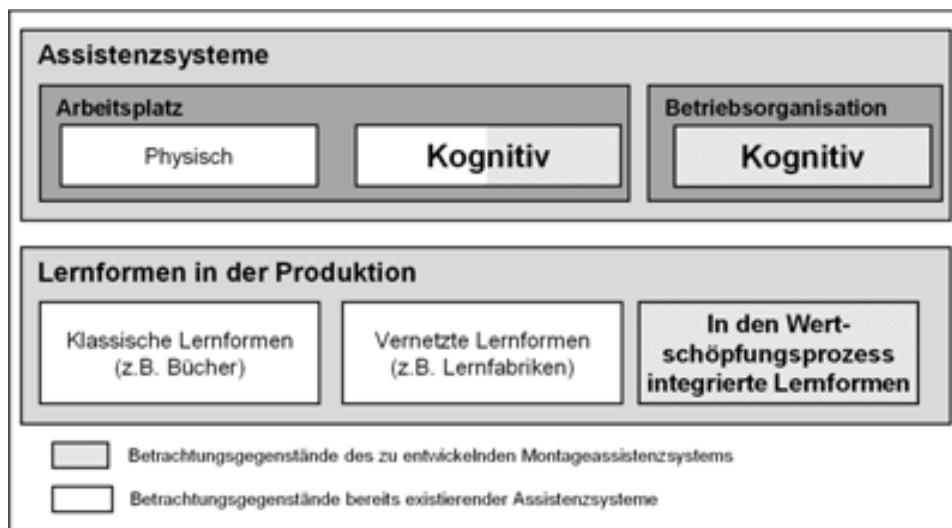


Abb. 1: Assistenzsysteme und Lernformen in der Produktion

4 Konzept für einen innovativen Lernansatz unter Verwendung von Assistenzsystemen

Das Konzept für einen Lernansatz wird aus der Lernsituation heraus entwickelt, welche ein niedrig automatisiertes Produktionsumfeld mit mittelqualifizierten Mitarbeitern vorsieht. Unter Lernsituation wird im Rahmen des Forschungsprojekts eine bestimmte Kombination aus verschiedenen Qualifikations- und Automatisierungsniveaus, die in einem Unternehmen vorkommen können verstanden. Die Werker befinden sich dabei in einer Lernumgebung, die aus einem bzw. mehreren Montageplatzsystemen und der Montageplanung/-steuerung besteht. Ein Montageplatzsystem beinhaltet einen Mitarbeiter, seinen Arbeitsplatz und verschiedene Montageassistenzsysteme. Ein solches Assistenzsystem dient zur Unterstützung eines oder mehrerer Mitarbeiter in der Montage bei der Ausführung von Montageaufgaben. Die Lernsituation und -umgebung stellen die Rahmenbedingungen für die Konzeptentwicklung des Lernansatzes dar. Für den Lernprozess selbst werden sog. Lernszenarien definiert, die das Umfeld, die vorkommenden Tätigkeiten und Kooperationen zwischen Mensch und Maschine beschreiben. Die für

dieses Projekt gebildeten Lernszenarien betrachten den Werker und dessen Tätigkeitsbereich, welches die Montage variantenreicher und kundenindividueller Produkte enthält und hohe Flexibilität fordert. Aufgrund der betrachteten Lernumgebung, welche sowohl Montageplanung/-steuerung, als auch den einzelnen Arbeitsplatz umfasst, wird eine Betrachtung zweier Lernszenarien in einer gemeinsamen Umgebung als zielführend erachtet (Abb. 2).

Das **erste Lernszenario** bezieht sich auf die im Montageplatzsystem stattfindende Interaktion zwischen dem Menschen und dem Montageassistenzsystem (Regelkreis I). Dabei reagiert die Assistenz kurzfristig auf aufgenommene Informationen vom Werker. Diese Reaktionen bzw. Maßnahmen sind so gestaltet, dass sie einen kognitiven Einfluss auf den Mitarbeiter haben und dessen Kompetenzen fördern. Der Unterschied zu herkömmlichen Assistenzsystemen liegt darin, dass die an den Mitarbeiter übermittelten Informationen seinem individuellen Bedarf entsprechen und sich über den Ausführungszeitraum in Menge und Häufigkeit an sein Lernverhalten anpassen. Das **zweite Lernszenario** wird durch den Austausch zwischen dem Montageplatzsystem und der Montageplanung beschrieben. An dieser Stelle steht nicht mehr der einzelne Arbeitsplatz im Fokus, sondern die gesamte Produktion. Daher betreffen Einflussmaßnahmen, welche von der Montageplanung gesteuert werden, häufig mehrere Arbeitsplätze gleichzeitig und erzeugen so ein Lernen der gesamten Betriebsorganisation. Eine derartige Assistenz existiert im heutigen Stand der Technik noch nicht. Der innere Regelkreis (Regelkreis I) ist für Regelkreis II der essentielle Informationslieferant. Das Montageassistenzsystem kann unterscheiden, ob die aufgenommenen Informationen über eine kurzfristige Assistenz regelbar sind, oder ob der Mensch nur durch eine höhere Instanz (Montageplanung) unterstützt werden kann. Des Weiteren sind die Vorgänge, die in Regelkreis I stattfinden ebenfalls wichtig für den äußeren Kreis, da nur so ein ganzheitliches Bild über den Menschen und seine Kompetenzen bzw. seinen Lernfortschritt entstehen kann.

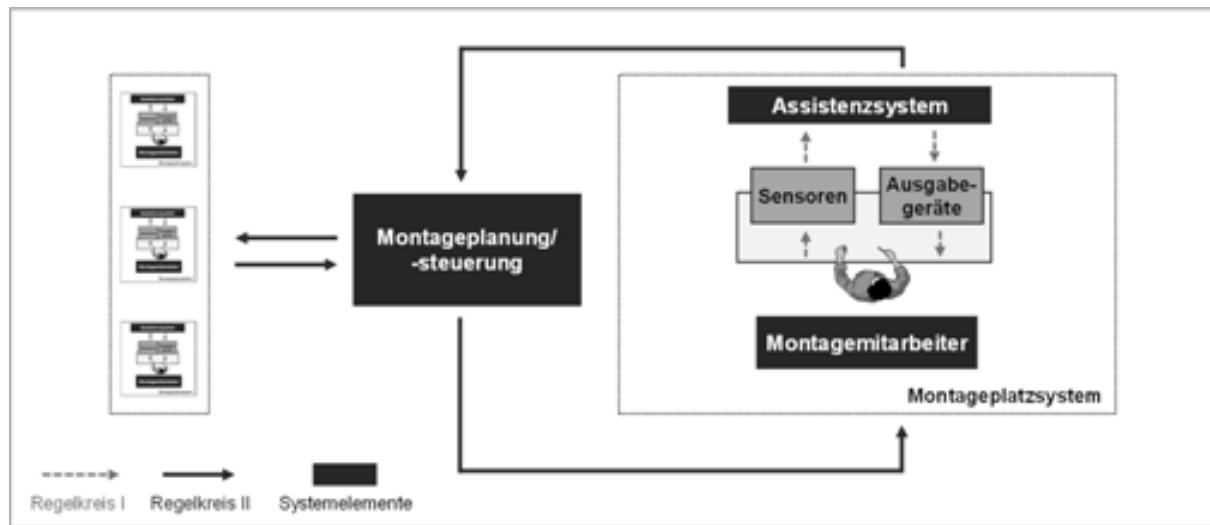


Abb. 2: Darstellung der Lernszenarien

4.1 Erstes Lernszenario – Regelkreis I

Der innere Regelkreis (Regelkreis I) bezieht sich auf das erste Lernszenario. Während der Montagemitarbeiter seine Tätigkeiten am Arbeitsplatz ausführt, nehmen Sensoren relevante Informationen von ihm auf, um diese anschließend an das Assistenzsystem weiterzuleiten. Dieses

erkennt so den individuell vorliegenden Beanspruchungszustand des Mitarbeiters. Im Falle einer Abweichung vom Sollzustand, leitet das Assistenzsystem Maßnahmen ein, die den Werker auf eine lernfördernde Art und Weise unterstützen. Ziel ist es, dass dieser langfristig die Sollwerte erreicht, ohne dabei eine auf seine Leistung negativ wirkende Beanspruchung zu erfahren. Häufig wird durch das Assistenzsystem versucht, die kognitive Beanspruchung des Mitarbeiters zu reduzieren. Allerdings gibt es auch Fälle, bei denen bspw. Unterforderung zu Fehlern führt und somit eine Beanspruchungssteigerung produktivitätsfördernd wirkt. Um situationsbezogen agieren zu können, muss ein ganzheitliches Verständnis über den Beanspruchungsfall des Menschen, seinen Fertig- und Fähigkeiten und die daraus resultierenden Fehler vorhanden sein. Daraus lassen sich Zusammenhänge und einzusteuernde Gegenmaßnahmen ableiten. Neben der Art von Information sind auch die Häufigkeit und der Zeitpunkt der Bereitstellung Steuergrößen des Lernprozesses. Wie und welche Maßnahmen einen Lernnutzen für Individuen darstellen, gilt es im Rahmen weiterer Forschungsaktivitäten in speziell aufgebauten Lernlaboren zu erproben und zu validieren. Durch diese Lernlabore können realitätsnahe Umgebungen generiert und so unterschiedliche Situationen mit verschiedenen Teilnehmergruppen analysiert werden. Nachdem das Assistenzsystem mit Hilfe von geeigneten Messgrößen, wichtige Kenntnis über den Mitarbeiter erworben hat, trifft es die Entscheidung, ob eine kurzfristige Regelung oder eine Übermittlung an die Montageplanung zielführender ist. Im Falle der sofortigen Assistenz, werden über diverse konventionelle Ausgabegeräte, wie z. B. Monitore, Lampen, Lautsprecher, sowie über neuere High-Tech-Geräte wie z. B. Smart-Watches, dem Mitarbeiter die benötigten Informationen bereitgestellt. Welches Ausgabegerät verwendet wird, ist vom Lernverhalten und Beanspruchungszustand des Mitarbeiters abhängig. So kann bei verschiedenen Personen der gleiche Fehler auftreten und das Assistenzsystem trotzdem mit unterschiedlichen Maßnahmen eingreifen. Die Entwicklung einer Logik, die sich hinter der Entscheidungsfindung und dem Lernprozess verbirgt ist Kernelement des Forschungsprojekts. Dabei steht die Konzeptionierung von Hardwareelementen wie z. B. Sensoren im Hintergrund. Wie Kompetenzentwicklung in der Realität aussehen könnte, wird durch folgendes Beispiel ersichtlich: Ein Mitarbeiter hat an seinem Montagearbeitsplatz die Aufgabe verschiedene Komponenten zu verschrauben. Das Assistenzsystem nimmt als Inputgröße die Störung – Taktzeit nicht eingehalten – auf und zusätzlich noch die Information, dass der zuständige Mitarbeiter wiederholt nach den falschen Schrauben greift. Als Sensoren können in diesem Fall zur Zeiterfassung und Feststellung des Fehlgreifens bspw. Lichtschranken dienen. Das Assistenzsystem zieht Rückschlüsse aus den gewonnenen Informationen und weist den Mitarbeiter über ein „Pick-by-Light“-System frühzeitig, d. h. bevor er wiederholt nach der falschen Schraube greifen möchte, auf seinen Fehler hin. Diese Maßnahme wird in bestimmten Abständen wiederholt und mit der Zeit wieder reduziert, um seinen persönlichen Lernfortschritt zu messen. Dieser wird vom Assistenzsystem aufgenommen und gespeichert. Ziel ist die Kompetenz des Werkers dahingehend zu entwickeln, dass er in Zukunft die Komponenten mit den richtigen Schrauben verschraubt und keine Assistenz dazu benötigt.

4.2 Zweites Lernszenario – Regelkreis II

Der äußere Regelkreis (Regelkreis II) stellt das zweite Lernszenario dar. Dieses wird ebenfalls über das Montageassistenzsystem am Arbeitsplatz gesteuert. Das System fungiert als Transponder, der planungsrelevante Informationen oder Zustände über Sensoren aufnimmt und an

die Montageplanung/-steuerung weiterleitet. Welche Daten bzw. Verhaltensformen des Mitarbeiters eine Überbeanspruchung ausdrücken und primär durch Eingriffe aus der Planung geregelt werden können, muss zu Beginn des Forschungsprojekts analysiert und in Lernlaboren validiert werden. Eine weitere Möglichkeit zur Nutzung des zweiten Regelkreises, bietet die Situation, wenn kurzfristige Maßnahmen aus dem inneren Regelkreis nach wiederholtem Einsatz zu keinem Lernerfolg beim Werker führen. Dann kann davon ausgegangen werden, dass Rahmenbedingungen bzw. Anforderungen aus der Produktionsplanung angepasst werden müssen. Häufig lassen sich Änderungsmaßnahmen der Planung nicht an einem isoliert betrachteten Arbeitsplatz umsetzen, da sich deren Eingreifen automatisch auf andere Arbeitsplätze und Mitarbeiter auswirkt. Als Maßnahmen können bspw. die Veränderung der Taktzeit, Umstrukturierung von Taktplatzinhalten oder die Umplanung des Mitarbeitereinsatzes genannt werden. Die Bereitstellung der Informationen für den Werker erfolgt über Ausgabegeräte des inneren Regelkreises. Dem Montagearbeiter können bspw. sowohl eine neue Taktzeit, als auch ein neues Tätigkeitsprogramm über Monitore mitgeteilt werden. Denkbar wäre auch eine Übermittlung von Nachrichten mit Hilfe von Smart-Watches, die bspw. zu einem Arbeitsstationswechsel auftfordern. Es wird deutlich, wie eng beide Regelkreise miteinander verknüpft sind.

Lernen findet insofern statt, dass die Montageplanung Daten über den Menschen und das System erhält, die sie für ihre Kompetenzerweiterung und Planungsoptimierungen nutzen kann. Durch das Umsetzen der Maßnahmen erfahren die Mitarbeiter ebenfalls einen Lernnutzen. Die Rahmenbedingungen werden so verändert, dass eine lernfördernde Umgebung mit geringerer Belastung entsteht. Des Weiteren kann bspw. über das Produktprogramm gezielt beeinflusst werden, welche Arbeitstätigkeiten die Mitarbeiter lernen sollen und wie oft sie diese wiederholen müssen, um nachhaltig Kompetenz aufzubauen. Derartige Steuerungsmechanismen können auch zum Einlernen neuer Mitarbeiter genutzt werden. Die Soll-Taktzeit kann bspw. zu kurz für ungeübte Werker sein. Wodurch diese kognitiv überfordert sind. Daher bietet es sich an, weniger Arbeitsinhalte in einen Takt zu legen, damit die einzulernende Arbeitskraft ausreichend Zeit zur Verfügung hat, die Tätigkeitsschritte sich anzueignen. Dies bedeutet für nachgelagerte Montagestationen, dass diese kurzzeitig Arbeitsinhalte übernehmen müssen. Durch diese Tätigkeiterweiterung können ebenfalls Lernerfolge an diesen Stationen erreicht werden. Vorausgesetzt wird eine Personaleinsatzplanung, die aufgrund des erworbenen Wissens über die Mitarbeiter (Fertig-, Fähigkeiten, Eigenschaften, Beanspruchungsfälle etc.) den Einsatz der Werker bewusst steuert.

5 Zusammenfassung

Die zukünftige Entwicklung auf den globalen Märkten stellt die Industrie vor neue Herausforderungen. Der Mensch und seine Leistungsfähigkeit werden in diesem Zusammenhang immer bedeutender. Er wird für Unternehmen nicht mehr ausreichend sein, reine Zeit-, Kosten- und Qualitätsziele zu verfolgen, sondern sie müssen gelleichzeitig die Kompetenzentwicklung ihres Produktionssystems berücksichtigen. Demnach beschäftigen sich Forschungsvorhaben mit der Betrachtung von Lernumgebungen und darin liegenden Lernszenarien. Ziel ist es mit konzeptionell entwickelten Lernansätzen, den Lernprozess in die Wertschöpfung zu integrieren und eine Produktivitätssteigerung im Unternehmen zu bewirken. Mitarbeiter sollen aufgrund des Erwerbs neuer Kompetenzen, eine optimierte Beanspruchung empfinden und mit hoher Leistungsfähigkeit die Belastung aus dem Produktionssystem bewältigen. Des Weiteren wird die

Produktionsplanung durch die zuvor beschriebenen Trends im Produktionsumfeld stark gefordert, flexibel zu agieren. Der hier vorgestellte Lernansatz ermöglicht durch die Verknüpfung zweier Regelkreise, eine Kompetenzerweiterung für den einzelnen Menschen am Arbeitsplatz, als auch für die gesamte Betriebsorganisation. Durch die dabei stattfindende Interaktion der Systemelemente, steigt die Transparenz über deren Verhalten an und verhilft der Montageplanung die notwendige Flexibilität zu erreichen.

6 Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: 12. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. <<http://www.destatis.de>>. 2009.
- [2] Tisch, M.; Adolph, S.; Metternich, J.; Bauernhansl, T. und Reinhart, G.: Innovative Ansätze zur Kompetenzentwicklung für die Produktion der Zukunft. *wt Werkstatttechnik online* 109, S.587-590, 2014.
- [3] v. Lukas, U.; Stork, A. und Behr, J.: Industrie 4.0 – Evolution statt Revolution. *wt Werkstatttechnik online* 104, S.255-257, 2014.
- [4] Bauernhansl, T.: Industrie 4.0 – die industrielle Revolution geht weiter. *wt Werkstatttechnik online* 104, S.105, 2014.
- [5] Morschhäuser, M.: Gesund bis zur Rente – Konzepte gesundheits- und altersgerechter Arbeits- und Personalpolitik (Hrsg.). In: Broschürenreihe: Demografie und Erwerbsarbeit. Stuttgart, 2002.
- [6] Weber, J.: Konzept eines rechnergestützten Assistenzsystems für die Entwicklung umweltgerechter Produkte. Universität Erlangen-Nürnberg, Diss. 1997.
- [7] Weidner, R.; Redlich, T. und Wulfsberg, J. P.: Passive und aktive Unterstützungssysteme für die Produktion. *wt Werkstatttechnik online* 104, S. 561-566, 2014.
- [8] Zäh, M. F.; Wiesbeck, M.; Engstler, F.; Friesdorf, F.; Schubö, A.; Stork, S., Bannat, A. und Wallhoff, F.: Kognitive Assistenzsysteme in der manuellen Montage. *wt Werkstatttechnik online* 97, S. 644-650, 2007.
- [9] Berndt, D. und Sauer, S.: Visuelle Assistenz-Unterstützung bei der Durchführung komplexer Montageaufgaben. *wt Werkstatttechnik online* 102, S.162-163, 2012.
- [10] Tietze, F.; Czumanski, T.; Braasch, M. und Lödding, H.: Problembasiertes Lernen in Lernfabriken. *wt Werkstatttechnik online* 103, S.246-251, 2013.

Modulare Unterstützungssysteme in der Luft- und Raumfahrtindustrie

R. Weidner, Z. Yao, J. P. Wulfsberg

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Robert.Weidner@hsu-hh.de, Zhejun.Yao@hsu-hh.de, Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

R. A. Goehlich

Airbus Operations GmbH, Manufacturing Engineering

Kreetslag 10, 21129 Hamburg

Robert.Goechlich@airbus.com

S. Mehler

Lufthansa Technik AG, Aircraft Engineering

Rhein Main Airport, 60546 Frankfurt

Stefan.Mehler@Iht.dlh.de

Kurzzusammenfassung

Der Automatisierungsgrad bei der Montage sowie Instandhaltung von Luft- und Raumfahrzeugen ist im Vergleich zu anderen Industriezweigen relativ gering. Dies ist in den einzigartigen Randbedingungen begründet. Luftfahrzeuge sind komplexe Produkte, die aus hochwertigen Materialien (z.B. Aluminium und CFK) und hochtechnischen Komponenten, bei zum Teil großen Abmessungen, aufgebaut sind.

Die Randbedingungen führen dazu, dass ein Großteil der Strukturmontage, Flugzeugausrüstung sowie Wartung und Inspektion durch Mitarbeiter in Handarbeit durchgeführt wird. Bei einzelnen Arbeitsaufgaben lassen sich durch Unterstützungssysteme ergonomische Verbesserungen erzielen. Im Rahmen dieses Beitrags wird zum einen die Ausgangssituation vorgestellt, aus der das Arbeitsspektrum und der Unterstützungsbedarf abgeleitet werden. Zum anderen werden Lösungsansätze für bedarfsgerechte und anpassungsfähige Unterstützungssysteme vorgestellt.

Abstract

Modular Support Systems for Air- and Spacecraft Industry

Compared to other industries, the degree of automation in the structure assembly, equipment installation, and maintenance of aircraft is relative low. The reasons can be seen in the unique boundary conditions. Aircraft represent a complex product with high-value materials (e.g., aluminum and CFRP), high-tech components, and large dimensions. Due to the special conditions, a large part of tasks in structure assembly, equipment installation as well as maintenance and inspection are carried out by workers manually. Ergonomic improvements in those tasks can be achieved by support systems. In this study, the initial situation in selected tasks is presented firstly. Based on this, the scope of work and the need for support is derived. Finally, some approaches for required and adaptable support systems are presented.

1 Einleitung

Der Unterstützungsbedarf für Menschen steigt sowohl im Berufs- als auch im Alltagsleben. Dies ist auf unterschiedliche Veränderungen zurückzuführen (Abb. 1). Die längere Lebenserwartung und rückläufige Geburtenrate führen zu einer geänderten Altersstruktur sowie zu einer größeren Anzahl an älteren Menschen. Als Folge dessen steigt auch die Anzahl von Menschen die im Berufsleben (und im Privatleben) auf Unterstützungssysteme angewiesen sind oder sein werden.

Aus der technischen Sicht steigt die Produkt- und Produktionskomplexität aufgrund der zunehmenden Individualisierung, der voranschreitenden Miniaturisierung bzw. Vergrößerung und der gestiegenen Qualitätsanforderungen. Dies führt wiederum dazu, dass ein größerer Umfang an Know-How erforderlich ist. Ein weiterer Grund kann in der längeren Lebensarbeitszeit sowie in dem dynamischen Umfeld gesehen werden. Die Konsequenzen sind häufig eine gestiegene Belastung sowie geänderte Arbeitsaufgaben (Art und Umfang), die zu einem höheren Verschleiß, Personenausfall und Know-How-Verluste führen. Darüber hinaus führt die zunehmende Globalisierung zu einer größeren Streuung von Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen sowie zu einem erhöhten Wettbewerbsdruck. Dies verlangt, dass eventuelle Unterschiede zu kompensieren sind, um beispielsweise eine konstante Qualität erzielen zu können und die Produktivität und Effektivität zu steigern.



Abb. 1: Gründe für einen Unterstützungsbedarf (vereinfachte Darstellung)

Aufgrund des gestiegenen Unterstützungsbedarfs sind neue Technologien, Maßnahmen und Strategien erforderlich. Diese ermöglichen produzierenden Unternehmen langfristig erfolgreich im Wettbewerb vertreten zu sein. Außerdem werden durch die vorgestellten Technologien und Maßnahmen die Mitarbeiter in ihren Aufgaben und gemäß ihrer individuellen Bedürfnisse unterstützt und entlastet.

Im Rahmen dieses Beitrags wird der Fokus auf manuelle Tätigkeiten aus dem Bereich der Produktion sowie Wartung und Instandhaltung von Luftfahrzeugen gelegt. Eingangs wird die Ausgangssituation der Struktur- und Ausrüstungsmontage sowie der Wartung und Instandhaltung dargestellt und aus unterschiedlichen Blickrichtungen beurteilt. Darauf aufbauend werden Ansätze aus dem Stand der Technik hinsichtlich ihrer Eignung für das Einsatzfeld bewertet sowie

neue Lösungsansätze aufgezeigt. Der Fokus hierbei liegt auf der Entwicklung von Unterstützungssystemen, die zum einen bedarfsgerecht gestaltet sind und sich zum anderen an die Person und Aufgabe anpassen lassen.

2 Forschungsfrage

Aufgrund der speziellen Randbedingungen in der Luftfahrtindustrie sind ein Großteil der Aufgaben in der Flugzeugmontage sowie -wartung und -instandhaltung durch einen Mitarbeiter in Handarbeit, unter Zuhilfenahme von Werkzeugen (Maschinen, Geräte und Systeme), durchzuführen. Begründet liegt dies zum einen in den besonderen Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen (z.B. gut ausgeprägte Sensorik und Kognition) und zum anderen an der Komplexität sowie der relativ geringen Stückzahl bei der Herstellung von Flugzeugen und zum Teil einmaligen Durchführung von Bearbeitungen in der Flugzeugwartung. Die Dimensionen des Produkts, die Empfindlichkeit und die Individualisierung kennzeichnen weitere Anforderungen. Somit stellt der Mitarbeiter einen wesentlichen Erfolgsfaktor bei der Planung zukünftiger Produktions- und Wartungssysteme in der Luftfahrtindustrie dar. Angesichts der Entwicklungen ist er personen- und aufgabenangepasst bei seinen Aufgaben zu unterstützen [1]. Neben der Effizienz- und Produktivitätssteigerung ist der Mitarbeiter bei manuellen Aufgaben zu entlasten, um zum einen ergonomische und zum anderen qualitätsrelevante Potenziale in einem größeren Umfang auszuschöpfen. Bei der Entwicklung ist besonders darauf zu achten, dass es sich hierbei um technische Systeme handelt, die von den Mitarbeitern gewollt sind und dadurch eine bessere Akzeptanz besitzen und auch aktiv genutzt werden. Dies führt zu folgender Forschungsfrage:

„Welche Eigenschaften soll ein Unterstützungssystem für einen Mitarbeiter in der Luft- und Raumfahrtindustrie unter Beachtung beschriebener Randbedingungen erfüllen?“

3 Ausgangssituationen

Für diesen Beitrag werden exemplarische, derzeit manuell ausgeführte Aufgaben aus dem Bereich der Luftfahrtindustrie für unterschiedliche Anwendungen betrachtet. Diese werden nachfolgend beschrieben.

3.1 Struktur- und Ausrüstungsmontage

In der Struktur- und Ausrüstungsmontage von Flugzeugen werden zahlreiche Prozessschritte manuell ausgeführt. Begründen lässt sich dies in den, im Vergleich zu anderen Branchen, einzigartigen Randbedingungen (z.B. komplexe, große Produkte, hochwertige Komponenten), bei denen ein hoher Automatisierungsgrad vorhanden ist. Der Mitarbeiter führt Arbeiten teilweise im Stehen über dem Kopf, im Knie und im Liegen aus (Abb. 2). Für die Ausführung werden entsprechende Werkzeuge verwendet, um zum Beispiel Komponenten und Bauteile zu montieren. Bei bestimmten Aufgaben befindet sich der Montagepunkt in schwer zugänglichen Bereichen.



© H. Gouseé

© P. Pigeyre

© Airbus S.A.S. 2011

Abb. 2: Produktion des A320 und A330

(von links: FAL A330 Airbus HG 10 [2], FAL A330 Airbus PP 07 [3], FAL A320 Airbus SAS 7378 [4])

Bei den in der Struktur- und Ausrüstungsmontage durchzuführenden Aufgaben müssen bestimmte Randbedingungen eingehalten werden. Hierzu zählen beispielsweise:

- Die eingesetzten Systeme müssen für ein breites Spektrum an Aufgaben eingesetzt werden können, da die Aufgaben aufgrund des hohen Grads der Individualisierung einer gewissen Varianz unterliegen.
- Die hochwertigen Struktur- und Ausrüstungselemente dürfen, wie auch der Mitarbeiter, durch die eingesetzten Systeme nicht beschädigt bzw. verletzt werden.
- Der Platzbedarf im Rumpf Finnern ist begrenzt, die Traglast ist begrenzt und die Abmessungen sind groß.
- Die eingesetzten Systeme müssen mobil sein bzw. eine große Reichweite besitzen, um die Montagepunkte erreichen zu können. Eine Bewegung des Flugzeugs ist aufgrund der Abmessungen, Komponenten, etc. nicht möglich.
- Die eingesetzten Systeme dürfen die Mitarbeiter nicht behindern und müssen deren Bedürfnisse berücksichtigen, um akzeptiert und genutzt zu werden.
- Die Bedienung der Systeme muss möglichst intuitiv sein, damit sie möglichst jeder bedienen und nutzen kann und auch möchte.

Aus den Randbedingungen lassen sich auch die wesentlichen Anforderungen ableiten, die für die Entwicklung von Unterstützungssystemen entsprechender Aufgaben aufgegriffen werden müssen. Dazu zählt:

- angemessene Unterstützung des Mitarbeiters anstatt einer Substitution durch Maschinen,
- intuitive Bedienung der Systeme,
- geringe Investitionskosten bzw. schnelle Amortisation für technische Systeme,
- geringe Baugröße technischer Systeme,
- geringes Gewicht,
- flexibler Einsatz,
- an Mitarbeiter und Aufgabe anpassbare Systeme und
- Sicherheit für Mensch und Produkt.

3.2 Wartung und Instandhaltung

Die Ausgangssituation in der Wartung und Instandhaltung ist ähnlich der Ausgangssituation in der Struktur- und Ausrüstungsmontage. Allerdings wird ein noch größerer Anteil der Tätigkeiten manuell durchgeführt. Häufig finden diese Tätigkeiten auch in schwer zugänglichen Bereichen, beispielsweise in Form von Arbeiten über dem Kopf, im Knie und im Liegen statt (Abb. 3). Die in der Wartung und Instandhaltung auszuführenden Aufgaben unterliegen einer zum Teil großen Varianz. Speziell Instandhaltungsmaßnahmen nach Defekten oder Beschädigungen werden zum Teil nur einmal bzw. nach Bedarf durchgeführt. Beispiele hierfür sind Beanstandungen wie defekte Bauteile und Komponenten oder Beschädigungen wie durch FOD (Foreign Object Damage), Kratzer und Dellen.

Bei der Bearbeitung und Behebung von Beanstandungen stellt die Montagereihenfolge der Bauteile und Komponenten eine zusätzlichen Herausforderung dar, weil sich die auszutauschenden Bauteile oder die zu bearbeitende Stelle, hinter, über oder unter einem anderen Bauteil befinden kann, der Ort der Bearbeitung also von einem anderen Bauteil verdeckt wird.



Abb. 3: Wartung und Instandhaltung

(links: Montage Waste Line Cleaning Equipment, mitte: Arbeiten am Flugzeugsitz einer vollständig bestuhlten Flugzeugkabine, rechts: Arbeiten am Triebwerk unter der Cowling; alle Bilder von LHT Stefan Mehler)

Es kann grundsätzlich zwischen der planmäßigen und ergänzenden Instandhaltung (Aufträge werden mehrfach durchgeführt), und der Instandhaltung nach Bedarf (Aufträge werden einmal oder mehrfach durchgeführt) unterschieden werden.

Die dadurch entstehenden Rahmenbedingungen bei der Wartung und Instandhaltung von Flugzeugen ergänzen die bereits unter 3.1. genannten:

- Die eingesetzten Systeme müssen für ein breites Spektrum an Aufgaben und Aufträgen eingesetzt werden können.
- Die Häufigkeit der Durchführung einer Aufgabe oder eines Auftrags kann stark variieren.
- Der Platzbedarf am Ort der Bearbeitung ist zum Teil begrenzt; je unhandlicher ein Unterstützungssystem ist desto schwieriger wird der Einsatz im oder am Flugzeug und desto geringer wird die Bereitschaft der Mitarbeiter ein solches Unterstützungssystem einzusetzen.
- Die verwendeten Systeme müssen mobil sein, um sie an den zum Teil einmaligen Ort der Bearbeitung zu bringen und dort einzusetzen.

- Die Bedienung der Systeme muss intuitiv sein, damit sie möglichst jeder Mitarbeiter bedienen kann und keine zeitaufwändige Ein- bzw. Unterweisung nötig ist.
- Die Umgebungsbedingungen am Ort der Bearbeitung können stark variieren. Der Einsatz sollte sowohl in der Flugzeughalle (normale Umgebungsbedingungen) als auch im Außen-einsatz auf dem Vorfeld möglich sein (u.a. Außentemperatur -20 bis +50°C, hohe Luftfeuchtigkeit, Spritz- und Regenwasserschutz).
- Die Beständigkeit gegen (aggressive) Medien (z.B. Flugzeugkraftstoff wie Jet A1 und Hydraulikflüssigkeit wie Skydrol) muss entweder berücksichtigt oder erfüllt werden.
- Energieversorgung muss autark bereitgestellt werden und sie sollte mindestens eine Schicht (oder einen 8 h Einsatz) abdecken.
- Die Traglast am Ort der Bearbeitung, z.B. auf dem Kabinenboden, ist begrenzt.

Aus den Randbedingungen, die sich aus den besonderen Anforderungen der Wartung und Instandhaltung von Flugzeugen ergeben, lassen sich weitere Anforderungen bzw. Restriktionen ableiten, die für die Entwicklung von Unterstützungssystemen herangezogen werden können. Diese ergänzen die bereits unter 3.1. genannten:

- universelle Einsetzbarkeit der Systeme anstatt maximale Automatisierung einzelner Tätigkeiten,
- hohe Wirtschaftlichkeit und damit kurze Amortisationszeit für technische Systeme,
- Akzeptanz beim Mitarbeiter und
- die Möglichkeit Systeme im und am Flugzeug nutzen zu können.

4 Stand der Technik und dessen Bewertung

Für die Unterstützung in der Produktion und Instandhaltung wurden bereits eine Reihe von Systemen und Ansätze entwickelt, die den Mitarbeiter entweder durch Unterstützung oder durch Abnahme der Aufgaben (Substitution) entlasten. Bei der Verwendung von rein manuellen Arbeitsplätzen werden alle Aufgaben durch die Mitarbeiter ausgeführt, einzig Hilfswerzeuge wie zum Beispiel Schraubendreher und einfache kraftgetriebene Werkzeuge werden hierbei eingesetzt. Ein mögliches Hilfsmittel für den Transport von Werkstücken und Komponenten zwischen Arbeitsplätzen stellen Hebehilfen dar [5]. Da die Hebehilfe sowie dessen Bewegung durch den Mitarbeiter gesteuert wird, kann es als ein Hilfssystem gesehen werden. Bei Aufgaben in gefährlichen und schwer erreichbaren Umgebungen lassen sich Telemanipulatoren einsetzen [5]. Die Bewegung des technischen Systems wird durch den Bediener vorgegeben und entsprechend übertragen. Dahingegen führen automatisierte Systeme dazu, dass der Mitarbeiter (zumindest bei bestimmten Aufgaben) komplett ersetzt wird. Automatisierte Systeme für industrielle Anwendungen stellen standardisierte und frei programmierbare Industrieroboter da, die eine serielle und/oder parallele Kinematikkette aufweisen können. Diese Roboter können als selbstständige Maschine [6], in Kooperation mit anderen Robotern und Mitarbeitern [7, 8] oder mit automatisierten Maschinenwerkzeugen [9] eingesetzt werden. Bei der Mensch-Roboter-Kooperation werden die Arbeitsaufgaben zwischen Mitarbeitern und Maschinen entsprechend der jeweiligen Fähigkeiten und Fertigkeiten aufgeteilt. In automatisierten Systemlösungen sind in der Regel Sensoren integriert (z.B. Kamerasysteme und Abstandssensoren). Dessen Messwerte werden zur Prozessausführung herangezogen (z.B. eine sensorgestützte Sollwert-

vorgabe). Bei der Mensch-Roboter-Kooperation werden die Sensoren genutzt, um die Sicherheit für die Mitarbeiter gewährleisten zu können, insofern Mitarbeiter und Maschine die Arbeit in dem gleichen Arbeitsraum ausführen.

Speziell für die Kraftsteigerung und Mobilitätverbesserung von Menschen wurden Exoskelette entwickelt. Exoskelette können auf verschiedene Körperteile beschränkt sein (z.B. [10]) oder sogar den ganzen Körper unterstützen (z.B. [11]).

Die auszugsweise dargestellten Lösungsansätze erfüllen die Anforderungen, die durch die im Rahmen dieses Beitrags aufgegriffenen Aufgabenstellungen entstehen, nicht im vollem Umfang und weisen unterschiedliche Vor- und Nachteile auf. Die Bewertung der Einsatztauglichkeit für die dargestellten Anwendungsbereiche aus Abschnitt 3 erfolgt nach unterschiedlichen wirtschaftlichen und technologischen Kriterien. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1: Bewertung der Potentiale von Lösungen aus dem Stand der Technik für Anwendungen aus dem Bereich der Luftfahrtindustrie

System/Konzept Kriterium	manueller Arbeits- platz	Hebe- hilfe/Balan- cer	Roboter- system	Mensch-Ro- boter-Koope- ration	Telemani- pulator	Exo- skelett
Hoheit beim Menschen	●	●	○	○	●	●
Komfort für Mitarbeiter	○	○	●	○	○	○
Sicherheit für Menschen	●	○	○	○	●	●
Sicherheit für Produkt	●	○	○	○	○	○
Eignung bei Produktvari- anz	●	○	○	○	○	●
Investitions- kosten	○	○	●	●	●	●
Mobilität/ Fle- xibilität	●	○	○	○	○	●
Platzbedarf	○	○	●	●	●	○

○ geringes Potential

○ mittleres Potential

● großes Potential

Keines der bewerteten Systeme bzw. Ansätze erfüllt die Anforderungen im vollen Umfang. Für Teilbereiche bzw. Teilanforderungen existieren jedoch bereits Lösungen, die die Mitarbeiter geeignet unterstützen können. Teilweise substituieren diese Lösungen jedoch den Mitarbeiter und können sowohl die Mitarbeiter als auch die empfindlichen Bauteile verletzen bzw. beschädigen. Daher wird ein Ansatz für Unterstützungssysteme entwickelt, der den Mitarbeiter nicht ersetzt, sondern ihn, angepasst an die individuellen Eigenschaften sowie die auszuführende Aufgabe, unterstützt [12].

5 Lösungsansatz

Einen Ansatz zur passiven und aktiven Unterstützung manueller Tätigkeiten in der Produktion stellen technische Systeme nach dem Ansatz des „Human Hybrid Robot“ (HHR) dar [12]. Bei

Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“

diesem Ansatz wird der Mensch nicht durch technische Systeme substituiert, sondern angemessen an Person und Aufgabe unterstützt. Hierfür werden biomechanische Elemente (z.B. Oberkörper, Arm und Hand) mit technischen Elementen (z.B. technische Systeme, Werkzeuge und technische Funktionalitäten) seriell und/oder parallel, intelligent gekoppelt (Abb. 4). Durch diesen Ansatz sollen die individuellen, komplementären Vorteile des Menschen (z.B. gute Sensomotorik, Kognition und hohe Flexibilität) und der technischen Systeme (z.B. gute Wiederholgenauigkeit und hohe Ausdauer) gleichzeitig genutzt werden können.

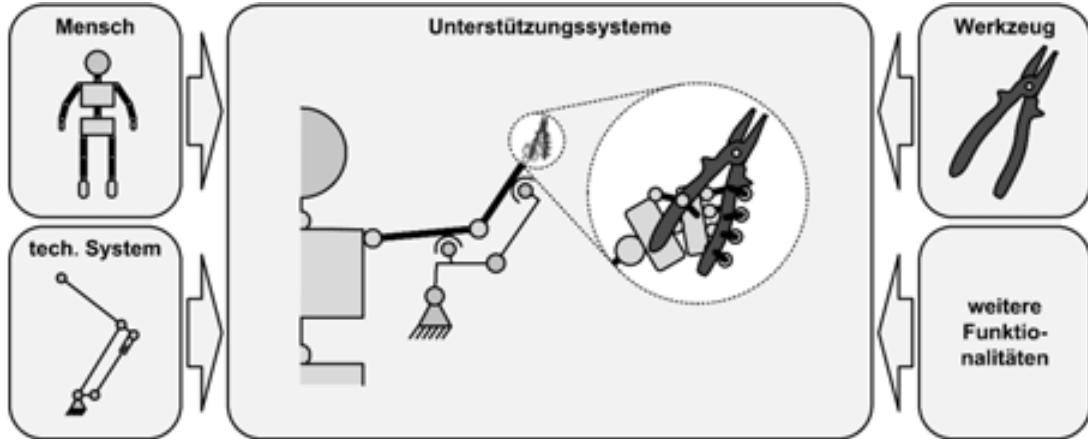


Abb. 4: Ansatz des Human Hybrid Robot (HHR) [12, 13]

Eine zielgerichtete Anpassung des Systems an die individuellen Gegebenheiten ermöglicht eine modulare Systemarchitektur. Der Aufbau entsprechender Systeme erfolgt auf Basis eines Baukastensystems (Abb. 5), der vorentwickelte Hard- und Softwaremodule beinhaltet und in Abhängigkeit der Eigenschaften des zu unterstützenden Menschen (z.B. Körpermaße, Körperverhältnisse und Arbeitserfahrung) und der auszuführenden Aufgabe (z.B. Aufgabenkomplexität, -varianz und Losgröße) variiieren kann. Jedes Modul erfüllt eine oder mehrere Funktionen. Der Umfang der Kopplung biomechanischer und technischer Elemente kann sich auf unterschiedliche Körperteile beschränken, genauso aber auch den kompletten Körper umfassen. Die Hoheit über alle technischen Elemente besitzt stets der Mensch, der die Sollwerte vorgibt.

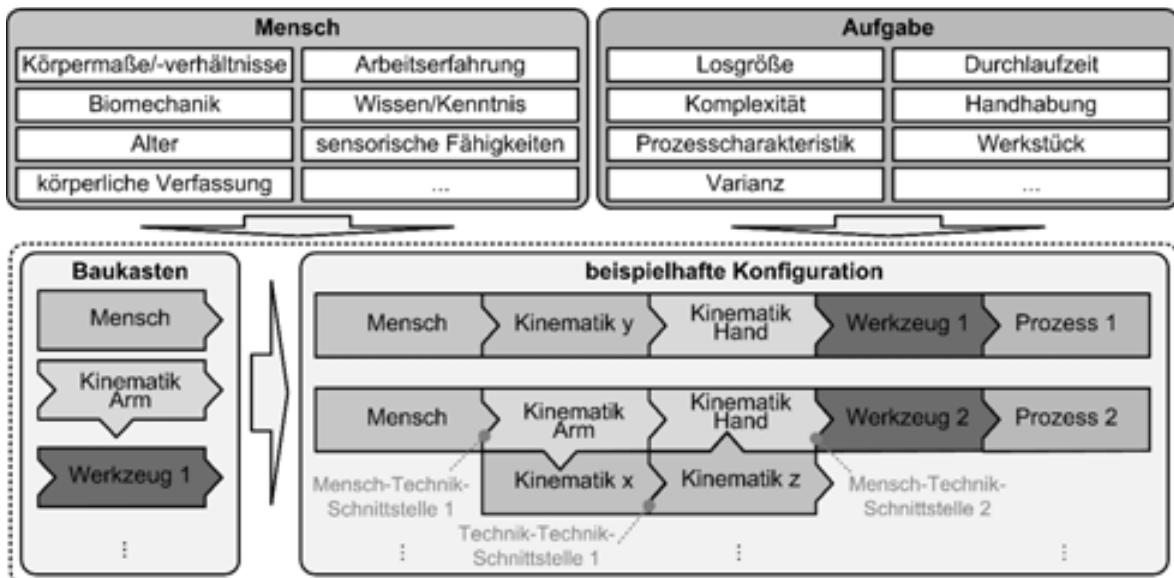


Abb. 5: Baukastensystematik [12, 13]

Die Entwicklung der Unterstützungssysteme erfolgt nach dem in Abb. 6 dargestellten Vorgehen. Zunächst werden allgemeingültige Unterstützungsfunctionalitäten definiert, die in integrierten und interaktiven Hard- und Softwaremodulen realisiert werden sollen. Durch Berücksichtigung von Standards können aus diesen Modulen Unterstützungssysteme konfiguriert werden. Diese können aufgrund der Modularität stets in Abhängigkeit zum Nutzer und der Aufgabe durchgeführt werden.

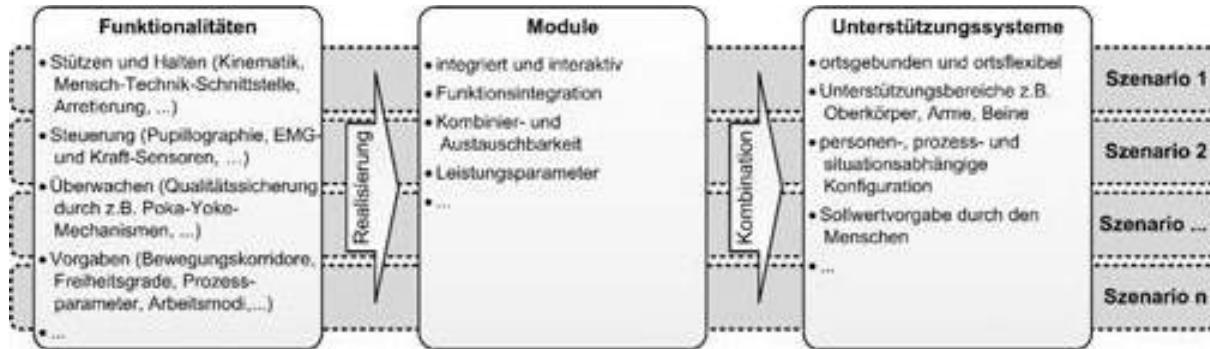


Abb. 6: Entwicklungsvorgehen [13]

6 Umsetzungsbeispiele

Für die Unterstützung der Anwendungen aus Abschnitt 3 sind unterschiedliche Lösungen vorstellbar. Im Folgenden wird je eine Systemlösung für den Anwendungsfall „Arbeiten über Kopf“ und „Arbeiten im Knie“ aufgezeigt und dabei verdeutlicht, wie die Lösung entwickelt wurde. Die in der Tabelle 2 auszugsweise dargestellten Functionalitäten, Module und Unterstützungsszenarien wurden aus den Anwendungsfällen der Luftfahrtindustrie abgeleitet. Auf dieser Basis lassen sich Systemlösungen für die zwei beispielhaft betrachteten Anwendungsszenarien ableiten.

