

Entwicklung und Evaluation eines Shared-Vision-Systems im Kontext hybrider Leistungsbündel

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur
Bo Höge
aus Berlin

von der Fakultät V - Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Dietrich Manzey
Berichter: Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting
Berichter: Prof. Dr.-Ing. Horst Meier

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 25. Oktober 2011

Berlin 2011
D83

*Für meine wundervolle Frau Gülçin,
die stets an mich geglaubt, mich in allen Lebenslagen unterstützt
und mich vom Entschluss bis zur Fertigstellung mit Engelsgeduld begleitet hat.*

Zusammenfassung

Hybride Leistungsbündel (HLB) stellen ein vielversprechendes Konzept dar, um sich den Herausforderungen in der industriellen Produktion wie steigender Komplexität, verstärktem globalen Wettbewerbsdruck und schneller Anpassungsfähigkeit an die aktuelle Marktsituation zu stellen. Einflüsse dieses neuartigen Ansatzes auf die Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen (MMS) wurden jedoch noch nicht ausreichend untersucht.

Um die Einflüsse definieren zu können, wurde eine Fokusgruppenbefragung unter HLB-Experten durchgeführt und mit der semiformalen K3-Modellierungstechnik dokumentiert. Die noch allgemeinen Ergebnisse der Fokusgruppen wurden weiter für eine morphologische Analyse verwendet, um spezifischere Details definieren zu können. Es wurde festgestellt, dass die steigende Integration von HLB-Anbieterprozessen in bestehende HLB-Kundenprozesse zu spezifischen Anforderungen an die Bereiche der Kommunikations-, Koordinations- und Kooperationsfähigkeit der beteiligten Stakeholder führt. Die enge Vernetzung der Akteure unterschiedlicher Stakeholder, die Realisierung von Fernzugriff und Fernkontrolle auf beim HLB-Kunden betriebene Maschinen erfordern ein ausdifferenziertes Sicherheitskonzept hinsichtlich Datenhaltung und Zugriff. Die hohe Heterogenität der Nutzer und Nutzungskontexte verlangt im Bereich der Mitarbeiter-Qualifikation eine HLB-spezifische Gestaltung von Benutzerprofilen, Funktionsaufteilung und -bereitstellung. Insbesondere die Garantie hoher Verfügbarkeit und Wandlungsfähigkeit eines HLB über den gesamten Lebenszyklus macht ein Konzept zur Unterstützung der Akteure erforderlich.

Den Aspekt der (Fern-) Unterstützung adressiert das in dieser Arbeit entwickelte *Shared-Vision-System* zur Unterstützung eines Arbeiters (Novize) durch einen Helfer (Experte). Dabei ist es beiden Akteuren möglich zu sehen, auf welches Objekt der andere gerade schaut. Es lässt sich als technische Lösung in die Schnittmenge der Bereiche des Problemlösens und der Fernunterstützung im Kontext kollaborativer Arbeit einordnen. Das System bietet dem Experten eine Sicht auf den Arbeitsbereich des Novizen und erlaubt es, kollaborativ manuelle Arbeitsaufgaben zu bearbeiten. Zur quantitativen und qualitativen Evaluation des Systems wurde der Einfluss auf kollaboratives Problemlösen mit dem Paradigma *Tangram* untersucht. Dabei standen Experten entweder eine Mouse, die Augenbewegung oder nur Sprache (Kontrollbedingung) zur Anleitung zu Verfügung. Keine der Bedingungen unterschied sich signifikant hinsichtlich der Effizienz des Systems von den anderen u. a. aufgrund der hohen Varianz dyadischer Interaktion. Für zukünftige Forschung liefert die Entwicklung des Systems einen Beitrag zur Untersuchung kollaborativen Problemlösens bei manuellen Aufgaben.

Abstract

The concept of industrial product-service systems (IPS²) represents a promising approach to meet challenges of industrial production such as increasing complexity, global competition and the need for rapid adaptability to the current market situation. However, the influences of this novel approach on the design of human-machine systems (HMS) are still not enough investigated.

In order to define the influences, a focus group discussion amongst IPS²-experts was conducted and documented by usage of the semi-formal C3-modelling technique. The general results of the focus groups were used for a morphological analysis to obtain more specific influences. It was found that additionally to international HMS design guidelines and norms, there are three major topics influenced by IPS²: (1) the concept leads to an increasing integration of IPS²-provider services into existing IPS²-customer processes and thus influences the areas of communication, coordination and cooperation between the stakeholders; (2) the networking of the actors and the implementation of remote access and remote control on the machines operated by the IPS²-customer require a differentiated design of HMS regarding safety rules on data protection and data access; and (3) the high heterogeneity of users and their function, roles and work tasks requires an IPS²-specific design of user profiles and distribution and provision of functions; high availability and adaptability throughout the IPS²-life cycle requires a concept to support users of different qualifications.

Therefore, the aspect of (remote) user support was addressed by the development of a *shared-vision system* (SVS) which provides full gaze awareness to both worker (novice) and helper (expert). The system represents a technical solution within the intersection of the areas of problem solving and remote support in the context of collaborative work. It realizes a shared workspace for remote collaborative work with the focus on physical tasks. This system's effects on remote collaboration were quantitatively and qualitatively evaluated in a *Tangram* puzzle task. In this task, a novice was guided by an expert for solving the puzzle. The expert guided the novice either by mouse, full gaze awareness or voice-only (control condition). There was not enough evidence found that one condition was significantly more efficient due to the high variance of free dyadic interaction as a main reason amongst others. The SVS development is a contribution for future research in the area of collaborative problem solving with physical tasks.

Werden Virtual Reality und ähnliche Techniken weiterentwickelt und klug eingesetzt, kann dies tatsächlich eine Revolution der Informationsverarbeitung herbeiführen.

— Arthur C. Clarke (1993)

Danksagung

Das in dieser Arbeit vorgestellte Shared-Vision-System entstand im Rahmen meiner Projektarbeit in dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Teilprojekt B4 des SFB/TR29. Diese Arbeit wäre ohne die Unterstützung vieler helfender Hände und ohne die Geduld und den Verzicht anderer nicht zu realisieren gewesen.

Mein Dank gilt an dieser Stelle der SensoMotoric Instruments GmbH, insbesondere Herrn Dr. Lappe, Herrn Pötter und den Mitarbeitern des Supports für stets freundliche, kompetente und zügige Reaktionen. Für die Ermöglichung eines praxisnahen Tests des Systems im Bereich der Luftfahrttechnik und dem damit verbundenen Feedback danke ich Herrn Randerath, Herrn Flister und seinen Mitarbeitern und Herrn Dr. Giesa der Airbus Operations GmbH. Ich danke den treuen Kolleginnen und Kollegen des SFB/TR29 für eine reibungslose Kooperation, viele Denkanstöße und die anregenden Diskussionen auf den Bahnfahrten zwischen Berlin und Bochum. Den Professoren Rötting und Meier möchte ich für ihre regelmäßige Betreuung im Rahmen des Diss-Teams und des TR29-Mentorenprogramms danken. Professor Manzey hat dankenswerter Weise den Vorsitz während der wissenschaftlichen Aussprache übernommen.

Im Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme gilt mein besonderer Dank Frau Fadel und Frau Langer für ihre stetige Hilfsbereitschaft nicht nur bei den unzähligen administrativen Tätigkeiten im Verlauf des Projekts. Bei den Herren Lasch und Damke möchte ich mich bedanken, dass sie bei allen Fragen zur technischen Umsetzung immer ein offenes Ohr und eine neue Idee hatten und mit stets hilfsbereiten Händen mitgewirkt haben. In der Anfangsphase der Projektarbeit leisteten Frau Engelbrecht und Herr Schulz, später dann Herr Negraszus und Herr Schlatow einen maßgeblichen Beitrag als studentische Mitarbeiter: vielen Dank für die angenehme Zusammenarbeit im Teilprojekt B4. Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Kolleginnen und Kollegen bedanken: Die vielen gemeinsamen Mahlzeiten wirkten stets aufbauend und motivierend - vielen, vielen Dank!

Abschließend möchte ich meinen Eltern tiefsten Dank für ihre kontinuierliche Unterstützung über mein gesamtes Studium hinweg ausrichten!

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Thematischer Hintergrund	1
1.2. Problem- und Zielstellung	3
1.3. Aufbau der Arbeit	4
2. Theoretische Grundlagen	7
2.1. Mensch-Maschine-Systemgestaltung	8
2.1.1. Akteure im MMS	8
2.1.2. Anforderungen an MMS	10
2.1.3. Unterstützung in MMS	11
2.1.4. Der Operateur im MMS	12
2.1.5. Regulationsmodelle in der MMI	13
2.1.6. Wissensquellen des Operateurs	15
2.1.7. Störungen im MMS	16
2.1.8. Diagnose und Problemlösen im MMS	17
2.1.9. Multimodalität	18
2.1.10. Usability Engineering	20
2.2. Augen- und Blickbewegung	22
2.2.1. Klassen der Augenbewegung	22
2.2.2. Parameter der Augenbewegung	23
2.2.3. Methoden zur Registrierung der Augenbewegung	24
2.3. Augmented Reality	24
2.3.1. Klassische AR	24
2.3.2. Kollaborative AR	26
2.4. Kollaboratives Problemlösen	27
2.4.1. Der Problembegriff	27
2.4.2. Merkmale des kollaborativen Problemlösens	29
2.4.3. Faktoren für erfolgreiche kollaborative Arbeit	32
2.4.4. Vorteile eines geteilten Arbeitsbereiches	33
2.4.5. Vorteile einer Shared-Vision	34
2.4.6. Studien zum kollaborativen Problemlösen	35
2.4.7. Ein Unterstützungssystem für kollaboratives Problemlösen	36