Tab. 2: Morphologischer Kasten

Funktionalitäten	führen	halten	stützen	fixieren	stabilisieren	verstärken
	überwachen	prüfen	dritter Arm	steuern	assistieren	...
Technische Prinzipien	Mechanik	Sensorik	Aktuatorik	Regelungstechnik	Informatik	...
Module	Mensch-Technik- und Technik-Technik-Schnittstelle	Führungsmodul	Stützmodul (für Kopf, Arm, Körper, ...)	Verbindungs-/Getriebemodul	Modul für die Qualitätskontrolle	Steuerungsmodul
	Messmodul	Antriebsmodul	Stabilitätsmodul	Assistenzmodul	Verriegelungsmodul	...
Gestaltung	ortsfest			ortsflexibel		
	parallele Anordnung		serielle Anordnung		hybride Anordnung	
Unterstützungsszenario	Überkopfarbeit	kniende Arbeit	Führen/Halten von schweren Objekten	Verbesserung der Erreichbarkeit von Arbeitspunkten	Arbeit in gebeugter Position	...

6.1 Unterstützungssystem für Überkopfarbeiten

Aus den Randbedingungen des Anwendungsszenarios für Überkopfarbeit (Abschnitt 3) und der möglichen Kombinationen an Lösungen ergeben sich unterschiedliche Systeme. Die generische Vorgehensweise hierfür ist in Abb. 7 dargestellt.

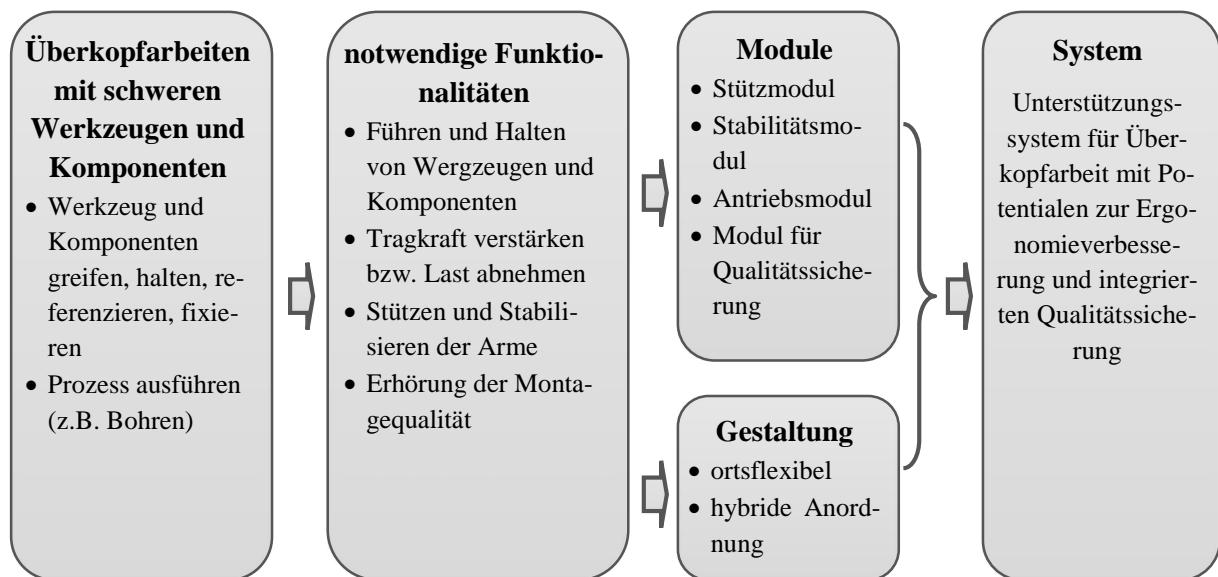


Abb. 7: Funktionen und Module für Überkopfarbeiten

Eine mögliche Systemlösung für dieses Anwendungsszenario ist in der Abb. 8 dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine mobile Plattform mit passiven Kinematikelementen und der Möglichkeit zur Aufnahme von Werkzeugen und Komponenten. Die kinematischen Elemente lassen sich individuell auf die Mitarbeiter anpassen. Das System dient zur Lastabnahme, Stabilisierung, Führung und Fixierung. Somit kann es zur Belastungsreduktion und zur Erhöhung der Montagequalität beitragen.

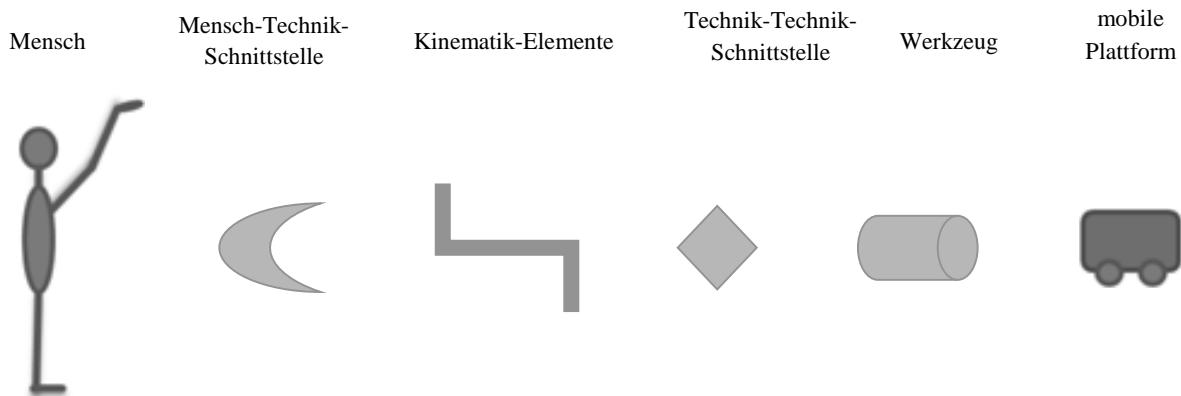


Abb. 8: Mögliche Systemlösung für Überkopfarbeiten

6.2 Unterstützungssystem für kniende Arbeiten

Aus den Randbedingungen des Anwendungsszenarios für kniende Arbeiten (Abschnitt 3) und der möglichen Kombinationen an Lösungen ergeben sich unterschiedliche Systeme. Die generische Vorgehensweise hierfür ist in Abb. 9 dargestellt.

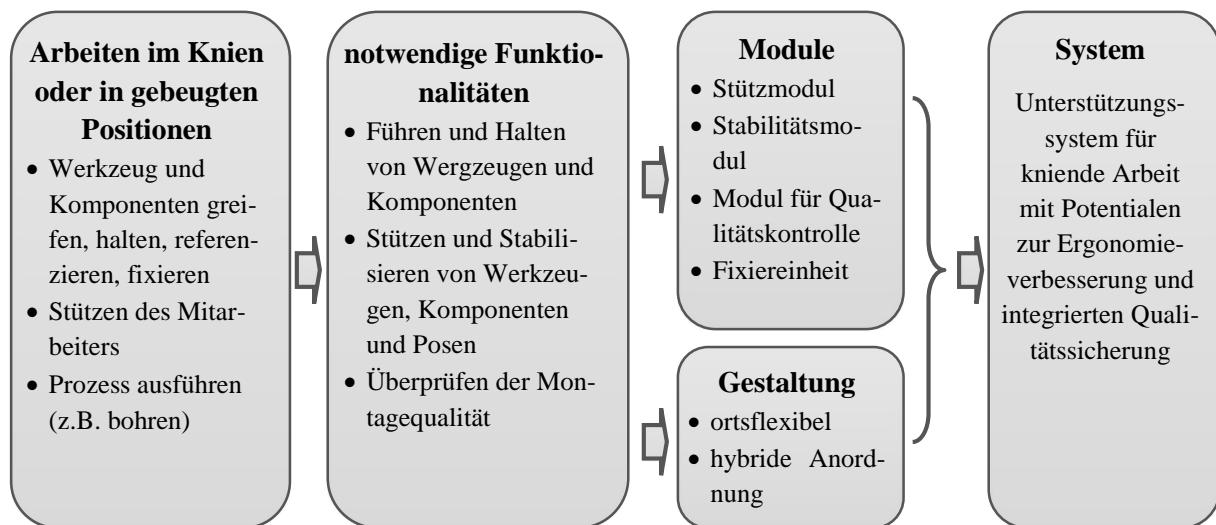


Abb. 9: Funktionen und Module für Arbeiten im Knie und gebeugten Positionen

Eine mögliche Systemlösung für kniende Arbeiten ist in der Abb. 10 dargestellt. Bei der Systemlösung handelt es sich um eine Art Stützvorrichtung, die zum Beispiel an einer Flugzeugstruktur befestigt werden kann und aus unterschiedlichen Kinematikelementen und Schnittstellen besteht. Die Kinematikelemente lassen sich individuell einstellen und können so aufgebaut werden, dass Komponenten und Werkzeuge gehalten werden können. Das System dient zur Lastabnahme, Führung, Fixierung und Stabilisierung von Werkzeugen und/oder von Komponenten und/oder des Mitarbeiters. Somit kann es zur Belastungsreduktion und zur Erhöhung der Montagequalität beitragen sowie eine bessere Erreichbarkeit von schwer zugänglichen Arbeitspunkten ermöglichen.

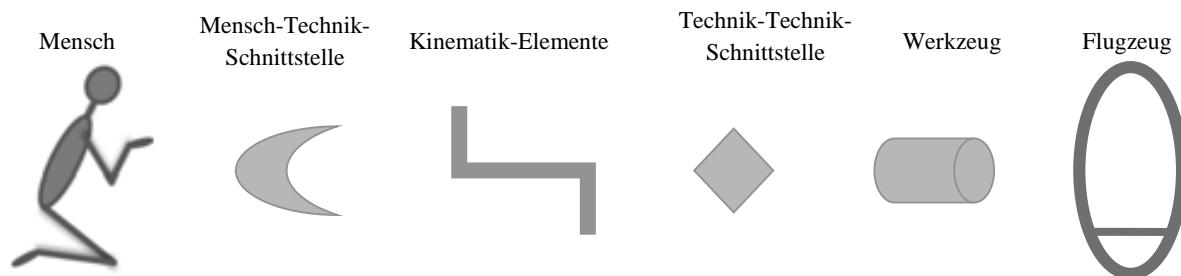


Abb. 10: Mögliche Systemlösung für kniende Arbeiten

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Folgen des demografischen Wandels, der gestiegenen technischen Anforderungen und weiterer Aspekte fordern (ältere) Menschen und Unternehmen aus der Luft- und Raumfahrtindustrie heraus. Bestehende Systeme und Ansätze können wahrscheinlich zukünftige Anforderungen nicht ausreichend erfüllen. Ein neuer Ansatz stellt das Konzept des „Human Hybrid Robot“ dar – technische Systeme zur passiven und aktiven Unterstützung manueller Tätigkeiten. Diese Systeme sind dadurch charakterisiert, dass sie sich durch ihre modulare Systemarchitektur an die Person und Aufgabe anpassen lassen. Dadurch wird die Mitarbeiter unterstützt ohne ihn durch Maschinen zu substituieren oder einzuschränken.

Im vorliegenden Artikel sind exemplarische Umsetzungsmöglichkeiten für technische Systeme dargestellt, die sich einsetzen lassen, um Mitarbeiter bei manuellen Tätigkeiten in der Luft- und

Raumfahrtindustrie zu unterstützen. Hierbei wird ein Entwicklungsvorgehen vorgestellt (Definition von Funktionalitäten, Ableitung von Modulen und Konfigurationen zu Systemen), um gezielt benötigte Unterstützungssysteme zu entwickeln, die benötigt werden.

8 Danksagung

Diese gemeinsame Studie der beteiligten Organisationen ist im Rahmen des LuFo Projektes Auto-Pro II entstanden. Die Autoren danken allen Beteiligten die diese Kooperation ermöglicht haben. Die Meinung der Autoren muss nicht unbedingt die der Organisationen wiederspiegeln.

9 Literatur

- [1] Airbus. Factory of the future. <http://www.airbusgroup.com/int/en/story-overview/factory-of-the-future.html>, aufgerufen am 15.11.2014.
- [2] Airbus. <http://www.airbus.com/galleries/photo-gallery/dg/idp/19635-fal-a330-airbus-hg-10/?share=1>, aufgerufen am 15.11.2014.
- [3] Airbus. <http://www.airbus.com/galleries/photo-gallery/dg/idp/19569-fal-a330-airbus-pp-07/?share=1>, aufgerufen am 15.11.2014.
- [4] Airbus. <http://www.airbus.com/galleries/photo-gallery/dg/idp/19543-fal-a320-airbus-sas-7378/?share=1>, aufgerufen am 15.11.2014.
- [5] Bruno, S. und Khatib, O.: Springer handbook of robotics. Springer Science Business Media, Berlin, 2008.
- [6] Reinhart, G.; Werner, J. und Lange, F.: Robot based system for automation of flow assembly lines. In: Production Engineering – Research and Development, Vol. 3: S. 121-126, 2009.
- [7] Koeppe, R.; Engelhardt, D.; Hagenauer, A.; Heiligensetzter, P.; Kneifel, B. und Stoddard, K.: Robot-robot and human-robot cooperation in commercial robotics applications. In: Robotics Research, Verlag Springer Berlin/Heidelberg, Vol. 15, S. 202-216, 2005.
- [8] Krüger, J.; Lien, T. K. und Verl, A.: Cooperation of human and machines in assembly lines. In: CIRP Annals-Manufacturing Technology, 58(2), S. 628-646, 2009.
- [9] Takeuchi, Y. und Ge, D. F.: Generation of polished-sculptured surfaces by advanced machining center-robot complex. In: Proceedings of the 1992 IEEE international conference on robotics and automation, Nice, Frankreich, S. 1126-1131, 1992.
- [10] Lee, H.; Lee, B.; Kim, W.; Gil, M.; Han, J. und Han, C.: Human-robot cooperative control based on pHRI (physical Human-Robot Interaction) of exoskeleton robot for a human upper extremity. In: International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13(6), S. 985-992, 2012.
- [11] Sadler, E. M.; Graham, R. B. und Stevenson, J. M.: The personal liftassist device and lifting technique: a principal component analysis. In: Ergonomics, 54(4), S. 392-402, 2011.
- [12] Weidner, R.; Kong, N. und Wulfsberg, J. P.: Human hybrid robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. In: Production Engineering, 7(6), S. 675-684, 2013.
- [13] Weidner, R. und Wulfsberg, J. P.: 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.

Unterstützung des Menschen in der Arbeitswelt der Zukunft

Human Centered Assistance Applications

C. Hölzel, V. Knott, J. Schmidtler und K. Bengler

Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie

Boltzmannstr. 15, 85747 Garching

hölzel@lfe.mw.tum.de, knott@lfe.mw.tum.de, schmidtler@lfe.mw.tum.de, bengler@lfe.mw.tum.de

Kurzzusammenfassung

Der Begriff der *human centered assistance applications* (HCAA) wurde am Lehrstuhl für Ergonomie an der Technischen Universität München geprägt und vereint mehrere industrielle Anwendungen unter einem gemeinsamen Forschungsschwerpunkt. Ziel ist es, die in zukünftigen Produktionssystemen auftretenden Belastungen zu minimieren, während die Effizienz der einzelnen Tätigkeiten optimiert wird. Derzeit sind drei solcher Ansätze im Fokus des Instituts. Eine körpergetragene Hebehilfe (Lifting Aid), ein kollaboratives Robotersystem (Cobot) und ein Montagehandschuh (Assembly Glove). Während die Hebehilfe hauptsächlich für die Anwendung im Bereich der Logistik konzipiert wird, befindet sich das Einsatzgebiet des Cobots und des Montagehandschuhs im Bereich der Produktion.

Abstract

Supporting occupants in future working environment

The term *human centered assistance applications* (HCAA) for production was introduced by the Institute of Ergonomics at the Technische Universität München. Several devices are consolidated with the common research objective to facilitate work while increasing the efficiency of the process in production environments and logistics. The three approaches Lifting Aid, Cobot and Assembly Glove treat the topic in different perspectives and areas. While the Lifting Aid addresses logistics, the Cobot and the Assembly Glove are located in material handling and assembly in production lines.

1 Problembeschreibung: Aktiv anstatt Reaktiv

Der demografische Wandel in der Belegschaft stellt heutige Produktionssysteme zunehmend vor große Herausforderungen. Aufgrund der steigenden Anzahl an Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) mit zunehmendem Alter wird eine ergonomische und altersgerechte Arbeitsplatzgestaltung immer wichtiger. Automobilhersteller wie beispielsweise die BMW Group oder VW sind sich des Problems bereits sehr bewusst, da vier von zehn Mitarbeitern in maximal zehn Jahren über 50 sein werden. Da M-S-E mit 26,5% aller Erkrankungen die häufigste Ursache für Arbeitsunfähigkeit darstellen, und im Verhältnis zu anderen Ursachen zeitlich längere Arbeitsunfähigkeiten hervorrufen [1], ist das Ziel des hier vorgestellten Ansatzes, den Menschen bei

der Planung zukünftiger Produktionssysteme in den Mittelpunkt zu stellen und bei der Ausübung seiner Tätigkeiten, durch *human centered assistance applications* zu unterstützen (Abb. 1). Sowohl Logistikbereiche als auch die Produktion sind durch verschiedene Automatisierungsgrade geprägt. Während z.B. im Karosseriebau, mit Hilfe von Industrierobotern, überwiegend hochautomatisiert gearbeitet wird, überwiegen in der Montage vor allem manuelle Tätigkeiten. Aufgrund der steigenden Flexibilitätsanforderungen an Produktionssysteme wird der Mensch auch in Zukunft eine entscheidende Rolle spielen. Um körperlich und kognitiv hoch belastende manuelle Tätigkeiten optimiert auszuführen und den enormen Abstand zum hochautomatisierten Arbeiten zu überbrücken, werden diverse Handlingsgeräte eingesetzt. Das Ziel der hier präsentierten Forschungen ist die Betrachtung verschiedener industrieller Anwendungen unter einem gemeinsamen Forschungsschwerpunkt. Der ganzheitliche Ansatz der *human centered assistance applications* stellt den Menschen, mit seinen Fähigkeiten und Bedürfnissen, in den Mittelpunkt der Forschung, da eine optimale kognitive und physiologische Unterstützung in zukünftigen Produktionssystemen Belastungen reduzieren kann. Drei Ansätze werden am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München in dieser Richtung verfolgt. Das Projekt körpergetragene Hebehilfe zielt vermehrt auf in der Logistik anfallende Prozesse und deren physiologische Belastungsreduzierung ab. Im Projekt Cobot wird die Schnittstelle zwischen physiologischer und kognitiver Belastungsreduzierung für den Bereich der Automobilmontage untersucht, während sich das dritte Projekt Montagehandschuh ausschließlich mit der Reduzierung physischer Belastungen, in der Montage, auseinander setzt.



Abb. 1: Human Centered Assistance Applications [2]

2 Forschungsfrage

Durch seine schnelle Auffassungsgabe und Informationsverarbeitung, sowie die Fähigkeit sich an neue Situationen flexibel anzupassen oder bei Bedarf zu improvisieren ist der Mensch ein unverzichtbarer Erfolgsfaktor, der bei der Planung zukünftiger Produktionssysteme und Logistiktätigkeiten zu berücksichtigen ist. Um der steigenden körperlichen und kognitiven Beanspruchung gerecht zu werden, ist eine technische Unterstützung des Menschen notwendig, wobei es wichtig ist, die Vorteile beider Seiten effizient zu nutzen. Der Großteil der existierenden Assistenzsysteme zielt darauf ab eine effiziente Arbeitsausführung zu gewährleisten. Bei der Entwicklung von HCAA liegt der Fokus nicht nur auf einer Effizienzsteigerung, sondern darauf

Anwendungen gezielt für den Menschen zu planen und an ihn anzupassen. Menschliches Agieren statt Reagieren ist eine Grundvoraussetzung bei der Entwicklung von HCAA. Klassische Logistik- oder Produktionssysteme erfordern eine Eingliederung in bzw. Adaption des Menschen an bestehende Arbeitsplätze. Bei der Forschung zu menschzentrierter HCAA hingegen werden die Unterschiedlichkeiten der einzelnen Menschen durch Assistenzsysteme „ausgeglichen“. Zusätzlich wird der Fokus zuerst auf den Menschen gelegt und die „Maschine“ an ihn angepasst. Kriterien, wie die physiologischen Veränderungen des Körpers mit zunehmendem Alter, die Akzeptanz und das Wohlbefinden beim Arbeiten mit individuell angepassten Systemen, sowie eine aus ergonomischen Gesichtspunkten belastungsgerecht gestaltete Arbeit, stehen bei der Forschung im Mittelpunkt.

3 Stand der wissenschaftlichen Forschung

Über 7,6 Millionen Angestellte müssen täglich schwere Lasten heben und tragen (über 10 kg für Frauen über 20 kg für Männer) [3]. Bereits das tägliche Handling von Lasten zwischen fünf und 35 kg führt in Kombination mit entsprechenden Pickzahlen zu Gesundheitsrisiken für den Mitarbeiter.

Die zunehmende Vielfalt der Assistenzsysteme, die unter dem Begriff Exoskelett zusammengefasst werden können, zeigt die Notwendigkeit einer Unterstützung des Menschen auf. Der Einsatzbereich ist breit und reicht von Anwendungen im militärischen Bereich bis hin zum rehabilitativen Bereich. Die Art der Anwendung von Exoskeletten hat direkten Einfluss auf die Funktionen, die diese Unterstützungssysteme beinhalten. Während im militärischen Bereich auf eine Erhöhung der körpereigenen Kraft abgezielt wird, ist die Hauptaufgabe im rehabilitativen Bereich das Ermöglichen von nicht mehr funktionierenden Bewegungen. Das Benchmark-Produkt im Bereich der Exoskelett-Forschung ist der HAL (Hybrid Assistive Limb®) Anzug, der von der japanischen Firma CYBERDYNE und der Tsukuba Universität (Japan) entwickelt wurde. Die Steuerung des Exoskeletts basiert auf den Nervensignalen des Nutzers, welche durch Sensoren aufgezeichnet und anschließend verarbeitet werden. Die Nervensignale werden an elektrische Motoren im Bereich der Gelenke geleitet, um eine gezielte Muskelbewegung anzusteuern. Im Moment ist das System jedoch noch zu unökonomisch für einen Einsatz im Logistikbereich. Im Logistikbereich werden Assistenzsysteme als Hebehilfen bezeichnet. Hebehilfen unterstützen die manuelle Lastenhandhabung und erlauben das Heben, Tragen und Umsetzen von Lasten ohne gesundheitliche Risiken, durch eine Reduzierung der auf den menschlichen Körper wirkenden Kräfte. Dabei wird unterteilt in stationäre und körpergetragene Systeme, wobei körpergetragene Systeme durch ihre Ortsunabhängigkeit und Flexibilität einige Vorteile gegenüber stationären Systemen aufweisen. Ein weitgehend stationäres System für Hebetätigkeiten wurde von der Gebhardt Logistik Solution GmbH entwickelt. Der größte Nachteil dieses Seilzugsystems ist seine Ortsgebundenheit, da es an einem Kommissionierfahrzeug montiert ist. Der Arbeiter wird dadurch in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt und an einen festen Arbeitsplatz gebunden. Das amerikanische Unternehmen Strong Arm Technologies, Inc. entwickelt derzeit ein körpergetragenes System zu Unterstützung des Oberkörpers. Der größte Nachteil dieses Systems ist, dass die aufgenommenen Kräfte in den Rücken des Mitarbeiters eingeleitet und von diesem abgestützt werden müssen. Die bisher beste Lösung im Logistikbereich wurde vom Koba Laboratory der Tokyo University of Science entwickelt. Der Muscle

Suit arbeitet pneumatisch und unterstützt Pflegedienst- und Krankenhauspersonal beim Heben oder Tragen von Personen oder schweren Lasten [4].

Anders als im Logistikbereich wird die Organisation zukünftiger Produktionssysteme durch zwei wegweisende Richtungen bestimmt. Der anhaltende Trend der Mechanisierung und Automatisierung auf der einen und eine Anpassung an Kundenwünsche auf der anderen Seite [5]. Eine zunehmend kundenorientierte Produktion führt zu kleineren Stückzahlen bei einer großen Variantenanzahl und muss dementsprechend flexibel ausgelegt sein.

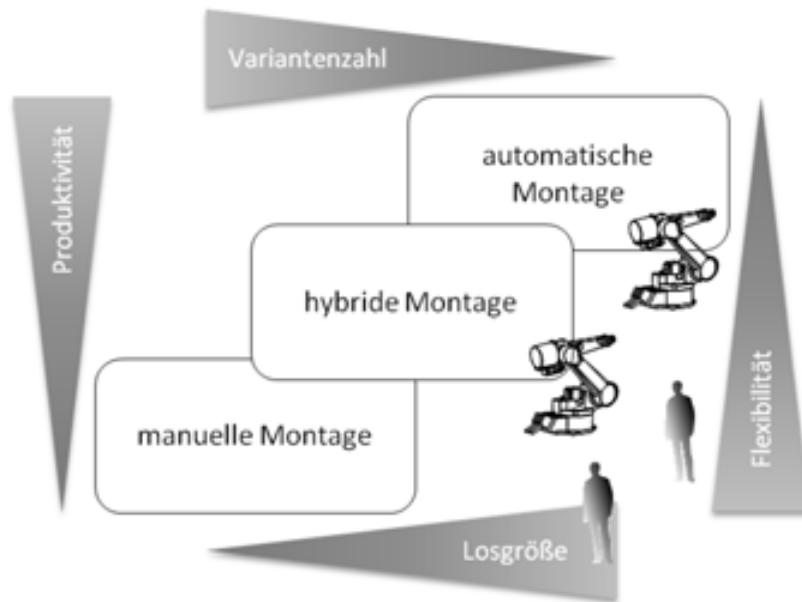


Abb. 2: Varianz der manuellen, hybriden oder automatischen Produktionssysteme [6]

Der Mensch spielt bei der geforderten Flexibilität eine entscheidende Rolle. Um dennoch die Vorteile der Automatisierung, wie Präzision, Stärke und Reproduzierbarkeit auszunutzen, stellen halbautomatisierte Produktionssysteme eine optimale Lösung dar, da sie zudem, aufgrund der Kombination von kleineren Losgrößen und steigender Variantenanzahl, Vorteile hinsichtlich der Kosten aufweisen (Abb. 2) [6]. Collaborative Robots, auch als Cobots bezeichnet, sind eine mögliche Lösung zur Realisierung eines halbautomatischen Produktionssystems. Cobots, als ein Teil der intelligent assist devices (IAD) repräsentieren eine Klasse von Handlingssystemen, welche die Eigenschaften industrieller Roboter und handgehaltener Manipulatoren vereint. Laut Peshkin & Colgate 1999, die den Begriff prägten, stehen Cobots in direkter Interaktion zum Menschen und ermöglichen so die gemeinsame Handhabung einer Last [7]. Cobots sind dazu in der Lage, ähnlich wie Hebehilfen, Arbeitsbedingungen, Produktqualität und Produktivität zu steigern. Ein großer Vorteil von Cobots ist die Reduzierung der vom Menschen aufzubringenden Kräfte (speziell der Trägheitskräfte beim Be- und Entschleunigen) während einer Arbeitsaufgabe. Durch die gezielte Kompensation von Reibe- sowie Beschleunigungs- und Bremskräften und die Verstärkung der natürlichen Kraft des Menschen können auf den Körper wirkende Kräfte reduziert und M-S-E verhindert werden. Im Gegensatz zu Hebehilfen bieten Sie zusätzlich den Vorteil der Implementierung virtueller Oberflächen im Handhabungsprozess [7]. Diese erlauben die physische Führung des Menschen entlang eines definierten Pfades. In lateraler Richtung erforderliche Kräfte werden dadurch stabilisiert und die Belastung

der Muskeln des Oberkörpers und Rückens reduziert. Zudem wird die Effizienz des Gesamt-systems durch präzise und schnelle Montageprozesse erhöht, während der kognitive Workload für den Menschen verringert wird. Virtuelle Oberflächen bieten die Möglichkeit, Hindernisse zu umgehen (virtuelle Barrieren). Cobots können in drei verschiedenen Operationsmodi verwendet werden. Der *hands-on-control mode* bezeichnet den Modus bei dem der Operateur über das Kontrollinterface (bspw. Griffe) eine physische Interaktion mit dem Cobot ausübt. Im *hands-on-payload* wird zudem als Reaktion auf die vom Operateur aufgebrachten Kräfte eine Nutzlast mit Hilfe des Cobots bewegt. Der dritte Modus ist der *hands-off-control mode*, bei dem der Cobot, ohne die Krafteinwirkung des Menschen, einem definierten Pfad folgt, ähnlich dem eines herkömmlichen Robotersystems. Diese drei Operationsmodi ermöglichen die Durchführung von manuellen Handhabungsaufgaben bis hin zu voll automatischen Arbeitsprozessen, oder mit Unterstützung ausgeführten Tätigkeiten.

Während Hebehilfen und Cobots die Möglichkeit bieten Belastungen für den gesamten Körper zu reduzieren, fokussiert der Montagehandschuh die im Hand-Arm-System (H-A-S) auftretenden Belastungen. Obwohl der Großteil, der bei Mitarbeitern der Automobilproduktion auftretenden Muskel-Skelett-Beschwerden den unteren Rücken, den Nacken und die Schultern betrifft ist laut Hussain 2004 bei Produktionsarbeitern auch auffällig oft das H-A-S betroffen [8]. Hohe Wiederholungszahlen, sowie hohe Aktionskräfte und ungünstige Gelenkwinkel führen zum vermehrten Auftreten von sogenannten *cumulative trauma disorders* wie dem Karpaltunnelsyndrom oder Sehnenscheidenentzündungen im Bereich der Finger. Aufgrund verkürzter Taktzeiten und vereinfachten Tätigkeiten steigen die Belastungen zusätzlich an [9]. Die Zahl der Arbeitsunfähigkeitstage liegt deswegen in der Automobilindustrie in Deutschland über der der Gesamtbevölkerung. Die Bandbreite der Lösungen, um die Hand zu schützen, reicht von gewöhnlichen Arbeitshandschuhen, die Schutz vor vielen äußeren Einflüssen wie z.B. Temperatur, mechanischen Einwirkungen oder Flüssigkeiten bieten über ergonomische Werkzeuge bis hin zu hoch technologisierten Handexoskeletten. Handgehaltene Werkzeuge bieten Unterstützung bei verschiedenen Montagetätigkeiten wie beispielsweise dem Setzen von Plastikclipsen. Durch eine Veränderung des Hebels oder der Krafteinleitungfläche werden physische Belastungen reduziert. Handexoskelette, die im Gegensatz dazu direkt mit der Hand in Verbindung stehen, können aktive Unterstützung bieten um Handbewegungen zu automatisieren oder den natürlichen Griff, die natürliche Fingerkraft, zu verstärken. Beide Ansätze haben Vor- und Nachteile. Die Problematik bei Werkzeugen besteht darin, dass diese unter zusätzlichem Zeitaufwand gegriffen werden müssen und dass schwer zugängliche Verbaustellen nicht erreicht werden können. Bestehende Exoskelette für die Hand sind für den Einsatz in der Automobilproduktion bautechnisch noch zu groß und schränken die Flexibilität und Bewegungsfreiheit des Mitarbeiters enorm ein. Die Akzeptanz solcher Systeme durch den Mitarbeiter ist dementsprechend gering. Ein weiterer Ansatz sind Arbeitshandschuhe mit zusätzlich integrierten Funktionen. Die Firma ejendals bietet passive Unterstützung bei Impacts, Vibrationen oder extremen Gelenkwinkeln. Durch die Integration einfacher Schaummaterialien oder elastischer Stoffe soll die Hand vor den oben genannten Einflüssen zusätzlich geschützt werden. Beste-hende Lösungen sind wenig komfortabel selten. In einigen Studien wurden zudem probehalber Orthesen aus dem medizinischen Bereich eingesetzt um Muskelaktivitäten bei manuellen Tätigkeiten zu reduzieren. Laut Johansson et al. 2004 findet jedoch keine Reduzierung der Muskelaktivität, sondern lediglich eine Einschränkung der Bewegungsfreiheit statt [10].

Demzufolge gibt es bisher keinen Handschuh der sich erfolgreich mit der Reduzierung physischer Belastungen für das H-A-S beschäftigt und zusätzlich weitere Funktionen, wie beispielsweise eine Qualitätssicherung integriert.

4 Methodik

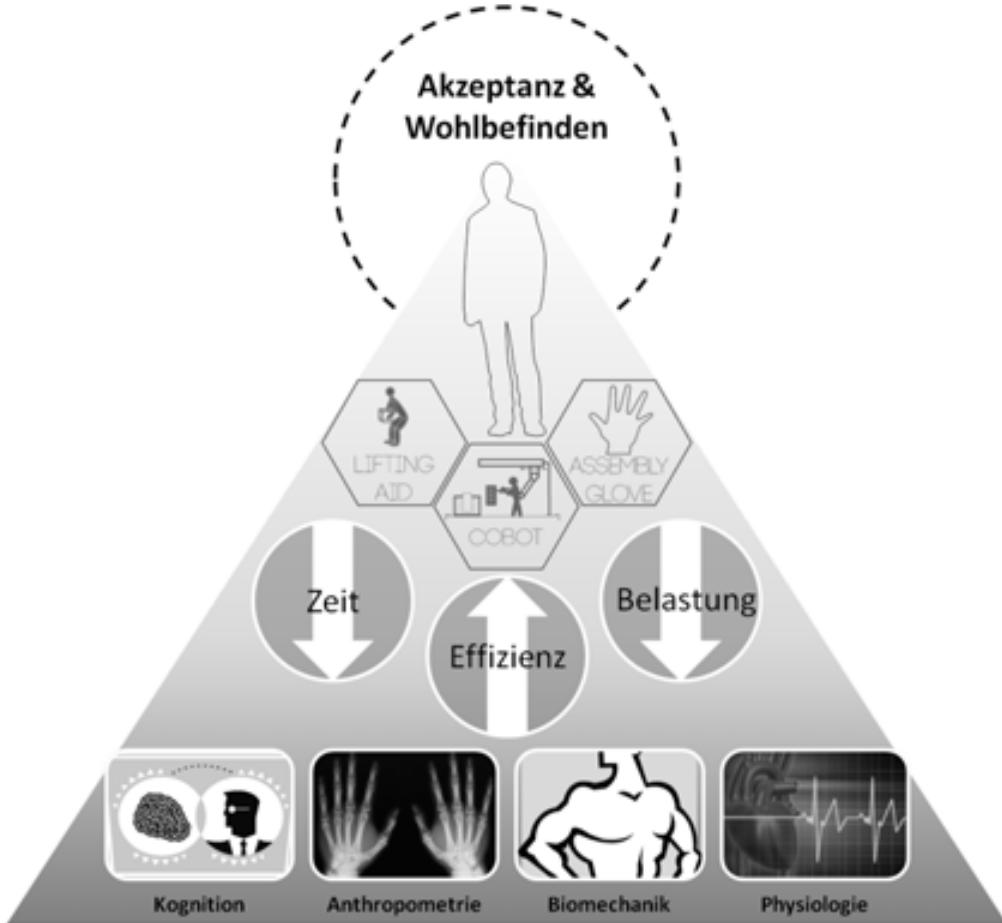


Abb. 3: Forschungsgrundlage HCAA

Um die oben dargestellten Forschungsfragen zu beantworten, legt der Lehrstuhl für Ergonomie den Fokus der Forschung im Bereich der HCAA auf die Analyse:

- der menschlichen Anthropometrie (Anthropometrie),
- der Körperkräfte, sowie der Art und des Ortes der Krafteinbringung (Biomechanik),
- der Bewegungen und Verhaltensweisen des Menschen (Physiologie),
- der Wahrnehmung physikalischer Größen (Geschwindigkeit, Ruck, Beschleunigung) durch den Menschen (Kognition),

um eine optimale Anpassung der Assistenzsysteme sicherzustellen (Abb. 3). Das übergeordnete Ziel zielt darauf ab, eine gute Akzeptanz im Umgang mit HCAA zu erreichen, um während der Tätigkeit ein allgemeines Wohlbefinden für jeden Mitarbeiter zu ermöglichen. Durch die optimale Anpassung von HCAA an den Menschen kann der zeitliche Arbeitsaufwand minimiert, die Effizienz der einzelnen Tätigkeiten gesteigert und die Belastung für den Menschen reduziert werden.

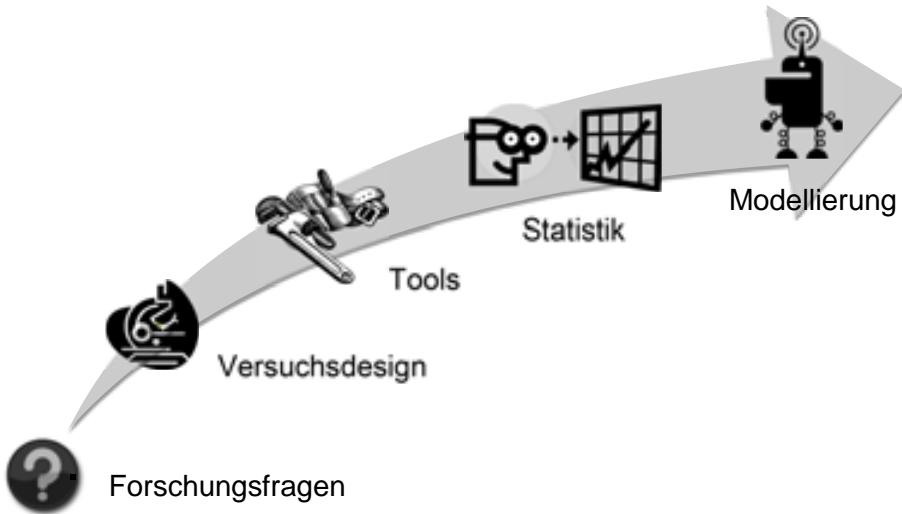


Abb. 4: Methodenkette am Lehrstuhl für Ergonomie

Die Analyse der fokussierten Parameter ist ein Bestandteil der am Lehrstuhl für Ergonomie angewendeten Methodenkette (Abb. 4), welche mit dem Aufstellen der Forschungsfrage(n) beginnt. Der Punkt Versuchsdesign versteht die Ausarbeitung von Studien zu objektiven Beantwortung der gestellten Forschungsfragen. Mit entsprechenden Tools zur Bewegungsanalyse oder Kraftmessung wird eine Vielzahl an Daten erfasst. Die folgenden statistischen Analysen prüfen die erfassten Daten und gemessenen Effekte auf Signifikanz, um anschließend Modelle, wie bspw. des menschlichen Bewegungs- und Interaktionsverhalten in kollaborativen Szenarien abzuleiten. Die beschriebene Methodenkette wird sowohl bei der Forschung und Entwicklung zu neuen Produkten und Konzepten, als auch bei der Evaluierung bestehender Ansätze eingesetzt.

Für die Entwicklung eines HCAA wird zunächst eine klare, zielführende Forschungsfrage aufgestellt wird. Eine detaillierte visuelle Analyse der Arbeitstätigkeiten, gestützt durch ergonomische Bewertungsmethoden und subjektive Befragungen, bildet die Grundlage. Basierend auf bereits publizierter Literatur erfolgt die Versuchsplanung. Der Arbeitsplatz oder die Tätigkeit wird in einem Laborversuch nachgestellt. Zur Analyse des Menschen kommen Tools wie Vicon – markerbasiertes Trackingsystem zur Erfassung von Bewegungen – oder Kraftmessdosen/Kraftgriffe – zur Erfassung von aufgewendeten Körperkräften – zum Einsatz. Eine anschließende Auswertung der Kräfte und Bewegungen ergibt Gelenkwinkel, Beschleunigungen, Muskelaktivitäten und Reaktionskräfte. Die statistische Analyse dieser Messwerte ist die Basis für die optimale Gestaltung von HCAA. Für die Auswertung und Anwendung der Daten werden in vielen Fällen digitale Menschmodelle wie RAMSIS und AnyBody verwendet. Am Ende der Methodenkette steht ein Modell, das zur Analyse und Vorhersage menschlicher Bewegungsabläufe und Verhaltensweisen herangezogen werden kann. Welche speziellen Tools bei der Entwicklung der körpergetragenen Hebehilfe, des Cobots sowie des Montagehandschuh genutzt werden, ist in unten stehender Tabelle (Tab. 1) ersichtlich.

Tab. 1: Methodiküberblick der einzelnen HCAA Projekte

	Körpergetragene Hebe-hilfe (KH)	Cobot	Montagehandschuh
Forschungsfrage	Belastungsreduzierung durch eine optimale anthropometrische Anpassung der KH und eine optimale Krafteinleitung durch die Hebehilfe	Optimierte manuelle Handhabung (Schieben / Ziehen) durch individuelle Anpassung physischer und kognitiver Parameter	Physische Unterstützung bei manuellen Tätigkeiten durch optimierten Kraftfluss und Rückmeldung physiologischer Parameter
Versuchsdesign	Analyse der Arbeitstätigkeit, Bewegungsanalyse, Analyse der Lasten	Schieben und Ziehen als Bewegungsgrundmuster, kollaborative Szenarien, Human Dyads, Psychophysik	Analyse der Arbeitstätigkeiten, Bewegungs- und Krafterfassung am ausgewählten Arbeitsplatz, Evaluierung der Unterstützung, Psychophysik
Tools			
Objektive	Motion Tracking (Vicon), OWAS, LMM, AnyBody, Spiroergometrie	Motion Tracking (Vicon), Kraftmessung (KISTLER), Beobachtung, Befragung, BORG-Skala	Motion Tracking (Vicon, Inertialsensorik) Kraftmessung, ABATech, EMG, AnyBody
Subjektive	Beobachtung, Befragung, BORG-Skala		Beobachtung, Befragung, PSSUQ, SUS
Statistik	SPSS, MATLAB	SPSS, MATLAB	SPSS, MATLAB
Modellierung	Modellierung der Belastung sowie der Analyse der Beanspruchung bei Hebetätigkeiten	Be- und Entschleunigungsverläufe, Kraftverläufe, kognitive Prozesse	Muskel-Skelett-Modellierung des Hand-Arm-Systems: zur Simulation von Beanspruchungen, zur Überprüfung der Unterstützungswirkung

Im oberen Abschnitt des Kapitels Methodik wurde der Forschungsfokus für HCAA dargestellt. Dieser wird im Folgenden für die drei Themen Körpergetragene Hebehilfe (Abb. 5), Cobot (Abb. 6) und Montagehandschuh (Abb. 7) detailliert beschrieben. Die Anforderungen an eine Körpergetragene Hebehilfe für den Logistikbereich sind:

- Die Reduzierung der auf den Körper einwirkenden Belastungen durch eine ergonomisch sinnvolle Krafteinleitung in den Körper.
- Eine gesundheitliche Prävention von M-S-E sowie die Kompensation individuell nachlassender physischer Fähigkeiten.
- Die optimale Anpassung der Hebehilfe an die spezifische körperliche Anatomie zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen von manuellen Hebetätigkeiten, wobei ein wichtiger Faktor die Lokalisierung der Krafteinleitungspunkte ist.
- Die konstruktive Vermeidung von Bewegungseinschränkungen des Arbeiters bei seinen Tätigkeiten.



Abb. 5: Funktionen einer körpergetragenen Hebehilfe

Zur optimalen Gestaltung der direkten Interaktion von Menschen und Cobots ist es enorm wichtig die Intention des menschlichen Operateurs zu (er)kennen und ihm im Gegenzug so viel Feedback wie möglich über das Interface zu spiegeln. Die zentrale Forschungsfrage fokussiert die Untersuchung menschlicher Aktionen und Reaktionen während der Ausübung von ziehenden und schiebenden Tätigkeiten mit Hilfe von unterstützenden Systemen. Um eine flexible und optimale Anpassung des Cobots an die individuellen physiologischen Fähigkeiten und Bedürfnisse des Menschen zu realisieren, muss eine einfache, natürliche, intuitive und interaktive Bedienung möglich sein. Dabei ergeben sich folgende Anforderungen:

- Das haptische Feedback muss möglichst natürlich sein, als würde der Operateur die Aufgabe manuell ausüben.
- Der Mitarbeiter darf durch die Unterstützung während er Aufgabe nicht unterfordert sein.
- Die Reduzierung physischer und kognitiver Belastungen durch den Cobot.
- Die individuelle Anpassung an unterschiedliche Bedürfnisse und Fähigkeiten um manuelle Tätigkeiten für jeden durchführbar zu gestalten.