3. Entwicklung des Systems	39
3.1. Anforderungsanalyse	39
3.1.1. Fokusgruppenstudie	39
3.1.2. Erweiterte Analyse mit K3-Modellen	42
3.1.3. Erweiterte Analyse mit einer Szenariomatrix	44
3.1.4. Ergebnisse der erweiterten Analysen	45
3.1.5. Zusammenfassung der Anforderungsanalyse	50
3.2. Kriterien	51
3.2.1. Blickbewegungsmessung	52
3.2.2. Datenbrille	53
3.2.3. Systemgenauigkeit	53
3.3. Das System	54
3.3.1. Mobile Komponenten	54
3.3.2. Stationäre Komponenten	56
3.3.3. Vernetzung der Komponenten	56
3.3.4. Software Komponenten	57
3.3.5. Unterstützungskonzept	59
4. Experimentelle Studien	63
4.1. Vorstudien	63
4.1.1. Puzzle-Vorstudie	63
4.1.2. Erfahrungen LNDW 2008	64
4.1.3. Spindel-Vorstudie	65
4.1.4. Erfahrungen LNDW 2009	67
4.2. Tangram-Hauptstudie	68
4.2.1. Auswahl eines geeigneten Paradigmas	68
4.2.2. Mosaik-Test	73
4.2.3. Hypothesen	73
4.2.4. Fragebogen	77
4.2.5. Zusammensetzung der Stichprobe	82
4.2.6. Gruppenspezifischer Versuchsaufbau	83
4.2.7. Novizen-Experten-Rolle	85
4.2.8. Versuchsablauf	86
4.2.9. Erreichte Systemgenauigkeit	93
5. Ergebnisse	97
5.1. Auswertungsmethodik	97
5.2. Lösungszeiten der Tangram-Aufgaben	97
5.3. Zusammenhänge zwischen dem Mosaik-Test und der Lösungszeit	98
5.4. Unterschiede unter Berücksichtigung der Kovariate	99
5.5. Ergebnisse zum postexperimentellen Fragebogen	100

5.6. Deskriptive Analysen	102
5.7. Nachträgliche Analysen	103
5.7.1. Methodik der nachträglichen Analyse	104
5.7.2. Ergebnisse der nachträglichen Analyse	104
6. Diskussion	107
6.1. Lösungszeiten der Tangram-Aufgaben	107
6.2. Mosaik-Test-Daten	109
6.3. Fragebogendaten	109
6.4. Bedarf an Fernunterstützung	111
6.4.1. Umfrage auf der Hannover Messe 2009	111
6.4.2. Praxiseinsatz in der Luftfahrtindustrie	113
6.5. Ausblick	114
6.6. Fazit	117
Literaturverzeichnis	119
Anhang	127
A. Anleitung Shared-Vision-System	127
A.1. Experten-Arbeitsplatz	127
A.2. Novizen-Arbeitsplatz	133
B. Hard- und Software	139
C. Blickbewegungsmessung	141
D. Daten der Tangram-Studie	145
E. Daten zum post-experimentellen Fragebogen	149
E.1. Wahrnehmung der Aufgabenschwierigkeit	149
E.2. Allgemeine Items des Novizen	151
E.3. Spezifische Items des Novizen	153
E.4. Allgemeine Items des Experten	156
E.5. Spezifische Items des Experten	158
F. Versuchsinstruktionen	161
G. Systembeschreibungen	163
H. Übungsaufgabe	173
I. Ergebnis-Diagramme	175

Abbildungsverzeichnis

2.1. Akteure im HLB-MMS	9
2.2. MMS-Strukturdiagramm	13
2.3. Strukturdiagramm des MMS bei Störung	16
2.4. Strukturdiagramm des MMS bei Unterstützung	17
2.5. Benutzungsschnittstellen bezogen auf Sinnesmodalitäten	19
2.6. The Usability Engineering Lifecycle	21
2.7. Virtuality Continuum	25
2.8. Kollaboratives Arbeiten	30
2.9. SVS als Lösung	37
3.1. Maschine zum Drahterodieren	40
3.2. Maschine zum Senkerodieren	40
3.3. Dokumentation einer Fokusgruppendiskussion mit der semiformalen K3-Notation	41
3.4. Anzahl unterschiedlicher Benutzerprofile	46
3.5. Anzahl zur Verfügung stehender Funktionen	46
3.6. Richtung der K3-Prozesse abhängig vom Geschäftsmodell	48
3.7. Interessen des HLB-Anbieters und HLB-Kunden	49
3.8. Detaillierungsgrad abrufbarer Informationen	49
3.9. SVS Konzeptgrafik	52
3.10. Modell der tragbaren Einheit des SVS	55
3.11. Foto der mobilen Komponente des Shared-Vision-Systems	55
3.12. Komponenten-Vernetzung des SVS	57
3.13. Das SVS in Aktion	58
3.14. Hierarchisches Modell multimodaler Benutzerunterstützung in HLB	60
4.1. Tangram	65
4.2. Frässpindel	66
4.3. Feder in der Spindel	66
4.4. Sicht des Experten	70
4.5. Tangrams	72
4.6. Kinnstütze	88
4.7. Zugentlastung	88
4.8. Prüfmatrix für Gesamtfehler	91

4.9.	Puzzelnder Novize	92
4.10.	Unterstützungsarbeitsplatz	92
4.11.	Toleranzmaß	94
4.12.	Geometrie der Parallaxe	95
5.1.	Lösungszeiten Tangram	98
5.2.	Aktive Teilnahme der Novizen	101
5.3.	Tragekomfort des SVS	102
6.1.	KHW Design OnSite	116
6.2.	KHW Design Inrac	116
6.3.	KHW Design mobile SOS	116
6.4.	KHW Design e-help	116
A.1.	WinCAL → Setup	130
A.2.	iView X → Setup → Hardware → Communication	130
A.3.	Remote Interface 1 → Configure	131
A.4.	Remote Interface 2 → Configure	131
A.5.	VirtualDub → Capture	131
A.6.	VirtualDub → Capture → Preferences	132
A.7.	iView X → Setup → Hardware → Communication	138
A.8.	Remote Interface 1 → Configure	138
C.1.	Kalibriermatrix für DIN A4-Ausdruck skaliert auf 60 %	142
C.2.	Prüfmatrix für DIN A4-Ausdruck skaliert auf 60 %	143
F.1.	Versuchsinstruktion Seite 1	161
F.2.	Versuchsinstruktion Seite 2	162
G.1.	Systembeschreibung VOICE Seite 1	163
G.2.	Systembeschreibung VOICE Seite 2	164
G.3.	Systembeschreibung MOUSE Seite 1	165
G.4.	Systembeschreibung MOUSE Seite 2	166
G.5.	Systembeschreibung MOUSE Seite 3	167
G.6.	Systembeschreibung SVS Seite 1	168
G.7.	Systembeschreibung SVS Seite 2	169
G.8.	Systembeschreibung SVS Seite 3	170
G.9.	Systembeschreibung SVS Seite 4	171
H.1.	Übungsaufgabe	173
I.1.	Mittlere Lösungszeiten aller VPn je Trial	175
I.2.	Mittlere Lösungszeiten aller Trials je VPn	175

Tabellenverzeichnis

2.1. Klassifikation von Barrieretypen in Problemen	28
2.2. Kategorien der Gaze Awareness	34
3.1. Struktur der Szenariomatrix	44
3.2. Spezifische Rollenzuweisung	45
4.1. Vor- und Nachteile potentieller Paradigmen	71
4.2. SVS-Konfiguration	84
4.3. Versuchsdesign	86
5.1. Einfluss der Kovariaten auf die Lösungszeit	99
B.1. Hardwarekomponenten	139
B.2. Softwarekomponenten	139
C.1. Kreisdurchmesser der Kalibrierungsmatrix	141
D.1. Demographische Daten	146
D.2. Lösungszeiten	147
E.1. Schwierigkeit der Tangram-Aufgaben	150
E.2. Items für alle Novizen	151
E.3. Subjektive Wahrnehmung der Novizen	152
E.4. Items für Novizen der VOICE-Gruppe	153
E.5. Daten Novize VOICE	153
E.6. Items für Novizen der MOUSE-Gruppe	154
E.7. Daten Novize MOUSE	154
E.8. Items für Novizen der SVS-Gruppe	155
E.9. Daten Novize SVS	155
E.10. Items für alle Experten	156
E.11. Subjektive Wahrnehmung der Experten	157
E.12. Items für Experten der VOICE-Gruppe	158
E.13. Daten der Experten der VOICE-Gruppe	158
E.14. Items für Experten der MOUSE-Gruppe	159
E.15. Daten der Experten der MOUSE-Gruppe	159

E.16.Items für Experten der SVS-Gruppe	160
E.17.Daten der Experten der SVS-Gruppe	160

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of Variance
AR	Augmented Reality
CSCW	Computer Supported Collaborative Work
Exp	Experte
HAWIE	Hamburg-Wechsler-Intelligenztests für Erwachsene
HED	Head Mounted Eye Tracking Device
HLB	Hybride(s) Leistungsbündel
HMD	Head Mounted Display
KSA-Test	Kolmogorow-Smirnow-Anpassungstest
LNDW	Lange Nacht der Wissenschaften
LSD-Test	Least Significant Difference Test
MMI	Mensch-Maschine-Interaktion
MMS	Mensch-Maschine-System
Nov	Novize
RED	Remote Eye Tracking Device
SMI	SensoMotoric Instruments
SVF	Shared-Vision-Framework
SVS	Shared-Vision-System
TR29	Transregio 29
VGA	Video Graphics Array
ZMPT	Zentrum für Mikroproduktionstechnik

1. Einleitung

1.1. Thematischer Hintergrund¹

Im heutigen Zeitalter vollzieht sich eine immer schneller voranschreitende Technisierung sowohl innerhalb des privaten Lebensbereichs als auch im Arbeitsumfeld. Dabei steigen einerseits die Komplexität und andererseits die Nutzungshäufigkeit technischer Systeme. Besonders auf dem Gebiet der industriellen Produktion ist ein weltweiter Trend zu Spezialisierung und steigendem Produktivitätsdruck beobachtbar. Diese Entwicklungen bedingen auf der einen Seite einen Anstieg im Automatisierungsgrad der Produktionsmaschinen. Auf der anderen Seite werden die mit diesen technischen Systemen auszuführenden Arbeitsabläufe und -prozeduren vielschichtiger und verlangen entsprechend mehr und tiefer gehendes Expertenwissen.