Abb. 6: Funktionen eines Cobots

Um den Arbeiter nicht durch automatisierte Lösungen zu ersetzen, sondern von seinem Wissen, seiner Flexibilität und seiner Erfahrung zu profitieren, soll mit Hilfe des Montagehandschuhs eine passive oder aktive Unterstützung für das H-A-S des Mitarbeiters bei manuellen Tätigkeiten realisiert werden. An einen Montagehandschuh, basierend auf der Kombination aus gewöhnlichen Arbeitshandschuhen und Handexoskeletten, stellen sich folgende Anforderungen:

- Die Verbesserung der Arbeitsbedingungen durch die Reduzierung physischer Belastungen für das Hand-Arm-System. Dazu ist eine geeignete Kraftübertragung weg vom Kraftleistungsort notwendig.
- Geforderte Kraft – Adaptierte Kraft (tatsächlich aufgebrachte) und akzeptierte Kraft müssen in Einklang gebracht werden um Tätigkeiten ein Leben lang gesund auszuführen.
- Die Gestaltung des Handschuhs sollte leicht und flexibel sein.
- Eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen, sowie der Qualität durch integrierte Zusatzfunktionen und Messtechnik.
- Die integrierte Möglichkeit der Krafterfassung (Datengrundlage) und die Rückmeldung der Daten an den Mitarbeiter (ergonomische Tätigkeitsausführung).



Abb. 7: Funktionen eines Montagehandschuhs

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die drei vorgestellten Ansätze der *human centered assistance applications* kombinieren die Vorteile der bisherigen Lösungskonzepte in den Bereichen Produktion und Logistik und stellen den Mensch mit seinen individuellen Fähigkeiten, Erfahrungen, Bedürfnissen und seiner Flexibilität in den Mittelpunkt. Durch die an ergonomischen Kriterien orientierte Anpassung von Assistenzsystemen können Belastungen für den Menschen reduziert und die Effizienz bei Arbeitstätigkeiten gesteigert werden. Das übergeordnete Ziel, der Akzeptanz der unterstützenden Systeme durch den Mitarbeiter um ein Wohlbefinden bei der Arbeit zu generieren, wird durch grundlegende Analysen der Bewegungen, Körperkräfte und kognitiven Fähigkeiten des Mitarbeiters erreicht. Für die Gestaltung zukünftiger Produktionssysteme bieten sich somit vielfältige Möglichkeiten. Die Anforderungen und der Forschungsfokus wurden sowohl für HCAA im Allgemeinen als auch für die drei Unterstützungssysteme im Speziellen herausgearbeitet. So mit wird deutlich, dass sowohl die verfügbaren Tools zur Ermittlung individueller Anforderun-

gen als auch die Möglichkeiten individualisierter Lösungen diese Vorgehensweise stark unterstützen. Denkbar ist eine Kombination der Forschungsthemen zur Schaffung eines ganzheitlichen Ansatzes der kognitiven und physischen Belastungsreduzierung. Zudem soll untersucht werden inwiefern die Lösungen auf andere Bereiche (Pflegebereich, Servicerobotik) transferiert werden können.

6 Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung der Projekte „Körpergetragene Hebehilfe“ und „KobotAERGO“ sowie der BMW Group für die Unterstützung des Projektes „Ergomultifunktionales Handmodul“.

7 Literatur

- [1] BMW-BKK Gesundheitsbericht. BMW-BKK Deutschland (2012).
- [2] Schmidtler, J.; Hölzel, C.; Knott, V.; und Bengler, K.: Human Centered Assistance Applications for Production. Advances in the Ergonomics in Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future, 13, S. 380, 2014.
- [3] Brenscheidt, F.; Nöllenheidt, Ch. und Siefer, A.: Arbeitswelt im Wandel: Zahlen – Daten – Fakten. Ausgabe 2012. http://www.baua.de/de/Publikationen/Broschueren/A81.pdf;jsessionid=5E164D065DED25E43F0AEB6036499FD5.1_cid389?__blob=publicationFile&v=8 (2012).
- [4] Knott, V.; Kraus, W.; Schmidt, V. und Bengler, K.: Manual Handling of Loads Supported by a Body-worn Lifting Aid. Proceedings of the 3rd International Digital Human Modeling Symposium DHM 2014, Odaiba, Japan, 20-22 May, 2014.
- [5] Schlick, C. M.: Industrial engineering and ergonomics: Visions, concepts, methods and tools: Festschrift in honor of professor Holger Luczak. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag 2009.
- [6] Lotter, B. und Wiendahl, H. P.: Montage in der industriellen Produktion. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [7] Peshkin, M. und Colgate, J. E.: Cobots. Industrial Robot: An International Journal, 26(5), S. 335-341. 1991.
- [8] Hussain, T.: Musculoskeletal symptoms among truck assembly workers, Occup Med (Lond) , 54 (8), S. 506-512, 2004.
- [9] Diaz, J.; Weichel, J. und Frieling, E.: Analyse körperlicher Belastung beim Einbau des Kabelbaums in das Fahrzeug und Empfehlung zur Belastungsreduktion – eine Feldstudie in einem Werk der deutschen Automobilindustrie, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, S. 13-23, 1-2012, 2012.
- [10] Johansson, L.; Björing, G. und Hägg, G. M.: The effect of wrist orthoses on forearm muscle activity, Applied Ergonomics, 35 (2), S. 129-136, 2004.

Mobile Informationsassistenz für die Montage

M. Aehnelt

Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung Rostock

Joachim-Jungius-Str. 11, 18059 Rostock

mario.aehnelt@igd-r.fraunhofer.de

S. Bader

Universität Rostock, MMIS

Albert-Einstein-Str. 22, 18059 Rostock

sebastian.bader@uni-rostock.de

Kurzzusammenfassung

Montagearbeiter zeichnen sich gegenüber automatisierten Montagesystemen nicht nur durch ihre Flexibilität sondern auch durch kreative Lösungsstrategien aus. Diese beruhen auf Erfahrungswissen und einer großen kognitiven Leistungsfähigkeit. Sie erfordern jedoch auch eine situativ angepasste Informationsassistenz.

Der Beitrag beschreibt ein intelligentes System zur Informationsunterstützung des Montagearbeiters im Bereich der Kleinserien- und Einzelfertigung. Aufbauend auf vorangegangenen Arbeiten wird ein Framework aus intelligenten Komponenten, z.B. wahrscheinlichkeitsbasierten Verhaltensmodellen, kognitiven Architekturen sowie mobilen Assistenzlösungen, vorgestellt. Dieses unterstützt den Montagearbeiter in Abhängigkeit seiner Arbeitsaufgaben durch eine bedarfsgerechte Bereitstellung von Arbeitsanweisungen und es überwacht die korrekte Durchführung der Montagearbeiten.

Abstract

Mobile Information Assistance for the Assembly

In comparison to autonomous assembly stations the human assembly worker is characterized by a higher degree of flexibility as well as creative solution strategies. Both depend on individual experiences and cognitive capabilities. Here, situation-aware information assistance aims to support manual work tasks.

The paper describes an intelligent information assistance system for assembly workers. Based on previous work, it introduces a framework of intelligent components, such as probabilistic behavioral models, cognitive architectures, and mobile assistance applications. The framework assists by providing required assembly information and monitoring assembly activities.

1 Einleitung

In der industriellen Fertigung entfallen bis zu 40 Prozent der Kosten und sogar 70 Prozent der Produktionszeiten auf die Montage von Baugruppen und Endprodukten [1]. Insbesondere bei der variantenreichen Fertigung in kleinen Losgrößen sind ein großer Anteil manueller Arbeitsgänge und nur ein geringer Automatisierungsgrad vorzufinden. Unter diesen Bedingungen unterstützen Assistenzsysteme den Produktionsarbeiter bei der Ausführung seiner Arbeitsaufgaben. Sie helfen dabei nicht nur Zeiten und Kosten zu reduzieren, sie überwachen kontinuierlich

die prozess- und qualitätssichere Ausführung seiner Arbeiten und tragen damit entscheidend zur Fehlervorbeugung und Störungsvermeidung bei.

Obwohl in der Fertigungsindustrie bereits mächtige und sehr spezialisierte Softwaresysteme zur Unterstützung der Produktionsplanung, der Produktionsüberwachung sowie zur Steuerung der operativen Produktionsprozesse eingesetzt werden, fehlen nach wie vor Methoden und Technologien, die eine intelligente und situativ angepasste Form der Assistenz bis hin zum manuellen Arbeitsplatz auf Shop-Floor-Ebene ermöglichen. Hierbei besteht das hauptsächliche Problem in der Automatisierung der Informationsflüsse zwischen den produktionsvorgelagerten Bereichen der Konstruktion und Arbeitsvorbereitung mit der Fertigung und den nachgelagerten Bereichen, wie zum Beispiel dem Service.

In diesem Beitrag wird ein Konzept zur durchgängigen Informationsassistenz am Montagearbeitsplatz vorgestellt. Dieses nutzt Daten aus der Produktentwicklungsphase für eine Automatisierung der situativ angepassten Informationsbereitstellung während der Montage und sammelt wiederum Daten bei der Durchführung von Montagearbeiten zur schrittweisen Verbesserung der Assistenzleistung und -qualität.

Hierzu wird zunächst das allgemeine Anwendungsszenario der Montage vorgestellt, bevor wir auf bereits vorhandene Lösungsansätze zur Unterstützung des Montagearbeiters eingehen. Anschließend stellen wir die konzeptionelle Architektur für die Einbindung eines Montageassistenzsystems in die technische und organisatorische Infrastruktur einer Produktion vor und zeigen an Beispielen dessen Umsetzung. Im Anschluss erfolgt eine grundsätzliche Bewertung des Konzeptes der Montageassistenzsysteme in Hinblick auf die Bedarfe des Unternehmens bzw. die Bedürfnisse des Montagearbeiters.

2 Die Montage als Anwendungsszenario

Die Montage von Maschinen und technischen Anlagen ist wesentlicher Bestandteil der Produktion. Durch die Montage werden einzelne Bauteile zu Baugruppen erster Ordnung (*Vormontage*), diese zu Baugruppen höherer Ordnung (*Zwischenmontage*) und anschließend zum Endprodukt (*Endmontage*) verbunden. Die VDI Richtlinie 2860:1990-05 [2] unterscheidet hier zwischen primären und sekundären Montageaktivitäten. Die *primäre Montage* beinhaltet alle Fügeoperationen nach DIN 8580 [3], während die *sekundäre Montage* alle zusätzlichen Hilfstätigkeiten, wie zum Beispiel das Justieren oder Handhaben der Bauteile, vereint.

Die Montagearbeitsplätze können sich innerhalb einer Produktionshalle befinden aber genauso auch an entfernten Arbeitsorten sein. In beiden Fällen begegnen wir rauen und wechselnden, industriellen Arbeitsbedingungen, z.B. bezüglich der Licht-, Geräusch- oder Temperaturbedingungen.

Obwohl der Montageprozess grundsätzlich durch physische Arbeitsaktivitäten charakterisiert ist, erfordert es einen nicht zu unterschätzenden Anteil an kognitiver Arbeit für die Interpretation und das Verstehen der anstehenden Montagearbeiten durch den Montagearbeiter. Diese kognitiven Prozesse finden überwiegend in der Montagevorbereitung und bei der Bewertung der durchgeföhrten Arbeiten und erzielten Ergebnisse vergleichend zur ursprünglichen Planung statt. Dabei ist ein kontinuierlicher Übergang zwischen drei wesentlichen Prozessen zu beobachten (siehe Abb. 1):

- Der *Informationsprozess* ist eine technische Abfolge zur Erkennung, Sammlung, Systematisierung und Bereitstellung erforderlicher Arbeitsinformationen am Montagearbeitsplatz.

Außerdem beinhaltet er alle weiteren technischen Schritte zur Sammlung, Bewertung und Speicherung von Informationen während der Montage.

- Diesem schließt sich der *Wissensprozess* an. Er vereint alle kognitiven Prozesse zur Wahrnehmung, Verarbeitung und Anwendung der bereitgestellten Informationen durch den Montagearbeiter sowie die weiterführenden kognitiven Prozesse zur Beobachtung und Bewertung der eigenen Tätigkeiten.
- Der *Arbeitsprozess* zeigt schließlich die operative Anwendung der bereitgestellten und verarbeiteten Informationen durch den Montagearbeiter. Er beinhaltet die unmittelbare Montagevorbereitung, ihre Ausführung und Prüfung.



Abb. 1: Übergang und Kombination von Informations-, Wissens- und Arbeitsprozessen am Montagearbeitsplatz

Durch die enge Verbindung des technischen Informationsprozesses mit dem individuellen und manuellen Wissens- sowie Arbeitsprozesses des Montagearbeiters, besteht die Herausforderung darin informationstechnologisch basierte Prozesse nahtlos mit den kognitiven Prozessen des Menschen zu verzahnen. Hierbei kommt es gleichzeitig – wie auch bei anderen Problemstellungen zur Assistenz menschlicher Tätigkeiten – zu einem kontinuierlichen Übergang zwischen den Disziplinen der Informatik und der Psychologie.

Im folgenden Abschnitt soll ein Überblick über aktuelle Lösungsansätze zur Assistenz am Montagearbeitsplatz gegeben werden.

3 Assistenzsysteme für die Montage

Bei komplexen und variantenreichen Produkten hat der Mensch aufgrund seiner kognitiven Leistungsfähigkeit und Flexibilität entscheidende Vorteile gegenüber automatisierten Systemen in der Montage. Jedoch bedeutet seine geringere Konzentrations- bzw. Präzisionsleistung gleichzeitig ein nicht zu unterschätzendes Qualitätsrisiko. Aus diesem Grund werden Monta-

gearbeiter durch zusätzliche Assistenzsysteme in der operativen Durchführung ihrer Arbeitsaufgaben unterstützt, so zum Beispiel bei der *Betriebsdatenerfassung*, *Qualitätskontrolle*, *Maschinensteuerung* und *Informationsbereitstellung*.

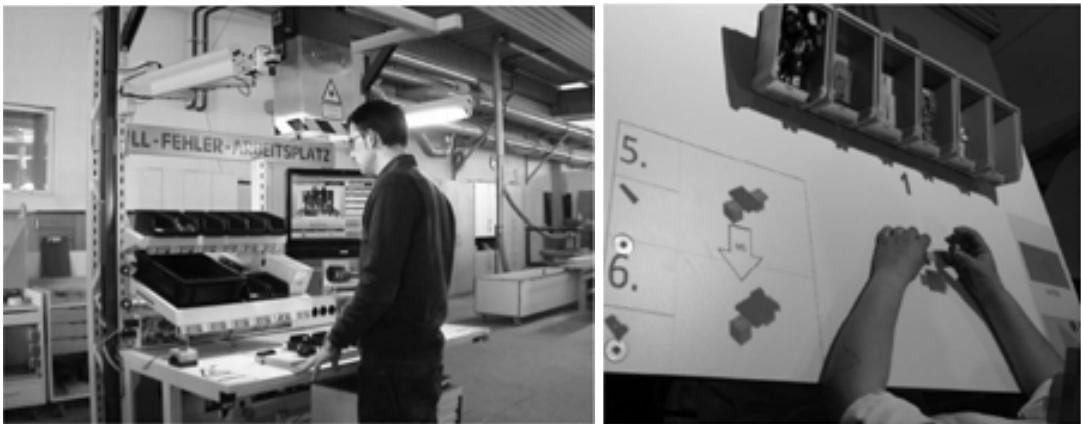


Abb. 2: Beispiele für ein Montageassistenzsystem (links, Quelle: DE software & control) und In-Situ-Projektion (rechts, Quelle: [4])

Für die direkte Informationsversorgung, Prozess- und Qualitätssicherung sowie Informationssammlung am manuellen Montagearbeitsplatz hat sich das Konzept des *intelligenten Montageassistenzsystems* etabliert (siehe Abb. 2). Dieses vereint die schrittweise Anleitung der einzelnen Arbeitsgänge durch *In-Situ-Projektion* [5, 6] als Visualisierung auf der Arbeitsfläche kombiniert mit *Pick-by-Light-Systemen* für die fehlersichere Kommissionierung und Materialentnahme. Gleichzeitig erfassen Sensoren und Kamerasysteme die physische Aktivität des Montagearbeiters [7]. Diese wird automatisiert ausgewertet um den Arbeitsfortschritt bewerten zu können. Einsatzfähige Beispiele für intelligente Montageassistenzsysteme sind *PROMIMO* (Universität Bielefeld), die *DESC leanWorkstation* (DE software & control GmbH) oder die manuellen Montagestationen vom DFKI bzw. der Hochschule Esslingen und der Schnaithmann Maschinenbau GmbH.

Dennoch besteht auch heute noch das Problem der durchgängigen Automatisierung der Informationsbereitstellung aus bereits vorhandenen Daten der Produktentwicklungsphase. Die Datenaufbereitung für intelligente Montageassistenzsysteme erfolgt manuell und wird durch entsprechende Authoring-Systeme unterstützt. Interessant sind hierbei neue Ansätze zur CAD-neutralen Haltung von Konstruktionsmodellen als Informationsträger zwischen den unterschiedlichen Fachabteilungen in der Produktion [8]. Diese Arbeiten stecken aktuell jedoch noch in der Konzeptionsphase.

4 Intelligente Informationsassistenz in der Montage

Informationsassistenz am Montagearbeitsplatz, insbesondere in komplexen und sich ständig verändernden Montagesituationen, erhöht die Qualität des Arbeitsprozesses sowie der Arbeitsergebnisse durch die unmittelbare Bereitstellung und Rückkopplung arbeitsrelevanter Informationen. Wir unterscheiden hierbei fünf wesentliche Arten der Informationsassistenz [9]: das Bewusstmachen von Veränderungen der Arbeitsumgebung, das Anleiten von Arbeitsaufgaben, das Überwachen der Arbeitsausführung, ihre Dokumentation sowie die Dokumentation der Ar-

beitsergebnisse und schließlich das Bewahren vor einer kognitiven oder physischen Überlastung. Die dafür erforderliche Informationsverarbeitung ist vergleichbar mit einem Regelkreis (siehe [10]). In diesem werden wesentliche Teilaufgaben miteinander verknüpft:

- *Kontexterfassung*: Mit Hilfe von Sensoren wird der tatsächliche Zustand der Arbeitsumgebung und damit des Umgebungskontextes erfasst.
- *Situationserkennung*: Aus den gesammelten Kontextinformationen werden Rückschlüsse auf die aktuelle Arbeitssituation gezogen.
- *Informationsbedarfsermittlung*: Anhand der jeweiligen Arbeitssituation werden die zur Unterstützung dieser Situation erforderlichen Informationen ermittelt.
- *Informationssynthese*: Die erforderlichen arbeitsrelevanten Informationen werden zu einem in sich abgeschlossenen Informationsangebot zusammengeführt.
- *Informationsvisualisierung*: Das Informationsangebot wird in einer an die aktuelle Arbeitssituation angepassten Art und Weise präsentiert.
- *Informationsrückmeldung*: Es werden neue Erkenntnisse zu relevanten Änderungen der Arbeitsumgebung bzw. bezüglich des Arbeitsgegenstandes in die Leitsysteme der Produktion zurückgemeldet.

Für diese Teilaufgaben der Informationsassistenz soll nun in den folgenden Abschnitten ein Framework zur informationstechnischen Auslegung und Automatisierung vorgestellt werden.

4.1 Komponenten der Montageassistenz

In der Produktentwicklungsphase wird die technische Auslegung einer Maschine bzw. Anlage zunächst spezifiziert und anschließend werden die konstruktiven Details mit Hilfe von CAD/CAE-Systemen ausmodelliert. Es entsteht dadurch ein dreidimensionales Modell der später zu montierenden Anlage. Dieses kann durch CAD-spezifische Metadaten um semantische Informationen zur technischen Parametrisierung z.B. der Werkzeugkonfiguration oder Montagereihenfolge angereichert werden. Wie in Abschnitt 3 dargestellt liegt jedoch ein wesentliches Hauptproblem, für die Automatisierung der Informationsweitergabe aus den CAD-Modellen in ein Montageassistenzsystem, in der software-abhängigen und schnittstellen-spezifischen Auslegung der CAD-Modelle und damit im verfügbaren Umfang der zusätzlichen semantischen Informationen. Eine CAD-neutrale Haltung dieser Informationen, wie durch [8] motiviert, ermöglicht erst eine autonome Bereitstellung arbeitsrelevanter Montageinformationen am Arbeitsplatz. Da sich diese Arbeiten jedoch noch im Konzeptionsstadium befinden, setzen wir mit dem hier beschriebenen Framework auf den zurzeit verfügbaren 3D-CAD-Modellen auf.

In Abb. 3 ist die Gesamtarchitektur des vorgestellten Montageassistenzsystems illustriert. Zunächst werden die externen Komponenten des Montageassistenzsystems näher erläutert:

- *Enterprise Resource Planning System (ERP)*: In diesem System werden die zur Montage einer Anlage erforderlichen Ressourcen (Mensch/Arbeitsplatz, Maschine, Material) zeitlich und auslastungsgerecht geplant. Die Planung erfolgt dabei in unterschiedlichen Granularitäten, zunächst auf Ebene des Fertigungsauftrages und dann soweit möglich ebenfalls auf der Ebene der Arbeitsgänge. Dabei wird die Gesamtstückliste des Fertigungsauftrages in Einzelstücklisten der jeweiligen Arbeitsgänge unterteilt.

- *Manufacturing Execution System (MES)*: Dieses System übernimmt die zeitliche und ressourcetechnische Feinsteuering der Fertigung. Es reagiert auf Änderungen der Produktions situation (z.B. Ausfall einer Maschine, Materialengpass) durch die variable Umplanung einzelner Fertigungsaufträge.
- *Betriebsdatenerfassungssysteme (BDE)*: Sowohl an den Maschinen als auch an den manuellen Montagearbeitsplätzen der Produktion werden kontinuierlich Daten über den aktuellen Status erfasst. Diese Datenerfassung ist Grundvoraussetzung für die Anwendbarkeit eines MES. Auf diese Art und Weise werden Stückzahlen, Fehlteile, Zeiten oder Störungen unmittelbar aufgenommen und an die führenden Systeme MES sowie ERP weitergegeben.

Die bisher in der Montage vorhandenen Systeme ERP, MES und BDE verwalten lediglich Fertigungsdaten und werden nicht für die Steuerung und Überwachung der Montage auf Arbeitsschrittebene eingesetzt. Hierfür ist das Montageassistenzsystem erforderlich, welches von ERP bzw. MES Daten zum Fertigungsauftrag und damit zu den Arbeitsgängen der Montage erhält. Dazu gehören die Montagezeiten sowie die Teilstücklisten der Arbeitsgänge. Die Arbeitsgänge beschreiben dabei die auszuführenden Arbeiten im Allgemeinen auf Baugruppenebene.

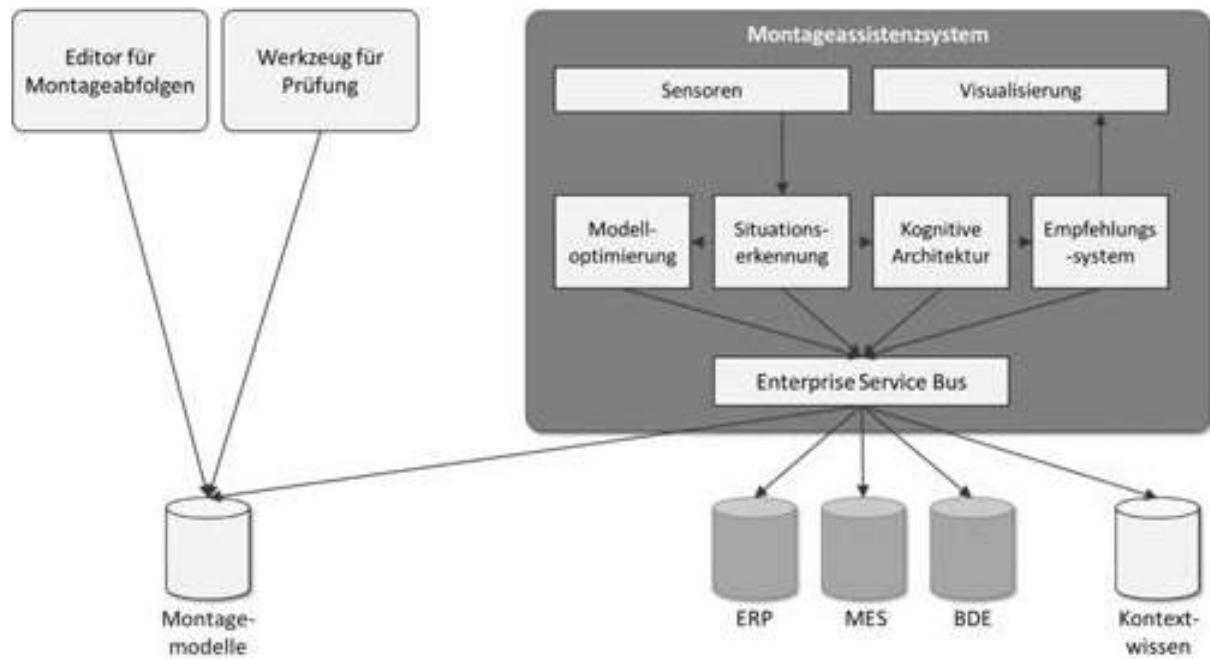


Abb. 3: Grobarchitektur des Montageassistenzsystems und der externen Komponenten

Das Montageassistenzsystem verwendet die Daten zu den Arbeitsgängen für das Erzeugen eines zunächst groben *Montagemodells*. Ein Montagemodell kann dabei als Sequenz von Montageschritten verstanden werden, die im Ergebnis zu einem gültigen und fehlerfreien Montageergebnis führen. Für die Übertragung aus den ERP/MES-Daten in ein Montagemodell verwenden wir *Hidden Markov Models* (HMM). Eine ausführliche Darstellung dieses Prozesses ist bereits in [11] erfolgt. Das Montagemodell entspricht zu diesem Zeitpunkt der Sequenz von Baugruppen, die in einer spezifischen Reihenfolge montiert werden müssen.

Nun werden die Komponenten des Montageassistenzsystems und ihre Aufgaben im Gesamtsystem erläutert:

- *Enterprise Service Bus (ESB)*: Das Montageassistenzsystem wird in bestehende technische Infrastrukturen der Produktion eingebettet. Es muss mit den Daten und Schnittstellen der dort vorhandenen Leitsysteme arbeiten. Diese verändern sich kontinuierlich nach den Bedarfen des Unternehmens. Aus diesem Grund ist die Verwendung bidirektionaler Schnittstellen zwischen Montageassistenzsystem und den einzelnen Leitsystemen nicht effizient. Wir verwenden an dieser Stelle einen Enterprise Service Bus, der den Datenaustausch zwischen den Systemen auf Nachrichtenebene verallgemeinert und die Schnittstellenproblematik durch den Einsatz allgemeiner Adapter reduziert.
- *Sensoren*: Die Beobachtung der durch den Montagearbeiter durchgeführten Aktivitäten erfordert eine entsprechende Sensorik. In Experimenten [11, 12] haben wir gezeigt, dass sich dabei eine hohe Erkennungsrate bereits durch eine einfache Instrumentierung der Arbeitsumgebung des Montagearbeiters erreichen lässt. So lässt sich die Einhaltung der Montagesequenz durch Beobachtung der Bauteil- und Materialentnahme verifizieren. Zu diesem Zweck werden die Kommissionierungslager am Montagearbeitsplatz durch Sensorik überwacht. Außerdem wird die Werkzeugnutzung zur Erhöhung der Erkennungsgenauigkeit protokolliert.
- *Situationserkennung*: Die durch Sensoren gesammelten Daten müssen kontinuierlich im Abgleich mit dem Montagemodell ausgewertet werden. Wir verwenden hier das HMM zur Filterung der Sensordaten und zur Berechnung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung bzgl. des aktuellen Zustandes der Montage [11]. Auf Basis der erkannten Situation können wir auf mögliche Montagefehler in der Reihenfolge oder Bauteil- und Materialverwendung schließen.
- *Modelloptimierung*: Durch die Bewertung der aktuellen Montagesituation im Vergleich zum zunächst groben Montagemodell, ist es uns möglich auf Basis der beobachteten Sequenzen aus Aktivitäten und Ergebnissen das ursprüngliche Montagemodell sukzessive zu verfeinern. Auf diese Weise wird zum Beispiel die Montage einer Baugruppe durch Aufgliederung in Arbeitsschritte für die Montage der einzelnen Bauteile weiter konkretisiert. Es entsteht damit aus der Beobachtung und Bewertung eine neue Version des Montagemodells.
- *Kognitive Architektur*: Das für die Durchführung eines Montageschrittes erforderliche Wissen lässt sich in die drei Bestandteile *Fakten* (Was?), *Prozeduren* (Wie?) und *Zusammenhänge* (Warum?) unterteilen. Während sich erstes noch formalisiert in ERP/MES finden lässt, sind Prozeduren und Zusammenhänge Bestandteil der Ausbildung bzw. in zusätzlichen Dokumenten nicht formalisiert (z.B. Betriebsanleitungen, Richtlinien, etc.) anzutreffen. Wir nutzen aus diesem Grund kognitive Architekturen zur Modellierung und Anwendung dieses Wissens für die Informationsbedarfsanalyse. Auf diese Art und Weise wird zu einer erkannten Situation das nötige Wissen in Form von Informationsregeln in der kognitiven Architektur abgebildet und durch den zyklischen Entscheidungsprozess aktiviert. Das nähere Vorgehen zur Modellierung und Anwendung ist dazu in [9] beschrieben.
- *Empfehlungssystem*: Nachdem montagerelevantes Wissen in der kognitiven Architektur aktiviert wurde, sind entsprechende Informationen für den Montagearbeiter zusammenzustellen, die dieses Wissen an ihn weitergeben. Dies erfolgt durch Arbeitsanweisungen, die den nächsten Arbeitsschritt, z.B. das Rüsten, Fügen, Kontrollieren oder Beheben eines Fehlers,

näher erläutern und mit Zusatzinformationen (Was?, Wie?, Warum?) ergänzen. In [13] wurde bereits das allgemeine Vorgehen dazu erörtert.

- **Visualisierung:** Die Informationen sind nun so zu visualisieren, dass sie den Arbeitsprozess des Montagearbeiters nicht unterbrechen und dennoch eine Einbettung der Darstellung in die jeweilige Montagesituation gewährleistet ist. Abhängig von der Art und Größe der zu montierenden Bauteile verwenden wir hierzu Verfahren der projektiven Augmented Reality bzw. mobile Informationsdisplays, z.B. Smartwatches in Kombination mit verteilten Monitoren [10], welche einzelne Informationsbestandteile gemäß der aktuellen Montagesituation verteilen und visualisieren.

Für die betriebswirtschaftliche Einbettung des Montageassistentensystems in die wertschöpfenden Prozesse des produzierenden Unternehmens sind weitere Komponenten erforderlich:

- **Werkzeug für die Überprüfung von Montagesequenzen:** Auch die Montage ist in der Regel DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert. Das bedeutet, dass sowohl die schrittweise Anleitung des Montagearbeiters als auch die Ausdetaillierung von Montagemodellen in die bestehenden Prozesse der Qualitätssicherung eingebettet werden müssen. Jede Veränderung des Montagemodells muss daher geprüft und freigegeben werden. Hierfür wird ein entsprechendes Werkzeug erforderlich.
- **Werkzeug für das manuelle Editieren von Montagesequenzen:** Für die Korrektur vorhandener oder Erstellung neuer Montagemodelle ist ebenso ein manuelles Werkzeug erforderlich. Dieses arbeitet als Schnittstelle zwischen ERP und dem Montageassistentensystem.

4.2 Umsetzung der Montageassistenz

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Komponenten eines Frameworks zur Montageassistenz wurden bereits in Teilen sowie in einzelnen Kombinationen umgesetzt und in den *Plant@Hand Montageassistenten* integriert. Dieses Assistenzsystem verbindet die erforderlichen Software- und Hardware-Komponenten für die Unterstützung der Montage im Bereich der Kleinserien- und Unikatfertigung. Es ist dabei insbesondere für die mobile Montageassistenz an größeren Maschinen- und Anlagen ausgelegt. Die technische Basis bildet dabei ein Werkstattwagen, der mit der Sensorik, Schnittstellen, den intelligenten Komponenten des Frameworks sowie Visualisierungsmöglichkeiten ausgestattet ist (siehe Abb. 4). Ergänzt wird das System durch weitere interaktive Komponenten, wie zum Beispiel eine Smartwatch zur Visualisierung und Interaktion während der Montageausführung.



Abb. 4: *Plant@Hand Montageassistentensystem* in einem Werkstattwagen (links) und mobile Anwendung auf einer *Sony Smartwatch* (rechts, siehe auch [10])

Während der Montage einer Anlage stellt das Plant@Hand Montageassistentensystem kontinuierlich Handlungswissen bezogen auf den aktuellen Arbeitsschritt bereit. Dazu gehören unter anderem die Arbeitsanweisung, zu montierende Teile aus der Stückliste sowie das jeweils zu verwendende Werkzeug. Gleichzeitig wird dem Montagearbeiter der Arbeitsschritt anhand des originalen 3D-Anlagenmodells aus der visuellen Perspektive der auszuführenden Handlung präsentiert [11]. Alternativ können 2D-Zeichnungen verwendet werden. Durch diese zusätzliche kontextuelle Verankerung der Arbeitsanweisung in einem virtuellen Abbild des realen Montagezustandes wird die kognitive Verarbeitung der Informationen für den Montagearbeiter vereinfacht.

5 Zusammenfassung, Bewertung und Ausblick

Montageassistentensysteme unterstützen den Menschen bei der Verarbeitung montagerelevanter Informationen eingebettet in den eigentlichen Arbeitsprozess. Dadurch soll die Konzentration auf die Ausführung der Montagearbeiten erhöht und das Auftreten von Fehlern reduziert werden.

Aus Sicht des produzierenden Unternehmens werden damit Zusatzaufwände und Kosten reduziert. Studien belegen dabei, dass ein detaillierter Arbeitsplan tatsächlich zu einer schnelleren Bearbeitung von Arbeitsaufgaben führt, sogar wenn diese Planung nicht durch die jeweilige Person selbst vorgenommen wurde [14]. Bisher erfolgt die Arbeitsdetailplanung jedoch als manueller Arbeitsschritt nachgeordnet zum Produktentwicklungsprozess, z.B. durch die technische Dokumentation oder Arbeits-vorbereitung. Um Montageassistentensysteme auch bei geringen Losgrößen oder sogar Unikaten wirtschaftlich vernünftig einsetzen zu können ist hier eine zusätzliche Automatisierung der Informationsflüsse zwischen Produktentwicklung und Produktion bzw. der Einsatz von lernenden Systemen für die schrittweise Ausdetaillierung der anfänglich groben Arbeitsaufträge erforderlich. Die technische Basis für ein solches System wurde mit diesem Beitrag vorgestellt (siehe Abschnitt 4). Es verbindet Sensorik, intelligente Komponenten und Visualisierungstechnologien mit den informationstechnischen Leitsystemen der Produktion, um nicht nur erforderliche Informationen am Montagearbeitsplatz bereitzustellen sondern durch Erfassung, Beobachtung und Lernen ebenfalls Daten zurückzukoppeln und damit die Produktionssteuerung zu verbessern.

Primäre Zielgruppe für Montageassistentensysteme sind die Montagearbeiter die sich unter stetig veränderlichen Arbeitsbedingungen mit stark heterogenen und komplexen Arbeitsaufträgen auseinandersetzen müssen. Aufgrund dieser Heterogenität und Komplexität steigt nicht nur die Rüstzeit für den Arbeitsplatz sondern genauso auch die *mentale Rüstzeit* für das Interpretieren und Verstehen der Arbeitsanweisungen (siehe Abschnitt 2). Jeder Arbeitsschritt führt somit zu einem neuen Informationsbedürfnis des Montagearbeiters. Er benötigt die erforderlichen Informationen auf eine unkomplizierte und zeiteinsparende Art und Weise.

Erste Erfahrungen aus der Erprobung von Montageassistentensystemen in der Praxis zeigen, dass zwar zunächst eine Akzeptanzhürde gegenüber der neuen Technologie besteht, sich diese jedoch durch die Vorteile (Prozesssicherheit, Aktualität von Informationen, Rückmeldung an Leitsysteme) im Lauf der Nutzung abbauen lassen. Zusätzliche motivationale Anreize, z.B. durch *Gamification* [15], eröffnen darüber hinaus interessante Möglichkeiten für eine positive Gestaltung der allgemeinen User Experience.

Im Bereich der Automatisierung der Informationsflüsse, für eine Nachnutzung der konstruktiven Semantik von 2D-Zeichnungen und 3D-Modellen aus der Produktentstehung zum Zweck der schrittweisen Montageassistenz, ist aus gegenwärtiger Sicht weitere Forschung erforderlich. Gleches gilt für die Abbildung von kontextuellem Hintergrundwissen in kognitiven Architekturen oder ebenso für die Stabilisierung der Aktivitätserkennung unter den rauen und wechselhaften Bedingungen einer Montage.

6 Literatur

- [1] Lotter, B. und Wiendahl, H.-P.: Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. In: Montage in der industriellen Produktion, 2012.
- [2] German Engineers' Association: VDI 2860:1990-05 Assembly and handling; handling functions, handling units; terminology, definitions and symbols., Ausgabe 1990, Beuth-Verlag, Berlin (2860) 1990.
- [3] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 8580 Manufacturing processes - Terms and definitions, division., Ausgabe 2003, Beuth-Verlag, Berlin(8580), 2003.
- [4] Korn, O.; Schmidt, A. und Hörrz, T.: The potentials of in-situ-projection for augmented workplaces in production: a study with impaired persons. In: CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, S. 979-984. ACM, Paris, France 2013.
- [5] Korn, O.; Schmidt, A. und Hörrz, T.: Augmented manufacturing: a study with impaired persons on assistive systems using in-situ projection. In: Proceedings of the 6th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments, S. 1-8. ACM, Rhodes, Greece 2013.
- [6] Rütter, S.; Hermann, T.; Mracek, M.; Kopp, S. und Steil, J.: An assistance system for guiding workers in central sterilization supply departments. In: Proceedings of the 6th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments, S. 1-8. ACM, Rhodes, Greece 2013.
- [7] Aehnelt, M.; Gutzeit, E. und Urban, B.: Using Activity Recognition for the Tracking of Assembly Processes: Challenges and Requirements. In: Bieber, G., Aehnelt, M., Urban, B. (Hrsg.) WOAR 2014. Workshop on Sensor-based Activity Recognition, S. 12-21. Fraunhofer-Verlag, Stuttgart, 2014.
- [8] Anderl, R.; Strang, D.; Picard, A. und Christ, A.: Integriertes Bauteildatenmodell für Industrie 4.0 - Informationsträger für cyber-physische Produktionssysteme. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (1-2/2014), S. 64-69, 2014.
- [9] Aehnelt, M. und Bader, S.: Information Assistance for Smart Assembly Stations. In: Proceedings of the 7th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2015), Lisbon, Portugal, 2015.
- [10] Aehnelt, M. und Urban, B.: Follow-Me: Smartwatch Assistance on the Shop Floor. In: Nah, F.-H. (Hrsg.) HCI in Business, Vol. 8527. Lecture Notes in Computer Science, S. 279-287. Springer International Publishing, 2014.
- [11] Bader, S. und Aehnelt, M.: Tracking Assembly Processes and Providing Assistance in Smart Factories. In: Duval, B., van den Herik, J., Loiseau, S., Filipe, J. (Hrsg.) Proceedings of the 6th International Conference on Agents and Artificial Intelligence, ESEO, Angers, Loire Valley, France, 6 - 8 March, 2014, Vol. 1, S. 161-168. SciTePress, (2014).

- [12] Aehnelt, M.; Bader, S.; Ruscher, G.; Krüger, F.; Urban, B. und Kirste, T.: Situation Aware Interaction with Multi-modal Business Applications in Smart Environments. In: Hutchison, D.; Kanade, T.; Kittler, J.; Kleinberg, J.M.; Mattern, F.; Mitchell, J.C.; Naor, M.; Nierstrasz, O.; Pandu Rangan, C.; Steffen, B.; Sudan, M.; Terzopoulos, D.; Tygar, D.; Vardi, M.Y.; Weikum, G.und Yamamoto, S. (Hrsg.) Human Interface and the Management of Information. Information and Interaction for Learning, Culture, Collaboration and Business. 15th International Conference, HCI International 2013, Las Vegas, NV, USA, July 21-26, 2013, Proceedings, Part III, Vol. 8018. Lecture Notes in Computer Science, S. 413-422. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [13] Mader, S. und Urban, B.: Creating Instructional Content for Augmented Reality based on Controlled Natural Language Concepts. In: Proceedings of 20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2010), 2010.
- [14] Kokkalis, N.; Köhn, T.; Huebner, J.; Lee, M.; Schulze, F. und Klemmer, S.R.: TaskGenies: Automatically Providing Action Plans Helps People Complete Tasks. ACM Trans. Comput.-Hum. Interact. 20(5), S. 1-25, 2013. doi: 10.1145/2513560.
- [15] Korn, O.; Schmidt, A. und Hörz, T.: Assistive systems in production environments: exploring motion recognition and gamification. In: Proceedings of the 5th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments, S. 1-5. ACM, Heraklion, Crete, Greece, 2012.

Akzeptanzverbesserung autonomer Assistenzroboter durch Verhaltensadaptivität

P. Nauth

Frankfurt University of Applied Sciences, Faculty Computer Science and Engineering
Nibelungenplatz 1, 60318 Frankfurt a.M.

pnauth@fb2.fra-uas.de

Kurzzusammenfassung

Der an der Frankfurt University of Applied Sciences entwickelte autonom - mobile Assistenzroboter "Roswitha" hat 2 Greifarme sowie Sensorik zur Objekt-, Hindernis- und Markenerkennung. Er kann u.a. einem Unterstützungsbedürftigen selbständig Gegenstände, z.B. Getränke und Essen, holen. Mit folgenden Ansätzen wollen wir die Akzeptanz der Nutzer erhöhen:

1. Menschenähnliches Aussehen durch humanoide Gestalt
2. Sprachdialog
3. Lernfähigkeit und Adaptives Verhalten.

Unser Verfahren für adaptives Verhalten basiert auf künstlichen Gefühlen, die es dem Roboter erlauben, abhängig von vorher gemachten Erfahrungen sein Verhalten an neue Situationen anzupassen. Das adaptive Verhalten wirkt im Vergleich zum repetitiven menschenähnlicher, wodurch sich die Akzeptanz bei Unterstützungsbedürftigen erhöht.

Abstract

Acceptance Improvement of Autonomous Assistive Robots by Adaptive Behavior

The autonomous - mobile assistive robot "Roswitha" developed at the Frankfurt University of Applied Sciences is equipped with 2 arms as well as with sensors detecting objects, obstacles and landmarks. It is designed to fetch autonomously drinks and food in order to bring these to handicapped and elderly people. We plan to increase the acceptance of users for robots by means of:

1. Human-like appearance by humanoid design
2. Speech dialog
3. Learning and adaptive behavior.

1 Einleitung

Analysiert man Erfahrungswerte über die Akzeptanz von Assistenzsystemen, so scheint die mangelnde Flexibilität und Limitierung auf wenige starre Funktionen ein Hauptgrund für die vorherrschende Ablehnung zu sein. Hilfsbedürftige Menschen möchten nicht bei, häufig als subjektiv empfundene, Fehlfunktionen oder gewünschten Funktionserweiterungen den Techniker rufen. Außerdem vertraut man sich eher Systemen an, die weniger technisch und mehr menschenähnlich aussehen. Die Assistenzrobotik ist hier ein gutes Beispiel:

Unterstützungsbedürftige Menschen betrachten Roboter, die nur fest einprogrammierte Aufgaben erledigen können, als Maschine und nicht als akzeptierte Helfer. Roboter, die neue Gegenstände erst erkennen, wenn das Klassifikationssystem durch externem Eingriff angepasst wurde

oder ihren Dienst verweigern, weil z.B. unter ungünstigen Bedingungen das Anti-Kollisionssystem bei neu angeschafften Möbeln versagt, werden eher als Belastung als Unterstützung angesehen. Eine ablehnende Haltung kann auch auftreten, wenn der alte oder behinderte Mensch Hilfe bei einer neuen, dem Roboter bisher bekannten Aufgabe benötigt, diese neue Assistenzfunktion aber erst durch einen Techniker einprogrammiert werden muss. Folgende Forderungen sind daher an Assistenzroboter der Zukunft zu stellen:

- Menschenähnliche Gestalt
- Intuitive Mensch - Maschinen Kommunikation über Sprachdialog
- Überwachtes Erlernen neuer Gegenstände und Hindernisse an Beispielen, die der Hilfsbedürftige dem Roboter sprachgestützt erklären und zeigen kann
- Adaptives Verhalten aus Erfahrungen durch nicht-überwachtes Lernen oder Forced Feed Back: Der Roboter lernt durch Lob des Hilfsbedürftigen eine Aufgabe, die er einmal richtig gemacht hat, wieder genauso durchzuführen. Bei Tadel modifiziert er eigenständig sein Verhalten. Genauso lernt er neue Hindernisse zu erkennen und die Vermeidung gefährlicher Situationen.

Unser Ansatz zur Generierung von adaptivem Verhalten basiert auf künstlichen Gefühlen, die durch Quality of State Funktionen (QoS) modelliert werden und deren Ausprägung situations- und erfahrungsabhängig ist. Erste Untersuchungen mit einem ca. 30 cm großen semi-humanoiden Roboter ergaben, dass mittels künstlicher Gefühle Roboter ihr Verhalten aufgrund von gemachten Erfahrungen ändern können [1].