Besonders der Bereich der hybriden Leistungsbündel (HLB) ist mit diesen komplexen und vielschichtigen Herausforderungen konfrontiert. Nach Meier und Uhlmann (2011) ist ein HLB gekennzeichnet „durch die integrierte, sich gegenseitig determinierende Planung, Entwicklung, Implementierung, Erbringung und Nutzung von Sach- und Dienstleistungsanteilen einschließlich ihrer immanenten Softwarekomponenten in industriellen Anwendungen und repräsentiert ein wissensintensives soziotechnisches System“ (vgl. auch Meier, Uhlmann & Kortmann, 2005). Weiterhin weisen HLB ein breites Einsatzfeld auf, wodurch sie durch eine hohe Heterogenität der Nutzer und Nutzungskontexte geprägt sind. Es handelt sich dabei um Systeme, die von HLB-Anbietern auf Anfrage der HLB-Kunden individuell entworfen und entwickelt werden. Übergeben HLB-Anbieter diese Systeme an HLB-Kunden, werden diese als Nutzer Teil jener Systeme.

Aufgrund des sehr breiten Einsatzfeldes existieren zahlreiche Anwendungsbeispiele für HLB. So beendet beispielsweise in der Luftfahrt die Übergabe eines Triebwerks an eine Fluggesellschaft keineswegs die Anbieter-Kunden-Bindung. Untrennbar sind die zum Triebwerk gehörenden unerlässlichen Dienstleistungen wie zum Beispiel Wartung, Instandhaltung und Reparaturservice über die gesamte Lebenszeit eng mit dem Flugzeug, der Airline als Nutzer und dem Hersteller des Triebwerks als Anbieter verbunden. Eine ähnlich enge Verknüpfung zwischen Sach- und Dienstleistung existiert ebenfalls in industriell genutzten HLB, welche zur Produktion von Werkzeugen, Maschinenbaugruppen oder -teilen eingesetzt werden.

Geisert, Stelzer und Uhlmann (2007) begründen, warum gerade die Mikroprodukti-

¹überarbeitete Version des Abschnitts 10.1 aus Höge, Schmuntzsch und Rötting (2011)

1. Einleitung

on als Beispiel zur Entwicklung einer HLB-Theorie bzw. eines HLB-Modells besonders wertvoll ist. So repräsentiert die Domäne Mikroproduktion einen relativ jungen Zweig der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie, bei dem das Anwendungs-Know-How noch nicht so ausgeprägt vorhanden ist wie in der Makroproduktion. Unter diesen Umständen kann es für Kunden einen Mehrwert darstellen, dass durch zugeschnittene Dienstleistungen dem Kunden ausreichend Know-How zur Fertigung der Produkte angeboten wird. Die hohen Anforderungen an die Präzision bei der Nutzung von Mikroproduktionstechnik bedingen Möglichkeiten zur Unterstützung des Kunden bei arbeitsvorbereitenden Maßnahmen in der Messtechnik, in der Instandhaltung, Wartung und auch bei der Optimierung der Fertigungsanlagen. Geisert et al. (2007) betonen, dass die Mikroproduktionstechnik eine hohe Eintrittsbarriere in den Markt für Güter darstellt, die mit derartigen Maschinen gefertigt werden, und daher Kunden langzeitigen Investitionsschutz suchen, der durch unterstützende Dienstleistungen über den gesamten Lebenszyklus der Fertigungsmaschine gedeckt werden kann. Für diese Arbeit, die im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereichs *Transregio 29 - Engineering hybrider Leistungsbündel*² (TR29) entstanden ist, liegt der Fokus auf dem Bereich des menschlichen Akteurs als Benutzer der Maschine.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass auch hoch automatisierte Systeme immer noch aus den Komponenten Mensch, Maschine und Umwelt bestehen, welche jeweils gleichermaßen zu berücksichtigen und aufeinander abzustimmen sind und zusammen das sogenannte Mensch-Maschine-System (MMS) beschreiben (Bainbridge, 1983). Timpe und Kolrep (2002, S. 10) verstehen unter einem MMS die „zweckmäßige Abstraktion des zielgerichteten Zusammenwirkens von Personen mit technischen Systemen zur Erfüllung eines fremd- oder selbst gestellten Auftrages“. Die menschlichen Faktoren sind dabei als ein integriertes Set von jeweils spezifischen physischen, kognitiven und sozialen Fähigkeiten und Fertigkeiten anzusehen. Beispiele hierfür sind Aspekte der sensorischen Wahrnehmung, Informationsverarbeitung oder aber auch der Umgang mit Stress (Wickens, Lee, Liu & Gordon-Becker, 2003). Johannsen (1993, S. 1) zählt zu MMS auch Datenkommunikationssysteme, die eine Mensch-Maschine-Mensch-Kommunikation ermöglichen.

Ein MMS ist zwangsläufig ein Bestandteil eines HLB. Die Erläuterungen zur Definition von HLB machen deutlich, dass es Einflüsse aufeinander und Wechselwirkungen zwischen diesen Systemen sowohl in der Planungs- und Gestaltungsphase wie auch in der Betriebsphase bis zum Ende des Lebenszyklus des MMS geben muss (Meier & Uhlmann, 2011). So bestimmt die Gestaltung des HLB, insbesondere in Hinblick auf den Kundennutzen, den Rahmen für die Gestaltung des MMS. Ein HLB setzt sich aus mehreren vernetzten Akteuren zusammen, wobei deren Kollaboration in der Leistungserbringung von besonderer Bedeutung ist. Die Gestaltung des Bündels verändert sich dynamisch über den Lebenszyklus und bringt damit dynamische Rahmenbedingungen für die Gestaltung des

²Untertitel: Dynamische Wechselwirkungen von Sach- und Dienstleistungen in der Produktion (Förderperiode 1: 07/2006 bis 06/2010, Förderperiode 2: 07/2010 bis 06/2013)

MMS mit sich, die sich auf dessen Adaptierbarkeit und Adaptivität³ auswirken. In der Substitutionsfähigkeit von Sach- und Dienstleistungsanteilen lassen sich unterschiedliche Ebenen der Automatisierung von MMS erkennen. Dies hat Auswirkungen auf die Effizienz und Effektivität des MMS. In einem wandelbaren MMS stellen die dynamischen Rahmenbedingungen eine besondere Situation für die menschlichen Akteure dar. Davor betroffen sind insbesondere die täglichen Benutzer wie die Maschinenbediener aber auch die Benutzer, die regelmäßig zur Instandhaltung, Wartung und Optimierung oder in Störfällen zur Reparatur mit den Maschinen interagieren. Erfahrungswissen aus der Betriebsphase, gesammelt von menschlichen Akteuren oder in Form von Daten, ausgewertet von Sensoren und verarbeitet mit Algorithmen, ermöglicht Rückführungen auf die Gestaltungsphase und erlaubt Steigerungen von Effizienz und Effektivität durch stetiges Beseitigen von Fehlern und Einfügen von Verbesserungen. Die hohe Kundenintegration des HLB bedeutet für das MMS wiederum eine flexible Gestaltung hinsichtlich Adaptierbarkeit und Adaptivität. Der Rahmen für die Gestaltung des HLB wird im weiteren Sinne durch ein Spektrum an Geschäftsmodellen bestimmt und im engeren Sinne kundenindividuell erstellt. Die Industrialisierung der Erbringungsprozesse durch Standardisierung, Rationalisierung, Automatisierung und arbeitsteilige Erbringung eröffnet dabei ein Spannungsfeld zur individuellen Gestaltung von MMS.

1.2. Problem- und Zielstellung

Aus den genannten Erläuterungen zu HLB ergeben sich zum einen allgemeine Fragestellungen zur Gestaltung von MMS in HLB. Es sind die Fragen zu stellen, wie MMS innerhalb von HLB zu gestalten sind und ob sich diese hinsichtlich ihrer Erscheinung von den auf herkömmliche Weise entwickelten und angebotenen technischen Systemen unterscheiden. Ferner ist zu eruieren, ob besondere Anforderungen bezüglich der Produkt- und Schnittstellengestaltung existieren und ob sich spezifische Anforderungen und Gestaltungsempfehlungen aus dem HLB-Ansatz an die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) ableiten lassen.

Durch die fehlende Expertise bei Kunden sowohl beim täglichen Betrieb als auch bei Wartung, Instandhaltung, Reparatur aber auch bei der Optimierung von Mikroproduktionsanlagen spielt die Unterstützung des direkten Benutzers an der Anlage eine besondere Rolle. Die dynamische und komplexe Struktur macht flexible Operationen und eine hohe Anpassungsfähigkeit erforderlich. Darüber hinaus ist ein breites allgemeines Verständnis ebenso wie spezielles Expertenwissen notwendig, um dem menschlichen Benutzer an der Maschine die Möglichkeit zu geben, mit dieser Dynamik und Komplexität umzugehen sowie die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit des gesamten MMS zu maximieren. So

³Adaptierbare Schnittstellen werden von den Nutzern selbst an ihre Bedürfnisse angepasst, bei adaptiven Schnittstellen wird der Adoptionsbedarf durch das technische System aus Informationen über den Nutzer, dessen Kontext und Tätigkeit abgeleitet.

1. Einleitung

ist nicht nur die Interaktion zwischen den technischen Komponenten und den menschlichen Akteuren zu berücksichtigen, sondern insbesondere auch die Vermittlung von Expertenwissen an unerfahrene Nutzer, deren Einsatz in bestimmten Geschäftsmodellen vorgesehen ist. Die fehlende Expertise bei Kunden von HLB motiviert daher, ein intuitives Unterstützungssystem für alle Situationen an der Maschine zu entwickeln, in der spezielles Expertenwissen unmittelbar zur Verfügung gestellt werden muss, damit sich keine langwierigen und kostspieligen Unterbrechungen in der Produktion ergeben.

Ziel der Arbeit ist es, einen Bedarf für Fernunterstützungssysteme in HLB aus einer Anforderungsanalyse heraus abzuleiten und ein Unterstützungssystem auf der Idee eines sogenannten *Shared-Vision-Systems* (SVS) zu entwickeln (erstmalige Erwähnung des SVS im unveröffentlichten Finanzierungsantrag 2006–2009 des TR29 auf S. 431). Das prototypisch⁴ entwickelte Unterstützungssystem wird in Anlehnung an praxisorientierten Szenarien in empirischen Studien evaluiert, um eine erste Einschätzung über die Effizienz und Effektivität dieses neuartigen Systems zu erhalten. Es ist weiterhin Ziel der Arbeit, Einsatzgebiete für das entwickelte System über die von HLB hinaus aufzudecken und Anregungen für zukünftige wissenschaftlichen Arbeiten festzuhalten. Es ist jedoch nicht Ziel der Arbeit, das Unterstützungssystem für spätere Anwender auszulegen und auf eine spätere Vermarktung hin zu optimieren. So wird das Unterstützungssystem keine oder nur eine rudimentäre Benutzungsoberfläche bieten, die Kalibrierungen werden zeitaufwendig sein und eine zweite Person erfordern, die auch beim korrekten Anlegen des Systems behilflich ist. Das System soll nicht auf Mobilität optimiert werden, aber Bewegungsfreiheit in empirischen Studien zulassen.