2 Akzeptanz durch humanoides Aussehen des Assistenzroboters

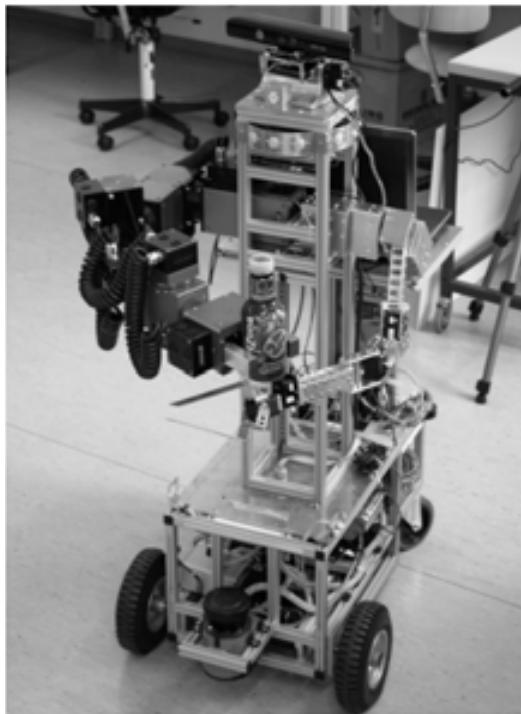


Abb. 1: Assistenzroboter Roswitha

Der im Labor für Autonome Systeme und Intelligente Sensorik entwickelte 1,40 m große Roboter Roswitha (Robot System with Autonomy) basiert auf einem Volksbot des Fraunhofer Instituts (Abb. 1). Beide Vorderräder werden mit je einem Maxon RE 40-Motor angetrieben, während die Hinterräder frei laufen. Dieser mechanische Aufbau wurde um mehrere intelligente Sensoren und einen Roboterarm der Fa. Schunk sowie einen selbst konstruierten Arm erweitert. Im Roboter haben wir einen Laptop und eine cRIO integriert, auf denen die Programme zur Sensordaten-verarbeitung, Entscheidungsfindung und Motoransteuerung ausgeführt werden.

Die Programmierung erfolgt durchgehend in LabVIEW, wodurch uns eine einheitliche Entwicklungsumgebung und eine umfangreiche Treiberbibliothek zur Verfügung stehen.

Folgende intelligente Sensoren kommen zum Einsatz:

- Sick LMS 100 Laserscanner im vorderen unteren Teil des Roboters zur Erkennung von Hindernissen und von Markierungen, die eine Eigenpositionsbestimmung ermöglichen.
- Mehrere Ultraschallsensoren zur Hinderniserkennung in den Bereichen, die der Laserscanner nicht abdeckt (z.B. hinterer Teil des Roboters).
- Kontakt- und Temperatursensoren zur Rückkopplung von Gefahrensituationen.
- 3-D Kamera zur Erkennung und Klassifizierung von Objekten, wie z.B. Getränkeflaschen, sowie zur Bestimmung von deren Position. Diese wird an die Steuerung des Roboterarms weitergeleitet, um das Objekt kameragesteuert zu greifen.

Ein typisches Anwendungsszenario ist das folgende: Der Benutzer nennt dem Roboter einen Gegenstand, den er gebracht haben möchte, z.B. eine Wasserflasche, und eventuell den Bereich, in dem sich dieser befindet, wie z.B. den Küchentisch. Mittels einer Karte, die die Raumgeometrien abbildet, und seiner Sensorik fährt er zu dem gewünschten Bereich, wobei er ständig seine Eigenposition bestimmt und mit der Karte abgleicht. Hindernissen, die nicht in der Karte verzeichnet sind, weicht er aus. Ist er im Zielbereich angekommen, so sucht seine 3-D Kamera dort nach dem gewünschten Objekt, greift es bei einer positiven Identifizierung und bringt es dem Benutzer.

In Abb. 2 ist der funktionale Ablauf bei der Bewältigung eines solchen oder ähnlichen Szenarios ist dargestellt: Zunächst muss der Roboter die Aufgabe, die er lösen soll, verstehen. Dazu dient ein Spracherkennungssensor, alternativ kann die Aufgabe über den Bildschirm eingegeben werden. Als nächstes sensieren visuelle und Abstandssensoren das Umfeld, aus deren Fusionierung der Roboter seine Eigenposition und seinen Zustand sowie Identität und Position von Objekten und Hindernissen ableitet. Alle Sensoren greifen auf eine lernfähige Wissensbasis zu. Mittels dieser Daten kann der Roboter nun eine Strategie entwickeln, um seine Aufgabe zu lösen, wobei die Fortbewegungstrajektorie kartenunterstützt optimiert wird. Die Verhaltensadaption soll realisiert werden, indem der Strategieplanungsalgorithmus eine Erfahrungsbasis nutzt, in der positive und negative Erfahrungen in Form von Gewichtsvektoren gespeichert sind. Schließlich werden im Modul Aktionsplanung die Ansteuersequenzen für die Aktuatoren erstellt und an diese weitergegeben.

Aufgrund der Komplexität des Gesamtsystems erfolgt im derzeitigen Entwicklungsstadium die Realisierung auf 2 Plattformen: Auf einer stationären werden die Algorithmen und Hardware für das kamerageführte Greifen [2] von Gegenständen erforscht und implementiert, auf einer mobilen das sensor- und kartengestützte Fahren [3] sowie erste Experiment zum adaptiven Verhalten durchgeführt.

Zur Akzeptanzverbesserung haben wir "Roswitha" menschenähnlich konstruiert. Er bewegt sich zwar auf Räder fort und kann daher nur als semi-humanoid bezeichnet werden, hat aber eine Art Oberkörper, an dem die beiden Arme angebracht sind. Außerdem ist die Kamera auf einer Schwenk-Neige Einrichtung montiert, die man als künstlichen Hals ansehen kann und eine menschenähnliche Bewegung des Kopfs, der durch die Kamera realisiert ist, erlauben.

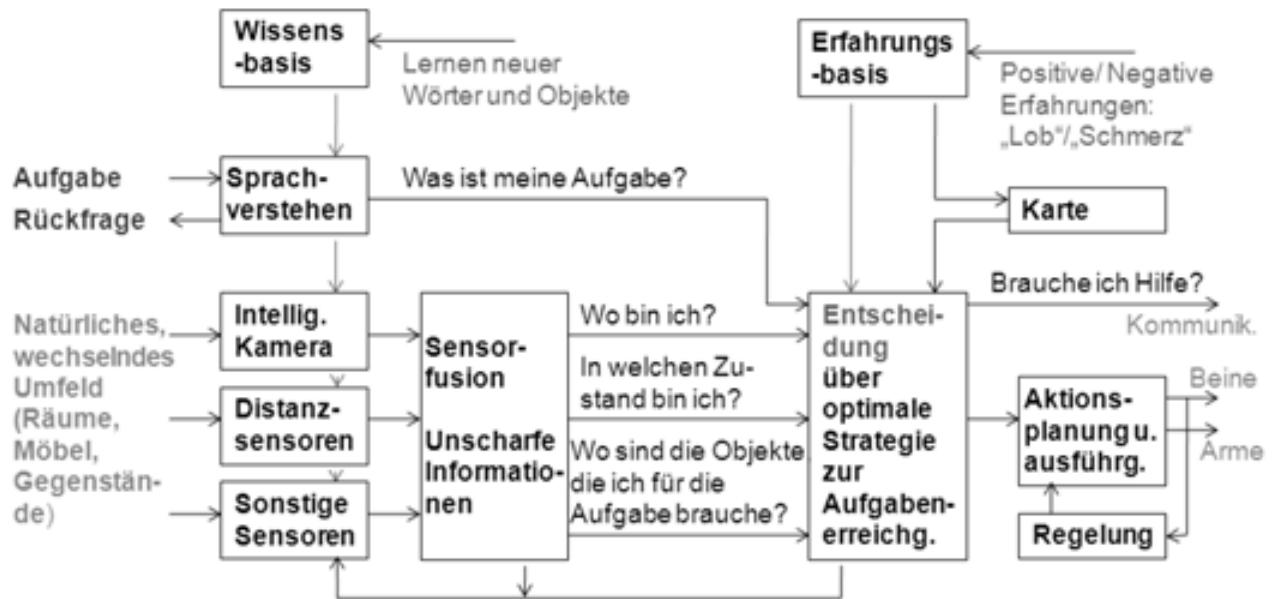


Abb. 2: Funktionales Modell eines autonomen Roboters mit adaptivem Verhalten



Abb. 3: Einlernen eines Referenzmusters

Die Pattern Matching Funktionen lassen sich u.a. in Sensitivität, Lage- und Größeninvarianz parametrisieren. Zunächst wendeten wir das Pattern Matching auf das Farbbild $c(x,y)$ an, um Getränkeflaschen verschiedener Farbe und Form, die auf einem Tisch stehen, zu differenzieren. Das Verfahren stößt an seine Grenzen, wenn der Hintergrund, z.B. Bilder an der Wand, ähnliche

Unsere Ansätze zur Lösung von Teilproblemen wie der Bildverarbeitung und unser Algorithmus zum adaptiven Verhalten werden nachfolgend erläutert.

3 Akzeptanzverbesserung durch überwachtes Lernen

Die intelligente Kamera besteht aus einer Kinect 3D-Kamera und einem Bildverarbeitungsprogramm, das mit LabVIEW programmiert wurde und auf einem Laptop läuft. Die Kinect Kamera generiert mittels eines CCD-Sensors ein Farbbild $C(x,y)$ und durch strukturierte Beleuchtung mit IR-Licht ein Tiefenbild $z(x,y)$.

Als Algorithmus verwenden wir derzeit die Pattern Matching Funktionen von LabVIEW. Dabei wird in einem aufgenommenen Bild nach Mustern gesucht, die einem von mehreren vorher eingeübten Referenzmustern ähnlich sind (Abb. 3). Farbe und Form sind die Vergleichskriterien.

Farben und Formen aufweist wie die zu erkennende Flasche. Man erreicht unter diesen Randbedingungen eine hinreichende Spezifität nur bei einer niedrigen Sensitivität.

Daher haben wir ein sequentielles Verfahren entwickelt: Im ersten Schritt wird im Tiefenbild $z(x,y)$ im Entfernungsbereich $z = 80 \text{ cm}$ bis $z = 160 \text{ cm}$, der dem Greifbereich des Roboterarms entspricht, ein Pattern Matching bezüglich der Form durchgeführt. Wurde ein Objekt gefunden und deren Bounding Box Koordinaten errechnet, so wird im Farbbild $C(x,y)$ an diesen Bounding Box Koordinaten das Pattern Matching wiederholt, diesmal aber bezüglich des Farbmusters. Auf diese Art und Weise werden alle Muster, die sich außerhalb des Greifbereichs befinden, ausgeblendet und eine hohe Spezifität bei hoher Sensitivität erreicht. Die Objektposition resultiert aus den Bounding Box Koordinaten nach einer Koordinatentransformation.

Das Anlegen von Templates neuer Gegenstände erwies sich als zu umständlich für ältere und behinderte Menschen und stieß auf wenig Akzeptanz. Daher entwickelten wir ein merkmalsbares Bildverarbeitungsverfahren mit lernfähigem Bayes - Klassifikator. Der Merkmalsvektor umfasst derzeit den Formfaktor, den Farbton Hue des HSI - Farbraums und die Varianz des Farbtone innerhalb des zu erkennenden Objekts. Derzeit kombinieren wir den Lernalgorithmus mit einem Spracherkennungssystem dahingehend, dass der hilfsbedürftige Mensch dem Roboter einen Gegenstand zeigt, dessen Namen (Klassifikationsklasse) nennt und mit dem Wort "Lerne" den Lernvorgang startet.

4 Akzeptanzverbesserung durch Adaptives Verhalten

Zusätzlich zur Steuerung durch die Karten- und Hindernisdaten sollen künstliche Gefühle das Verhalten steuern. Diese werden regelmäßig generiert und ermöglichen es, dass der Roboter, z.B. wenn er in einem aufgenommenen Kamerabild eines Ofens rote Kochfelder erkennt, negative Gefühle entwickelt. Dadurch greift er nicht in diesen gefährlichen, weil zu heißen Bereich, auch wenn die Temperatursensoren aufgrund der Distanz noch keine Hitze melden. Voraussetzung dafür ist, dass der Roboter in der Lage ist, ein ursprüngliches Verhalten, das zur negativen Erfahrung „Hitze“ führte, aufgrund von Erfahrungen, die in einer Erfahrungsbasis gespeichert sind, zu verändern.

Wir kopiert nicht die Funktionsweise des Gehirns [4], bilden aber die Fähigkeit des Menschen mittels Gefühlen schnell, wenn auch unscharf, zu entscheiden, ab: Geht eine Situation aufgrund einer bereits eingetretenen Gefährdung mit Schmerzen einher, so werden das nächste Mal in dieser Situation negative Gefühle wie Angst entwickelt und der Mensch meidet die Situation, bevor wieder eine Gefährdung eintreten kann.

Diese Situationen, also Zustände (States) $s_j(\underline{y}, \underline{w})$ hängen in unserem Algorithmus vom Sensorvektor \underline{y} und einem Gewichtsvektor \underline{w} ab. Der Sensorvektor \underline{y} enthält in den Elementen y_N bis y_1 die Messdaten aller N Sensoren, die Attribute von Objekten beinhalten, wie die Entfernung zu einem Objekt oder die Temperatur, und ein Element $y_0 = 1$. Der Gewichtsvektor mit den Elementen w_N bis w_0 stellt die Erfahrungsbasis dar und enthält die in einer Situation gemachten Erfahrungen. Für jede Objektklasse, die durch Objekt - ID - Nummern (OID) gekennzeichnet sind, gibt es einen eigenen Gewichtsvektor. Die OIDs der Objekte des Umfelds werden durch die intelligente Kamera ermittelt.

Der Roboter ermittelt das mit einer Situation assoziierte Gefühl, indem er permanent die Quality of State Funktion [5]

$$Q(s_j(\underline{y}, \underline{w})) = \underline{w}^T \underline{y} \quad (4.1)$$

berechnet. Ein positiver Wert bedeutet „Freude“ und veranlasst den Roboter die Aktionen zur Aufgabenerfüllung auszuführen. Ein negativer Wert bedeutet „Angst“ und lässt den Roboter umkehren oder alternative, sicherere Aktionen ausführen.

Erfahrungen werden gemacht, wenn bestimmte Sensoren, die das physische Befinden repräsentieren und die eine unmittelbare Gefährdung (verwendet für negative Rückkopplung) oder einen Wohlbefinden (verwendet für positive Rückkopplung) signalisieren, Schwellwerte über- bzw. unterschreiten. Erstere sind mit den Schmerzrezeptoren des Menschen vergleichbar und lassen sich durch Kontakt- oder Temperatursensoren realisieren. Worte, mit denen der Benutzer „Lob“ oder „Tadel“ dem Roboter gegenüber ausdrückt, können genutzt werden, um ein Wohlbefinden zurück zu koppeln. Die Sensoren, die zur Rückkopplung des Befindens des Roboterkörpers dienen, werden im Folgenden körperbezogene Sensoren bezeichnet.

Stimmen die Gefühle mit dem physischen Befinden überein, so ändert der Roboter sein Verhalten nicht. Erfahrungen werden nur gemacht, wenn die körperbezogenen Sensoren ein anderes Befinden melden als es der Gefühlslage entspricht. Die dann erforderliche Adaption des Gewichtsvektors \underline{w} erfolgt nach dem Gradientenverfahren 1. Ordnung und minimiert die Wahrscheinlichkeit von Fehlklassifikationen, d.h. von Gefühlsberechnungen, die einer Situation nicht angemessen sind, mit folgendem Algorithmus [6]:

$$\underline{w}_{i+1} = \underline{w}_i + k \underline{y} \quad (4.2) \quad \text{wenn das Gefühl „Angst“ generiert wurde, aber die körperbezogenen Sensoren „Wohlbefinden“ rückkoppeln,}$$

$$\underline{w}_{i+1} = \underline{w}_i - k \underline{y} \quad (4.3) \quad \text{wenn das Gefühl „Freude“ generiert wurde, aber die körperbezogenen Sensoren „Schmerz“ rückkoppeln.}$$

Dabei ist es wichtig, Sensordaten \underline{y} zu verwenden, die kurz vor dem Auslösen der Adaption akquiriert wurden. Nur dann wird der Gewichtsvektor so korrigiert, dass der Roboter zukünftig optimal reagiert, bevor(!) eine Situation gefährlich wird.

Zunächst verwenden wir im Sensorvektor \underline{y} nur die Entfernung zu einem Objekt, der damit aus den beiden Elementen $y_1 = \text{Entfernung (in m)}$ und $y_0 = 1$ besteht. Als körperbezogene Sensoren dienen ein Kontaktsensor, der „Schmerz“ als negative Rückkopplung abbilden soll, und ein Berührungssensor, der „Wohlbefinden“ als positive Rückkopplung generiert. Zur Berechnung von der künstlichen Gefühle durch die Quality of State Funktion $Q(s_j(\underline{y}, \underline{w})) = \underline{w}^T \underline{y}$ wurden als Startwerte für die Gewichtung der Entfernung $w_1 = 1$ und für die Gewichtung des Absolutanteils $w_0 = 0$ gewählt. Die Adaption erfolgt mit einer Schrittweite $k = 0,1$, wobei bei einer Rückkopplung im Adoptionsalgorithmus die Entfernung zum Objekt plus 20 cm verwendet wird, was ungefähr den Sensordaten vor dem Auslösen der Adaption entspricht.

Erste Experimente wurden mit einem Schrank, der nicht als Hindernis in der Karte eingetragen ist, durchgeführt: der Roboter generiert während der Annäherung an den Schrank bei Entfernungen 40cm, 20 cm und 10 cm die Quality of State - Werte 0,4, 0,2, und 0,1. Diese sind größer als 0, also positive Gefühle, und der Roboter fährt weiter auf den Schrank zu. Der zwangsläufig erfolgende Zusammenstoß bei 0 cm Distanz schließt einen der Kontaktsensoren und löst die Adaption des Gewichtsvektors auf $w_1 = 0,98$ und $w_0 = -0,1$ aus, was folgende Verhaltensänderung bewirkt: führt der Roboter das nächste Mal einen Auftrag aus und erkennt den Schrank

wieder, werden jetzt bei Entfernungen 40cm, 20 cm und 10 cm die Quality of State - Werte 0,29, 0,1, und - 0,002 berechnet. Der negative Wert bei 10 cm generiert das Gefühl „Angst“, was den Roboter veranlasst zu stoppen, anstelle mit dem Schrank zu kollidieren. Anschließend berechnet er die Trajektorie zum Ziel neu und setzt die Fahrt fort, um z.B. am Ziel einen Gegenstand zu holen, den er einer hilfsbedürftigen Person bringen soll.

Ohne positive Rückkopplung stößt der Ansatz insofern an seine Grenzen, dass Gegenstände, die von Nutzen für den Roboter sind, möglicherweise ebenfalls gemieden werden. Er entwickelt z.B. nach einer oder mehreren (versehentlichen) Kollisionen vor einer Ladestation „Angst“ und bleibt dort stehen, ohne seine Aufgabe „Akku aufladen“ auszuführen. Ein Betätigen des Berührungssensors signalisiert dann aber die Rückkopplung „Wohlbefinden“ und löst eine Adaption hin zu positiven Quality of State – Werten aus. Der Roboter hat jetzt keine „Angst“ vor der Ladestation mehr und lädt dort seinen Akku auf. Alternativ könnte ein Magnetfeldsensor als körperbezogener Sensor fungieren, der eine positive Rückkopplung bewirkt..

Weitere Beispiele von adaptivem Verhalten sind, dass der Roboter nach einer negativen Erfahrung „rote Herdplatte ist heiß und gefährlich“ diese meidet. Oder nach der positiven Erfahrung eines „Lobs“ durch eine unterstützungsbedürftige Person eine Flasche nur noch langsam in ein Glas leert und dadurch zukünftig das Verschütten von Getränken unterlässt.

Die Verhaltensadaptivität bewirkt, dass der Assistenzroboter sich an ändernden Bedingung im Lebensumfeld anpasst, ohne dass der Hilfsbedürftige eingreifen muss. Der Roboter wird damit als System empfunden, das wirklich hilft und nicht als System, das Probleme und Arbeit schafft. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz von Assistenzsystemen

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird die Entwicklung eines Assistenzroboters vorgestellt, der durch sein humanoides Aussehen, intuitiver Mensch - Maschine Kommunikation mittels Spracherkennung sowie lernfähigem und adaptivem Verhalten von hilfsbedürftigen als nützliches Assistenzsystem akzeptiert wird. Kartenbasiert kann er zu einem beliebigen Ort fahren und dort mit Hilfe einer 3-D Kamera Objekte, die eine hilfsbedürftige Person angefordert hat, erkennen, deren Position errechnen und greifen. Er kann lernen bisher unbekannte Objekte zu erkennen. und ist in der Lage, sein Verhalten aufgrund gemachter Erfahrungen zu ändern. In einem ersten Szenario meidet der Roboter einen Schrank, nachdem er vorher ein oder mehrere Male mit ihm kollidiert ist. Durch „Motivation“ kann er eine Vermeidungserfahrung aber wieder korrigieren, um z.B. eine Ladestation, trotz vorheriger versehentlicher Kollision, anzufahren.

6 Literatur

- [1] Nauth, P.: Emotionsgesteuertes Verhalten humanoider Roboter. 9. AALE, 2012.
- [2] Craig, J.: Introduction into Robotics. Prentice Hall, 2005.
- [3] Russell, S. und Norvig, P.: Künstliche Intelligenz. Pearson, 2012.
- [4] Dietrich, D.; Bruckner, D.; Müller, B.; Zucker, G. und Tmej, A.: Psychoanalytical Model for Automation and Robotics. IEEE Africon, 2009.
- [5] Ron Sun: Cognitive Social Simulation Incorporating Cognitive Architectures. IEEE Intelligent Systems, September 2007.
- [6] Tveter, D.: The Pattern Recognition Basis of Artificial Intelligence. IEEE Computer Society, 1998.

Alleine

Der autonome Rollstuhl

A. Llarena, B. Fischer, J. Álvarez-Ruiz, R. Rojas

Freie Universität Berlin, Institut für Informatik

Arnimallee 7, 14195 Berlin

adalberto@zedat.fu-berlin.de

Kurzzusammenfassung

Ein Drittel der deutschen Bevölkerung wird in 2030 älter als 65 und ihre Lebenserwartung die zweithöchste der Welt sein [1]. Die Entwicklung von intelligenten mobilen Robotern wird unerlässlich, um Menschen mit eingeschränkter Bewegungsfähigkeit zu transportieren, führen und pflegen, und damit Ihre Lebensqualität zu sichern. Wir präsentieren einen autonomen Rollstuhl, der in Innenräumen navigieren und Kommandos des Benutzers durch Sprache, Augenbewegungen oder Gehirnaktivität verstehen kann. Demnächst möchten wir Verfahren entwickeln, die es unserem Rollstuhl ermöglichen, außerhalb von Gebäuden zu navigieren und Objekte mit einem Roboterarm zu greifen. Ziel ist die Entwicklung einer preiswerten Lösung, die allen Menschen Beweglichkeit und Selbständigkeit ermöglicht.

Abstract

One third of the German population will be in 2030 older than 65 years and their life-expectancy will be the second among the longest in the world [1]. Developing small intelligent vehicles that transport, guide, or even take care of those people will be fundamental to secure them a good life-quality. We present an autonomous electric wheelchair, capable of indoor navigation with or without a map, that interacts with the passenger via voice, a brain computer interface, and eye-movements. Future developments will focus in outdoor navigation and grasping objects with a robotic arm. The aim is to develop an affordable solution that allows all people mobility and independence.

1 Einleitung

1.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Nach Angaben der World Health Organization (WHO) nutzt etwa 1% der Weltbevölkerung einen Rollstuhl. Nach der Konvention über die Rechte der Personen mit Behinderung (CRPD 2006, Artikel 20 und 26) sind die Mitgliedstaaten der UN dazu aufgerufen die „Entwicklung, Produktion, Distribution, und Wartung von Assistenzgeräten zu fördern“. Rollstühle sind strategisch wichtig, da sie behinderten Personen oder Senioren erlauben, mobil zu bleiben. Durch den demographischen Wandel in den Industriestaaten ist eine zunehmende Nutzung von Rollstühlen zu beobachten, z.B. in Flughäfen, wo im Lauf der Jahre eine neue Dienstleistung für die älteren Passagiere entstanden ist. In Deutschland wird die Anzahl von Rollstuhlfahrern auf 1,6 Millionen geschätzt, fast doppelt so viel wie die WHO-Einschätzung für die Weltbevölkerung.

Angesichts dieser Zahlen verwundert nicht, dass Rollstühle als Mobilitätsmittel ausgiebig studiert werden, und dass konkurrierende Alternativen für den „Rollstuhl der Zukunft“ an verschiedenen Universitäten entwickelt und erprobt worden sind. Insbesondere der elektrische Rollstuhl hat eine graduelle Transformation erlebt. Waren solche Rollstühle bis vor zehn Jahren fast unerschwinglich, sind die Preise heute so weit gefallen, dass sie, zumindest in den Industrieländern, weit verbreitet sind. Mit der weiteren Miniaturisierung der Motoren und der Batterien ist es möglich geworden, den „Footprint“ der Rollstuhlfahrer weitgehend zu reduzieren. In barrierefreien Gebäuden können Rollstuhlfahrer im Inneren sich frei bewegen und die Außen türen lassen sich per Bedienknopf öffnen.

Die nächste „Frontier“ ist die weiträumige Navigation in städtischen Umgebungen. Dafür müssen die Bürgersteige an Rollstühle angepasst werden, so wie diese in den letzten Jahren für Fahrräder angepasst worden sind. In den USA sind die meisten Straßen in Großstädten bestens für den Rollstuhlverkehr geeignet.

Jedoch sind Geschick und Aufmerksamkeit vonnöten, wenn ein Rollstuhl auf der Straße oder im Gebäude gelenkt wird. Allein einen Rollstuhl durch eine Tür zu manövrieren, kann zu wiederholten Rangierversuchen seitens des Fahrers führen. Ein Rollstuhl an einer Ecke im Gebäude umzudrehen erfordert manchmal Geschicklichkeit.

Unser Projekt zielt darauf, dem Fahrer des Rollstuhls eine intuitive und einfache Bedienungsmöglichkeit anzubieten. Der Fahrer gibt mit dem Joystick nur die ideale Richtung die anzustreben ist an („Vorwärts“, „um die Ecke“), während der Rollstuhl die Details der Navigation selbsttätig übernimmt. Wenn die gewollte Fahrtrichtung durch eine Tür geht, kümmert sich die Elektronik darum, den Rollstuhl zu zentrieren oder ggf. zu stoppen, wenn die Lücke nicht groß genug ist.

Wir haben frühere Projekte mit „smart wheelchairs“ studiert und mit unserem eigenen Projekt verglichen. Tabelle 1 zeigt den Vergleich von unserem Projekt (letzte Zeile) mit anderen ausgewählten Ansätzen (siehe Literaturliste). Bei all diesen Versuchen wurden die Rollstühle mit Sensoren für die Hinderniserkennung und Navigation ausgestattet. Die meisten Systeme sind nur für Autonomie und nur für die Navigation in Gebäuden angelegt. Einige der Ansätze verfügen über multimodale Schnittstellen für die Kontrolle der Rollstühle (Spracherkennung bis zu Brain-Computer-Interface).

In unserem eigenen Ansatz wollen wir die Straße erobern. Es ist etwas absurd, dass mit der Reichweite, die heutige elektrische Rollstühle bieten, noch keine Assistenzsysteme angeboten werden. Anders als Bonarini et al. [3] werden wir in realen Umgebungen testen. Anders als Röfer et al. [4] werden wir den Aktionsradius des Rollstuhls auf Strecken erweitern, die eine Kombination von Gebäuden und Straße enthalten. Dass dieses Vorhaben nicht trivial ist, zeigt die Tatsache, dass in Singapur 2012 beim Wettbewerb in dem mobile Roboter von innerhalb eines Gebäudes in der Stadt zu einem anderen Gebäude selbsttätig navigieren sollten, keiner der teilnehmende Teams die Aufgabe erfüllen konnte (trotz der ausgeschriebene Preis von einer Million Singapur Dollars).

Der kommerzielle Stand der Technik ist vor allem durch immer leichtere und leistungs-fähigere Rollstühle gekennzeichnet. Unsere Gespräche mit der Firma Otto-Bock und andere Hersteller haben gezeigt, dass diese Firmen eher auf die Unterstützung von Zulieferer rechnen, die neue Funktionalität für die vorhandene Geräte liefern können.

Tab. 1: Vergleich von ausgewählten “smart wheelchairs”

Hindernis- Behand- lung	SLAM	Plan & Drive	Multimodale Schnittstelle	Reale Umgebung	Outdoors
Mandel [6]	--	Karte	Plan	--	--
Carlson [5]	--	Karte	Plan	--	--
Wei [9]	--	--	--	--	--
Philips [8]	ja	--	--	--	--
Xu [7]	--	--	--	--	--
Bonnarini[3]	ja	komplett	P&D	ja	--
Röfer [4]	ja	komplett	P&D	ja	Büro
FU Berlin [2]	ja	komplett	P&D	ja	Büro & Heim

1.2 Drei Stufen der Unterstützung

In Tabelle 1.1 sind aktuelle Ansätze aufgeführt, welche elektrische Rollstühle nutzen um Mobilität zu ermöglichen. Bei Betrachtung der Tabelle lassen sich drei Stufen der Unterstützung erkennen:

- *Erste Stufe:* Einfache Hinderniserkennung, -vermeidung oder automatisches Anhalten. Der Benutzer hat volle Kontrolle über den Rollstuhl mittels eines Joysticks und der Rollstuhl hilft Kollisionen, auch mit übersehnenen Hindernissen, zu vermeiden.
- *Zweite Stufe:* Assistierte Steuerung (semi-autonom) mittels Sprachbefehlen, Gesichtsbewegungen, Mundbewegungen, Augensteuerung oder Brain-Computer-Interfaces (BCI). In dieser Stufe ist der Rollstuhl teilautonom und der Benutzer erteilt abstrakte Befehle wie: „links“, „rechts“, „vorwärts“, „rückwärts“.
- *Dritte Stufe:* Volle Autonomie und Interaktion auf hoher Abstraktionsebene. Nur wenige Projekte, neben unserem, lassen sich dieser Kategorie zuordnen. Der Rollstuhl besitzt einen hohen Grad an Autonomie. Er ist in der Lage, mittels einer Karte der Umgebung seine eigene Position zu ermitteln. Innerhalb dieser Umgebung ist es ihm möglich, den Weg zu einem gegebenen Ziel zu planen und dabei unerwarteten Hindernissen auszuweichen. Der Benutzer interagiert mit dem Rollstuhl mittels gesprochener Sprache und kann somit ein Ziel vorgeben. Im Gegensatz zu Stufe 2 wird dieses Ziel ohne Zutun des Benutzers erreicht. Bisher hat keines der in Tabelle 1 vorgestellten Projekte das Ziel von der vollautonomen Steuerung im Innen- und Außenbereich erreicht.

Neben der technischen Machbarkeit ist die Wirtschaftlichkeit eines unterstützenden Rollstuhls ein bisher ungelöstes Problem. Viele Autoren haben die Machbarkeit eines solchen Systems demonstriert, welches aber aufgrund der Kosten nicht Massenmarktfähig ist. Auch benötigen die gezeigten Systeme in der Regel menschliche Unterstützung bei der Inbetriebnahme und Kalibrierung.

Zusammenfassend ist ein bezahlbarer elektrischer Rollstuhl, der den Nutzer unterstützen kann, ein sehr zukunftsfähiges Konzept. Das Hinzufügen von autonomen Funktionen würde den Benutzer durch Erlangung einer größeren Unabhängigkeit sehr bereichern.

2 Systembeschreibung

2.1 Der intelligente Rollstuhl der FU Berlin



Abb. 1: „Alleine“, der intelligente Rollstuhl der FU Berlin

„Alleine“, unser autonomer Rollstuhl, ist ein Otto Bock Xeno® Rollstuhl, der um zwei SICK Laserscanner und Odometer in den Rädern erweitert wurde (die Odometrie erlaubt eine Schätzung der Rollstuhlbewegung). Unter dem Rollstuhlsitz ist ein Intel Atom®-Notebook installiert, welches mittels eines USB-CAN-Adapters mit der Rollstuhlelektronik verbunden ist. Dies ermöglicht dem Computer vollen Zugriff auf die Kontrollsignale des Rollstuhls.

Unsere Arbeitsgruppe begann 2011 mit Arbeiten am Rollstuhl. Im Dezember 2012 wurde in einem internen Treffen ein erster Prototyp vorgestellt, der in der Lage war, sich in unbekannter Umgebung frei zu bewegen. Im März 2013 war unser Rollstuhl in der Lage, gesprochene Befehle wie „links“, „rechts“, „vorwärts“ oder „rückwärts“ zu verstehen. Im Juli 2013 nahm der Rollstuhl an der Weltmeisterschaft des Wettbewerbs „Robocup@Home“ teil, wobei er komplexe Befehle wie „fahre in die Küche“ zu verstehen hatte. Der Rollstuhl war in der Lage, sich sieben Tage lang innerhalb einer hausähnlichen Umgebung zu bewegen ohne mit der Umgebung zu kollidieren. Weiterhin haben wir im Juli 2014 unser „BrainDriver“ genanntes Brain-Computer-Interface (BCI) dem Rollstuhl hinzugefügt, mit welchem zwischen vier Fahrtbefehlen unterschieden werden kann.

Unser derzeitiges Ziel ist es, „Alleine“ im Freien fahren zu lassen. Die Fahrt im Freien stellt uns vor viele neue Herausforderungen, da die Anzahl von unvorhersehbaren Situationen deutlich höher ist verglichen mit Innenräumen. Um zuverlässig im Freien fahren zu können, muss der Rollstuhl zum Beispiel mit unbekannter Bodenbeschaffenheit und der Wetterbedingung umgehen können. Im Folgenden beschreiben wir, wie Alleine bereits die drei Stufen der Unterstützung realisiert hat und wie wir unser Ziel der Fahrt im Freien erreichen werden.

2.2 Erste Stufe: Hinzufügen von Sensoren und 2D Navigation

Unser erster Prototyp nutzte einen einfachen reaktiven Algorithmus um den längstmöglichen Pfad durch ein künstliches Potentialfeld (Artificial Potential Field, APF) zu bestimmen (Siehe [2]). Durch Hinzufügen eines Sicherheitsmoduls war der Rollstuhl in der Lage, Kollisionen zu vermeiden und unerwarteten Hindernissen mit Hilfe des APF auszuweichen. Dieses System trug den Namen „Safedriver“. Ein Proportional-Differentialregler (PD) mit einer Hysterese (zur

Vermeidung plötzlicher Wendemanöver) zur Steuerung der Geschwindigkeit des Rollstuhls war Teil des *safeDrivers*. Die Erkennung von Hindernissen und das Stoppen konnte sehr einfach durch das Definieren einer Sicherheitszone um den Rollstuhl realisiert werden. Sobald die Sicherheitszone von einem Objekt verletzt wurde, stoppte der Rollstuhl.

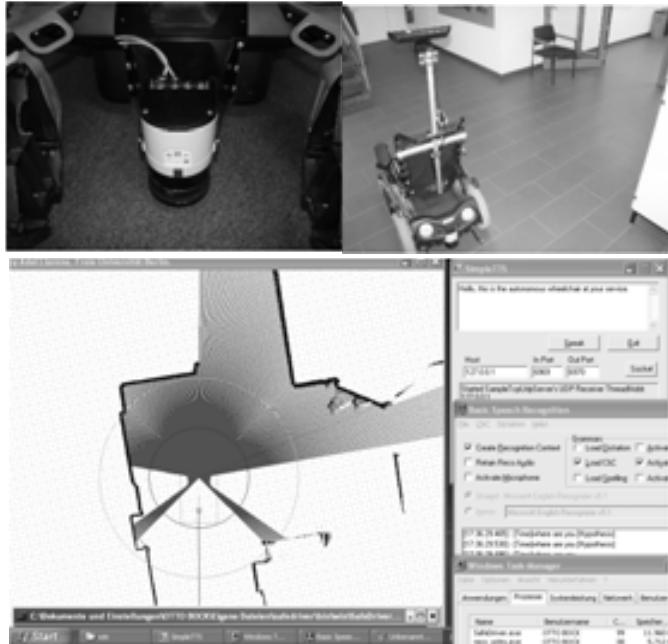


Abb. 2: Navigation des Safedrivers in einer unbekannten Umgebung

Eine wichtige Anforderung der Implementierung war die Fähigkeit, Prozesse parallel zu bearbeiten. Dies war nötig, da die Nachrichten des CAN-Busses mehr als 200 Mal in der Sekunde ausgelesen werden müssen und die Geschwindigkeiten der Räder mehr als 50 Mal in der Sekunde aktualisiert werden müssen mit einer maximalen Verzögerung von 20 Millisekunden. Pakete, die vom Joystick an die Rollstuhlsteuerung geschickt werden, werden von unserer Software abgefangen und durch Pakete ersetzt, deren Geschwindigkeiten mittels unseres Bewegungsreglers bestimmt werden.

2.3 Zweite Stufe: Multimodale Schnittstellen: Sprache, Augenbewegung, iPod oder BCI

Um die zweite Stufe der Interaktion dem Rollstuhl hinzuzufügen, wurde mittels des Microsoft Speech SDKs ein Modul namens *voiceDriver* entwickelt, welches Sprachbefehle wie zum Beispiel “links”, “rechts”, “vorwärts” und “rückwärts” verarbeitet. Jeder Befehl erzeugt einen neuen Zielpunkt mit einem Winkel von +22.0, 0 oder -22.5 Grad Ausrichtung und einer Entfernung von +4, 0 oder -4 Metern bezogen auf das Rotationszentrum des Rollstuhls. Dieser Zielpunkt wird daraufhin mit Hilfe des PD-Reglers angefahren. In diesem Modus kann der Rollstuhl frei in Richtung des Ziels navigieren, auch wenn die Umgebung unbekannt sein sollte. Die tatsächlich gefahrene Trajektorie wird mittels des APFs bestimmt, sodass Zusammenstöße mit den Wänden, unerwarteten Gegenständen und Personen vermieden wird.

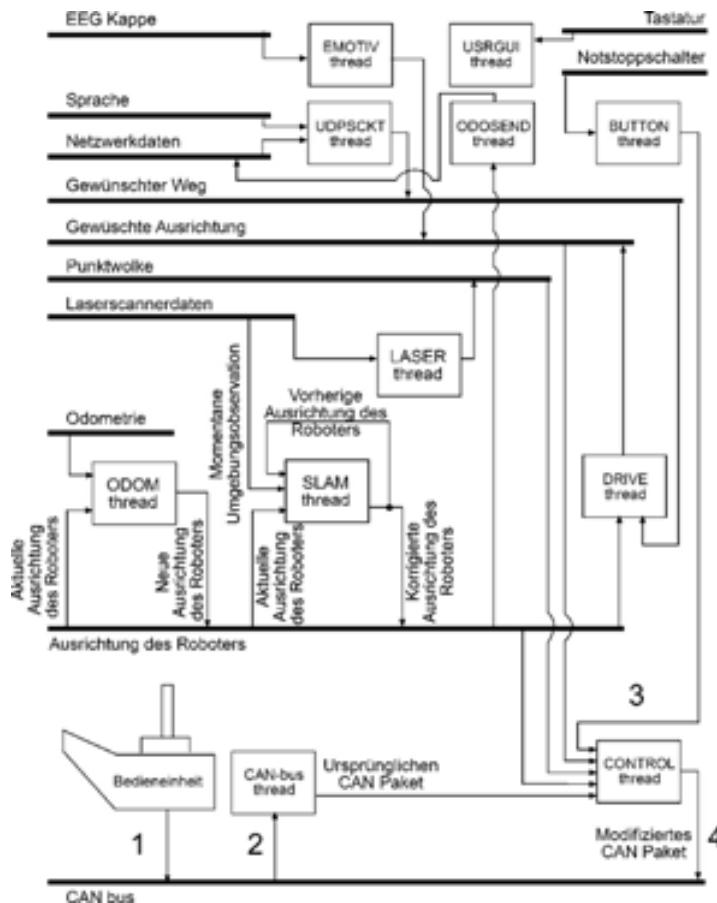


Abb. 3: Interne Multithreading Struktur des *safeDrivers* (siehe [2])

Die iPhone und iPad Anwendung *iDriver* ermöglichte es uns, den Rollstuhl mittels einer WiFi-Verbindung ferngesteuert zu kontrollieren. Weiterhin haben wir eine Anwendung namens *EyeDriver* entwickelt, welche mit Hilfe der SMI Eye-Tracking Brille den Rollstuhl steuern kann.

Beide Anwendungen ermöglichen es, präzise Lenkwinkel und Fahrtgeschwindigkeiten an den *safeDriver* zu übermitteln. Im Gegensatz zum *voiceDriver* ermöglichen sie eine direkte Kontrolle des Rollstuhls, sind jedoch empfindlicher bezüglich ungewollten Hand- oder Augenbewegungen.



Abb. 4: iDriver, eyeDriver und brainDriver

Zuletzt entwickelten wir die Anwendung *brainDriver*, welche es uns mittels der Emotiv Epoc's EEG Kappe und dem dazugehörigen SDK (<https://emotiv.com/epoc.php>) ermöglichte, im idealen Fall zwischen vier Aktionen zu unterscheiden ("links", "rechts", "schieben" und "ziehen"). Aufgrund der üblicherweise recht hohen Zeit zur Klassifizierung einer BCI-Aktion (mindestens

zwei Sekunden) gestaltete sich die Fahrt in Menschenansammlungen oder engen Gängen als schwierig. Kürzlich haben wir den *brainDriver* in den *safeDriver* integriert, sodass der Rollstuhl automatisch Verbindungsabbrüche erkennen kann und über den aktuellen Zustand der Sensoren informieren kann. Weiterhin kann der Benutzer über die aktuell erkannte Aktion informiert werden und bei dem Training unterstützt werden. Das Training erfolgt über einen automatisierten Ablauf, welcher den Benutzer während der Trainingsphase anleitet.

2.4 Dritte Stufe: Lokalisierung des Roboters und Plangenerierung

Wie beschrieben in [2] wurden dem *safeDriver* Lokalisierungs- und Planungsmodule hinzugefügt. Die Module arbeiten mittels einer polygonalen Objektdarstellung innerhalb einer Karte der Umgebung sowie eines Monte Carlo Partikelfilters (MCL) zur Lokalisierung des Rollstuhls. Dies ermöglichte es unserem Rollstuhl Trajektorien zu bestimmten Zielen zu planen und zu fahren, sich dabei in seiner Umgebung zu lokalisieren und parallel dazu unerwarteten Hindernissen und sich bewegenden Objekten und Personen auszuweichen.

In diesem Modus hat es einer Modifikation unseres vorhandenen PD Reglers bedurft. Obwohl unser Rollstuhl das einfache Bewegungsmodell einer differenziell angetriebenen Achse benutzt, ist sein Rotationsmittelpunkt fast 10 cm von dem hinteren Ende des Rollstuhls entfernt. Diese Eigenschaft hatte Einschränkungen bei der Planung der Trajektorie, bei der Kollisionsvermeidung von Hindernissen und bei Durchfahrt von engen Türen zur Folge.

Durch Anwenden eines Hauptachsen-Bewegungsmodells statt eines punktuellen Modells ließ sich mittels des APFs eine bessere Lösung schneller finden. Die Lösung basiert auf abstoßenden Kräften der umgebenden Objekte, die auf die Hauptachse des Rollstuhls wirken. Mit diesem Modell wurde der PD-Regler um einen dritten Regelparameter erweitert: Ein *Moment*, welches den Regler mehr oder weniger sensiv bezüglich von vorne herannahenden Objekten im Gegensatz zu zurückliegenden Objekten macht (Abb. 5). Diese Ansatz ist auch in [2] beschrieben.

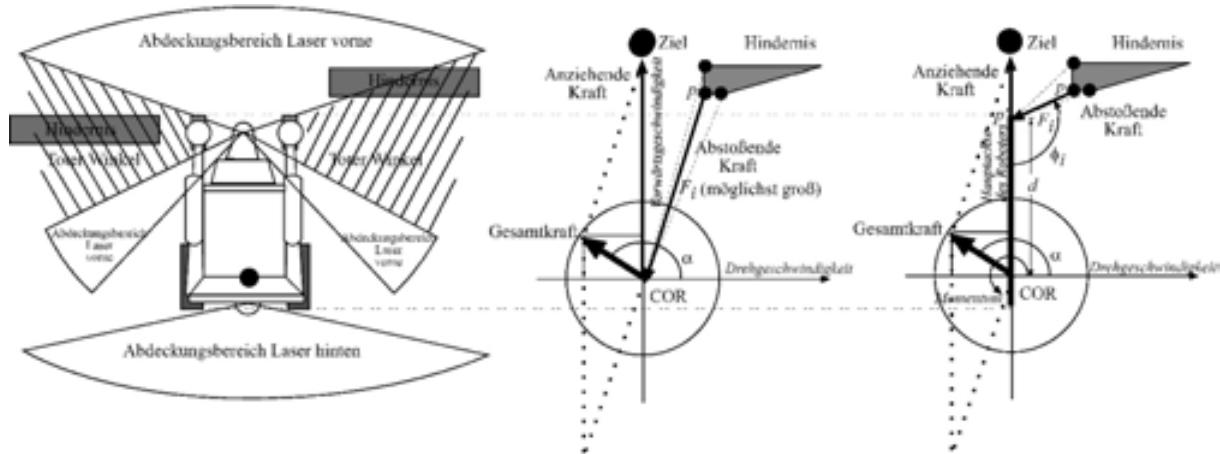


Abb. 5: Hauptachsen APF Modell (Quelle: [2])

Ein üblicher A* Suchalgorithmus in drei Dimensionen (x, y und Ausrichtung) erwies sich als zu Rechenintensiv bei einer Kartengröße von 40 x 30 Metern und dem Intel Atom® des Rollstuhls. Stattdessen benutzten wir einen modifizierten A* Algorithmus, welcher die Ausrichtung am Ziel und den Rotationsmittelpunkt des Roboters nutzt, um mögliche Kollisionen während des Suchprozesses vorauszuberechnen. Daraus resultiert eine zusätzliche negative Bewertung für Orte, die sich nahe an Hindernissen befinden oder die nicht erreichbar sind.