1.3. Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 ab Seite 7 werden zuerst die theoretischen Grundlagen beleuchtet, auf denen die Entwicklung eines System beruht, das zwei Akteure in der Kollaboration beim Lösen von technischen Problemen natürlich und intuitiv unterstützen soll. Dabei wird in Abschnitt 2.1 auf Seite 8 der Aspekt des Menschen und des Unterstützungssystems als Teil des MMS erörtert. Angerissen werden auch Gestaltungsfragen und Interaktionskonzepte. Es folgt in Abschnitt 2.2 auf Seite 22 ein Überblick über Augenbewegungen und deren Registrierung. Bei der Entwicklung eines Unterstützungssystems spielt die Integration eines solchen Systems in die Umgebung des Benutzers eine besondere Rolle. Mit Techniken der Augmented Reality, also der erweiterten Realität, werden in Abschnitt 2.3 auf Seite 24 Forschungsansätze präsentiert, die nicht nur inspirierend sondern auch wegweisend bei der Entwicklung des Systems waren. Im Bereich der Unterstützung von einem Akteur durch einen anderen Akteur durch Beratung oder beim Lösen von Problemen im Betrieb von technischen Anlagen wird deutlich, dass in dieser Situation die Akteure

⁴im Sinne eines zur Forschung geeigneten Systems im Gegensatz zu einem zur Vorbereitung einer Serienproduktion entwickelten Prototypen

gemeinsam Probleme lösen. Abschnitt 2.4 auf Seite 27 ordnet das entwickelte Unterstützungssystem in die Forschung zum Problemlösen ein und betrachtet dabei ausschließlich die Kollaboration.

Kapitel 3 ab Seite 39 beschäftigt sich mit der Entwicklung des Systems. Dazu wird in Abschnitt 3.1 die Frage gestellt, ob sich aus dem HLB-Kontext spezielle Anforderungen an die Entwicklung und Gestaltung von Benutzerschnittstellen ableiten lassen. Basierend auf den Ergebnissen wird eine Verbindung zur Entwicklung des Unterstützungssystems hergestellt. Die Kriterien zur Systementwicklung werden in Abschnitt 3.2 auf Seite 51 vorgestellt und erläutert. Abschließend wird in Abschnitt 3.3 auf Seite 54 das System mit allen Komponenten beschrieben.

In Kapitel 4 ab Seite 63 werden sowohl die Vorstudien als auch die Hauptstudie zur Evaluation des Systems vorgestellt. In einer empirischen Studie wird die Effizienz und Effektivität des Systems anhand einer Aufgabe zum Puzzle *Tangram* durch Überprüfung entsprechender Forschungshypothesen untersucht, auch um die Bewertung einer potentiellen Praxistauglichkeit zu ermöglichen.

Kapitel 5 ab Seite 97 beschreibt die Ergebnisse der in Kapitel 4 vorgestellten Hauptstudie. Die Ergebnisse der Studie werden abschließend in Kapitel 6 ab Seite 107 kritisch diskutiert und die Methodik hinterfragt. Abschließend werden Anhaltspunkte für künftige Forschungshypothesen und für eine Fortsetzung der Entwicklung des Shared-Vision-Systems in einem Ausblick aufgezeigt.

2. Theoretische Grundlagen

Hinter der Entwicklung des Shared-Vision-Systems stehen mehrere Themengebiete als Grundlage, die in den folgenden Abschnitten dieses Kapitels beleuchtet werden. Den Grundlagen vorangestellt sei der Verweis auf eine Arbeit von Velichkovsky, deren Erkenntnisse zur Idee der Entwicklung des Shared-Vision-Systems (SVS) geführt haben.

In der erwähnten Arbeit wurde der Einfluss der Blickinformation in einem Experiment untersucht, in dem zwei Akteure gemeinsam ein computergeneriertes Puzzle lösten. Ein Akteur war durch Training bereits auf das Puzzle vorbereitet. Für den anderen Akteur war die Aufgabe neu. Beide Akteure teilten sich dabei eine gemeinsame Sicht auf das Puzzle, aber nur der mit der Aufgabe nicht vertraute Akteur konnte mit dem Puzzle interagieren. Der vorbereitete Akteur war in der Lage, den anderen durch verbale Kommunikation zu unterstützen. Zusätzlich konnte der Puzzelnde in einer Bedingung den Blickpunkt des Unterstützers auf dem Bildschirm, der auch das Puzzle anzeigte, sehen. Ein Ergebnis der Studie war, dass der Unterschied in den mittleren Zeiten zur Lösung des Puzzles zwischen der Bedingung mit rein verbaler Kommunikation und der mit der Registrierung der Augenbewegungen des Unterstützers signifikant war. Durch die visualisierten Augenbewegungen des Unterstützers wurde das Puzzle signifikant effizienter gelöst als nur mit Sprachunterstützung (Velichkovsky, 1995).