Zuletzt haben wir mittels eines anpassbaren APFs erreicht, dass der Rollstuhl in der Lage ist, enge Türdurchgänge zu passieren. Mittels einer auf Polygonen basierenden Umgebungskarte wie in [2] beschrieben, war es uns möglich, die genaue Position von Wänden, Möbeln und Türen zu verzeichnen. Dies erlaubt es dem Rollstuhl vorab festzustellen, ob eine Tür oder ein Engpass ihm voraus liegt. In diesen Fällen wird die Abstoßungskraft des APF um die Hälfte reduziert, um ein oszillieren während des Passierens der Engstelle zu vermeiden.

2.6 Dreidimensionale Innenraumkartierung mittels Microsoft Kinect®

Mit Hilfe von zwei Laserscannern ist es möglich, die Ausrichtung des Rollstuhls sowie die meisten Hindernisse zu erkennen. Um jedoch über längere Zeit kontinuierlich mit einer Umgebung zu interagieren, ist es nötig, die Umgebung des Rollstuhls dreidimensional zu erfassen. Im Jahr 2012 haben wir daher den Microsoft's Kinect® Sensor und die MRPT Bibliotheken (<http://reference.mrpt.org/svn/>) in den Rollstuhl integriert, um automatisiert eine dreidimensionale Karte der Roboterumgebung zu erstellen. Dabei zeigten sich jedoch folgende Einschränkungen:

- 1) Der Messbereich der Kinect reicht von 2 bis 4 Meter. Um den Bereich unmittelbar vor dem Rollstuhl erfassen zu können, waren wir gezwungen, die Kinect in einer Höhe von 1.75m anzubringen. Auch eine mögliche Anpassung des Sensors zum Erfassen von Objekten näher als zwei Meter war nicht zielführend, da in diesem Fall die maximale Entfernung von Objekten auf zwei Meter beschränkt wäre.
- 2) Die Kinect ist im Außenbereich nicht funktionsfähig.

Um die oben angegebenen Einschränkungen zu umgehen, haben wir nach Alternativen gesucht, welche sowohl im Innen- als auch im Außenbereich funktionsfähig sind.

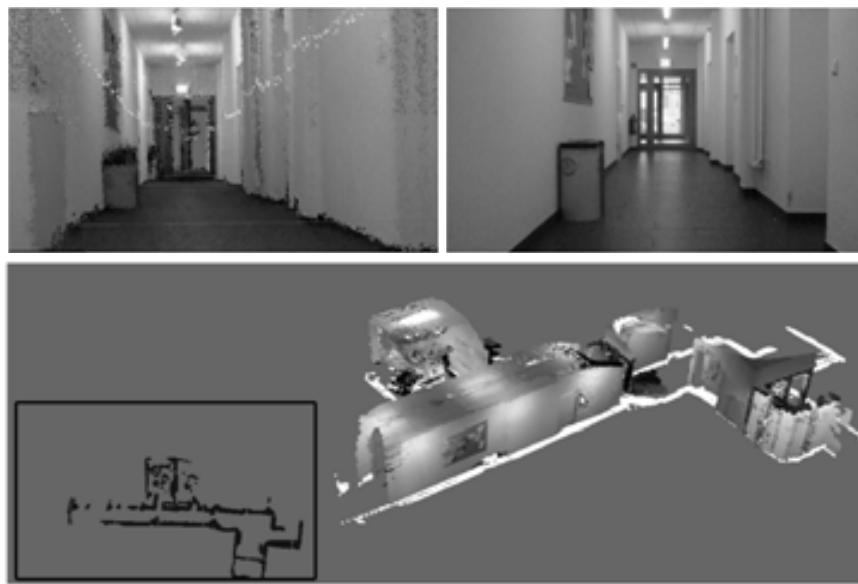


Abb. 6: 3D Kartenerstellung mit MS Kinect und MRPT.

Oben links: Virtuelles Bild. Oben rechts: Kamerabild. Unten: 3D Karte.

2.7 Navigation im Außenbereich: Die Autonomos-Kamera und Bodenextraktion

Im Jahr 2012 wurde im der Arbeitsgruppe *Intelligente System und Robotik* an der Freien Universität Berlin eine intelligente Stereokamera entwickelt, welche auf die Anforderungen der

mobilen Robotik ausgelegt ist. Durch Benutzung eines programmierbaren Logikbausteins ist die Kamera ohne externen Rechner dazu in der Lage, hochqualitative 3D-Punktwolken mittels des stereoskopischen Effekts zu berechnen und diese zu interpretieren.

Da die Kamera ein rein passiver Sensor ist, kann sie im Gegensatz zur Kinect auch problemlos im Außenbereich eingesetzt werden.

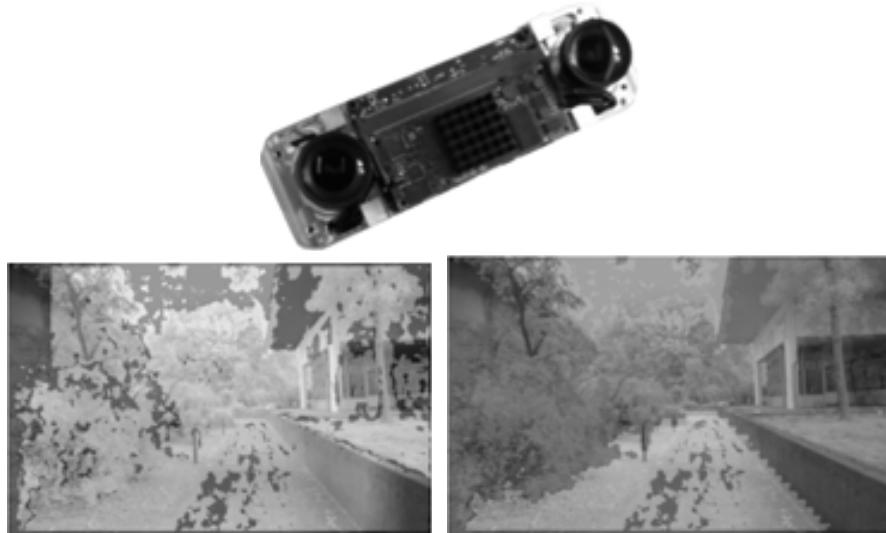


Abb. 7: Oben: Autonomos-Kamera. Unten links: 3D Karte. Unten rechts: Bodenextraktion.

Um dem Rollstuhl es zu ermöglichen im Außenbereich ohne das Vorhandensein einer Karte zu navigieren, ist es zunächst notwendig, eine Befahrbarkeitskarte zu erstellen. Im Anschluss kann innerhalb dieser Karte analog zu der Innenraumnavigation gefahren werden. Der Rollstuhl folgt hierbei dem längsten Weg ohne Hindernisse. Hierfür wird zwischen Boden und Hindernissen mit Hilfe eines künstlich erzeugten Bodenmodells im Disparitätsbild unterschieden. Jeder Pixel, dessen Disparitätswert vom Modell nicht akkurat vorhergesagt wird, wird als Hinderniss-Pixel markiert. Erste Versuche benutzten ein statischen Modell, welches derzeit durch ein Modellapassungsverfahren mit "Random Sampling Consensus" (RANSAC) erweitert wird. Wir erwarten Echtzeitfähigkeit des gesamten Verfahrens, da keine Rechenzeit zur Berechnung von Punktwolken benötigt wird und weil das Bodenmodell nicht kontinuierlich aktualisiert werden muss. Auch werden die Lösungskandidaten des RANSAC's Verfahrens auf sinnvolle Modelle für urbane Umgebungen beschränkt werden. Auch die Evaluierung der Lösungskandidaten mit Hilfe der V-Disparitätsdarstellung ist sehr kostengünstig zu realisieren.

3 Anwendungsszenarien

3.1 Freie Universität Berlin

Das Testgebiet an der Freien Universität Berlin umfasst eine Fläche von $40\text{m} \times 25\text{m}$ (Abb. 8, oben links). Der Rollstuhl war hier in der Lage, während einer manuell gesteuerten Fahrt über zwei Kilometer sich mit einer Genauigkeit von $\pm 5\text{cm}$ zu lokalisieren. Weiterhin wurden Sprachbefehle getestet, mit denen ein Weg im Testgebiet vorgegeben wurde. Auch vollautomatische Fahrten über das gesamte Gebiet wurden getestet, wobei der Rollstuhl in keinem Fall mit seiner Umwelt kollidiert ist.

Innerhalb der Umgebung wurden fünf Orte definiert (Küche, Wohnzimmer, Esszimmer, Badezimmer und Garten), welche per Sprachbefehl von dem Rollstuhl mittels des Planungsmoduls

automatisch angefahren werden konnten. Unerwartete Hindernisse wie Mülleimer wurden zufällig auf der Strecke platziert, um die Reaktion des Rollstuhls zu testen (Abb. 8, unten rechts).



Abb. 8: Tests an der Freien Universität Berlin (siehe [2])

3.2 Robocup Eindhoven 2013

Der Wettbewerb robocup@home in den Niederlanden bot uns eine sehr herausfordernde Strecke (Abb. 9, oben), wobei unser Rollstuhl der erste seiner Art war, der in dieser Kategorie teilgenommen hat. Während des fünf Tage dauernden Wettbewerbs, in dem unser Rollstuhl eine Strecke von 10km zurückgelegt hat, war es nur ein einziges Mal nötig, den Not-Stopp-Schalter zu betätigen. Der Grund hierfür war, dass ein Schiedsrichter dem Rollstuhl zu nahe gekommen ist und der Rollstuhl eine Wand leicht seitlich berührt hat. Abgesehen von diesem Vorfall war die Bewegungsplanung des Rollstuhls fehlerfrei. Da der Rollstuhl zum ersten Mal an diesem Wettbewerb teilgenommen hat, wurde die Geschwindigkeit mit 50cm/s niedrig gewählt. Obwohl eine Vielzahl an Möbeln in dem Szenario immer wieder bewegt wurden und viele Menschen sich auf der Strecke bewegt haben, konnte das SLAM Module jederzeit die Position des Roboters ermitteln (Abb. 9, unten).



Abb. 9: Tests in Robocup 2013 (Siehe [2])

3.3 Botanischer Garten 2014

Als Vorbereitung für die Navigation im Außenbereich wurden einige Versuche im Botanischen Garten der Freien Universität Berlin durchgeführt. Hierbei konnten wir Daten von der Autonomos-Kamera, einer VSTONE Panoramakamera sowie von einer Applanix®-GPS-Einheit, welche auf dem Rollstuhl montiert ist, aufzeichnen. Das GPS-Modul ermöglicht uns eine gute initiale Schätzung der Roboterposition, welche wir später mit der aus den Bilddaten gewonnenen Position vergleichen können (Abb. 10).



Abb. 10: „Alleine“ im Botanischen Garten der FU-Berlin
und mögliche Problemfälle (unten rechts).

4 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der erhöhten Lebenserwartung des Menschen ist es nötig, neue Technologien zu entwickeln, welche den Menschen dabei unterstützen, seine Aktivitäten aufrecht zu erhalten. Es existieren bereits Systeme, die dem Menschen helfen seine Mobilität zu bewahren. Beispiele hierfür wären Exoskelette und elektronische Muskelstimulation. Jedoch sind diese Systeme zur Zeit noch nicht Marktreif aufgrund ihrer hohen Kosten.

Alternativ dazu wurden mehrere Systeme gezeigt, die dem Menschen durch hinzufügen von autonomen Funktionen zu einem Rollstuhl eine größere Bewegungsfreiheit ermöglichen. Diese Systeme zeigen jedoch in den meisten Fällen nur die Machbarkeit und sind nicht geeignet für einen permanenten Betrieb beim Benutzer. Daher existiert zur Zeit kein kommerzielles Produkt zur (teil-)autonomen Ansteuerung eines Rollstuhls.

In diesem Artikel haben wir daher einen realistischen alternativen Ansatz präsentiert, der es ermöglicht, einen elektrischen Rollstuhl in einen intelligenten Rollstuhl zu transformieren, welcher in der Lage ist, in sich in unbekannter Umgebung zu orientieren und komplexe Sprachbefehle wie zum Beispiel „gehe in die Küche“ erkennen und ausführen kann. Die Ansteuerung kann durch Multimodale Schnittstellen wie zum Beispiel Sprache, Augenbewegung oder BCIs erfolgen. Unser Ansatz verfolgt das Prinzip der Einfachheit, Robustheit und Marktfähigkeit. Letztere ist gegeben durch die einfache Bedienung mittels eines einzelnen „Start“-Schalters und

einem minimalen Bedarf an Hardware. Weiterhin ist die Software mit nur sehr wenig Einrich-tungsaufwand einsatzbereit.

Wir planen unseren Rollstuhl in naher Zukunft in die Lage zu versetzen, auch im Außenbereich navigieren zu können. Auch die Manipulation von Objekten mit Hilfe eines Roboterarms soll ermöglicht werden.

Unsere aktuellen Experimente, welche als Ziel haben, mittels BCI abstrakte Befehle zu trainie-ren (zum Beispiel „bring mich in mein Büro“) verbinden wir mit der Hoffnung, dadurch Men-schen einen gewissen Grad an Unabhängigkeit zu ermöglichen. Dies wäre gerade für Men-schen, die die Idee eines selbständigen Lebens wertschätzen, ein großer Gewinn an Lebensqua-lität.

5 Literatur

- [1] Pressemitteilung: Forschungsprojekte erleichtern den Alltag im Alter / Wanka: Neue Technologien für gesundes und selbstbestimmtes Leben. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Mensch und Technik Hand in Hand. 08. Oktober 2014. www.bmbf.de/_media/press/PM_1008-098.pdf
- [2] Llarena, A. und Rojas, R.: I am Alleine, the Autonomous Wheelchair at your Service (im Januar 2015 erscheinen). Proceedings of the 13th International Conference IAS-13 Se-ries: Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 302. Padua, Italien.
- [3] Bonarini, A.; Ceriani, S.; Fontana, G. und Matteucci, M.: Introducing LURCH: a Shared Autonomy Robotic Wheelchair with Multimodal Interfaces. IROS 2012 Proc.
- [4] Röfer, T.; Mandel, C. und Laue, T.: Controlling an Automated Wheelchair via Joy-stick/Head-Joystick supported by Smart Driving Assistance, in Proceedings of the 2009 IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics, Kyoto, S. 743-748, 2009.
- [5] Carlson, T. und del R. Millán, J.: Brain–Controlled Wheelchairs: A Robotic Architecture. IEEE Robotics & Automation Magazine 20 (1), S. 65-73, 2013.
- [6] Mandel, C. et al.: Navigating a Smart Wheelchair with a Brain-Computer Interface Inter-preting Steady-State Visual Evoked Potentials, in Proceedings of the 2009 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, Saint Louis, S. 1118-1125, 2009.
- [7] Xu, X.; Zhang, Y.; Luo, Y. und Chen, D.: Robust Bio-Signal Based Control of an Intel-ligent Wheelchair, Robotics, 2, S. 187-197; 2013. doi:10.3390/robotics2040187
- [8] Philips, J.; del R. Millán, J.; Vanacker, G.; Lew, E.; Galán, F.; Ferrez, P. W.; Brussel, H. V. und Nuttin, M.: Adaptive shared control of a brain-actuated simulated wheelchair, in Proc. IEEE 10th Int. Conf. Rehabil. Robot., Noordwijk, The Netherlands, Jun. 12–15, S. 408-414, 2007.
- [9] Wie, L. und Hu, H.: A Hybrid Human-machine Interface for Hands-free Control of an Intelligent Wheelchair, International Journal of Mechatronics & Automation, Vol. 1, No. 2, S. 97-111, May 2011.

OnScreenDualScribe: Kleine Tastatur mit großer Wirkung

Nummernblock zur Computerbedienung

T. Felzer

Technische Universität Darmstadt, Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau
Otto-Berndt-Straße 2, 64287 Darmstadt
felzer@ims.tu-darmstadt.de

Kurzzusammenfassung

OnScreenDualScribe ist ein mächtiges Werkzeug, das es erlaubt, die Standard-Eingabegeräte zur Computerbedienung – gewöhnliche Tastatur und Maus – durch ein einziges, Nummernblock-artiges Gerät, dem DualPad, zu ersetzen. Das DualPad wird mit beiden Händen fest umschlossen und mit den Daumen bedient. Das dazugehörige Computerprogramm fängt DualPad-Tastendrücke ab und verwendet sie (den Benutzer unterstützend), um virtuelle Tastendrücke zu ermitteln, die an das Fenster im Eingabefokus gesendet werden. Es wird beschrieben, wie diese Unterstützung aussieht, und dann geht es um Erfahrungen des Autors – der selbst die neuromuskuläre Erbkrankheit Friedreich'sche Ataxie hat, und der das System für jeden mit ähnlicher Symptomatik entwickelt hat – im täglichen Gebrauch.

Abstract

OnScreenDualScribe: Small keyboard with huge benefits – Numerical keypad for computer operation

OnScreenDualScribe is a powerful tool replacing the standard input devices for computer operation – full-size keyboard and mouse – with a single number pad-like device, the DualPad. The DualPad is held firmly with two hands and operated with the thumbs only. The software intercepts keystrokes on the DualPad, and sends sequences of virtual input events to the window in focus. It is described what the software does to assist the user, before the experiences of the author – who has the neuromuscular disease Friedreich's Ataxia, who developed the tool for anyone with similar symptomologies, and who himself uses it every day – are discussed.

1 Einleitung

Vor rund 30 Jahren wurde beim Autor die progressive neuromuskuläre Erbkrankheit Friedreich'sche Ataxie festgestellt [1], welche ständig wachsende motorische Probleme verursacht, so zum Beispiel ist der Autor seit seinen achtzehnten Lebensjahr auf die ständige Benutzung eines Rollstuhls angewiesen. Ungeachtet dessen schloss er die Schule mit Abitur ab, studierte Informatik, erwarb einen Doktortitel und wurde zu einem aktiven Mitglied der Forschergemeinde auf dem Gebiet Mensch-Maschine-Schnittstelle. Bis vor etwa zwei Jahren bediente er den Computer, der zur Ausübung seiner Tätigkeit natürlich unabdingbar ist, mit Hilfe einer gewöhnlichen Tastatur und einem Trackball als Zeigegerät. Die Tastatur verlangte ihm dabei in zunehmendem Maße Mühe ab.

Zum Beispiel musste er ständig die Hände umpositionieren, um von einer Taste zur nächsten zu gelangen, denn Tippen war auf einen Finger beschränkt, so dass nicht alle Tasten von derselben Handposition aus erreichbar waren. Dabei musste er sehr sorgfältig vorgehen, da natürlich vermieden werden musste, benachbarte Tasten statt der gewünschten zu treffen. Außerdem musste jede Taste in einem bestimmten Winkel getroffen werden, damit das zugehörige Zeichen nicht zwei- oder dreimal statt nur einmal erscheint. Trotz aller Sorgfalt, die aufgrund eingeschränkter Feinmotorik entsprechend lange dauerte, traten beide Arten von Tippfehlern unentwegt auf.

Besondere Frustration bereitete die Tastenwiederholung, die auf dem Computer des Autors zwar relativ träge eingestellt, aber eben nicht abgestellt war (in bestimmten Situationen ist sie für effizientes Arbeiten unverzichtbar). Beim Autor ist die Reaktionszeit erhöht, und daher kam es häufig vor, dass eine Taste nicht rechtzeitig losgelassen und also zu oft wiederholt wurde. Beim Löschen längerer Zeichenketten war eine Wiederholung der Rücktaste erforderlich, und hier führte zu häufige Wiederholung dazu, dass mühevoll eingegebener korrekter Text gelöscht wurde und folglich neu eingegeben werden musste.

Der Effekt dieser Problematik und die Auswirkungen des Fortschreitens der Krankheit waren, dass Texteingabe mit der großen Tastatur für ihn immer langsamer und mühevoller wurde. Während im Alter von 18 Jahren noch 60 Anschläge pro Minute möglich waren und im Alter von 24 sogar ca. 75, ging in der Folge die Eingabegeschwindigkeit stetig zurück; am Ende waren es weniger als 20 Anschläge pro Minute. In gleichen Maß wuchs die Mühe, die die große Tastatur bereitete.

Der einzige Grund dafür, dass der Autor diese Mühe auf sich nahm war ein Mangel an effizienten Alternativen. Texteingabe mit der großen Tastatur war zwar sehr langsam im Vergleich mit seinen nichtbehinderten Arbeitskollegen, aber immer noch viel schneller als alles, was er sonst nutzen konnte.

Im nächsten Kapitel wird die vor rund zehn Jahren begonnene Suche des Autors nach einer für ihn geeigneten Alternative skizziert. Vor etwa drei Jahren beschloss der Autor, seine eigene Alternative zu entwickeln, und die Früchte dieser Entwicklungsarbeit – OnScreen-DualScribe – sind Thema von Kapitel 3. In Kapitel 4 wird erläutert, inwieweit OnScreen-DualScribe höchstwahrscheinlich das erfolgreiche Ende der Suche darstellt und in Kapitel 5 wird alles noch einmal zusammengefasst.

2 Suche nach Alternativen

Als überaus effiziente Methode zur alternativen Texteingabe hat der Autor mehrfach versucht, Spracherkennung zu benutzen. Die Stimme des Autors ist jedoch – genau wie die vieler Patienten mit neurologischen Erkrankungen – dysarthrisch, und so endeten diese Versuche ausnahmslos in der ernüchternden Erkenntnis, dass kein Computer den Autor versteht.

In dem vom Autor mitentwickelten Werkzeug Chanti [2] geht es darum, nonverbale Stimmuster – zum Beispiel Summen oder Pfeifen – als Eingabesignale zu verwenden. Zwar ist die Erzeugung der entsprechenden Muster sehr viel einfacher als wiederzuerkennende Sprache zu erzeugen, trotzdem hat sich in einer Nutzerstudie gezeigt, dass die Erkennung sehr unzuverlässig ist, so dass die vokale Modalität mithin als Alternative vollständig ausscheidet.

Ebenfalls relativ effizient ist das „Eye-Tracking“, bei dem der Benutzer nacheinander Buchstaben auswählt, indem er durch Ändern der Blickrichtung (erfasst mit Hilfe einer Kamera) einen

Zeiger über eine Bildschirmtastatur bewegt und seinen Blick auf den entsprechenden Buchstaben fixiert. Ein sekundäres Symptom der Krankheit des Autors ist allerdings ein pathologischer Nystagmus, und die damit verbundenen ungewöhnlichen Augenbewegungen machen „Eye-Tracking“ unbrauchbar. Dass mehrere Tests bestätigten, dass die Methode ungeeignet ist, war also vorauszusehen.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt die „Camera Mouse“ [3], wobei hier nicht die Blickrichtung, sondern ein frei gewählter Punkt im Gesicht des Benutzers mit einer kostengünstigen „Webcam“ überwacht wird. Aufgrund fehlender Feinmotorik konnte der Autor in ausgiebigen Tests seinen Kopf nicht präzise genug bewegen, um einen Mauszeiger zuverlässig über den Bildschirm zu navigieren.

In „Dasher“ [4] gibt der Benutzer Buchstaben ein, indem er mit Hilfe eines (im einfachsten Falle manuellen) Zeigegeräts den Mauszeiger in zugehörige Felder auf dem Bildschirm bewegt, welche sich je nach Kontext dynamisch ändern. Mit etwas Übung lässt sich damit eine unter Umständen beachtliche Eingaberate erzielen, jedoch auch hier verhinderte mangelnde Feinmotorik, zusammen mit beeinträchtigter Koordination zwischen Hand und Auge, dass der Autor diese Methode erfolgreich anwenden konnte.

Auf der anderen Seite stehen Systeme, die auf willkürlichen Muskelkontraktionen [5] basieren, bzw. allgemein solche, bei denen indirekt [6] aus einer Menge von Optionen ausgewählt wird: beim „Scanning“ werden die Optionen zyklisch hervorgehoben, und der Benutzer wählt eine gewünschte Option, indem er im richtigen Moment ein bestimmtes Eingabesignal – etwa eine Muskelkontraktion – erzeugt.

Ohne Zweifel ist der Autor körperlich dazu in der Lage, „Scanning“-Systeme zu benutzen. Allerdings ist der Autor zu weitaus mehr fähig als einzelne, diskrete Eingabesignale zu erzeugen. Richtig unterstützt ist es ihm sogar möglich, beide Hände zu benutzen. „Scanning“-Systeme nutzen daher die Fähigkeiten des Autors nicht aus und sind folglich für ihn unnötig langsam und umständlich.

Bei jeder Email, jedem Konferenzbeitrag und jedem Forschungsantrag hatte der Autor zur Texteingabe die „freie“ Auswahl zwischen entweder extrem mühevoll oder unglaublich langsam. Aufgrund chronischen Zeitmangels fiel die Entscheidung grundsätzlich zugunsten der mühevollen Standardlösung aus. Mit der Entwicklung einer eigenen, speziell auf seine Bedürfnisse und Fähigkeiten angepassten Alternative wollte der Autor dem ein Ende bereiten.

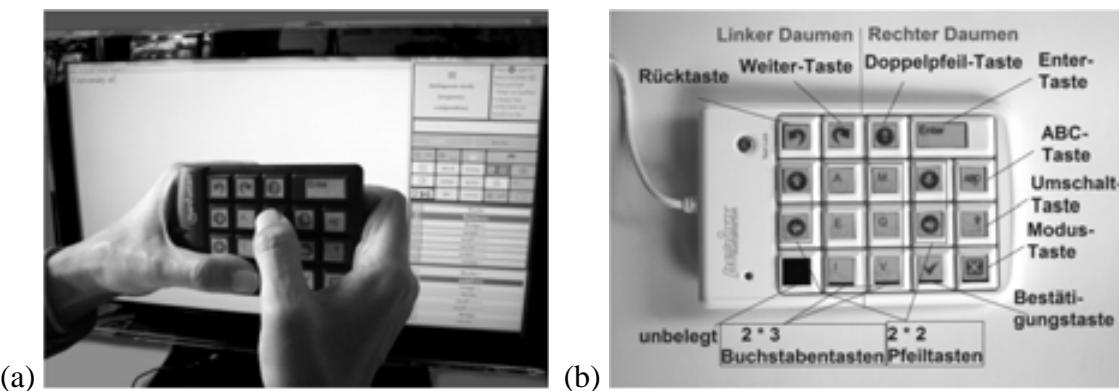


Abb. 1: DualPad; (a) Handstellung; (b) Namen der Tasten

Ausgangspunkt war die Vorliebe des Autors für die Tasten am linken Rand der Tastatur: er möchte es besonders, z.B. „q“, „w“ oder „a“ zu tippen, da er sich hierzu mit der linken Hand

am äußersten linken Rand festhalten und gesichert mit dem linken Daumen tippen konnte. Während die große Tastatur ein solches Vorgehen nur bei wenigen Tasten zulässt, so stellt es bei dem in Abb. 1 dargestellten DualPad, dem designierten Eingabegerät der Alternativ-lösung OnScreenDualScribe [7], den Regelfall dar.

Das DualPad ist ein handelsüblicher Nummernblock, der um 90 Grad gedreht und mit Aufklebern versehen wird. Es liegt fest und sicher in beiden Händen und wird nur mit den Daumen bedient. Wie OnScreenDualScribe den Benutzer von der Software-Seite her unterstützt, ist im nächsten Kapitel zusammengestellt.

3 Systembeschreibung

In diesem Kapitel geht es um die Software, die rund um das Eingabegerät aus Abb. 1 entwickelt wurde, und die die 18 Tasten des Geräts so einsetzt, dass Standardtastatur und Maus vollständig ersetzt werden können. In der Folge wird erst einmal der allgemeine Aufbau der Windows©-Software OnScreenDualScribe beschrieben. Danach wird erläutert, was das Programm in Sachen Texteingabe und Maussteuerung zu bieten hat. Und am Ende werden einige der Besonderheiten des Programms kurz angesprochen.

3.1 Allgemeiner Aufbau

OnScreenDualScribe definiert sämtliche Tasten eines externen Nummernblocks als so genannte „Hotkeys“ und fängt so Tastendrücke auf das DualPad ab, bevor sie zum Fenster im Eingabefokus gelangen. Das Programm hat 12 Modi (u.a. 3 für Texteingabe und 3 zur Maussteuerung), und abhängig von Modus werden die Benutzereingaben, gleich einer Bildschirm-tastatur, in virtuelle Ereignisse umgewandelt, die dann an das aktive Fenster gesendet werden. Je nach Modus ist die Funktion jeder Taste mitunter unterschiedlich; ein „Avatar“ des DualPads zeigt jeweils die aktuellen Tastenbelegungen am Bildschirm an.

3.2 Texteingabe

Zur Eingabe von Text gibt es in OnScreenDualScribe im Wesentlichen zwei Methoden: zum einen die Auswahl von Zeichen über eine Zeichenmatrix (der sogenannte Dual-Modus) und zum anderen ein mehrdeutiges Tastenfeld (eine Art T9 mit 6 Tasten, genannt T6-Modus).

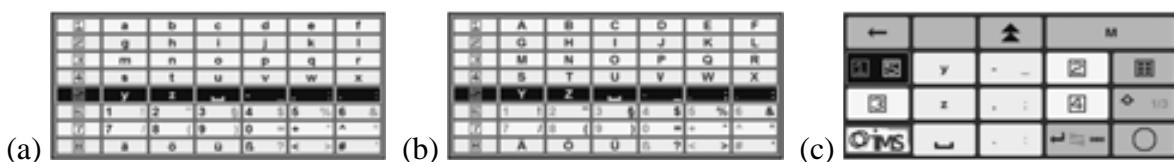


Abb. 2: Dual-Modus: (a) Zeichenmatrix ohne Umsch.-T.; (b) Zeichenmatrix mit zuvor aktiver Umsch.-T.; (c) DualPad-Avatar mit aktiver Zeile 5

Der Dual-Modus bietet Zugang zu insgesamt 2*48 Zeichen: in einer 8*6-Matrix werden für jede Zelle 2 Zeichen angeboten, die mit der Umschalt-Taste angewählt werden (Bezeich-nungen der Tasten s. Abb. 1b). Abb. 2 zeigt die Zeichenmatrix für beide Fälle (mit und ohne Umschaltung). Der Benutzer muss nur die Zeile eines Zeichens mit Hilfe der Pfeiltasten wählen, und die Spalte mit den Buchstabentasten, um das betreffende Zeichen zu schreiben. Die jeweils ausgewählte Zeile geht dabei aus der auf dem Bildschirm angezeigten Matrix hervor (Abb. 2a

und 2b), wobei zusätzlich die mit den Buchstabentasten zu wählenden Zeichen im Avatar angezeigt werden (Abb. 2c).

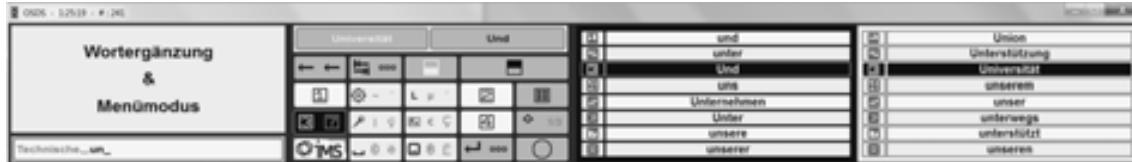


Abb. 3: Wortergänzung

Der Benutzer kann nun nacheinander Zeichen auswählen. Im Falle von Buchstaben wird versucht, den jeweils getippten Wortanfang zu ergänzen. Dazu sucht das Programm in einem recht großen Wörterbuch (100k Wörter) nach möglichen Kandidaten. Diese werden jeweils auf dem Bildschirm angezeigt, und der Benutzer kann in den Wortergänzungsmodus wechseln, wenn der gewünschte Kandidat in der Liste enthalten ist (Abb. 3). In diesem Modus kann er in ähnlicher Weise wie im Dual-Modus eine von je 8 Zeilen aus zwei Kandidatenlisten auswählen und die Auswahl mit einem Tastendruck zum Ausgabefenster senden.

Das gleichzeitige Durchsehen der Kandidatenlisten erhöht zwar die mentale Belastung [8], aber mithin wird Texteingabe zum Bestätigen von Vorschlägen, was die physische Belastung erheblich reduziert.



Abb. 4: T6-Modus

Im T6-Modus wird das Alphabet auf 6 Tasten verteilt. Analog zur Eingabe einer SMS mit einem Mobiltelefon (bei dem jede der Tasten „2“-„9“ für jeweils 3 oder 4 Buchstaben steht) erzeugt der Benutzer eine Sequenz dieser 6 Tasten und das Programm sieht in demselben Wörterbuch wie zur Wortergänzung nach, welche Wörter und auch Weiterführungen zur eingegebenen Sequenz passen. Auch diese Kandidaten werden wieder am Bildschirm angezeigt (Abb. 4) und wie vorher ausgewählt.

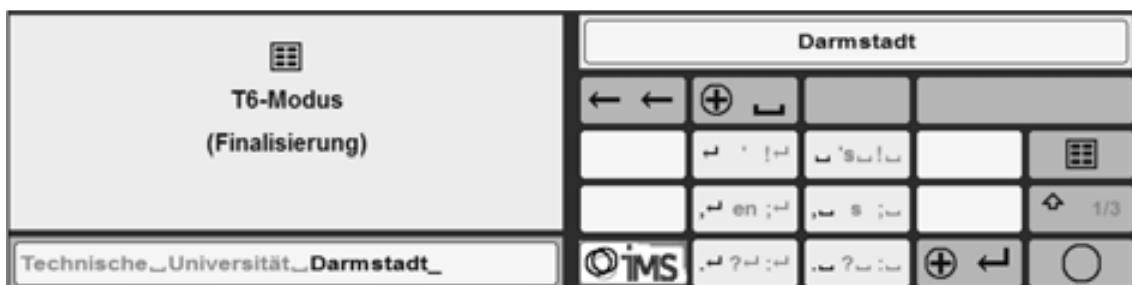


Abb. 5: Finalisierung

Dies ist sehr effizient (im Durchschnitt wird weniger als ein Tastendruck pro geschriebenem Buchstaben benötigt), funktioniert aber nur für Wörter, die im Wörterbuch enthalten sind.

Nachdem ein Kandidat ausgewählt wurde, kann der Benutzer aus 3*6 Optionen zur Segmentation auswählen (Abb. 5), um zwischen Wörtern nicht – wie für unbekannte Wörter, Zahlen oder Symbole notwendig – zum Dual-Modus wechseln zu müssen.

3.3 Zeigeoperationen

Neben Texteingabe bietet OnScreenDualScribe auch die Möglichkeit, Zeigeoperationen durchzuführen. Dazu ist zu sagen, dass das Werkzeug ursprünglich als reiner Tastatursatz geplant war und insofern für Texteingabe optimiert wurde. Bald wurde aber klar, dass ein interner Maus-Modus unbedingt notwendig war: Für effizientes Arbeiten mit dem Computer werden entsprechende Operationen von Zeit zu Zeit benötigt (z.B. zum Wechseln des aktiven Fensters), und wenn man dafür jedesmal das DualPad aus der Hand legen müsste, um ein zweites externes Gerät zu gebrauchen, wäre das äußerst unökonomisch.

Es werden insgesamt drei Maus-Modi bereitgestellt [9]. Bei zwei davon handelt es sich jeweils um eine simple Tastaturmaus. Hierbei sind dann die Pfeiltasten für horizontale oder vertikale Bewegung des Mauszeigers zuständig und die Buchstabentasten für die Emulation eines Klicks an der aktuellen Zeigerposition. Der Unterschied zwischen den beiden Modi ist, dass die Zeigerbewegung einmal aktiv abläuft (solange eine bestimmte Taste gedrückt gehalten wird) und einmal passiv (dabei initiiert der Benutzer eine Bewegung, die dann solange wiederholt wird, bis er sie mit einem bestimmten Tastendruck beendet).

Das Problem einer Tastaturmaus ist, dass sie Maussteuerung zeitkritisch werden lässt. Zum Beenden einer Bewegung muss der Benutzer nämlich genau im richtigen Moment eine Taste drücken oder loslassen, um nicht über das Ziel hinauszuschießen. Genau das passiert dem Autor aber andauernd – wie schon bei der Tastenwiederholung, aufgrund der höheren Reaktionszeit. Als Alternative wurde Dual-Maus entwickelt, bei dem der Mauszeiger ans Ziel „springt“, welches schrittweise „herangezoomt“ wird.



Abb. 6: Erster Schritt in Dual-Maus: Unterteilung in 4 * 6 Kacheln

Als Beispiel soll gezeigt werden, wie man auf der Internetseite des Instituts des Autors auf das Logo seiner Universität klickt. Im ersten Schritt wird der Computerbildschirm optisch in 24

Kacheln unterteilt (Abb. 6). Der Benutzer wählt nun die Kachel aus, in der das Klickziel liegt (im Beispiel Kachel D). Hierzu geht er übrigens genauso wie zur Auswahl eines Buchstabens im Dual-Modus vor.

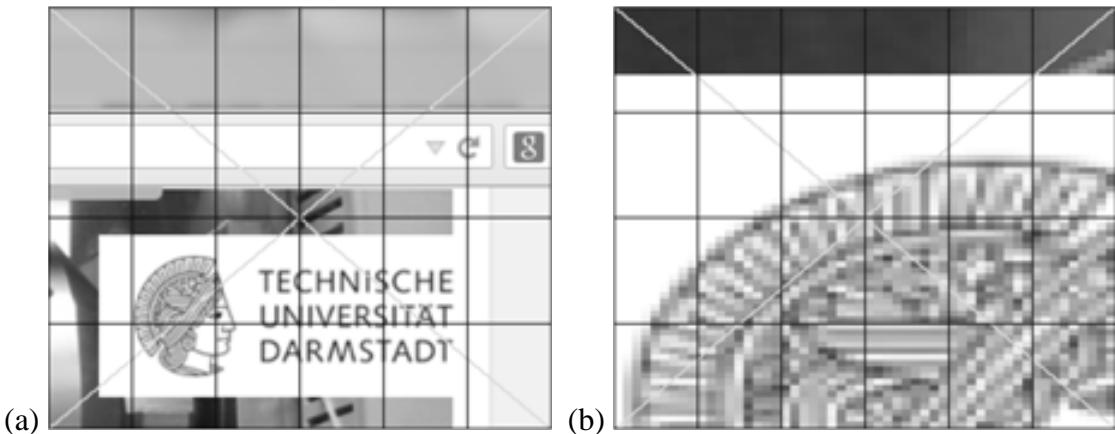


Abb. 7: Rekursion: (a) Kachel D; (b) „Unterkachel“ N

Dieser Vorgang wird dann rekursiv fortgeführt: die ausgewählte Kachel wird erneut unterteilt (Abb. 7a), und der Benutzer wählt die „Unterkachel“, in der das Ziel liegt (im Beispiel sind hier viele möglich, z.B. „Unterkachel“ N). Dies geht solange weiter, bis das gewünschte Ziel in der Mitte der letzten „Unterkachel“ (markiert durch ein Fadenkreuz) liegt. Im Beispiel ist das schon nach zwei Schritten der Fall (Abb. 7b), und Betätigen der Enter-Taste bewirkt an dieser Position einen Mausklick (Abb. 8).



Abb. 8: Ergebnis nach Betätigen der Enter-Taste.

Standardmäßig handelt es sich dabei um einen einfachen Linksklick, der Benutzer kann jedoch auch Doppelklicks, Rechtsklicks oder Ziehen einstellen. Damit wird eine Zwei-tastenmaus vollständig ersetzt und praktischer Einsatz ermöglicht [10].

3.4 „Kleinigkeiten“

Zusätzlich bietet OnScreenDualScribe eine ganze Reihe kleiner (z.T. auch nicht ganz so kleiner) Funktionen, die vielleicht nicht unbedingt notwendig gewesen wären, die aber doch in Spezialfällen extrem hilfreich sind. So etwa gibt es einen Makro-Modus für beliebige, mitunter lange und komplexe, Tastensequenzen, die nach Definition mit wenigen Tastendrücken angewählt werden können. Außerdem lassen sich dynamisch die deutsche und die englische Sprache einstellen. Editieren ist nicht – wie bei vielen anderen Texteingabe-alternativen – beschränkt auf das Löschen des zuletzt geschriebenen Zeichens, sondern Text-cursor, Selektieren und Kopieren werden neben der Rücktaste ebenfalls unterstützt. Schließlich kann der Benutzer bestimmte Elemente der Bildschirmanzeige verschlüsseln, um so zu verhindern, dass Unbefugte den geschriebenen Text, z.B. bei der Eingabe von Pass-wörtern oder dem Verfassen sensibler Emails, „mitlesen“ können.

4 Erfahrungsbericht

In diesem Kapitel werden die Erfahrungen des Autors im täglichen Umgang mit OnScreenDualScribe dargelegt. Der Autor dieses Beitrags hat das System selbst entwickelt und benutzt es bzw. seine Vorgänger von Anfang an, also seit rund drei Jahren. Während der letzten beiden Jahre hat er sogar kaum noch etwas anderes zur Bedienung eines PCs verwendet, und es wird klar werden, warum diese Eingabemethode seinen lange gehegten Wunsch nach einer praktisch nutzbaren Alternative abschließend erfüllt.

4.1 Wirkung und Bedeutung

OnScreenDualScribe löst sämtliche in der Einleitung angesprochenen Probleme des Autors mit der großen Tastatur. Die Dimensionen des Eingabegeräts machen ständiges Umgreifen unnötig, da alle Tasten von derselben Handposition aus erreichbar sind. Trotzdem sind die einzelnen Tasten groß genug, so dass gewünschte Tasten auch stets getroffen werden. Außerdem bewirkt die Verwendung der Daumen in Verbindung mit der Führung, die die Hand-stellung mit sich bringt, dass unpräzise Tastendrücke, die sonst ein Zeichen mehrfach erscheinen lassen, praktisch nicht mehr vorkommen. Und für die Tastenwiederholung gibt es eine eigene Erweiterung, die zum einen sehr komfortabel konfigurierbar ist, und die zum anderen die Wiederholung für manche Tasten zulässt und für manche abstellt.

Nur in wenigen Ausnahmefällen (z.B. wenn sich Windows „aufhängt“) wird noch ein weiteres Eingabegerät gebraucht. Daher – und natürlich auch wegen der vielen anderen Annehmlichkeiten – hat der Autor vor zwei Jahren beschlossen, vollständig auf die neue Methode zu wechseln. Fortan benutzte er kaum noch ein anderes Eingabegerät, und sein Leben hat sich aufgrund dessen tatsächlich nachhaltig verändert.

Früher schrieb er Emails zum Beispiel nur dann, wenn er unbedingt musste, da Tippen schlicht unbeschreiblich viel Mühe kostete. Heute ist das anders: die Erstellung längerer Textpassagen im T6-Modus ist ein Kinderspiel, und die höhere mentale Belastung für das Durchsehen der Kandidatenlisten nimmt er dafür, dass die physische Mühe fast komplett wegfällt, gerne in Kauf. Aus dem nachfolgenden Abschnitt geht hervor, dass zu diesem Plus an Lebensqualität mittlerweile ein beachtlicher Geschwindigkeitszuwachs hinzukommt.

4.2 Numerische Ergebnisse

Um Fortschritte hinsichtlich der Eingabegeschwindigkeit dokumentieren zu können, hat der Autor im Laufe der letzten drei Jahre den gleichen Test mit der jeweils aktuellen Version des Systems mehrfach durchgeführt. In dem Test ging es darum, ein bestimmtes, etwa 2100 Zeichen langes Textfragment an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen wieder und wieder so schnell und so fehlerfrei wie möglich abzuschreiben. Die Idee dabei war, möglichst realistische Anforderungen zu stellen.

An den Ergebnissen war abzulesen, dass die Eingaberate des Autors mit OnScreenDualScribe vor drei Jahren unter 10 Anschlägen pro Minute betrug. Vor zwei Jahren war mit 20 Anschlägen pro Minute bereits seine Eingaberate mit der herkömmlichen Tastatur eingeholt, und seine heutige Eingaberate von mehr als 30 Anschlägen pro Minute bedeutet, dass er heute mit OnScreenDualScribe trotz ständig weiter fortgeschrittenner Krankheit Text genauso schnell eingeben kann wie vor etwa zehn Jahren. Besonders ermutigend ist der Aufwärtstrend – im Gegensatz zu dem aus der Einleitung hervorgehenden Abwärtstrend mit der großen Tastatur.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde OnScreenDualScribe, ein System zum Ersetzen der gewöhnlichen Eingabegeräte zur Computerbedienung – große Tastatur und Maus – vorgestellt und diskutiert. Zur Bedienung ist ein handelsüblicher Nummernblock vorgesehen, der um 90° gedreht wird, fest und sicher in beiden Händen liegt und für das Tippen mit beiden Daumen gedacht ist. Das Gerät ist ideal für jemanden mit einer neurologischen Erkrankung, der einerseits motorische Probleme mit der Standardtastatur hat, andererseits aber aufgrund von Dysarthrie Spracherkenntnung nicht nutzen kann.

Trotz der viel geringeren Anzahl an Tasten wird die große Tastatur vollständig emuliert. Verschiedentliche Unterstützungsmaßnahmen führen dazu, dass Texteingabe zwar mühelos, aber trotzdem nicht langsamer (mit längerer Übung sogar schneller) wird. Die Erfahrungen des Autors, Entwicklers und ersten Abnehmers des Systems (in Personalunion) bestätigen dies: seit rund zwei Jahren verwendet der Autor kaum noch etwas anderes zur Bedienung eines Computers, und seine Eingaberate nimmt seither stetig zu.

Was ursprünglich als eine Art „Do-it-yourself“-Projekt begonnen wurde, soll nun einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Dies betrifft nicht nur die Zielgruppe der Menschen mit ähnlicher Symptomatik wie der Autor, sondern allgemein Personen, die an einem kompakten, aber effizienten Tastatursatz (z.B. als mobiler Reisebegleiter oder für Internet@TV) interessiert sind. Dazu sind in naher Zukunft weitere Nutzerstudien mit einer größeren Zahl an Testpersonen vorgesehen. Außerdem ist beabsichtigt, ein eigenständiges Eingabegerät mit Anzeige für die Kandidatenlisten zu entwickeln. Schließlich sollen industrielle Partner gesucht und gefunden werden, die bei der Vermarktung helfen.

6 Danksagung

Diese Arbeit wurde gefördert von der DFG im Rahmen des Projektes *FE 936/6-1 „EFFENDI – EFFiziente und schnelle textEiNgabe für menschen mit motorischen behinderungen neuro-muskulär-Induzierter art“*.

7 Literatur

- [1] Delatycki, M.; Williamson, R. und Forrest, S.: Friedreich ataxia: an overview. Journal of Medical Genetics 37:1, U. S. National Library of Medicine, S. 1-8, 2000.
- [2] Sporka, A. J.; Felzer, T.; Kurniawan, S. H.; Poláček, O.; Haiduk, P. und MacKenzie, I. S.: Chanti: Predictive text entry using non-verbal vocal input. Proc. CHI 2011, ACM Press, S. 2463-2472, 2011.
- [3] Gips, J.; Betke, M. und Fleming, P.: The camera mouse: Preliminary investigation of automated visual tracking for computer access. Proc. RESNA 2000, RESNA Press S. 98-100, 2000.
- [4] Ward, D. J.; Blackwell, A. F. und MacKay, D. J. C.: Dasher - a data entry interface using continuous gestures and language models. Proc. UIST '00, ACM Press, S. 129-137. 2000
- [5] Felzer, T.; Fischer, R.; Grönsfelder, T. und Nordmann, R.: Alternative control system for operating a PC using intentional muscle contractions only. Online-Proc. CSUN, California State University, Northridge, CA, USA 2005.
- [6] Baljko, M. und Tam, A.: Motor input assistance: Indirect text entry using one or two keys. Proc. ASSETS 2006, ACM Press, S. 18-25, 2006.
- [7] Felzer, T.; MacKenzie, I. S. und Rinderknecht, S.: Efficient computer operation for users with a neuromuscular disease with OnScreenDualScribe. Journal of Interaction Science 2:2, Springer 2014.
- [8] Koester, H. H. und Levine, S. P.: Modeling the speed of text entry with a word prediction interface. IEEE Trans. Rehab. Eng. 2:3, IEEE Press, S. 177-187, 1994.
- [9] Felzer, T. und Rinderknecht, S.: Mouse mode of OnScreenDualScribe: Three types of keyboard-driven mouse replacement. Ext. Abstracts CHI 2013, ACM Press, S. 1593-1598, 2013.
- [10] Jansen, A.; Findlater, L. und Wobbrock, J. O.: From the lab to the world: lessons from extending a pointing technique for real-world use. Ext. Abstracts CHI 2011, ACM Press, S. 1867-1872, 2011.

Kostenminimierte, additiv gefertigte Handprothese für den Einsatz in Entwicklungsländern

I. S. Yoo, F. Hawelka, S. Reitelshöfer, J. Franke

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS)

Egerlandstraße 7-9, 91058 Erlangen

In.Seong.Yoo@faps.fau.de

Kurzzusammenfassung

Myoelektronisch gesteuerte Handprothesen können die Funktionsverluste der oberen Extremitäten in höchstem Maße kompensieren und somit die Lebensqualität steigern. Für Menschen in vielen Entwicklungsländern ist jedoch eine derartige Prothesenversorgung aufgrund hoher Kosten und fehlender Infrastruktur für die medizinische und technische Nachsorge nicht zumutbar. Im Forschungsbereich Biomechatronik des Lehrstuhls FAPS wird ein alternativer Ansatz „,bezahlbare und effektive Prothetik“ verfolgt. Als erstes Projekt wird eine einfache Handprothese nach dem Vorbild von „Robohand“ aufgebaut. Die Gelenkteile werden durch ein additives Fertigungsverfahren kostengünstig produziert und für die Montage werden Normteile verwendet. Die Handprothese ist intuitiv bedienbar, erfüllt primäre Greiffunktionen und bietet großes Potenzial für weitere Entwicklungsschritte bis hin zu einer kostengünstigen mechatronisierten Handprothese.

Abstract

Additive manufacturing of low-cost hand prostheses for developing countries

State-of-the-art myoelectrically controlled prosthetic hands are able to compensate lost functions to the great extent and thus enhance the quality of life significantly. For people in developing countries, in which stable and sustainable infrastructures for medical and technical assistance are not available, prosthetic care of amputees with such a high-tech mechatronic system is nearly impractical. Our approach for the development of an effective, but still affordable prosthetic hand bases on the exemplary project “Robohand”. The inexpensive prosthetic hand with basic grip functions is made of 3D-printed plastic joints and standard hardware, easy to operate, and shows potential for further developments including integration of mechatronic components.

1 Motivation

1.1 Spitzentechnologie zur Wiederherstellung der Handfunktion

Die derzeit auf dem Markt befindlichen Systeme, die zur prothetischen Versorgung bei einem Verlust der distalen oberen Extremitäten eingesetzt werden, sind mit vielerlei Technologien auf dem Gebiet der Mechatronik, wie z. B. taktile Sensoren, digitale Signalverarbeitung sowie intelligente kraftgesteuerte Servogetriebemotoren, ausgestattet und ermöglichen eine bestmögliche Wiederherstellung der verlorenen Körperfunktion und dadurch eine signifikante Erhöhung

der Lebensqualität des Anwenders [1]. Einige Handprothesen aus der Forschung verfügen darüber hinaus über eine sensorische Rückkopplung, wodurch der Amputierte über die elektrophysiologische Schnittstelle an den Nervenenden ein taktiles Feedback erhalten kann [2-3].

1.2 Handlungsbedarf für den Einsatz in Entwicklungsländern

Im Gegensatz zu vielen Industrieländern mit einem etablierten Sozialversicherungs- und Gesundheitssystem, verfügen viele Entwicklung- und Kriegsländer nicht über eine stabile Infrastruktur für eine beständige und nachhaltige medizinische Versorgung. Eine technische Unterstützung komplexer mechatronischer Medizinprodukte stellt daher eine Herausforderung dar. Vor dem Hintergrund, dass der Einsatz einer leistungsfähigen mechatronischen Handprothese mit hochentwickelter Sensorik sowie Aktorik mit einem sehr hohen Kostenaufwand (bis zu 55.000 Euro nach einer aktuellen Kosten-Nutzen-Analyse [1]) verbunden ist und ein stabiles Versorgungsumfeld sowohl aus medizinischer als auch technischer Sicht voraussetzt wird, ist eine solche prothetische Versorgung in Entwicklungsländern nur begrenzt zumutbar.

Hier besteht dringender Handlungsbedarf für die Entwicklung einer einfachen und effektiven Handprothese, die mit möglichst geringem technischem Aufwand kostengünstig hergestellt und nachhaltig eingesetzt werden kann. Eine bezahlbare Handprothese, welche die überlebenswichtigen Greiffunktionen ersetzt, kann die Lebensqualität von Amputierten und ihrer Familien signifikant verbessern.

2 Kostengünstige Fertigung einer einfachen, aber effektiven Handprothese

2.1 Vorbildprojekte

Aufgrund der Verbreitung von kostengünstigen Desktop-3D-Druckern und der Etablierung von Kommunikationsplattformen wie „Thingiverse“, die häufig durch die Hersteller von 3D-Druckern angeregt werden und zum Austausch der Erfahrungen und Ergebnisse im Bereich des 3D-Druckens dienen, stehen der Öffentlichkeit eine Vielzahl innovativer Prothesen zur Verfügung.

Das Hilfsprojekt „Robohand“ von Richard van As [4] gilt aber als eines der ersten Open-Source Projekte, welche sich mit der Fertigung einer einfachen Handprothese für Entwicklungsländer beschäftigen. Die gleichnamige Handprothese „Robohand“ in Abb. 1 besteht aus mit Hilfe eines solchen 3D-Druckers additiv gefertigten Kunststoffteilen, standardisierten Verbindungselementen und haushaltsüblichen Materialien wie z. B. Gummikordeln und Nähgarn.



Abb. 1: Seilzugbetriebene Handprothese des Projekts „Robohand“
(Bildquelle: Richard van As / Robohand [4])

Diese einfach gestaltete Ersatzhand wird durch die Beugung des proximalen Handwurzelgelenks betätigt. Bei der Palmarflexion werden fünf Nylonseile jeweils durch fünf zweiteilige Fingerglieder gefädelt und an den Fingerspitzen mit einfachen Knoten fixiert. Werden diese auf Zug belastet, so ziehen alle Fingerglieder gleichzeitig an, um eine primäre Greifbewegung auszuführen. Das Zurückstellen der Handprothese in die gestreckte Stellung erfolgt durch die Dorsalflexion, indem die Nylonseile entlastet werden und die Fingerglieder mit Hilfe der gummielastischen Komponente in ihre Ausgangsposition zurückspringen.



Abb. 2: Mechatronische Handprothese „Dextrus“
(Bildquelle: Joel Gibbard / The Open Hand Project [5])

Den Lösungsansatz einer kostengünstigen Handprothese verfolgt ebenso ein weiteres Projekt „The Open Hand Project“ von Joel Gibbard [5]. Die prosthetische Hand „Dextrus“ in Abb. 2 besteht ebenfalls aus 3D-gedruckten Gelenkgliedern und wird über einen ähnlichen Seilzugmechanismus betätigt. Hier erfolgt die Betätigung allerdings nicht durch die Bewegung der vorhandenen Körperteile, sondern durch mehrere elektromyographisch gesteuerte Servogetriebemotoren. Die Energieversorgung erfolgt mit Hilfe einer eingebauten Li-Ionen-Batterie. Die mechatronische Hand ist somit auch bei Amputierten einsetzbar, die z. B. infolge einer transradialen Amputation über kein funktionsfähiges Handgelenk verfügen oder keine ausreichenden Muskelkräfte am Stumpf erzeugen können. Ein weiterer wichtiger Vorteil der mechatronischen Ersatzhand Dextrus liegt in der individuellen und kraftgesteuerten Aktivierung der Fingerglieder. So ist beispielsweise ein flexibles Greifen, z. B. wie in Abb. 2 dargestellt, möglich.

2.2 Additives Fertigungsverfahren FDM

Für die preisgünstige Herstellung derartiger Handprothesen bietet sich das additive Fertigungsverfahren FDM (Fused Deposition Modeling) an, welches derzeit im Bereich des Rapid Prototyping, insbesondere bei der Fertigung kleiner Alltagsgegenstände mit vergleichsweise geringer Qualitätsanforderung, weit verbreitet ist. Die wesentlichen Vorteile von additiven Fertigungsverfahren und das Grundprinzip des FDM-Verfahrens sind in Literatur [6-7] ausführlich beschrieben.

Der Kostenanteil der FDM-generierten Teile in Bezug auf die gesamten Herstellungskosten ist vergleichsweise gering. Bei der Robohand kosten die 3D-gedruckten Gelenkglieder insgesamt rund 5 US-Dollar, während die geschätzten Gesamtkosten für die Handprothese in etwa 2.000 US-Dollar betragen [4]. Trotzdem stellt das 3D-Drucken aufgrund seiner vielfältigen Vorteile gegenüber den herkömmlichen Fertigungsverfahren, insbesondere der Flexibilität und der niedrigen Kosten, eine Schlüsseltechnologie für die kostengünstige Handprothese dar.

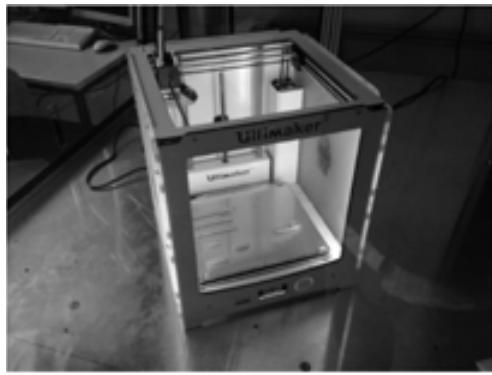


Abb. 3: FDM-basierter 3D-Drucker „Ultimaker 2“

Typische FDM-basierte 3D-Drucker, wie in Abb. 3 dargestellt, eignen sich sehr gut als Fertigungsmittel für die vorgestellte Handprothese. Die Vorteile des kostengünstigen 3D-Druckens gegenüber herkömmlichen Fertigungsprozessen sind unter anderem in folgenden Eigenschaften begründet:

- höhere Effizienz des Arbeitsprozesses im Vergleich zu spanenden Fertigungsverfahren (vom CAD-Modell direkt zum fertigen Produkt),
- hohe Flexibilität und hoher Freiheitsgrad bei der Formgebung, insbesondere Möglichkeit zur Fertigung leichter Bauteile durch beliebige Änderung des Füllgrades,
- schnelle Erlernbarkeit aufgrund der niedrigen Systemkomplexität, der hohen Transparenz des Prozesses sowie der einfachen Bedienung,
- erschwingliche Investitionskosten (Anschaffungspreis eines gängigen 3D-Druckers circa 2.000 Euro) und gute Verfügbarkeit auf dem Markt,
- gute Verfügbarkeit und einfache Lagerung des Ausgangsmaterials (in der Regel durch Extrusion in Massen produziertes, runddrahtförmiges Filament, gewickelt auf einer standardmäßigen Spule),
- vergleichsweise geringe Material- bzw. Betriebskosten (Kaufpreis für einen gängigen Thermoplast wie z. B. Polylactide-Filament etwa 0,05 €/g),
- stetiger und schneller Entwicklungsfortschritt aufgrund der Offenheit des Fertigungssystems (Open-Source-Hardware).

3. Evaluierung und Weiterentwicklung der Handprothese „Robohand“

3.1 Rekonstruktion der Robohand

Um die einfache Handprothese auf ihre Funktionalität und Nutzen systematisch zu evaluieren, wurde eine pädiatrische Handprothese nach der Vorlage des oben beschriebenen Robohand-Projekts aufgebaut. Hierbei lag der Schwerpunkt zunächst auf der möglichst originalgetreuen Nachbildung der Handprothese gemäß der vorliegenden Anleitung. Ziel war es, die in der Anleitung dargelegten Fertigungsschritte nachzuvollziehen, das ursprüngliche Konzept der Handprothese ohne Einfluss von technischen Nebenbedingungen, wie z. B. die Qualität der eingesetzten Materialien und Zukaufsteile, zu überprüfen und darüber hinaus Optimierungspotenziale der einfachen Handprothese zu erkennen.

3.1.1 3D-Drucken von Bauteilen der ursprünglichen-Robohand

Im ersten Schritt wurden die auf der Open-Source Plattform „Thingiverse“ in .STL-Format frei zur Verfügung gestellten 3D-Modelldateien der Robohand [8] heruntergeladen. Die additive Fertigung der Gelenkglieder aus Polylactiden (PLA) erfolgte mit dem 3D-Drucker Ultimaker 2 (Ultimaker B.V., Niederlande), wie in Abb. 3 dargestellt, welcher mit einem 3D-Drucker der Modelreihe MakerBot Replicator (MakerBot Industries LLC, USA) im Vorbildprojekt vergleichbar ist. Die Erzeugung der 2D-Schichten anhand der .STL-Datei sowie die Generierung von G-Code erfolgte dementsprechend mit der Ultimaker eigenen Bearbeitungssoftware „Cura“. Die Materialeigenschaften des verwendeten Thermoplasts PLA sind in Tab. 1 zu finden. Abb. 4 zeigt die 3D-gedruckten Bauteile der originalen Handprothese.

Tab. 1: Werkstoffeigenschaften von Polylactiden [7] [9]

andere Bezeichnungen	Polymilchsäure, PLA (Polylactic Acid)
Art des Polymers	teilkristalliner Thermoplast
Dichte	1,24 - 1,25 g/cm ³
Festigkeit (Streckgrenze)	48 - 60 N/mm ²
Izod-Kerbschlagzähigkeit	12,81 - 16 J/m
Glasübergangstemperatur	45 - 65 °C
Verarbeitungstemperatur (im FDM Verfahren)	180 - 230 °C



Abb. 4: Fingerglieder der Robohand im 3D-Drucker (links) und Übersicht aller 3D-gedruckten Bauteile der originalen Robohand (rechts)



Abb. 5: Rekonstruierte Robohand

3.1.2 Aufbau und Weiterentwicklung der Robohand

In Abb. 5 ist die erste Nachbildung der Robohand im vollständig aufgebauten Zustand dargestellt. Eine Übersicht über alle verwendeten Bauteile ist in Tab. 2 zu finden.

Tab. 2: Stückliste für die rekonstruierte Robohand

Kate-gorie	Posi-tion	Menge	Ein-heit	Bezeichnung	Bemerkung
3D-Druckteile	1	1	Stück	Gelenkblock	für Fingerglieder II-V
	2	4	Stück	Phalanx, proximal	
	3	4	Stück	Phalanx, distal	Fingerglieder (II-V)
	4	1	Stück	Daumenphalanx, proximal	
	5	1	Stück	Daumenphalanx, distal	
	6	1	Stück	Gelenkblock, medial	
	7	1	Stück	Gelenkblock, lateral	vergleichbar mit Os metacarpale I
	8	2	Stück	Handgelenkbefestigung, kurz	für das Scharniergelenk der Handprothese am vorhandenen Handgelenk
	9	2	Stück	Handgelenkbefestigung, lang	
Normteile	10	2	Stück	Seilzugsführung	
	11	20	Stück	Sechskantmutter ISO 4032 M3 × 8 mm	
	12	20	Stück	Sechskant-Hutmutter DIN 1587 M3 × 6 mm	
	13	5	Stück	Gewindestift ISO 4026 M4 × 8 mm	
	14	22	Stück	Linsensenkschraube ISO 7047 M3 × 25 mm	
	15	26	Stück	Flache Scheiben ISO 7091 für Gewindegröße M3	
sonstige Materialien	16	1	Stück	Gewindestange M3 × 85 mm	
	17	1	Rolle	Nylonseil	Φ 0,7 mm × L 50 m max. Zuglast 12,5 kg
	18	0,3	Meter	Gummikordel, schwarz	
	19	1,5	Meter	Nähgarn, schwarz	
	20	1	Stück	Sekundenkleber (Klebstoff Cyanacrylat)	
	21	1	Stück	PTFE Platte, 0,5 mm	Zuschnitt L180 mm × B 115 mm
	22	1	Stück	PTFE Platte, 0,5 mm	Zuschnitt L 855 mm × B 140 mm

Die gesamten Kosten für die Rekonstruktion der Robohand betragen grob geschätzt etwa 75 Euro. Hierbei wurden allerdings die Anschaffungskosten des 3D-Druckers, Betriebskosten für

die Fertigung der 3D-Druckteile in Tab. 2 sowie Personalkosten für die Bedienung der Maschine und für die Montage der Handprothese nicht berücksichtigt. Die Herstellungskosten der Handprothese können aber weiter reduziert werden, indem man die Konstruktion sowie den Aufbau vereinfacht und den Herstellungsprozess optimiert.

Trotz des stetigen Versuchs, die Handprothese möglichst genau nach der offiziellen Anleitung des Vorbildprojekts zu rekonstruieren, ergaben sich einige Abweichungen vom Original sowie zu anderen Nachbauten der Open-Source-Plattform. Dies ist insbesondere auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- teilweise nicht eindeutige oder nicht detaillierte Bezeichnungen der Bauteile in der Anleitung,
- begrenzte Verfügbarkeit der Zukaufsteile außer Norm bzw. der Standardteile in nicht-harmonisierten Normen,
- mangelnde Anschaffungsmöglichkeit der hochwertigen Materialien, insbesondere des orthopädischen Kunststoffs für den Adapter, der mit dem vorhandenen Stumpf in direkte Beührung kommt.

Die rekonstruierte Robohand veranschaulicht dennoch das einfache, aber effektive Grundkonzept der kostengünstig herstellbaren Handprothese sehr gut und zeigt ihre begründeten Einsatzpotenziale in Entwicklungs- und Kriegsländern.

3.2 Funktionsanalyse anhand einer vergrößerten Robohand

Die Größe der originalen Handprothese, die ursprünglich für Kinder im Alter zwischen 2 und 3 vorgesehen ist, stellte bei der Laborerprobung durch Erwachsene mit der funktionsfähigen Hand einige Schwierigkeiten dar. Um trotzdem die Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit dieses medizintechnischen Produkts ohne großen Aufwand (z. B. für Rekrutierung von Probanden) zu validieren und daraus wichtige Erkenntnisse für die Optimierung der Handprothese gewinnen zu können, wurde eine etwa 1,8-fach vergrößerte Variante der ursprünglichen Robohand aufgebaut (Abb. 6:).

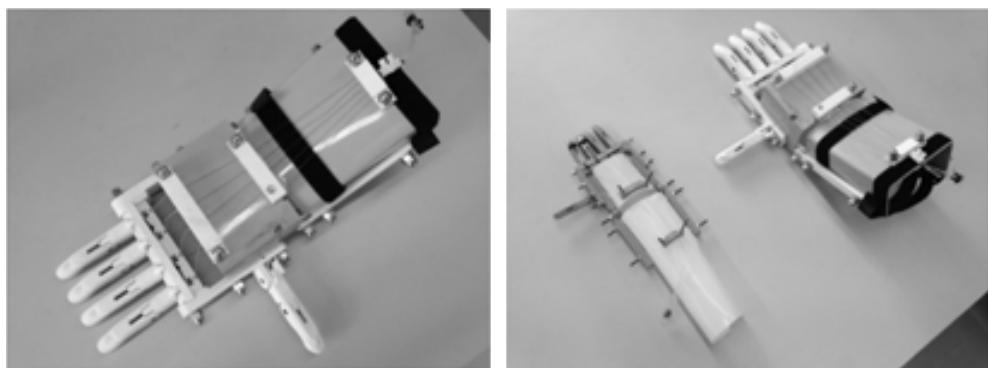


Abb. 6: Vergrößerte Variante der Robohand zur Funktionsanalyse (links), Gegenüberstellung mit der Robohand in Originalgröße (rechts)

Der proximale Teil der vergrößerten Robohand wird mit Hilfe von zwei Klettbändern am Unterarm des Probanden befestigt (Abb. 7, Bild links). Mit der geballten Hand im distalen Teil soll der Verlust der natürlichen Greiffunktion simuliert werden. Anhand dieser Handprothese

wurden vorläufige Funktionsprüfungen durchgeführt. Hierbei wurden repräsentative Alltagsgegenstände einfacher Geometrie, wie z. B. Tassen, Krüge, Schaumstoffwürfel oder Papierkugeln gegriffen und bewegt (siehe Abb. 7).

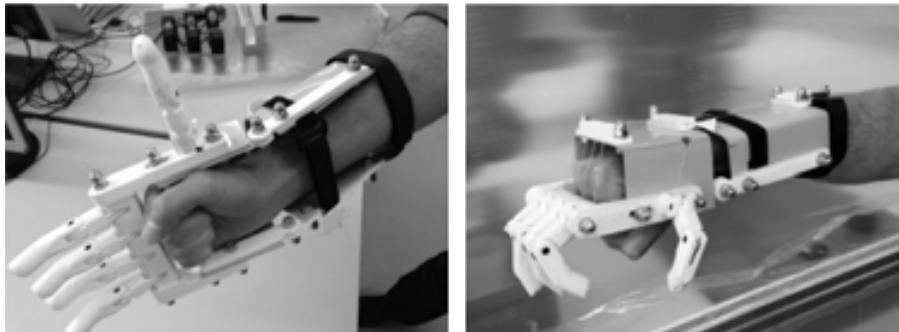


Abb. 7: Prototyp einer größeren Handprothese am Unterarm eines erwachsenen Probanden (links), Greifbewegung durch eine leichte Palmarflexion (rechts)



Abb. 8: Greifen der repräsentativen Alltagsgegenstände (links: Verpackungsmittel, rechts: Glaskrug) mit den zwei unterschiedlichen Greifmustern

Mit Hilfe der Handprothese ist es möglich, lediglich durch die Palmarflexion des vorhandenen Handgelenks eine einfache Greifbewegung auszuführen. Alle Fingerglieder der Handprothese einschließlich des Daumens bewegen sich dabei synchron, da alle fünf Nylonseile an einem einzigen Punkt, proximal vom Scharniergelekt mit Hilfe einer Lüsterklemme fixiert sind. Außerdem führen die ungenügende Länge der Fingerglieder sowie die senkrechte Lage des Daumens zu den anderen Fingergliedern dazu, dass eine vollständige Opposition (die Gegenstellung des Daumens zu den anderen Fingern) nicht möglich ist. Diese eingeschränkte Greifbewegung wird daher überwiegend in folgenden drei Modi durchgeführt:

- Gegenstellung des Daumens zu den Zeige- bzw. Mittelfinger (unvollständiger Klemmgriff),
- Gegenstellung der vier Fingerglieder zur Handinnenfläche (unvollständiger Kraftgriff),
- Umschlingen eines gebogenen Griffstücks (z. B. Tassenhenkel) mit den zwei oder mehr Fingergliedern und Stützen mit den anderen.

3.3 Nutzen und Optimierungspotenziale der 3D-gedruckten Handprothese

Die vorläufigen Funktionsanalysen mit einem Prototyp der Handprothese zeigen eine sehr gute Realisierbarkeit und ein hohes Einsatzpotenzial des Konzepts für eine kostengünstige und effektive Handprothese. Der medizintechnische Nutzen dieser einfachen Handprothese, welche für den Einsatz in Ländern mit einer schwachen medizinischen bzw. technischen Infrastruktur

vorgesehen ist, vor allem in folgenden Vorteilen des Konzepts begründet, welche durch den Einsatz des FDM-basierten 3D-Druckers als Fertigungsmittel gestärkt werden:

- gute Individualisierbarkeit der Handprothese aufgrund der hohen Flexibilität des 3D-Druckverfahrens,
- beliebige Skalierbarkeit (im Besonderen für junge Patienten in der Wachstumsphase von großer Bedeutung, da größere Prothesen mit geringen Kosten- und Zeitaufwand zu Verfügung gestellt werden können),
- Nachhaltigkeit der einfachen und schnell lernbaren Fertigungstechnologie (d. h. niedrige Akzeptanzschwelle und vorhandene Möglichkeit der Selbsthilfe).

Trotz der oben geschilderten nutzenbringenden Vorteile, besteht ein dringender Optimierungsbedarf in verschiedenen Hinsichten, der in weiteren Entwicklungsschritten adressiert werden soll:

- konstruktive Verbesserung der Handprothese im Hinblick auf Ergonomie (anatomiegerechte Gestaltung, besserer Tragekomfort, bessere Gebrauchstauglichkeit, höhere Akzeptanz des Designs), Funktionalität (flexibles Greifen) und Sicherheit (Schutz vor Verletzungen durch die Handprothese, insbesondere beim Sturz),
- Definieren eines eindeutigen und nachvollziehbaren Herstellungsprozesses unter überwiegender Anwendung von Normteilen,
- Verwenden eines alternativen Thermoplasts mit höherer Festigkeit, Schlagzähigkeit und Temperaturbeständigkeit, wie z. B. Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS),
- Erhöhung der Prozessstabilität und Produktqualität bei der Fertigung mit nicht-industrietauglichen Desktop-3D-Druckern.

4 Zusammenfassung und Ausblick

An eine Handprothese als technisches System zur Unterstützung, Ergänzung sowie Wiederherstellung der verlorenen Körperfunktion werden diverse Anforderungen aus vielen unterschiedlichen Aspekten gestellt. Insbesondere für den Einsatz in Entwicklungsländern muss eine Handprothese u. a. mit einer verständlichen und einfach lernbaren Technologie und zumutbaren Kostenaufwand herstellbar (technologisch-ökonomischer Aspekt), einfach und intuitiv benutzbar sein (technischer Aspekt), um schließlich die Lebensqualität der Menschen signifikant und nachhaltig zu verbessern (medizinischer bzw. ethischer Aspekt).

Im vorliegenden Beitrag wurde das vielversprechende Konzept des Robohand-Projekts für eine einfache, aber effektive Handprothese validiert, welche mit Hilfe des FDM-basierten 3D-Druckverfahrens zu für Entwicklungs- und Kriegsländer erschwinglichen Kosten produziert werden kann. Die hier vorgestellte Handprothese aus 3D-gedruckten Bauteilen und standardisierten Verbindungselementen kann die Greiffunktion der verlorenen Gliedmaße nur teilweise ersetzen, bringt dennoch Vorteile in vielerlei Hinsicht mit sich, welche sie für den Einsatz in infrastrukturschwachen Ländern qualifiziert. Somit ist die Handprothese in der Lage, die oben genannten Anforderungen an Unterstützungssysteme am Menschen in großem Maße zu erfüllen.

Um das prothetische System nach dem kostengünstigen, aber effektiven Lösungsansatz weiter zu entwickeln, sollen als nächstes umfangreiche Tests an der Handprothese durchgeführt werden. Hierbei sollen die Schwerpunkte einerseits auf der quantitativen Analyse der Funktionalität der Handprothese, andererseits auf der Untersuchung von mechanischen Eigenschaften der

3D-gedruckten Bauteile liegen. Des Weiteren ist geplant, die derzeit rein mechanisch betätigte Handprothese mit kostengünstigen mechatronischen Komponenten, wie z. B. mit einer Arduino-ähnlichen Open-Source-Steuerung und einer darauf basierenden EMG-Sensorik sowie kostengünstigen Servogetriebemotoren und mobilen Akku-Pack als Energiespeicher auszustatten, um eine myoelektrisch steuerbare Handprothese kostengünstig zu realisieren.

5 Literatur

- [1] SPECTARIS - Deutscher Industrieverband für optische, medizinische und mechatronische Technologien e. V.: Potenziale innovativer Medizintechnik - Innovative Medizintechnik mit verbesserter Kosten-Nutzen-Relation vor dem Hintergrund des demografischen Wandels, S. 59-65, 2013.
- [2] Raspovic, S.; Capogrosso, M.; Petrini, F. M.; Bonizzato, M.; Rigosa, J.; Di Pino, G.; Carpaneto, J.; Contozzi, M.; Boretius, T.; Fernandez, E.; Granata, G.; Oddo, C. M.; Citi, L.; Ciancio, A. L.; Cipriani, C.; Carrozza, M. C.; Jensen, W.; Guglielmelli, E.; Stieglitz, T.; Rossini, P. M. und Micera, S.: Restoring natural sensory feedback in real-time bidirectional hand prostheses. *Science Translational Medicine* 6, Nr. 222, S. 222ra19, 2014.
- [3] Ortiz-Catalan, M.; Bränemark, R.; Håkansson, B. und Delbeke, J.: On the viability of implantable electrodes for the natural control of artificial limbs: Review and discussion. *BioMedical Engineering OnLine* 11, S. 33, 2012.
- [4] Robohand: Customised, Fitted, Mechanical Fingers and Hands. <http://www.robohand.net/> (12.11.2014).
- [5] Gibbard, J.: The Open Hand Project. <http://www.openhandproject.org/> (13.11.2014).
- [6] Gebhardt, A.: 3D-Drucken: Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM). Carl Hanser Verlag, S. 48-50, 2014.
- [7] Horsch, F.: 3D-Druck für alle. Carl Hanser Verlag, S. 110-117, 2013.
- [8] Thingiverse: Robohand ABS download files for 3D printing a mechanical hand. <http://www.thingiverse.com/robohand/designs> (14.11.2014).
- [9] Inone-Kauffmann, E. R.: Polymilchsäure (PLA). Kunststoffe: Eigenschaften und Anwendungen, Hrsg.: Elsner, P.; Eyerer, P. und Hirth, T.: Springer VDI-Buch, S. 1277-1280, 2012.

Ein bio-inspirierter 3-Finger-Greifer mit Formgedächtnisaktorik

A Bio-Inspired SMA-Based 3-Finger-Gripper

F. Simone, P. Motzki, B. Holz, S. Seelecke

Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Unkonventionelle Aktorik
Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA) gGmbH
Gewerbepark Eschberger Weg, Gebäude 9, 66121 Saarbrücken
f.simone@mechatronikzentrum.de, p.motzki@mechatronikzentrum.de,
benedikt.holz@mmsl.uni-saarland.de, stefan.seelecke@mmsl.uni-saarland.de

Überblick

Durch die zunehmende Mensch-Maschine-Interaktion in der Robotik wird der Einsatz von flexiblen, anpassbaren und vor allem sicherheitsrelevanten Handhabungssystemen immer wichtiger. Erreicht wird dies, indem die Struktur eines Roboterarms in Leichtbautechnik konstruiert wird, um Trägheitsmassen zu minimieren und zusätzlich die Gelenke der Armmechanik elastisch ausführt werden. Die in dieser Veröffentlichung gezeigte Konstruktion beschreibt einen bio-inspirierten 3-Finger-Greifer, dessen Bewegung durch die Nutzung sogenannter Formgedächtnisaktoren realisiert wurde. Diese auch als „metallene Muskeln“ bezeichneten Aktoren besitzen von allen bekannten Aktormechanismen die höchste Energiedichte [1] und gestatten somit den Aufbau extrem leichtgewichtiger und dynamischer Systeme. Die Veröffentlichung beschreibt die Schritte von der Entwicklung zu der Aktorikauslegung mit Hilfe von Rapid-Prototyping bis zur experimentellen Untersuchung des Greifens.

Abstract

The increasing interest in Human-Machine-Interaction in the Robotic field demands the use of flexible, adaptable and safe handling systems. Thus, the implementation of elastic joints and light-weight construction of a robot arm structure are essential. The focus of this paper is the development, design and realization of a 3-fingers gripper actuated by Shape Memory Alloys (SMA). These “artificial muscles” actuators have an energy density higher than that of known actuators. The application of SMA wires allow the design of lightweight and dynamic systems. The paper describes the design, the manufacturing with rapid-prototyping, and the experimental results of the gripper.

1 Einleitung

Die Entwicklungen von industriellen Greifern und Handprothetik hat in den letzten Jahren zunehmend an Relevanz gewonnen. Grund dafür sind wachsende Anforderungen an die Manipulationsfähigkeiten sowohl in der Industrie als auch in der Biomedizin. Auf dem heutigen Weltmarkt sind vor allem elektrische und pneumatische Greifer verbreitet. Mit elektrisch angetriebenen Greifern können hohe Kräfte und Geschwindigkeiten realisiert werden, wodurch sie viel-

seitig einsetzbar sind [2]. Wichtige Entwicklungen auf diesem Gebiet sind z.B. die Touch Bionics „iLimb“ Prothesenhand (2009), „Bebionic“ von RSL Stepper (2011) und die von Otto Bock entwickelte „Michelangelo Hand“ (2012). Damit diese Technologie effektiv in Greifer- oder Prothesenanwendungen genutzt werden kann, sind komplexe Getriebe und Übersetzungs- systeme notwendig, um z.B. ausreichende Drehmomente zur Verfügung zu stellen. Die Herstellung und Montage solcher Elektromotoren ist sehr zeitaufwendig und kostenintensiv. Darüber hinaus erzeugen Elektromotoren unerwünschte Geräuschemissionen bis zu 50 dB [3].

Alternativ zu der elektrischen Lösung gibt es Greifer mit pneumatischen Aktoren. Diese haben einige Vorteile gegenüber den konventionellen elektrischen Greifern. Man benötigt keine komplexen mechanischen Systeme und es können höhere Kräfte generiert werden. Allerdings sind pneumatische Systeme generell ungeeignet für kleinere und mobile Anwendungen, da eine zentrale Druckluftversorgung benötigt wird. Diese Energieversorgung produziert hohe Geräuschemissionen und benötigt Ventile, Druckluftspeicher und Druckluftleitungen, die in zusätzlichem Bauraum, zusätzlichem Gewicht in der Konstruktion und einem erhöhten Fehlerpotential resultieren [3].

Um die Nachteile der elektrischen und der pneumatischen Lösungen zu umgehen, wird in dieser Veröffentlichung ein neues Aktorprinzip aus Formgedächtnisdrähten für den Einsatz in Greifern untersucht. Drähte aus einer thermischen Formgedächtnislegierung (FGL) sind Materialien, die bei einer bestimmten Temperatur eine Phasentransformation der Kristallstruktur erfahren (Abb. 1) [1].

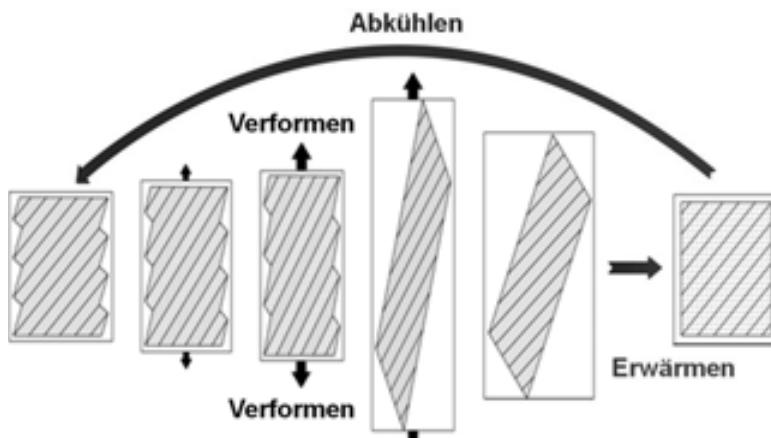


Abb. 1: Phasentransformationen in Formgedächtnislegierung als Resultat von mechanischer Spannung, Erwärmung und Abkühlung

FGL-Drähte sind kostengünstig und können einfach in mechanische Strukturen integriert werden, da kein Bauraum für aufwendige Übersetzungsmechanismen benötigt werden. Der Aktor stellt nur eine sehr geringe zusätzliche Masse in dem Greifer oder der Prothese dar. Aus diesem Grund wurden bereits einige FGL-basierte Handprothesen-Prototypen entwickelt, unter anderem vom Fraunhofer IWU in Dresden [4] und der Ethime University in Japan [5].

Die verschiedenen FGL-getriebenen Prothesen- und Greifer-Prototypen haben bisher den Nachteil zu geringer Kräfte in den Fingerspitzen und den einzelnen Fingergliedern. Außerdem sind sie durch konvektives Abkühlen in ihrer Frequenz stark begrenzt [5].

In dieser Veröffentlichung wird ein neues Design eines FGL-betriebenen, bio-inspirierten Greifers vorgestellt. Im Folgenden werden der Aufbau, die Montage des Prototyps und experimentelle Untersuchungen dieses Designs erläutert.

2 Greiferdesign

Die menschliche Hand ist ein sehr komplexes System mit 23 Freiheitsgraden (DOF). Bei einem Greifvorgang werden nicht alle dieser Freiheitsgerade benötigt. In diesem ersten Prototypen wurden 6 der 23 Freiheitsgrade realisiert. Insgesamt wurden 3 Finger einer Hand mit jeweils zwei beweglichen Fingergliedern aufgebaut.

Der erste Abschnitt dieses Kapitels behandelt das Design, den Aufbau und die Montage der einzelnen Finger. Anschließend wird die Integration der einzelnen Finger in den finalen Prototypen beschrieben.

2.1 Design der FGL-betriebenen Finger

Bei dem Design der Finger wurde die menschliche Fingerstruktur als Vorbild genommen. Die Fingerstruktur ist in vier Bereiche unterteilt (Abb. 2).



Abb. 2: CAD Modell des FGL-Fingers

Die Dimensionen der einzelnen Fingerglieder orientieren sich an den Durchschnittswerten für menschliche Finger. Aus funktionellen Gründen werden Teile des Handgelenks in der Gesamtlänge des Prototyps berücksichtigt. Die einzelnen Fingerglieder sind über Scharniere (1 DOF) miteinander verbunden. Der Finger wurde so konstruiert, dass er leicht aber dennoch stabil gegenüber Deformationen beim Beugen der Finger ist.

Der Prototyp wurde in SolidWorks konstruiert und mit Hilfe von Rapid-Prototyping aufgebaut. Genutzt wurde ein Multimaterial 3D-Drucker Objet Connex 500, mit dem auch kleine Teile mit genauer Auflösung in kurzer Zeit hergestellt werden können. So wurde eine sehr leichte und stabile Fingerstruktur realisiert.

Die Bewegung der menschlichen Finger wird durch Kontraktion von Muskeln im Arm ermöglicht. Diese Muskeln sind über robuste Sehnen mit den Knochen der Finger verbunden [6]. Ähnlich einer Muskelkontraktion erzeugen FGL-Drähte eine starke Kontraktion, wenn sie durch elektrisches Erhitzen aktiviert werden. Die Drähte wurden in das Innere der Fingerstruktur eingefügt und mit den einzelnen Fingergliedern verbunden. Sie sind in der Konstruktion

durch 0,5 mm Bohrungen geführt und so in einer Protagonist-Antagonist-Konfiguration eingebaut, dass sowohl das Beugen als auch das Strecken der Finger ermöglicht wurde (Abb. 3). Die Befestigungspunkte der verwendeten FGL-Drähte wurden durch eine kinematische Analyse dergestalt bestimmt, dass sich ein maximaler Gelenkbiegewinkel von 90° bei einer Materialdehnung von 3,5% ergibt. Diese wurde bewusst kleiner als die für NiTi-Drähte mögliche Dehnung von 4,5% gewählt um einen dauerfesten Betrieb zu gewährleisten.

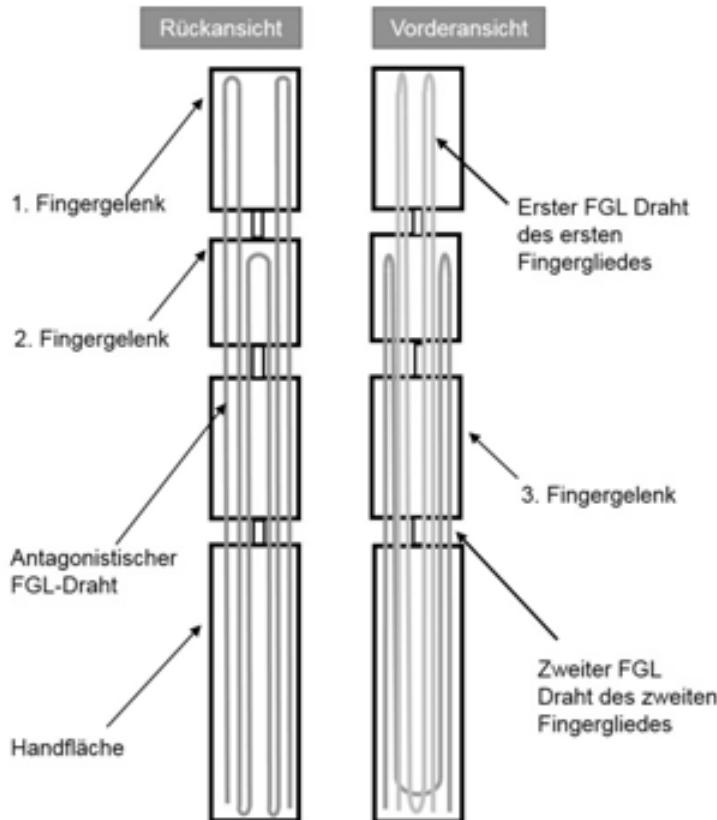


Abb. 3: Protagonist-Antagonist-Konfiguration der FGL-Finger. Rechts die Protagonisten-Drähte in gelb und grün auf der Vorderseite des Fingers. Links der Antagonisten-Draht in blau auf der Rückseite des Fingers.

Die Protagonisten-Drähte werden auf der Innenseite des Fingers eingebaut, sodass die gewünschte Begebewegung realisiert wird. Bei Aktivierung des Drahtes auf der Fingernagelseite (Antagonisten-Draht) kann eine komplette Streckung des Fingers erreicht werden. Auf der Innenseite werden zwei unabhängige Drähte verwendet, um die ersten beiden Fingerglieder unabhängig voneinander bewegen zu können (gelb und grün in Abb. 3). Aus diesem Grund ist der erste FGL Draht (gelb) mit dem ersten Fingerglied und der zweite Draht (grün) mit dem zweiten Fingerglied verbunden. Der erste Draht steuert somit die Beugungsbewegung im obersten Gelenk, der zweite Draht die Beugung des mittleren Gelenkes.

Die Herausforderung an die Konstruktion ist es, die gegebene Kontraktion der FGL-Drähte von ca. 3 % in die gewünschte Rotationsbewegung umzuwandeln und trotzdem ein ausreichendes Drehmoment zu erhalten. Entscheidend dabei ist der Abstand der Drahtführung zu dem Drehpunkt des jeweiligen Gelenkes. Da die Aktorik eines FGL Drahtes thermisch aktiviert und deaktiviert wird, sind Aktoren mit relativ starken Drähten langsam. Zur Rückstellung der Drähte muss die Phasenumwandlungstemperatur unterschritten werden, der Draht also abkühlen.

Um längere Abkühlphasen zu vermeiden, wurde in diesem Aufbau ein Drahtdurchmesser von 100 µm Flexinol® SMA Drähten der Firma Dynalloy, Inc. [7] gewählt. Um dennoch eine hohe Kraft erzeugen zu können, wurde der Draht in dem Finger mehrfach bis in die Spitze und zurück geführt und arbeitet somit mechanisch parallel. Zur Aktivierung des Drahtes ist ein elektrischer Kontakt am Anfangs- und Endpunkt des Drahtes realisiert. Somit kann die Bewegung der Fingerglieder elektrisch gesteuert und auch geregelt werden.

2.2 Design des 3-Finger-Greifers

Der FGL bio-inspirierte Greifer besteht aus drei Fingern, einem zweiteiligen Gehäuse und einem Sockel (Abb. 4). Dieser modulare Aufbau erlaubt ein schnelles Austauschen einzelner Komponenten. Wie bei der menschlichen Hand hat der Daumen bei dem 3-Finger-Greifer ein Fingerglied weniger [6]. Im Gegensatz zum Zeige- und Mittelfinger steht der Daumen in ausgestrecktem Zustand in einem 45° Winkel zur Vertikalen. Auch diese Konfiguration ist an der menschlichen Hand orientiert und ermöglicht das Greifen größerer Objekte. Ringfinger und kleiner Finger wurden zusätzlich in das Gehäuse funktionslos integriert, um dem Prototypen das Aussehen einer menschlichen Hand zu geben.

Die Elektronik zur Ansteuerung der FGL-Drähte befindet sich im unteren Teil des Gehäuses. Der Greifer kann somit an einen Roboterarm oder eine Prothese montiert werden.

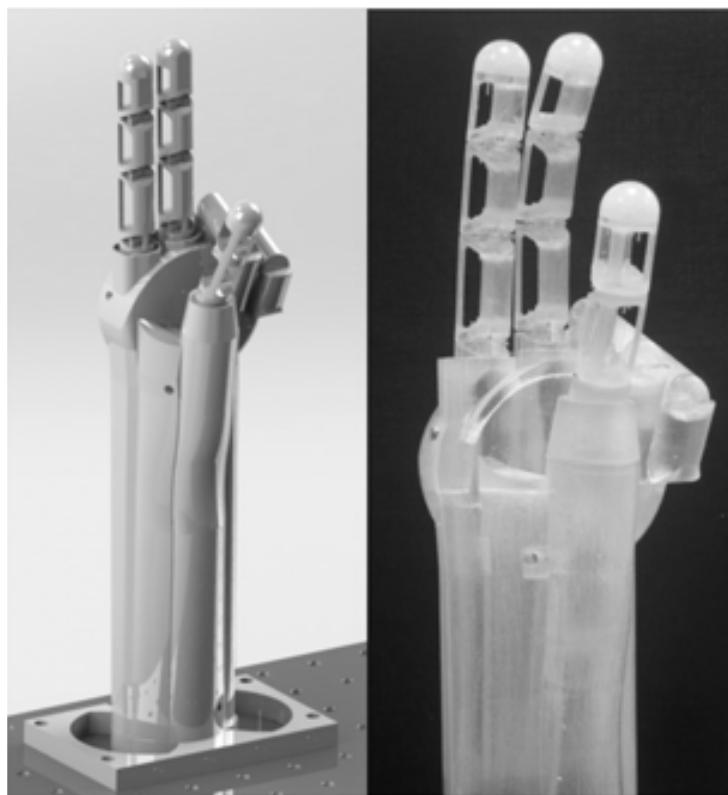


Abb. 4: CAD Modell des 3-Finger-Greifers (links) und Prototyp (rechts)

3 FGL-Greifer Performance

Der bio-inspirierten Greifer wurden mit einer Spannungsquelle angesteuert. Zur Anpassung des Ansteuerstromes wurden den Drähten Widerstände vorgeschaltet. In Abb. 5 sind verschiedene Greiferkonfigurationen dargestellt. Die obere Zeile zeigt die Bewegung des Mittelfingers, die untere Zeile die Daumenkinematik. Links sind alle Finger vollständig gestreckt. In dieser Konfiguration sind in allen Fingern nur die antagonistischen Drähte aktiviert. Im zweiten Bild von links sind das erste Fingerglied von Daumen und Mittelfinger gebeugt. Dazu werden nur die protagonistischen Drähte der obersten Fingerglieder aktiviert. Analog dazu zeigt das dritte Bild von links die Beugebewegung des zweiten Fingerglieds. Rechts ist die komplette Beugung des Fingers dargestellt. In diesem Fall sind beide Protagonisten-Drähte aktiviert. Das unabhängige Ansteuern der einzelnen Finger und Gelenke ermöglicht somit das Greifen von Objekten mit großer geometrischer Vielfalt.

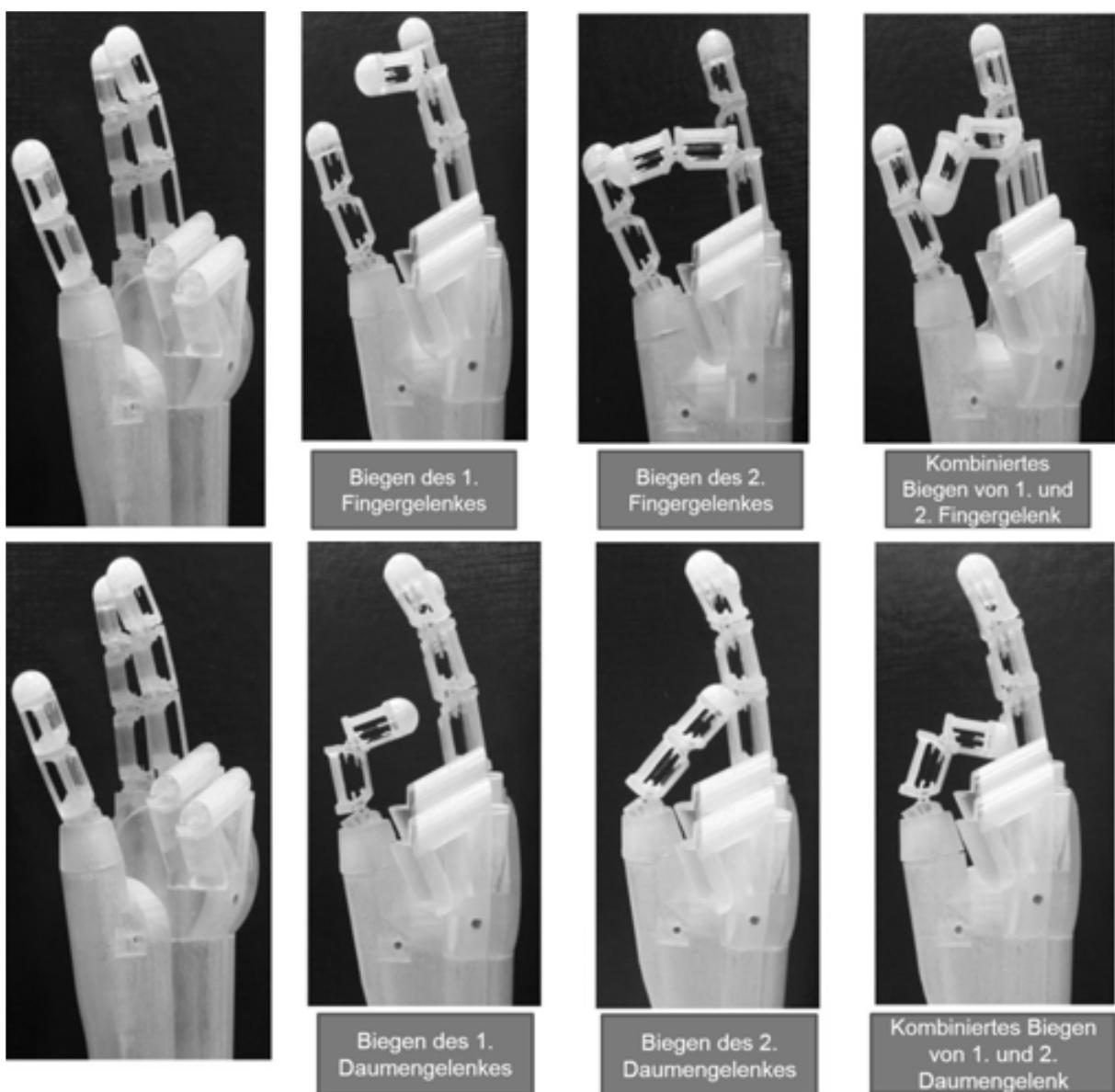


Abb. 5: Verschiedene Konfigurationen des 3-Finger-Greifers

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines neuartigen biometrischen Prothesen-Greifers indem die biologische Struktur der menschlichen Hand und ihr Muskel-Sehnen Aufbau nachgebildet wird. In einem neu entwickelten Prototypen wurden Drähte aus Formgedächtnislegierung (FGL) in einer Protagonist-Antagonist Muskel Konfiguration eingesetzt, um sowohl die Beugebewegung als auch das Strecken der Finger zu realisieren. Eine gezielte Auslegung und Anordnung der Drähte gewährleistet sowohl eine starke, als auch schnelle Greifbewegung. Der Prototyp zeigt, wie durch den Einsatz der FGL-Technologie eine vielseitige, leichte und robuste Greiferhand kostengünstig aufgebaut werden kann. Denkbare Anwendungsfelder sind die Prothesentechnik im Bereich der Biomedizin und die Greifer- und Handhabungstechnik in der Produktionstechnik.

In weiterführenden Arbeiten wird die Fingerkinematik mit Hilfe von FEM Simulation optimiert werden. Zusätzlich werden den Fingern weitere Freiheitsgrade in Form von Abduktions- und Adduktionsbewegungen hinzugefügt werden, um dem Vorbild der menschlichen Hand noch einen Schritt näher zu kommen.

Es wird erwartet, dass in Zukunft neuartige, leichtgewichtige Prothesensysteme auf Basis der hier vorgestellten Lösung entwickelt werden können, die dem Patienten einen deutlich gesteigerten Tragekomfort bei erhöhter Funktionalität vermitteln. Weiterhin können FGL-basierte Hände speziell in Mensch/Maschine Umgebungen erfolgreich eingesetzt werden, da sie ein inhärent weiches Verhalten („Soft Robotics“) zeigen, welches im Falle einer Fehlfunktion die Gefahr für Verletzungen minimieren kann.

5 Literatur

- [1] Hollerbach, J. M. ; Hunter, I. und Ballantyne, J.: A comparative analysis of actuator technologies for robotics. *Robot. Rev.* 2, B. 2 , S. 299-342, 1991.
- [2] Belter, J. T. ; Segil, J. L. ; Dollar, A. M. und Weir, R. F.: Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: a review. *J. Rehabil. Res. Dev.* B. 50, S. 599-618, 2013.
- [3] O’Toole, K.: A methodology towards comprehensive evaluation of shape memory alloy actuators for prosthetic finger design. Doktorarbeit, University of Dublin, 2011.
- [4] Jung, J.: Aufbau eines Greifmechanismus mit FGL-Drahtaktoren. Diplomarbeit, Fraunhofer-Institut Dresden 2009.
- [5] Lee, J. H. ; Okamoto, S. und Matsubara, S.: Development of Multi-Fingered Prosthetic Hand Using Shape Memory Alloy Type Artificial Muscle. *Comput. Technol. Appl.* 3, B. 3, S. 477-484. 2012.
- [6] Tubiana, R.; Thomine, J.-M.; Mackin, E.: *Examination of the Hand and the Wrist*. Informa Healthcare 1998.
- [7] Dynalloy: Technical Characteristics of FLEXINOL ® Actuator Wires. <http://www.dynalloy.com/TechDataWire.php>.

AMEE: Ein Roboterhund mit kognitiven Fähigkeiten

J. Ruhnke, B. Bettzüche

HAW-Hamburg, Fakultät TI, Department Informatik

Berliner Tor 7, 20099 Hamburg

jan.ruhnke@haw-hamburg.de, björn.bettzüche@haw-hamburg.de

Kurzzusammenfassung

Vorgestellt wird ein autonomer, geländefähiger, vierbeiniger Roboter, der gefährliche Umgebungen erkunden soll. Der Schwerpunkt liegt - im Gegensatz zu führenden wissenschaftlichen Arbeiten aus dem „Learning-Locomotion-Program“ [1] - in der adaptiven Stabilitätskontrolle, die gestützt durch kognitive Fähigkeiten bezüglich Umgebungswahrnehmung und -beurteilung die Maschine befähigt, in unterschiedlichsten Geländeformationen zu agieren. Basis ist eine verteilte Soft- und Hardwarearchitektur, die reaktives und planendes Handeln entkoppelt und um eine KI-Schicht erweitert wurde. Ausgehend von diesen Arbeiten soll dieser Roboter zu einem Real World Companion [2] mit der Arbeitsmetapher eines Führhundes konvertiert werden, hierzu führen wir erste Experimente zum Themenbereich „How-to-Talk-to-a-Robot“ durch.

Abstract

AMEE: cognitive robotic dog

We present an autonomous quadruped rough-terrain robot to explore hazardous areas. In contrast to leading scientific works from the "Learning Locomotion Program" [1] our focus lies on the adaptive stability control, supported by cognitive skills in perception and estimation of the ground, enabling the machine to operate in diverse environments. The controller is based on a distributed software and hardware architecture with an additional AI layer, which decouples reactive and planning actions. Starting from this work, we plan to convert the objective to Real World Companions [2] with the metaphor of guide dogs and the question of "how-to-talk-to-a-robot".

1 Einleitung

Aus der Sicht der Informatik sind technische Unterstützungssysteme wie Körperapplikatoren [3] eine interessante Herausforderung, da diese Systeme teilweise die Fragestellungen von autonomen Robotern aufweisen. Werden Körperapplikatoren als Unterstützungssystem zur Steigerung der Körperfunktion eingesetzt, muss dieses System den Menschen auch vor Verletzungen schützen können. Dies gliedert sich in zwei unterschiedliche Ebenen. Erstens, die richtige Erkennung von menschlichen Reflexen und die Unterscheidung von beabsichtigten Bewegungen. Erfolgt beispielweise der Niesreflex beim Träger eines körperfunktionsteigernden Armunterstützungssystems, würde der Träger sich wahrscheinlich schwer verletzen. Aus dem Reflex heraus wird der Träger versuchen die mechanische Hand vor sein Gesicht zu halten. Um dies zu ver-

hindern, könnten die Freiheitsgrade soweit eingeschränkt werden, dass eine Berührung des Gesichts unmöglich ist. Dies hätte aber auch zur Folge, dass mit diesem Unterstützungssystem keine Arbeiten möglich sind, die direkt am Kopf des Trägers vorbeiführen. Die zweite Betrachtungsebene ist die vorausschauende Vermeidung von Unfällen. Werden beispielweise die Beine eines Trägers unterstützt wäre es wünschenswert, dass das System auch Fehlritte erkennt und verweigert. Dies gilt besonders für ein Unterstützungssystem als Gehhilfe. Das System muss ständig die Umwelt erfassen und kinematisch stabile Trittpositionen berechnen. In beiden Fällen kann es vorkommen, dass eine Maschine Entscheidungen treffen muss, um den Menschen vor Schaden zu bewahren. Hierfür müssen diese Systeme eine gewisse „Intelligenz“ haben und in Echtzeit die Handlungen des Menschen interpretieren und angemessen reagieren. Für eine Maschine sind aber die Handlungen des Menschen zunächst größtenteils unberechenbar jedoch erlernbar. Dies bedeutet auch, dass das System nicht berechenbare Abläufe bewältigen und auf unvorhergesehene Bedingungen schnell reagieren muss. Oft sind diese Bedingungen derart komplex und zeitkritisch, dass das Konzept „Erfassen – Planen – Handeln“ nicht mehr ausreicht. Die Aufgabe ist zu vielschichtig für einen einfachen Regelalgorithmus und es bleibt nicht genügend Zeit, um ein komplexeres Verfahren zu verwenden. Bei vielen mechatronischen Systemen ist zu beobachten, dass diese Situationen – nach einer längeren unproblematischen Phase – spontan eintritt. Eine Lösung ist es, die wahrscheinlichsten Bedingungen, die auf das System in der Zukunft einwirken könnten, im Voraus zu berechnen (hybrides System).

Für einen autonomen Roboter ist das Laufen auf unebenem Boden ein ähnliches Problem. In Bezug auf das Konferenzthema werden kurz der technische Aufwand und die Probleme angeschnitten, die sich bei einem „simplen Waldspaziergang“ ergeben und vielleicht auch bei einem Human Hybrid Robot [3] genutzt werden könnten. Dafür werden einige Verfahren [4] [5] vorgestellt, die es einem Roboter ermöglichen autonom im Gelände zu laufen und zukünftig auch zu steigen. Für diese Aufgabe wird ein hybrides System mit einer dreischichtigen Architektur genutzt. Diese Architektur ermöglicht es dem System, neben dem reaktiven Laufsystem zusätzlich mehrere Schrittalternativen im Voraus zu planen. Im Ausblick werden eine kurze Vision für das Projekt AMEE und einige Experimente vorgestellt.

1.1 Versuchsaufbau - der Roboter

Die Basis für die Versuche bildet ein vierbeiniger Roboter (AMEE-XW2*), der in unebenem Gelände laufen kann und zur Klasse der Quadruped Rough Terrain Robots (QRTRs) gehört. Aus Ermangelung einer geeigneten Testplattform wurde der Roboter AMEE-XW2 im studentischen Projekt AMEE konstruiert und gefertigt. Der Roboter verfügt über 16 Freiheitsgrade in den Beinen und wiegt ca. 80kg bei einer Länge von 1,1m mit einer nominalen Nutzlast von ca. 40 kg. Er ist ein pseudodynamischer Läufer, der durch die großen Auflageflächen der Füße einen relativ großen „kippstabilen“ Bereich aufweist. Im Gegensatz zu anderen QRTRs benötigt der Roboter dadurch aktiv bewegliche Fußgelenke. Der Roboter wurde möglichst kostengünstig gefertigt und es wurden vorrangig Automobilbauteile eingesetzt. Die interne Rechenleistung wird über insgesamt 16 logische Rechenkerne (2x Intel® i7-4770T) und fünf Subprozessoren (ATMEL® UC3-0) zur Verfügung gestellt. Zur Umwelterfassung verwendet der Roboter vorerst den Tiefenbildsensor *Kinect V2 for Windows®*. Neben den Winkel- und Drehmomentsensoren in den Gelenken verfügt der Roboter über insgesamt 16 Drucksensoren in den Füßen.

*Autonomous Mapping, Exploration and Evasion - Experimental Walker, Version 1.2, gesprochen englisch „Amy“ [eimi].

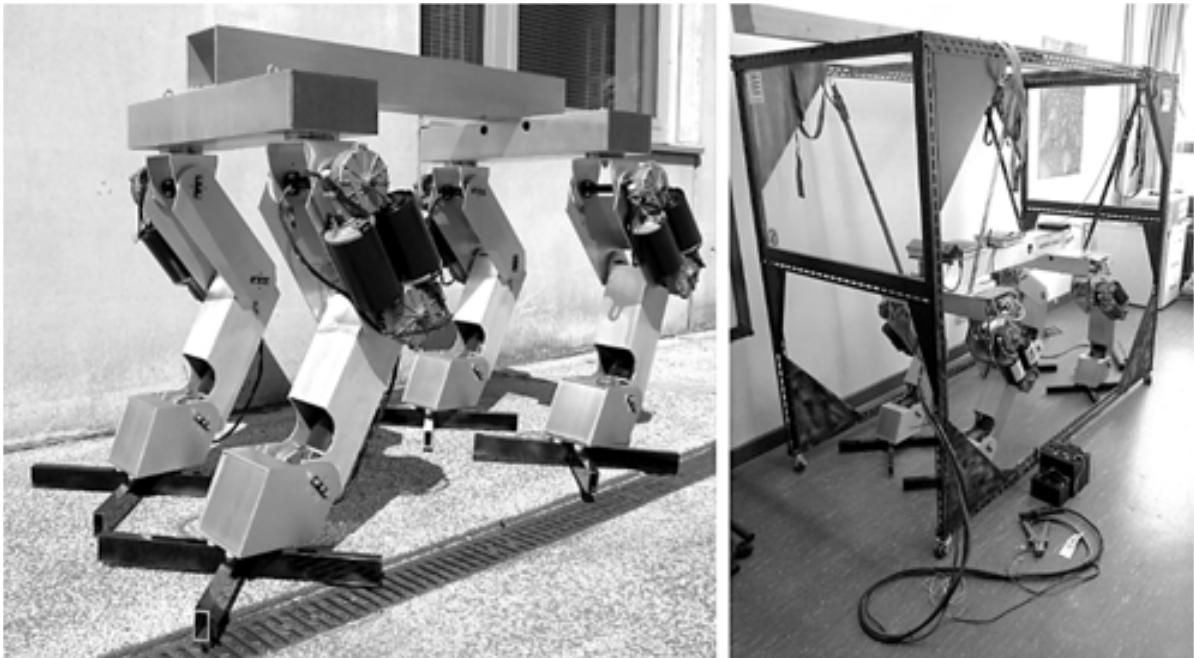


Abb. 1: Roboter „AMEE-XW2“

1.2 Problemstellung

Im Gegensatz zu Fahrzeugen können laufende Roboter über Absätze und Lücken im Untergrund steigen. Ein Vorteil, der allerdings durch eine komplexere Softwarearchitektur erkauft wird. Der Roboter muss das Gleichgewicht halten und trotzdem möglichst effiziente Schritte ausführen. Im Gelände resultiert dies in einer Suchaufgabe nach optimalen und kinematisch stabilen Trittpositionen, die untereinander und in ihrer Abfolge voneinander abhängig sind. Damit der Roboter sicher laufen und stehen kann, bleibt dem System ein Zeitfenster von circa. 500ms (Popovic, Herr, & Hofmann, Angular Momentum Regulation during Human Walking: Biomechanics and Control, 2004), in der die Bewegung geplant und mechanisch ausgeführt sein muss. Zudem sind Fehltritte bei QRTRs nicht zu vermeiden, da beispielweise der Sichtschatten im Gelände nur eine unvollständige Umweltwahrnehmung erlaubt. Auch rutschende Füße sind bezüglich der Odometriegenauigkeit und Stabilität der Maschine ebenfalls problematisch.

Um auch diese unvermeidlichen Fehltritten bewältigen zu können, verwenden seriennahe QRTRs (z.B. BigDog Boston Dynamics®) eine hybride Kontrollerarchitektur. Dabei werden möglichst viele Trittpositionen und Bewegungen im Voraus geplant und simuliert auf kinematische Stabilität getestet. Der reaktive Teil des Systems ruft dann eine optimale, geplante Pose aus der planenden Schicht ab. Erfolgt ein Fehltritt, ruft der reaktive Teil eine alternative, suboptimale Pose ab und kann damit schneller reagieren, da dieses Fehlerfallverhalten schon im Voraus berechnet wurde. Die Software im Roboter AMEE baut auf der Idee des hybriden Zweischichtensystems auf und erweitert diese. Zum einen wird die unterste, reaktive Schicht derart erweitert, dass die zeitkritischen Aktionen in physikalisch getrennte Hardware gekapselt werden. Das hybride System wurde mit einer zusätzlichen KI-Schicht erweitert, die die adaptive Planung durch ein lernendes System unterstützt.

2 Andere Arbeiten

Bei der zugrundeliegenden Literaturrecherche ergab sich eine Tendenz zu den wissenschaftlichen Arbeiten aus dem „Learning-Locomotion“ Programm [1] der DARPA. Die Software im Roboter AMEE-XW2 basiert zu großen Teilen auf den Veröffentlichungen aus diesem Programm.

Eine hybride dreischichtige Architektur wird in der Arbeit von Kolter, Rodgers und Andrew vorgestellt [7]. Sie besteht aus einem High-Level Planner, welcher Schritte in der erfassten Umwelt plant, einem Low-Level Planner, der diese Planung in Einzelbewegungen auflöst und einem Low-Level Controller, der diese Planung verwendet und sie überwacht mit der Mechanik ausführt. Rebula, Neuhaus, Bonnlander, Johnson und Pratt [8] stellen eine weitere hybride Architektur vor, bei denen das System auf effizienten Automaten basiert. Die Arbeit von Adukuhiyil, Singh und Vantimitta [9] nutzt ein Maschinenlernverfahren, bei dem der Roboter auf markante Geländeformationen trainiert wurde und dieses gelernte Wissen in unbekanntem Gelände anwenden kann.

3 Systemarchitektur AMEE-XW2

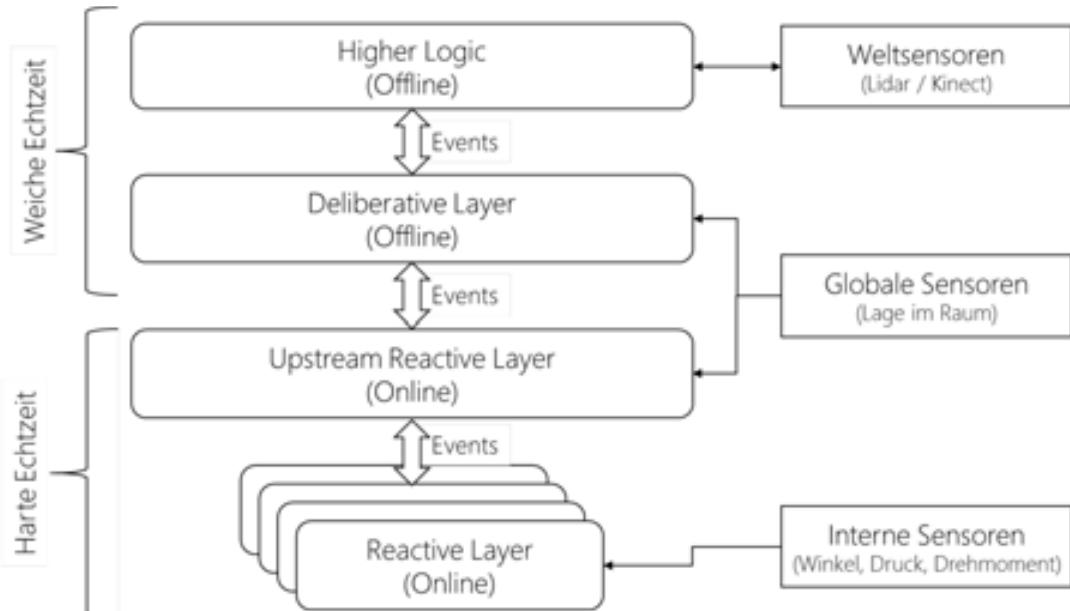


Abb. 2: Architekturübersicht

Das hybride System (Abb. 2) besteht aus drei Schichten und entkoppelt reaktive von planenden Komponenten. Zudem wird damit auch eine Trennung nach Zeitanforderungen und Sensordaten möglich.

Die KI-Schicht (Higher Logic Layer) beinhaltet zurzeit die Umweltabstraktion und ein Verfahren zum maschinellen Lernen. Diese Schicht kann nicht auf die Mechanik des Roboters zugreifen (Offline) und verarbeitet die Umwelteinflüsse, die auf das System von außen einwirken derart, dass eine Trittgüte der Bodenbeschaffenheit durch haptisches Feedback erlernt wird.

Die planende Schicht (Deliberative Layer) enthält die eigentliche Bewegungsplanung. Hier findet die Bewertung der Umweltdaten und Prüfung dieser mittels heuristischer Verfahren statt, wobei die Bewertung auf einem Experten-System in Kombination mit einem erfahrungsbasierten Lernverfahren beruht.

Die vorgelagerte reaktive Schicht (Upstream Reactive Layer) koordiniert die Abläufe in den Beinen und beauftragt die physikalisch gekapselten Beinkontroller mit abstrakten Zielvorgaben für die Beine. Zudem wird hier die Stabilität des Roboters kontrolliert und reagiert, wenn die geplante Aktion nicht wie erwartet verläuft.

Jedes Bein enthält seine eigene reaktive Schicht (Reactive Layer). Diese nebenläufigen Schichten lösen die Zielvorgaben in Einzelbewegungen auf und koordinieren die Antriebe innerhalb des jeweiligen Beines.

3.1 Umweltabstraktionen

Eine wesentliche Anforderung an ein Umweltmodell für Laufsysteme ist die schnelle und einfache Verarbeitbarkeit des Datenmodells. Zudem muss das gewählte Modell auch das bekannte Wissen (z.B. physikalische Zusammenhänge) abbilden können. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit und die Genauigkeit müssen Abhängig von System und Aufgabe gegeneinander abgewogen werden.

Im Roboter AMEE-XW2 wird die Umwelt mit einer Kinect® V2 erfasst und als $4,5\text{m}^3$ große Punktwolke mit 217.000 Messpunkten abgebildet. Im ersten Schritt wird diese Punktwolke in gleichgroße Subpunktewolken aufgeteilt, die der Größe eines Roboterfußes entsprechen. Jede Subpunktewolke wird mit einer Variante des *RANSAC-Plane* Verfahrens auf Flächen untersucht. Für das Laufsystem besteht die Umwelt nur noch aus potenziellen Trittpositionen, was als *Kachelwelt* bezeichnet wird.

3.2 KI-Schicht (Higher Logic Layer)

Die Architektur berücksichtigt auch Zeitanforderungen, da der Roboter sich von einer kinematisch stabilen Pose zur nächsten bewegt. Verzögert sich in dieser Schicht eine Berechnung, wird der flüssige Bewegungsablauf zwar gestört, aber der stabile Stand des Roboters ist nicht gefährdet.

In dieser Betrachtung befinden sich in der KI-Schicht Verfahren zur Umweltabstraktion und ein *Reinforcement-Learning* (RL) Verfahren. Das RL-Verfahren verarbeitet hier seine Daten und verknüpft die reale Rückmeldung der Beine (Druck auf den Füßen und Drehmoment in den Beinen) mit der Repräsentation in der Punktwolke und nutzt dabei die Metainformationen (z.B. Streuung) des RANSAC-Plane Verfahrens. Die Umweltabstraktion übergibt die gefundenen Flächen aus der erfassten Punktwolke an die darunterliegende planende Schicht.

3.3 Planende Schicht (Deliberative Layer)

Das folgende Verfahren besteht aus einfachen Einzelverfahren mit dem Schwerpunkt in der schnellen Verarbeitung. Die Planung besteht aus einem mehrstufigen Verfahren (Abb. 3), bei dem erst die möglichen Laufrichtungen bestimmt werden und danach, mit einer höheren Auflösung der Kachelwelt, exakte Trittpositionen gesucht und bewertet werden. In jedem Planungszyklus werden mehrere Alternativen einer Schrittfolge und deren Bewegungsablauf im Voraus berechnet. Das Resultat ist eine sortierte Liste mit optimalen und kinematisch stabilen Roboterposen bzw. Bewegungsabläufen. Da eine Langstreckenpfadplanung (mehr als 5 Schritte) in einer bewaldeten Umgebung sehr komplex ist, verzichtet der Roboter in diesem Entwicklungsstadium darauf. Aus diesem Grund werden zurzeit nur eine gewünschte Himmelsrichtung und eine Entfernung übergeben.

Laufrichtungsentscheidung:

Nach jedem Schritt wird nach einem Bewertungskalkül die Kachelwelt in eine Umweltmatrix überführt. In einer ersten Stufe wird die Erreichbarkeit durch die Beine untersucht. Das Bewertungsintervall reicht von 0 (schlecht) bis 1,0 (sehr gut). Dabei beschreibt der Wert 0 eine Kachel, die entweder zu hoch oder zu niedrig ist, um vom Roboterfuß erreicht zu werden, beziehungsweise die Abwesenheit einer Fläche im entsprechenden Subwürfel. Der Wert 1,0 beschreibt eine Kachel, die sich auf gleicher Höhe zum Roboterfuß befindet. Eine Kachel mit dem Wert 0,01 beschreibt den maximalen Höhenunterschied, der von den Beinen erreicht werden kann. In einem zweiten Durchlauf werden alle

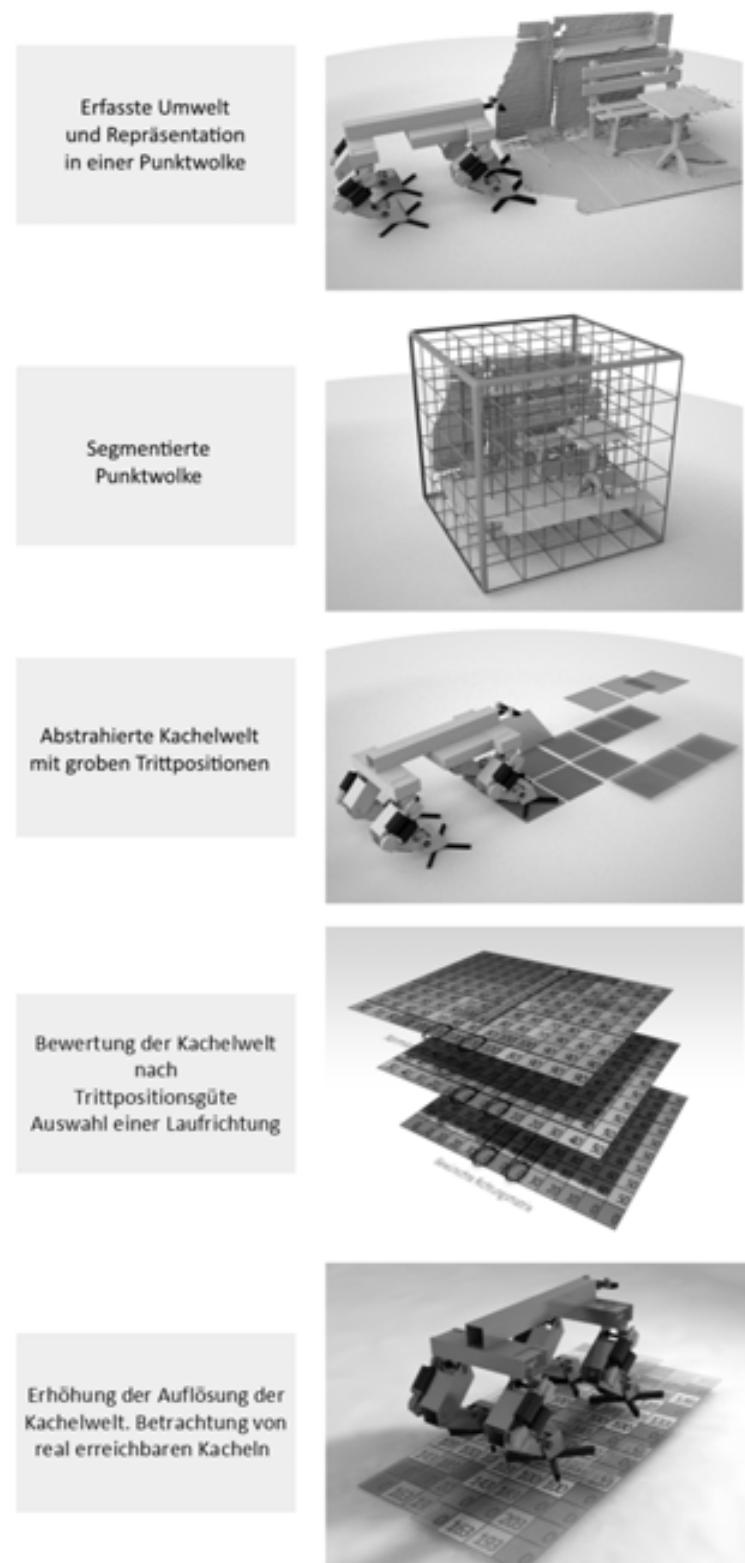


Abb. 3: Ablauf der Planung

positiven Kachelkandidaten auf null gesetzt, die eine Neigung von mehr als 20 Winkelgrad haben. Zudem erfolgt eine Prüfung auf Kopf- und Schulterfreiheit.

Um das gewünschte Verhalten möglichst einfach zu modellieren, werden gleichgroße Matrizen angelegt, die beispielweise die Laufrichtung enthalten. Soll der Roboter beispielsweise geradeaus laufen, enthält die sogenannte Laufrichtungsmatrix einen geradlinigen Pfad von Gewichtungselementen, die mit dem Maximalwert 1,0 bewertet sind und zu den Seiten des Pfades bis auf 0 abfallen, sodass die Zielrichtung in der Planung bevorzugt wird. Eine weitere Matrix beschreibt die Entfernung zum Ziel und bewertet entfernte Kacheln höher, damit der Roboter sich einem Hindernis annähert und nicht sofort ausweicht. Die letzte Matrix enthält die Beurteilung jeder Kachel durch das RL-Verfahren und beschreibt das gelernte Wissen über die Trittqualität einer Kachel, die unter anderem implizit die Wahrscheinlichkeit abzurutschen berücksichtigt. Die Summe der gewichteten Matrizen abstrahiert die Umwelt zu einer Art Kostenkarte nach der „Güte“ und enthält das modellierte und gelernte Wissen. Anhand dieser Resultatmatrix wird die optimale und begehbarer Laufrichtung gesucht.

Durch eine Gewichtung der Einzelmatrizen kann das Verhalten der Richtungsentscheidung modifiziert werden. Wird beispielsweise die Umweltmatrix höher gewichtet, bevorzugt der Roboter flaches Gelände und weicht Unebenheiten aus. Bei der Gewichtung wird mit festen Werten und einem neuronalen Netz experimentiert.

Da der komplette Ablauf nach jedem Schritt ausgeführt wird, reicht es aus, nur geradlinige Pfade von den Füßen bis zum Rand der Resultatmatrix zu betrachten. Es ist nicht mehr nötig die komplette Nachbarschaft jeder Kachel zu untersuchen. Die entstandenen, geradlinigen Pfade werden auf „lange Löcher“ untersucht, bei denen die Tiefe mechanisch nicht überschritten werden kann. Zum Abschluss der Richtungsentscheidung werden alle verbleibenden Kacheln auf einem Pfad summiert. Diese Werte beschreiben absteigend die optimal begehbarer Pfade durch die Kachelwelt. Diese Pfade werden an die Trittpositionsplanung übergeben.

Trittpositionsplanung: In der Trittpositionsplanung wird die Auflösung der Kachelwelt erhöht und es werden nur noch Kacheln betrachtet, die von den Beinen real erreichbar sind und in Laufrichtung liegen. Die Kachelgröße wird auf 20cm² halbiert und für jedes Bein wird eine 4x6 Umweltmatrix angelegt. Die Umweltmatrix wird wie in der Laufrichtungsentscheidung erneut bewertet. Zudem werden auch die Reichweiten-, Richtungs- und Haftungsmatrix angelegt und wie vorher summiert. Dadurch erhält jedes Bein eine sortierte Liste von optimalen Trittpositionen. Die ermittelten Trittpositionen werden an die Stabilitätsplanung übergeben.

Stabilitätsplanung: Die bis jetzt ermittelten Trittpositionen sind für die Roboterbeine zwar optimal erreichbar, wurden aber noch nicht auf die Masseschwerpunktstabilität des Roboters getestet. Erst die Kombination von mindestens zwei oder drei Füßen auf dem Boden ergibt eine stabile Pose. Zudem muss auch der kinematische Übergang zur Zielpose auf Stabilität geprüft werden, insbesondere da die Hauptmasse konstruktionsbedingt in den Beinen des Roboters liegt und deren Bewegung somit großen Einfluss auf den Schwerpunkt haben. Hierfür erfolgt eine A* Tiefensuche nach stabilen Gliederposen.

Für jedes Bein, beginnend mit der ersten Position aus der priorisierten Liste der Trittpositionsplanung, wird iterativ für die resultierende Pose der Masseschwerpunkt des Roboters berechnet, der sich aus den vorausberechneten Gliederschwerpunkten ergibt. Danach wird das Stützpolygon über die Auflageflächen der geplanten Fußpositionen aufgespannt. Schneidet der Vektor von Masseschwerpunkt und Erdanziehung das Stützpolygon, ist die Pose schwerpunktstabil

und es folgt die virtuelle Prüfung der Bewegung von der aktuellen Gliederpose bis zur geplanten Pose. Im positiven Fall werden die Trittpositionen an die reaktive Schicht übergeben. Ist die geplante Gliederpose hingegen nicht Schwerpunktstabil, wird iterativ eine andere Trittposition aus einer der übergebenen Trittpositionslisten geprüft. Nach vier gefundenen Gliederposen bricht die Suche ab. Bedingt durch die Bewertung der Trittpositionen ist in 80% der Suchen, die erste Suche bereits erfolgreich. Wird keine Gliederpose gefunden, wird aus der Laufrichtungsentscheidung ein anderer Pfad abgerufen und die Suche beginnt erneut.

Obwohl die gesamte Ablaufkette in der Planung aufwendig erscheint, benötigt das Verfahren inklusive Umweltabstraktion weniger als eine Sekunde für einen kompletten Durchlauf. Eine erste Trittposition liegt nach ca. 500ms vor. Bedingt durch die Kachelwelt kann fast das komplette Verfahren parallelisiert werden. Da die Kacheln nur an wenigen Punkten voneinander abhängig sind, skaliert das Verfahren über die Anzahl der Prozessoren. Auch die Tiefensuche untersucht nebenläufig mehrere unterschiedliche Gliederposen. Das Ergebnis der Planung ist eine Liste mit effizienten und schwerpunktstabilen Posen bzw. Trittpositionen. Diese Liste wird für den reaktiven Teil des Systems ständig angepasst und hält auch alternative Gliederposen bereit.

3.4 Reaktive Schichten (Upstream Reactive Layer & Reactive Layer)

Die reaktive Schicht führt die geplanten Bewegungsabläufe und Trittpositionen aus bzw. über gibt sie koordiniert an die Beine. Durch das Bewertungsverfahren wird zuerst die für optimal gehaltene Strategie angewendet. Tritt hier ein Fehlritt auf, der durch die Drucksensoren in den Füßen und die Neigung des Torsos detektiert wird, wird eine suboptimale alternative Bewegungsstrategie aus der Planung abgerufen und ausgeführt. Zudem wird mit kombinatorischer Logik versucht, die direkte Ursache des Fehlrittes zu erkennen, um eine weitere Rückmeldung für das lernende Verfahren zu erhalten.

Durch die Trennung der reaktiven Schicht in ein „Upstream Reaktive Layer“ und in den „Reactive Layer“ wird eine Entkopplung der harten und weichen Zeitanforderungen erreicht. Dies hat auch zur Konsequenz, dass alle Schichten, über der reaktiven Schicht, keine genauen Kenntnisse über die Beine benötigen.

4 Schluss

Das hier vereinfacht dargestellte Verfahren plant effiziente und sichere Schritte und führt diese aus. Dabei reagiert das System dynamisch auf Sensorfehler und Fehlplanungen, indem eine andere, alternative Planung ausgeführt wird. Mit den Gewichtungen des Bewertungsverfahrens kann das Verhalten modifiziert werden. Die Verfahren können mit zusätzlichen Matrizen um weitere Aspekte ergänzt werden. Die Grundkonzeption ist dabei, dass jede Matrix eine Intension darstellt und diese „eigene Sicht der Welt“ – gewichtet – zu einem Weltmodell zusammen gefügt wird. Damit ist es auch möglich heuristische Verfahren mit kognitiven Verfahren zu mischen und trotz gegenteiliger Einschätzungen eine Gesamtentscheidung zu treffen.

Zu den Schwächen des Verfahrens gehört seine Ungenauigkeit. Kleine Gegenstände auf einer Kachel werden völlig ignoriert. Zudem bewegt sich der Roboter nur auf dem Raster, dass durch die minimale Kachelgröße definiert wird. Das Verfahren erkennt noch keine Schleifen oder Sackgassen, da noch keine echte Pfadplanung implementiert wurde. In einem geschlossenen Raum bewegt sich der Roboter immer an den Wänden entlang. Für den vorgestellten Roboter

fehlen noch ausgiebige Feldversuche im realen Gelände, aber erste Versuche unter Laborbedingungen sind erfolgreich.

Das vorgestellte Verfahren zeigt, dass mit einer einfachen Wissensrepräsentation komplexe Aufgaben bewältigt werden können. Die Abstraktion zu „*wie gut wäre diese Handlung*“ lässt sich auf andere Einsatzzwecke anwenden und ermöglicht eine Erweiterung mit anderen kognitiven Verfahren. Diese kognitiven Verfahren finden in Industrierobotern noch wenig Anwendung, weil ihre Aktionen schwer vorhersagbar sind und Zweifel an ihrer Zuverlässigkeit bestehen. In der vorgestellten Architektur beeinflusst das lernende System nur das berechenbare System. Zudem kann die Stärke der Beeinflussung je nach Situation eingestellt oder sogar abgeschaltet werden. Bezogen auf eine KI in einem technischen System kann gezeigt werden, dass die Zuverlässigkeit von technischen Systemen mit kognitiven Fähigkeiten zwar noch nicht berechnet werden kann, aber es kann vorhergesagt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit sie vom beweisbaren Teil abweichen wird.

Die Konsequenz für das Konferenzthema ist, dass wahrscheinlich brauchbare Human Hybrid Robots [3] eine gewisse „Intelligenz“ benötigen, damit sie den Menschen bei seiner Arbeit wirklich unterstützen können. Diese Intelligenz bzw. kognitiven Fähigkeiten gehen weit über Regelalgorithmen hinaus und die Entwicklung kann nur interdisziplinär gelöst werden.

5 Zukünftige Arbeiten

Die weiteren Arbeiten an diesem (oder einem vergleichbaren) System gliedern sich in drei Ebenen. 1. die Verfeinerung der vorhandenen Planungsverfahren, 2. die Interaktion mit dem Roboter und 3. die Interpretation von abstrakten Plänen, was erst die entfernte Vision eines Real-World-Companions ermöglicht.

1. Die kurzfristigen Ziele sind ein Planungsverfahren zur Navigation und Strategieentwicklung im schwierigen Gelände. Das System soll damit auch auf steile Abhänge steigen können und wie ein Bergsteiger eine vorläufige Strategie entwickeln. Dabei ist es nötig, einen gefassten Plan zu modifizieren bzw. zu reparieren, wenn sich bei Annäherung die Umweltdetails anders darstellen als geplant – ohne den kompletten Plan zu verwerfen. Dazu eignen sich Verfahren wie beispielweise *dynamic Anytime A** (*AD**). Zudem soll der Sichtschatten durch gelernte Erfahrungen ergänzt werden, damit beispielsweise auch im Sichtschatten eines Baums geplant werden kann. Hierfür könnten sich *Deep Learning*-Verfahren wie *stacked RBMs* eignen. Dazu ist es auch nötig Hindernisse rudimentär zu klassifizieren. Ein QRTR kann sich nur effizient durch einen Wald bewegen, wenn er nicht jeden dünnen Ast umgeht. Es muss ein Verfahren gefunden werden, dass beurteilen kann, ob ein Hindernis weggedrückt werden kann oder ob es tatsächlich umgangen werden muss. Diese Aufgaben sind in ihrer Kombination so komplex, dass es heute noch keine zufriedenstellende Lösung gibt.
2. Zurzeit kann mit dem Roboter AMEE-XW2 nur über eine Konsole kommuniziert werden. Dabei gibt es nur zwei Befehle: „Gehe x Meter in Richtung y Grad Nord“ und „Stopp“. Die ideale Kommunikation mit einem Outdoor-Roboter wäre aber mit gesprochenen Wörtern und Zeigegesten, ohne einen Computer zu bedienen. Dies beschreibt das Thema: „How to talk to a Robot“. Wenn man einer Maschine verbale Kommandos geben möchte ist für den Roboter das erste Problem, zu erkennen, dass er angesprochen wird. Dies kann über

Augenkontakt in Kombination mit einer Zeigegeste hergestellt werden. Zudem muss sichergestellt werden, dass die Person auch berechtigt ist, dem Roboter Kommandos zu geben. Das Kinect® SDK V2 stellt die hierfür benötigten Verfahren wie Gestenerkennung, Spracherkennung und Biometrie zur Verfügung. Erste Experimente erlauben die einfache Kommunikation mit dem Roboter, wie Beispielweise „AMEE such den roten Ball.“ verbunden mit einer Zeigegeste in Suchrichtung. Dabei sind aber die Worte „such“, „rot“ und „Ball“ hart implementiert und das System sucht nur nach bekannten Schlüsselworten und löst die Funktion aus. Dieses System ist aber noch nicht mit dem Roboter verbunden.

3. Die in Punkt 2 verwendeten Verfahren zur Kommunikation mit dem Roboter können keine komplexen Zusammenhänge interpretieren. Der unstrukturierte Befehl: „AMEE such *einen* Ball. *Er* ist rot und liegt *hinter* meinem Auto, *das* auf dem Parkplatz steht.“ benötigt bessere Verfahren. State-of-the-Art Systeme, wie beispielweise in der Jeopardy-Meister-Maschine „Watson“, können die Intension hinter dieser Anweisung verstehen und erkennen, dass der Ball rot sein soll und dass das Auto auf dem Parkplatz steht, hinter dem sich der rot Ball befindet. Aber aus dieser Anweisung eine Strategie und einen Handlungsplan mit allen Abhängigkeiten für einen Roboter zu entwickeln ist heute noch schwierig. Neben vielen Detailproblemen, folgen einige exemplarische Probleme bei dem Wort „Parkplatz“. Welcher Parkplatz? Als erstes würde ein echter Companion bei einem Kartendienst nach dem nächsten Parkplatz von der aktuellen Position aus suchen. Von der Entfernung her ist der öffentliche Parkplatz am nächsten. Der Sprecher unterschlägt aber, dass er Mitglied der HAW-Hamburg ist und einen Professorenparkplatz hat. Also meint er den Parkplatz hinter dem Haus und nicht den öffentlichen Parkplatz an der Straße. Dieses implizite Wissen unterschlagen Menschen gern und gehen davon aus, dass unser Gegenüber dieses Wissen schlussfolgern kann. Heutige Systeme haben schon Schwierigkeiten mit der Erstellung eines Handlungsplans für den Befehl: „Stell die blaue Tasse von diesem Tisch, auf den anderen Tisch“. In diesem Forschungsbereich werden neue Lösungen gesucht, wie z.B. die Verbindung von kognitiven und algorithmischen Verfahren [10].

6 Literatur

- [1] Defense Advanced Research Projects Agency: Learning Locomotion. Defense Advanced Research Projects Agency, 2005. [Online]. Available: <http://www.darpa.mil/>. [Zugriff am 9 5 2013].
- [2] Sonderforschungsbereich Transregio 62 (sfb-trr 62): Companion-Technologie für kognitive technische Systeme. 2014. [Online]. Available: <http://www.sfb-trr-62.de/>. [Zugriff am 11 7 2014].
- [3] Weidner, R.; Kong, N. und Wulfsberg, J. P.: Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. In: Production Engineering, Germany, November 2013, Volume 7, Issue 6, Springer Berlin Heidelberg, DOI 10.1007/s11740-013-0487-x, S. 675-684, 2013.
- [4] Ruhnke, J.: Master-Thesis, Ein vierbeiniger Roboter für unebenes Gelände, <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/papers.html>, Hrsg., Hamburg, Germany: HAW-Hamburg, 2014.

- [5] Bettzüche, B.: Master-Thesis, Lernverfahren für die Wahl sicherer Schrittpositionen, <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/papers.html>, Hrsg., Hamburg, Germany: HAW Hamburg, 2014.
- [6] Popovic, M. B.; Herr, H. M. und Hofmann, A. G.: Angular Momentum Regulation during Human Walking: Biomechanics and Control. In: Robotics and Automation, 2004. Proceedings, Cambridge, MA 02139-4307, USA, IEEE, dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2004.1307421, S. 2405 - 2411 Vol.3, 2004.
- [7] Kolter, J. Z.; Rodgers, M. P. und Andrew, Y.: A Control Architecture for Quadruped Locomotion Over Rough Terrain. Computer Science Department, Stanford University, Stanford, cs.stanford.edu, CA 94305, USA, 2009.
- [8] Rebula, J. R.; Neuhaus, P. D.; Bonnlander, B. V.; Johnson M. J. und Pratt, J. E.: A Controller for the LittleDog Quadruped Walking on Rough Terrain. Florida Institute for Human and Machine Cognition, Florida 32502, USA, 2008.
- [9] Adukuzhiyil, A.; Singh, H. und Vantimitta, P.: Robot Motion for Obstacle Negotiation. Stanford University, USA, stanford.edu, USA, 2009.
- [10] Pecora, F.: Is Model-Based Robot Programming a Mirage? A Brief Survey of AI Reasoning in Robotics. In: KI - Künstliche Intelligenz, Computer Science at Örebro University, Springer Berlin Heidelberg, November 2014, Volume 28, Issue 4, DOI 10.1007/s13218-014-0325-0, S. 255-261, 2014

Anthropomorphe Bewegungssteuerung für eine sichere und effiziente Mensch-Roboter-Kooperation in der Montage

C. M. Schlick, S. Kuz, J. Bützler

Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen

Bergdriesch 27, 52062 Aachen

c.schlick@iaw.rwth-aachen.de, s.kuz@iaw.rwth-aachen.de, j.buetzler@iaw.rwth-aachen.de

Kurzzusammenfassung

Unter Anthropomorphismus wird die Übertragung menschlicher Eigenschaften wie Gestalt oder Verhalten auf Nichtmenschliches verstanden. Die Anwendung auf einen Roboter soll die Arbeitssicherheit, Benutzerakzeptanz und Vertrautheit erhöhen und somit die Effektivität von Mensch-Roboter-Interaktionsprozessen verbessern. Im Umfeld der industriellen Robotik kann Anthropomorphismus speziell als Grundlage hinsichtlich der Planung und Ausführung von Roboterbewegungen herangezogen werden. Deswegen wurde in einer experimentellen Untersuchung mittels einer virtuellen Umgebung das Anticipationsverhalten des Menschen auf anthropomorph modellierte Bewegungs- und Geschwindigkeitsprofile eines Industrieroboters untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass das anthropomorphe Profil zu signifikant kürzeren Prädiktionszeiten ohne eine Steigerung der Prädiktionsfehler führt.

Abstract

Anthropomorphic motion control for safe and efficient human-robot cooperation in assembly tasks

Anthropomorphism describes the transmission of human characteristics such as behavior to non-human objects. The application on a robot increases the occupational safety, user acceptance and familiarity and optimizes the human-robot interaction processes. In the field of industrial robotics anthropomorphism can be used as for movement control. For this purpose, an empirical study was conducted focusing on the impact of anthropomorphic motion and speed profiles of a gantry robot on the prediction speed and accuracy of target positions. Results show that the anthropomorphic profile leads to a significant shorter prediction time. Moreover, the shorter prediction time does not result in more errors.

1 Einleitung

In heutigen Mensch-Maschine-Systemen ist trotz oder gerade aufgrund des hohen Automatisierungsgrades die Qualität der menschlichen Führung und Intervention oft das ausschlaggebende Kriterium für Sicherheit und Effizienz im laufenden Betrieb. Deswegen muss der Operator unabhängig vom Automatisierungsgrad zu jedem Zeitpunkt die notwendigen Kenntnisse über den Systemzustand besitzen. Da kognitive Systeme in der Lage sind einen Produktionsprozess autonom planen zu können, ergeben sich somit hohe Anforderungen an die Arbeitsper-

son, die mit diesen Systemen arbeiten sollen. Aufgrund der Vielzahl und Vielfalt ihrer untereinander vernetzten Elemente konfrontieren diese komplexen Systeme den überwachenden Menschen mit vielen intransparenten Verhaltensmustern. Auf Basis dieser Aspekte wird im Rahmen des Exzellenzclusters „Integrative Produktionstechnik in Hochlohnländern“ das Zusammenwirken von Mensch und Maschine in selbstoptimierenden Produktionssystemen untersucht. Das langfristige Ziel ist dabei, dass Mensch und kognitiv automatisiertes System im Sinne eines soziotechnischen Systems sicher und zuverlässig funktionieren können. Hierzu wurde eine experimentelle Montagezelle mit einem KUKA KR30 Portalroboter entwickelt, indem der Roboter koordinierte Abfolgen von Pick&Place-Operationen mit kleinen Werkstücken durchführt [1]. Das Verständnis der Selbstoptimierung ist hier die Fähigkeit eines Systems, sich an verändernde Situationen und Umstände anzupassen und aus Erfahrungen zu lernen. Dieses Verhalten des Systems kann als zielgerichtet und autonom angesehen werden. Jedoch kann ein solches System keineswegs die Flexibilität, Kenntnisse und Fähigkeiten eines Menschen erreichen. Aus diesem Grund muss die Arbeitsperson immer als ein integraler Teil des Produktionsprozesses betrachtet werden. Daher ist es interessant, die Kreativität und die Vielseitigkeit des Menschen und die ständig wachsende Wiederholungsgenauigkeit und technische Zuverlässigkeit von Robotern durch eine Kooperation in Produktionsumgebungen zu nutzen.

Eine direkte Kooperation kann jedoch in der heutigen Produktion nicht umgesetzt werden. Roboter sind derzeit technisch noch nicht in der Lage, sicher mit der Arbeitsperson bei der Durchführung von Produktionsaufgaben zu interagieren. Darüber hinaus sind für eine effektive und sichere Kooperation zwischen Mensch und Maschine das Niveau der Beanspruchung und das Wohlbefinden der Arbeitsperson während der Interaktion ebenfalls wichtige Faktoren, die es zu betrachten gilt. Hierzu stellt der Anthropomorphismus einen vielversprechenden Ansatz dar, d.h. die Simulation menschlicher Eigenschaften von nicht Robotern. Aus diesem Grund konzentrieren sich aktuelle Arbeiten auf dem Gebiet der Mensch-Roboter-Interaktion mehr und mehr auf dieses Konzept. Neuere Forschungen konnten u.a. belegen, dass durch Anthropomorphismus, ein höheres Maß an Sicherheit und Benutzerakzeptanz erreicht werden kann [2]. Darauf konzentriert sich die Forschungsfrage im Rahmen dieses Beitrags auf die Auswirkungen einer anthropomorphen Bewegungssteuerung eines Portalroboters und in diesem Zusammenhang speziell auf die Vorhersagbarkeit von zielgerichteten Bewegungen. Dieser Beitrag fasst die ersten Ergebnisse einer empirischen Studie mit 18 männlichen Teilnehmern in Bezug auf die Reaktionszeit, die Vorhersagegenauigkeit und die Blickbewegungsdaten zusammen.

2 Anthropomorphismus als Gestaltungsgrundlage in der Industrie

Anthropomorphismus stammt aus der griechischen Sprache und ist aus den Wörtern *anthropos* „Mensch“ und *morphe* „Form“ bzw. „Gestalt“ zusammengesetzt [3]. Der Anthropomorphismus wird als eine Anschauungsweise betrachtet, die menschliche Eigenschaften oder menschliches Verhalten Außermenschlichem zuschreibt (»vermenschlicht«). Dabei kann es sich um Naturphänomene verschiedenster Art, um Tiere, Gestirne usw., andererseits v.a. um Gottesvorstellungen handeln. Je nach Kontext werden jedoch dem Begriff verschiedene Bedeutungen beigegeben. Nach [4] wird unter Anthropomorphismus die Absicht und praktische Umsetzung der Entwickler verstanden, menschliche Eigenschaften auf Nichtmenschliches zu übertragen. Eine andere Definition beschreibt Anthropomorphismus als alle Eigenschaften eines Objektes, die

dessen Interaktion mit Menschen erleichtern [5]. Diese Arbeit bezieht sich jedoch auf die allgemein gültige Definition, die Anthropomorphismus als Übertragung von menschlichen Eigenschaften oder menschlichen Verhaltens auf Nichtmenschliches beschreibt. Im engeren Sinne wird der Begriff in Ähnlichkeit zu [2] auch als Strategie zur Gestaltung der Mensch-Roboter-Kooperation betrachtet.

Luczak et al. [6] haben bereits früh die Auswirkungen von Anthropomorphismus im Zusammenhang mit technischen Systemen untersucht. Sie behaupteten, dass der durch die tägliche Interaktion mit technischen Geräten (z.B. Autos, Automaten, Computer) hervorgerufene Belastung und die psychische Beanspruchung die Ausgangspunkte für das Anthropomorphisierungsverhalten der Menschen darstellen. Durch ihre Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass Menschen Geräte mit anthropomorphen Eigenschaften in der Regel als Helfer oder Freunde wahrnehmen und sie freundlicher als einfache Geräte behandeln. In einer weiteren Studie haben Krach et al. [7] die Auswirkungen von Menschenähnlichkeit auf die wahrgenommene Intelligenz in der Interaktion mit Computersystemen untersucht. Die Studie basierte auf einem einfachen Computerspiel, wobei die Probanden gegen unterschiedliche Gegner spielen. Die Gegner variierten dabei von einem einfachen Laptop über einen funktional gestalteten und einen anthropomorphen Roboter bis hin zu einer echten Person. Die Ergebnisse zeigten eine positive Korrelation zwischen dem Grad der Menschenähnlichkeit und der wahrgenommenen Intelligenz. Hinds et al. [8] haben sich auf Roboter fokussiert und untersuchten, wie sich ein anthropomorphes Aussehen auf die menschliche Wahrnehmung während der Ausführung einer gemeinsamen Aufgabe mit dem Roboter auswirkt. Demnach stellte sich heraus, dass Menschen in Situationen, in denen es um die Übertragung von Verantwortung geht, Roboter mit anthropomorphen Eigenschaften als besser geeignet empfinden.

Nichtsdestotrotz ist zu berücksichtigen, dass eine höhere Ähnlichkeit zum Menschen zwar zu einer gesteigerten Vertrautheit führt, gleichzeitig aber auch negative Konsequenzen nach sich ziehen kann. Nach Foner [9] können die Erwartungen von Benutzer durch anthropomorphe Paradigmen stark zunehmen und schnell die Systemfähigkeiten übertreffen. Nach Duffy [2] hingegen liegt das Problem nicht an den anthropomorphen Merkmalen der Gestaltung, sondern an den Entwicklern, die durch die Anthropomorphisierung des Systems geprägte Benutzererwartungen nicht in Betracht ziehen und die anthropomorphen Merkmale willkürlich einsetzen. Auch die Theorie des „Uncanny Valley“ von Mori [10] postuliert in diesem Zusammenhang zunächst einen Anstieg der Vertrautheit in nichtmenschliche Instanzen mit zunehmender Menschähnlichkeit, wobei ab einem gewissen Punkt bevor der Grad an Menschähnlichkeit das Maximum erreicht die Vertrautheit abnimmt und in Ablehnung umschlägt.

Traditionelle Ansätze in der industriellen Robotik fokussieren im Allgemeinen rein effiziente, hoch-automatisierte Lösungen. Mögliche Effekte des Ansatzes des Anthropomorphismus in Mensch-Roboter-Arbeitssystemen wurden bislang kaum erforscht. Nach Mory und somit gemäß dem Uncanny-Valley-Modell würde eine Erhöhung der Menschähnlichkeit zunächst einen positiven Effekt auf die Vertrautheit der Arbeitsperson haben. Die Arbeiten von Zanchettin [11] konzentrieren sich hierzu auf die Bewegungssteuerung eines Industrieroboters während Manipulationsaufgaben, wodurch für jede beliebige Position des Endeffektors eine anthropomorphe Stellung des Ellbogengelenks bestimmt werden kann. Hierbei bleiben die menschlichen Bewegungsbahnen bzw. Trajektorien jedoch unbeachtet. Bei Anwendung der anthropomorphen Stellungen auf einen Sieben-Achs-Dualarmroboter konnte in empirischen Studien eine Minderung

des Beanspruchungsniveaus der Teilnehmer nachgewiesen werden, die mit diesem Dualarmroboter zusammenarbeiteten. HUBER et al. [12] untersuchten, wie sich menschliches Kooperationsverhalten durch modifizierte Robotertrajektorien auf die Mensch-Roboter-Zusammenarbeit übertragen lässt. Als Basis ihrer Untersuchungen verwendeten sie einen Übergabeprozess, bei dem sie die Mensch-Mensch-, Mensch-Knickarmroboter- und Mensch-Humanoid-Kooperation verglichen. Gleichzeitig nutzten sie eine an menschlichen Bewegungen orientierte Bahn, die sie nach der Maxime eines möglichst ruckfreien Ablaufs modellierten und verglichen diese mit einer Trajektorie, die sich aus einem trapezförmigen Geschwindigkeitsprofil ergab. Die Ergebnisse zeigen, dass die Reaktionszeiten, d.h. die Dauer zwischen dem Moment des Übergebens und dem des Übernehmens, bei der menschenähnlich gestalteten Bahn geringer waren als im trapezförmigen Fall. Ein ähnliches Ergebnis ergab der Vergleich einer industriellen und humanoiden Robotergestaltung, da auch in diesem Fall das anthropomorphe Erscheinungsbild zu einer verkürzten Reaktionszeit führte. Hier basieren die Ergebnisse auf berechneten Trajektorien und nicht den natürlichen anthropomorphen Bewegungsbahnen oder Geschwindigkeitsprofilen. Diesbezüglich konnte im Rahmen einer empirischen Studie von Kuz et al. [13] mit einem Industrieroboter in einer virtuellen Umgebung nachgewiesen werden, dass anthropomorph modellierte Bewegungsbahnen im Vergleich zu konventionellen Trajektorien eines industriellen Knickarmroboters die menschliche Vorhersagegenauigkeit von Zielpositionen positiv beeinflussen und die Reaktionszeit signifikant verkürzen können.

3 Methodik

Das dargestellte Experimentalkonzept ist eine Weiterführung der bereits erwähnten Studien von Kuz et al. [13]. In der Studie wurden ebenfalls die Auswirkungen von anthropomorph modellierten Trajektorien eines Industrieroboters auf die Vorhersehbarkeit von Roboterbewegungen im Vergleich zu roboterartigen Bewegungsbahnverläufen analysiert. Auf Basis der eruierten Ergebnisse sollen diese in einer virtuellen Umgebung durchgeführten Versuchsreihen im Rahmen einer späteren Untersuchung mittels einer realen Versuchsanordnung validiert werden. Für eine derartige Umsetzung müssen aufgrund der Kinematik des Roboters in der Realität jedoch bestimmte Parameter angepasst werden. Deshalb wurden Parameter wie Blickwinkel oder Abstand zum Versuchsobjekt im Rahmen dieser empirischen Studie explizit so gewählt, damit eine möglichst hohe Realitätsnähe erreicht werden konnte, wodurch der Aufbau sich für spätere Untersuchungen maßgetreu in reale Umgebung übertragen lässt. Dafür wurden Messungen in der bereits erwähnten Montagezelle durchgeführt [1]. Dabei wurden die Position des maßstabgetreuen Quadratgitters und die maximal erreichbare Höhe der Versuchsperson anhand eines Hubtisches mit integriertem Sitz überprüft. Es wurde hierbei erneut die virtuelle Simulationsumgebung, die auf C++ basiert und im Rahmen verschiedener Vorabreiten bereits entwickelt und genutzt worden war, eingesetzt. Durch einige Modifikationen konnte die reale Situation nachgestellt werden. Die daraus hervorgehende Simulation setzte sich schließlich aus einem KUKA KR30 Portalroboter und dem davor positionierten Ablagefeld (20 Felder) zusammen (siehe Abbildung 1 links). Der KUKA KR30 Portalroboter wurde gewählt, damit die Versuchsreihe nach dieser Durchführung in der realen Umgebung sicher repliziert werden kann. Eine wichtige Fragestellung, die im Rahmen dieser Untersuchung noch untersucht werden soll, ist das Blickverhalten der Probanden während der Beobachtung der präsentierten Bewegungssequenzen. Deshalb wurde die Untersuchung an einem monitorbasierten Eye-Tracking System

RED250 von SensoMotoric Instruments durchgeführt, das aus einem 22“ LCD-Monitor mit integrierten Infrarotsensoren zum Blickregistrierung und einem Laptop zur Steuerung besteht. Die Eingabe der Prädiktion erfolgte über eine Standardtastatur. Zudem wurde die Einhaltung des Sehabstands und der Kalibrierungsdaten mittels einer Kinnstütze realisiert (siehe Abbildung 1 rechts).

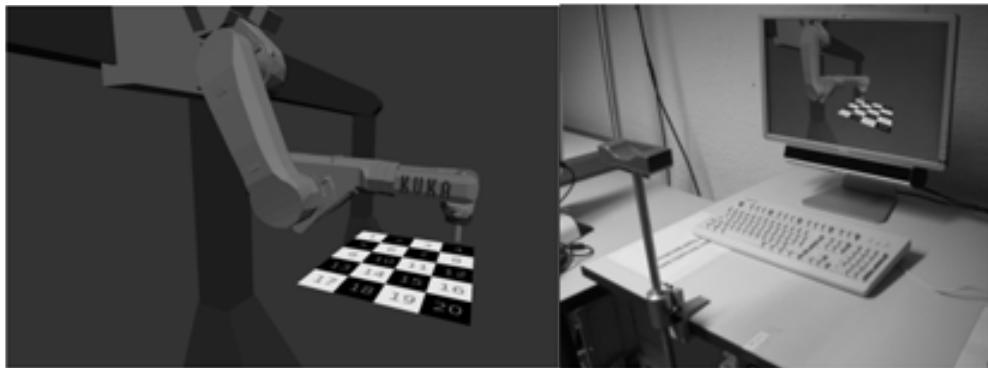


Abb. 1: Virtuelle Simulation der Roboterbewegung (links) und Aufbau der Versuchsumgebung (rechts)

Die Bewegungsbahnen des Portalroboters in der virtuellen Umgebung sind im Rahmen der Studie von Kuz et. al [13] entstanden. Hierbei wurden zunächst mittels eines Infrarot-Tracking-Systems menschliche Bewegungsbahnen während Platzierungsbewegungen erfasst und für die Übertragung auf die virtuelle Versuchsumgebung angepasst. Während der Aufnahmen wurden 20 Platzierungsbewegungen mit unterschiedlichen Zielpositionen ausgeführt. Die aufgenommenen Bewegungsbahnen wurden dann sowohl mit anthropomorphen als auch konstanten Geschwindigkeitsprofilen kombiniert, so dass insgesamt 40 Bewegungsbahnen für die Versuchsreihe generiert werden konnten. Während der Durchführung sollte jeder Proband die 40 Bewegungssequenzen beobachten und das Zielfeld dieser Bewegung vorhersagen. Hierbei sollte die Versuchsperson nachdem eine Zielposition erkannt wurde, die Bewegung mit der Leertaste anhalten und im Anschluss die Nummer des vermuteten Zielorts nennen. Diese vorhergesagte Zielposition wurde durch den Versuchsleiter entsprechend protokolliert. Im Anschluss konnte die nächste Bewegungssequenz durch die Versuchsperson gestartet werden.

An der Untersuchung nahmen insgesamt 18 männliche Probanden im Alter von 19 bis 31 Jahren teil (Durchschnitt 25,39 Jahre, Standardabweichung 3,43). Alle Teilnehmer waren entweder in einen Bachelor- bzw. Masterstudiengang eingeschrieben oder schon fertig mit ihrem Studium. Als unabhängige Variablen wurden die Robotertrajektorien mit zwei Geschwindigkeitsprofilen (anthropomorph & konstant) und die Feldposition mit 20 Stufen betrachtet. Als abhängige Variablen wurden die Prädiktionsdauer und die Prädiktionsfehler untersucht. Zudem wurden die Versuchskonditionen vor jeder Versuchsdurchführung permutiert, damit mögliche Reihenfolgeneffekte vermieden werden konnten. Zur Auswertung der Daten wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet. Das Signifikanzniveau betrug $\alpha=0,05$.

4 Ergebnisse

Die durchschnittliche Reaktionszeit der Probanden bei dem konstanten Geschwindigkeitsprofil liegt bei 1658,23 ms und beim anthropomorphen Profil bei 1239,96 ms (siehe Abbildung 2).

Die Varianzanalyse zeigt, dass nicht nur die zwei unterschiedlichen Geschwindigkeitsprofile ($F(1;17) = 736,152, p < 0,001$) sondern auch die Feldposition ($F(7,333; 124,662) = 92,273, p < 0,001$) einen signifikanten Effekt auf die Reaktionszeit haben. Darüber hinaus ergibt sich ein starker Effekt ($\omega^2 = 0,911$) des Geschwindigkeitsprofils sowie der Feldposition ($\omega^2 = 0,606$). Bei der Betrachtung der Interaktionseffekte treten ebenfalls signifikante Werte zwischen diesen beiden unabhängigen Variablen auf ($F(7,252; 123,279) = 12,114, p < 0,001$). Nach näherer Betrachtung konnte aber festgestellt werden, dass die Interaktion ordinal ist und somit die Hauptvariablen unabhängig voneinander interpretiert werden können. Darüber hinaus gilt, dass die Reaktionszeiten für von der Startposition weiter entferntere Distanzen höhere Werte aufweisen. Diese Tatsache ist erwartungskonform, da die Platzierungsbewegung für weiter entfernte Distanzen eine längere Dauer hat im Vergleich zu den Zielpositionen, die sich in unmittelbarer Nähe der Startposition der Bewegung befinden.

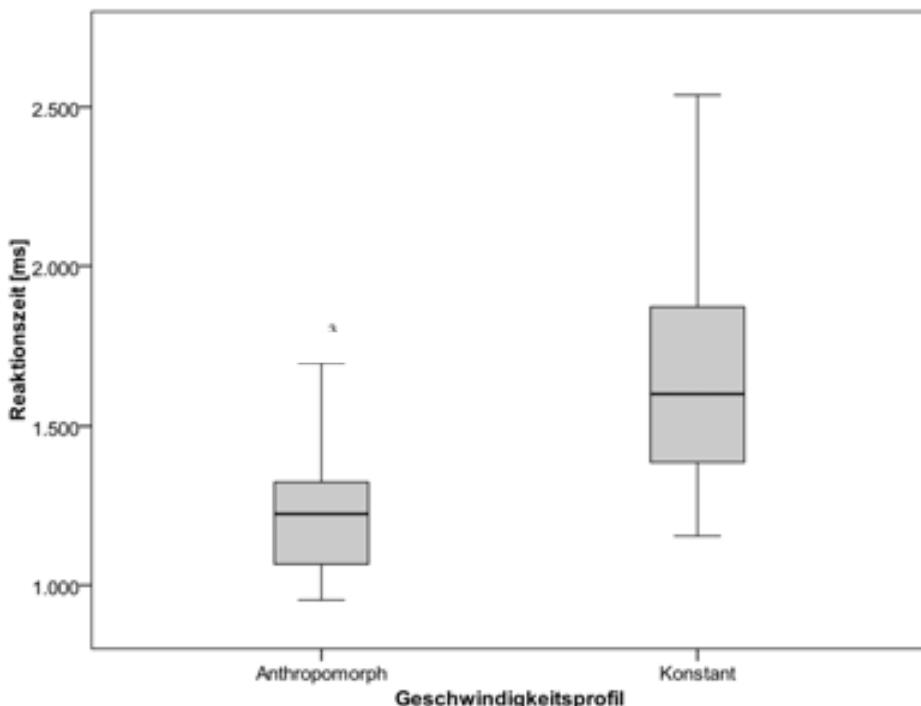


Abb. 2: Boxplot mit Min-, Max-Werten sowie 1. und 3. Quartil

Während des Experiments wurden insgesamt 720 (jeweils 360 pro Geschwindigkeitsprofil) Bewegungssequenzen präsentiert, die durch die Probanden vorhergesagt werden sollten. In 511 Fällen stimmte hierbei das vorhergesagte Zielfeld mit der tatsächlich angefahrenen Zielposition überein. Dabei wurde 278 Mal beim anthropomorphen und 233 Mal beim konstanten Geschwindigkeitsprofil korrekt vorhergesagt (vgl. Abbildung 3). 168 der Vorhersagen stimmten nicht überein mit dem tatsächlichen Zielfeld. Dabei wurden beim konstanten Profil 89 Mal und beim anthropomorphen Profil 79 Mal falsch vorhergesagt. Schließlich erfolgten 41 Prädiktionen nicht innerhalb der Bewegungsdauer und wurden somit nicht mit aufgenommen. Die Anzahl der fehlenden Prädiktionen liegt beim anthropomorphen Profil bei 3 und beim konstanten bei 38. Inferenzstatistische Analysen zeigen, dass die Unterschiede zwischen den korrekten, inkorreken und fehlenden Prädiktionen signifikant sind ($\chi^2(2, N=720) = 34,436, p < 0,001$).

Auf Basis der ermittelten Ergebnisse kann festgehalten werden, dass Probanden viel schneller reagiert haben, wenn sich der Roboter anthropomorph bewegt hat. Dabei wurden aber im Gegenteil nicht viel mehr Fehler gemacht, sondern auch die Fehlerrate ist geringer bei Betrachtung der anthropomorphen Bewegungsbahnen.

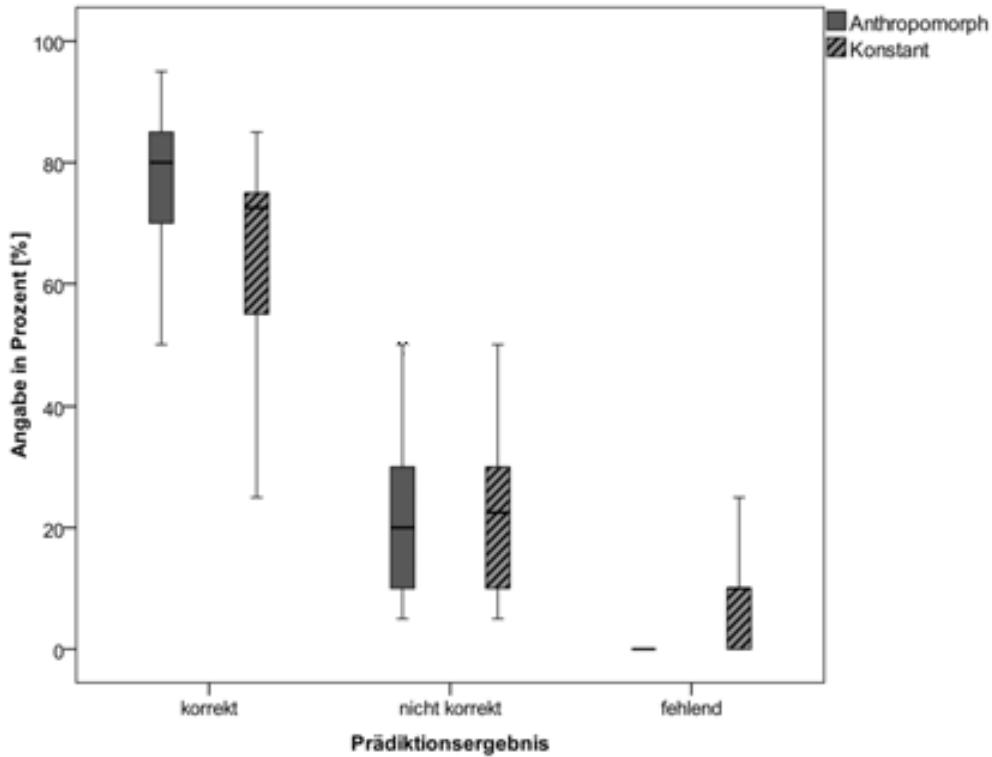


Abb. 3: Vergleich der Prädiktionsergebnisse

Abschließend soll noch das Blickverhalten der Probanden während der Durchführung analysiert werden. Dabei ist es unabhängig von der Bewegungsart zu untersuchen, worauf die Blicke der Versuchsteilnehmer während der Betrachtung der Bewegungen gerichtet bzw. welche beweglichen Teile des Roboters (Gelenke bzw. Endeffektor) für die Bewegungsinterpretation maßgebend waren. Zur Auswertung der Aufnahmen kam dafür vorgesehene Programm BeGaze Version 3.4 zum Einsatz. Zunächst mussten für die Auswertung die sogenannten „area of interests“ (AOI) definiert werden. Wie in Abbildung 4 zu sehen, wurden drei AOIs, nämlich die Gelenke, das Quadratgitter und der Endeffektor definiert. Diese werden „global“ eingestuft, um es sicherzustellen, dass für alle Aufnahmen immer dieselben AOIs mit der gleichen Form und Größe angewendet werden. Zudem handelt es sich bei dem AOI „Quadratgitter“ um eine statische Fläche, deren Form und Ort sich während den Aufnahmen nicht ändern. Dagegen sind die AOIs „Gelenke“ und „Endeffektor“ dynamisch aufgrund der Bewegung des Roboters während der Erfassung der Blickrichtung.

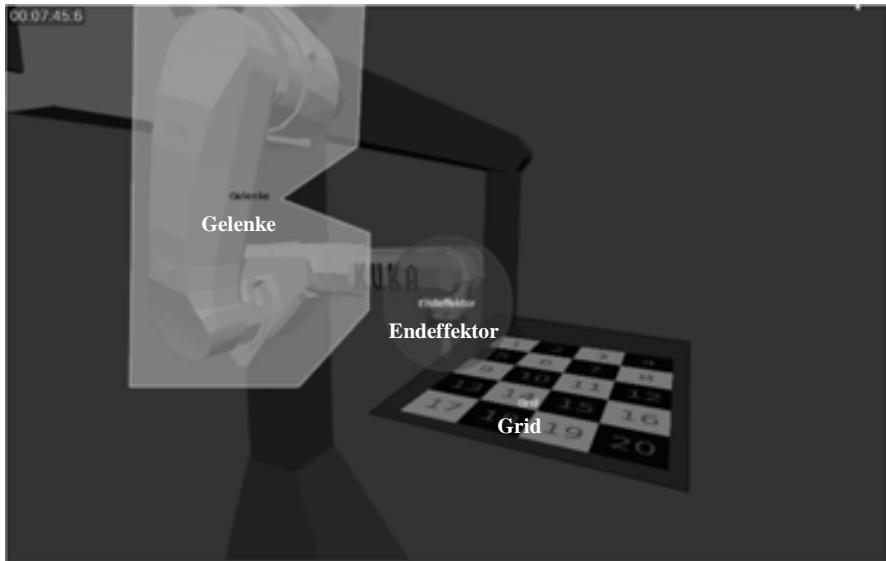


Abb. 4: Die definierten AOIs

Neben der Form und Größe muss auch das Zeitintervall, in dem ein AOI aktiv wird, festgelegt werden. Da das Blickverhalten der Probanden während des Bewegungsablaufs untersucht werden soll, ist nur das Zeitintervall zwischen dem Anfang und Ende einer Bewegung für die Auswertung relevant. Dementsprechend wurden die AOIs so ausgelegt, dass sie mit dem Start jeder Bewegung aktiviert und mit deren Anhalten wieder deaktiviert werden.

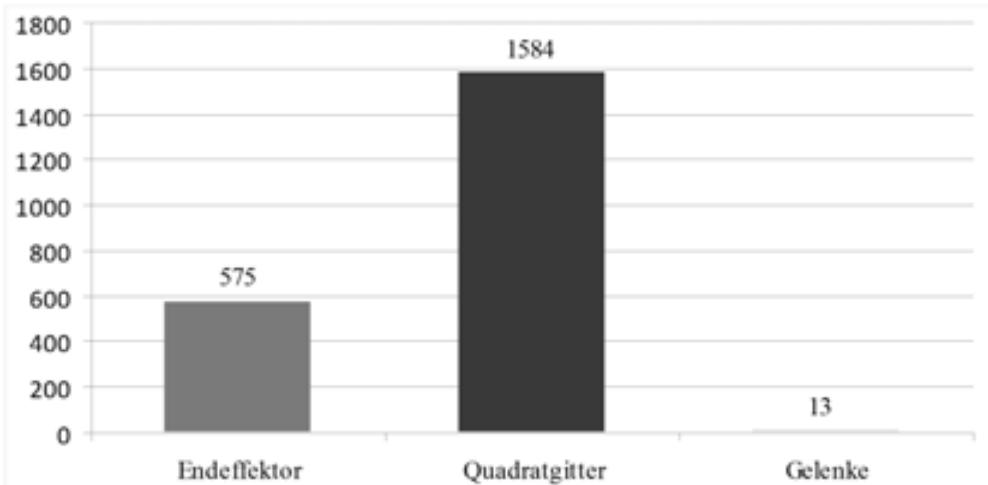


Abb. 5: Anzahl der Fixationen je AOI

Analysiert wurden die Anzahl der Fixationen innerhalb der vordefiniert AOI. Abbildung 5 zeigt die sich ergebene Anzahl der Blickfixationen. Es ist zu erkennen, dass mit einer Anzahl von 1584 die meisten Fixationen sich auf das Quadratgitter fallen. Dazu fallen 575 und damit ca. ein Viertel der gesamten Fixationen in dem AOI „Endeffektor“ an. Bemerkenswert ist es hingegen, dass die Anzahl der Fixationen für das AOI „Gelenke“ lediglich bei 13 liegt, obwohl dieses Areal im Durchschnitt 21,4% der Gesamtbildschirmoberfläche ausmacht. Dafür betragen die Anteile „Endeffektor“ und „Quadratgitter“ nur 2,7 % bzw. 7,1%. Darüber hinaus wurde die durchschnittliche Fixationsdauer je AOI und Proband näher analysiert. Hierbei fallen die Unterschiede noch deutlicher auf. Es ist ersichtlich, dass das Quadratgitter mit 354,37 s den größten Anteil an Gesamtfixationsdauer aufweist. Für den Endeffektor ergibt sich hingegen eine

durchschnittliche Fixationsdauer von 91,49 s während der Anteil der Gelenke nur noch 0,97 s beträgt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Probanden während des Bewegungsablaufs nicht auf die Gelenke des Roboters achten, sondern sich eher auf den Endeffektor und Zielfeld konzentrieren. Damit kann vermutlich davon ausgegangen werden, dass für die Interpretation einer von einem Industrieroboter ausgeführten Bewegung nicht die Position und Bewegungsmuster der Gelenke, sondern die Bewegungsbahn und das Geschwindigkeitsprofil maßgebend sind.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Untersuchungen war es, die Auswirkungen von anthropomorphen Bewegungsbahnen eines Portalroboters auf die Vorhersagegeschwindigkeit von Zielpositionen sowie Vorhersagefehler zu untersuchen. Als abhängige Variablen wurden die Reaktionszeit und Prädiktionsergebnisse näher betrachtet. Darüber hinaus gingen die mittels des Eye-Tracking Systems erhobene Daten in die Auswertung ein. Als unabhängige Variable stand die Bewegungsart (anthropomorphe bzw. konstante Geschwindigkeitsprofil) im Vordergrund, wobei als zusätzliche Variable die Feldposition (1-20) berücksichtigt wurde. Jeder Teilnehmer hatte somit 40 Bahnen zu prognostizieren.

Inferenzstatistische Analysen konnten für die Reaktionszeit signifikante Unterschiede zwischen den anthropomorphen und konstanten Geschwindigkeitsprofilen nachweisen. Ergebnisse zeigen auch, dass die Qualität der Vorhersage in Bezug auf korrekte, inkorrekte und fehlende Prädiktionen signifikant besser für das anthropomorphe Geschwindigkeitsprofil war. Schließlich haben die Ergebnisse des Eye-Tracking Systems unabhängig von dem Bewegungstyp gezeigt, dass für die Interpretation der Bewegungen eines Industrieroboters nicht die Position und Bewegungsmuster der Gelenke, sondern die Bewegungsbahn und das Geschwindigkeitsprofil maßgebend sind.

Zusammenfassend ist darauf hinzuweisen, dass anthropomorphe Geschwindigkeitsprofile vermutlich ein erhöhtes Sicherheitsgefühl vermitteln. So haben die Probanden ihre Eingaben bei der Präsentation der Bewegungen mit anthropomorphem Geschwindigkeitsprofil insgesamt früher und häufiger als im Fall des konstanten Geschwindigkeitsprofils gegeben. Trotz der schnelleren Bearbeitungszeit und geringeren Anzahl an fehlenden Prädiktionen wurden jedoch nicht mehr Prädiktionsfehler registriert, so dass ein „Speed-Accuracy Tradeoff“ statistisch ausgeschlossen werden konnte. Die aufgeführten Resultate geben bereits einen ersten Hinweis darauf, dass anthropomorph modellierte Geschwindigkeitsprofile die Mensch-Roboter Kooperation in der Montage optimieren können.

Auf Basis der ermittelten Ergebnisse ist eine weitere empirische Studie in Planung, in der die Auswirkungen von Anthropomorphismus eines realen KUKA KR30 Portalroboters auf die Vorhersagbarkeit des Menschen untersucht werden sollen [1]. Dabei liegt der Fokus erneut auf den Vergleich zwischen den anthropomorphen und den konventionellen Trajektorien während Platzierungsbewegungen und auf die Vorhersagegüte von Ablagefeldern.

4 Literatur

- [1] Kempf, T.; Herfs, W. und Brecher, Ch.: Cognitive Control Technology for a Self-Optimizing Robot Based Assembly Cell. Proceedings of the ASME 2008 International Design

- Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers, 2008.
- [2] Duffy, B.: Anthropomorphism and the Social Robot. Special Issue on Socially Interactive Robots, Robotics and Autonomous Systems, 42 (3-4), S. 177–190, 2003.
 - [3] Fink, J.: Anthropomorphism and human likeness in the design of robots and human-robot interaction. Proceedings of the 4th international conference on Social Robotics, S. 199-208, 2012.
 - [4] Zhang, T.; Zhu, B. und Kaber, D. B.: Anthropomorphism and Social Robots: Setting Etiquette Expectations, Hrsg.: C.C. Hayes und C.A. Miller, Human Computer Etiquette: Cultural Expectation and the Design Implications They Place on Computers and Technology; Boca Raton: CRC Press, S. 231-259, 2011.
 - [5] Nass, C. und Moon, Y.: Machines and mindlessness: Social responses to computers. Journal of Social Issues, 56(1), S. 81-103. 2000.
 - [6] Luczak, H.; Rötting, M. und Schmidt, L.: Let's talk: anthropomorphization as means to cope with stress of interacting with technical devices. Ergonomics, London, S. 1361-1374, 2003.
 - [7] Krach, S.; Hegel, F.; Wrede, B.; Sagerer, G.; Binkofski, F. und Kircher T.: Interaction and perspective taking with robots investigated via fMRI. PLoS ONE 3(7): e2597. doi: 10.1371/journal.pone.0002597#. 2008.
 - [8] Hinds, P. J.; Roberts, T. L.; Jones, H.: Whose job is it anyway? a study of human-robot interaction in a collaborative task. Hum.-Comput. Interact., 19, 1 (S. 151-181). 2004. doi: 10.1207/s15327051hci1901&2_7
 - [9] Foner, L.: What's an agent, anyway? A sociological case study. Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents, 1997.
 - [10] Mori, M.: The Uncanny Valley. Energy, 7(4), S. 33-35, Translated by Karl F. MacDorman and Takashi Minato, 1970.
 - [11] Zanchettin, A. M.: Human-centric behavior of redundant manipulators under kinematic control, PhD Thesis, Politecnico di Milano, 2012.
 - [12] Huber, M.; Rickert, M.; Knoll, A. und Brandt, T.; Glausauer: Human-robot interaction in handing-over tasks. Proc. of RO-MAN, München, S. 107-112: IEEE, 2008.
 - [13] Kuz, S.; Bützler, J.; Schlick, C. M.: Anthropomorphismus in der ergonomischen Gestaltung der Mensch-Roboter-Interaktion in Montagezellen. 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, TU und Hochschule München, S. 513-515, 2014.