Wie bei jeder Entwicklung einer durch den Menschen genutzten Maschine ordnet sich auch die Entwicklung des SVS in die Grundlagen zur Mensch-Maschine-Systemgestaltung ein. In Abschnitt 2.1 auf der nächsten Seite werden Vorteile der Gestaltung multimodaler Schnittstellen genannt und die Frage beantwortet, wie das SVS in die Kategorie der Unterstützungssysteme einzuordnen ist.

Abschnitt 2.2 auf Seite 22 stellt die Grundlagen zur Registrierung der Augenbewegungen von. Es werden sowohl die Arten der Augenbewegung klassifiziert wie auch Messmethoden zur Registrierung der Bewegungen vorgestellt.

Werden einem Menschen Informationen in dessen Sichtfeld sichtbar gemacht, die sich mit der realen Umwelt überlagern, wird von *erweiterter Realität* bzw. Augmented Reality (AR) gesprochen. AR ermöglicht es beispielsweise dem Benutzer eines Fernunterstützungssystems, sowohl die eigene Umgebung visuell wahrzunehmen als auch zusätzlich in diese Umgebung eingeblendete Informationen. In Abschnitt 2.3 auf Seite 24 werden die Grundlagen der AR beschrieben und das SVS im Vergleich mit anderen wegweisenden Arbeiten zum Thema AR betrachtet.

Bereits das genannte Beispiel von Velichkovsky sowie der Hintergrund der hybriden Leistungsbündel machen deutlich, dass mit der Entwicklung des SVS angestrebt wird,

2. Theoretische Grundlagen

eine intuitive, effiziente und effektive Kommunikation zwischen zwei Personen über eine Distanz hinweg zu ermöglichen, die im Begriff sind, ein technisches Problem zu lösen. Daher wird in Abschnitt 2.4 auf Seite 27 der Bereich des kollaborativen Problemlösens betrachtet und das entwickelte System in das Forschungsfeld eingeordnet.

2.1. Mensch-Maschine-Systemgestaltung

2.1.1. Akteure im MMS

Bei der Entwicklung eines Systems, das einen Menschen an einer Maschine beim Lösen komplexer Probleme durch eine Verbindung zu einem entfernten Service-Techniker unterstützen soll, müssen zuerst der Arbeiter, der Service-Techniker und das Unterstützungssystem im Zusammenhang mit MMS im Kontext von HLB definiert werden.

Johannsen (1993) wählt für den Menschen, der im MMS eine Arbeitstätigkeit erfüllt, die Bezeichnung *Bediener*. Der Bediener ist dabei derjenige, der „über Schnittstellensysteme in einem Wirkungsgefüge mit dem technischen System arbeitet“ (Johannsen, 1993, S. 6). Nachfolgend wird trotz Johannsens anschließender Differenzierung zwischen *Bediener* und *Benutzer* die Bezeichnung *Benutzer* gewählt, da die Wortwahl *Bediener* auch zu einem gewissen Maße suggeriert, dass der Mensch der Maschine *diene*. Der Benutzer steht in dieser Arbeit immer in aktiver Interaktion mit der Maschine und wird auch als Arbeiter oder Operateur oder in Bezug auf eine Kollaboration als Akteur bezeichnet. Im Folgenden wird bei der Bezeichnung der Benutzer immer die maskuline Form verwendet, obwohl es sich in der Praxis auch stets um eine Benutzerin (z. B. Technikerin, Facharbeiterin, Expertin) handeln kann.

Die Gruppe der Benutzer in einem MMS unterscheidet Johannsen abhängig von dem Wissensstand des jeweiligen Benutzers, dem Betriebsmodus und der Lebensphase des MMS. In Abbildung 2.1 auf der nächsten Seite ist dargestellt, dass diese Benutzer in der Betriebsphase eines HLB über die gesamte Lebenzeit des HLB hinweg unterschiedlichen Stakeholdern (HLB-Anbieter, -Kunde und -Partner) zugeordnet sein können. Dies ist insbesondere von den HLB-spezifischen Geschäftsmodellen abhängig, die in Meier und Uhlmann (2011) aufgeführt sind. Der Einfluss der Geschäftsmodelle auf MMS in HLB wird in Abschnitt 3.1 auf Seite 39 untersucht.

Im Normalbetrieb arbeitet ein Benutzer (in Abbildung 2.1 „Facharbeiter“) am MMS, der über praktisches Gebrauchswissen oder operatives Betriebswissen verfügt. Abhängig von der Komplexität der Maschine und vom Kenntnisstand des Benutzers reicht das Wissen sogar noch für eine Fortsetzung der Tätigkeit bei Auftreten von technischen Störungen. Voraussetzung ist, dass der Benutzer über entsprechendes Handlungswissen verfügt. Bei komplexeren Störungen kommen Betriebsingenieure (in Abbildung 2.1 „Techniker“) zum Einsatz, die über technisch-wissenschaftliches Funktionswissen zur Behebung der Störungen verfügen. Unterstützt werden Betriebsingenieure bei Maschinenausfällen auch durch das Wartungspersonal (in Abbildung 2.1 „Instandhalter“), die normalerweise beim

2.1. Mensch-Maschine-Systemgestaltung

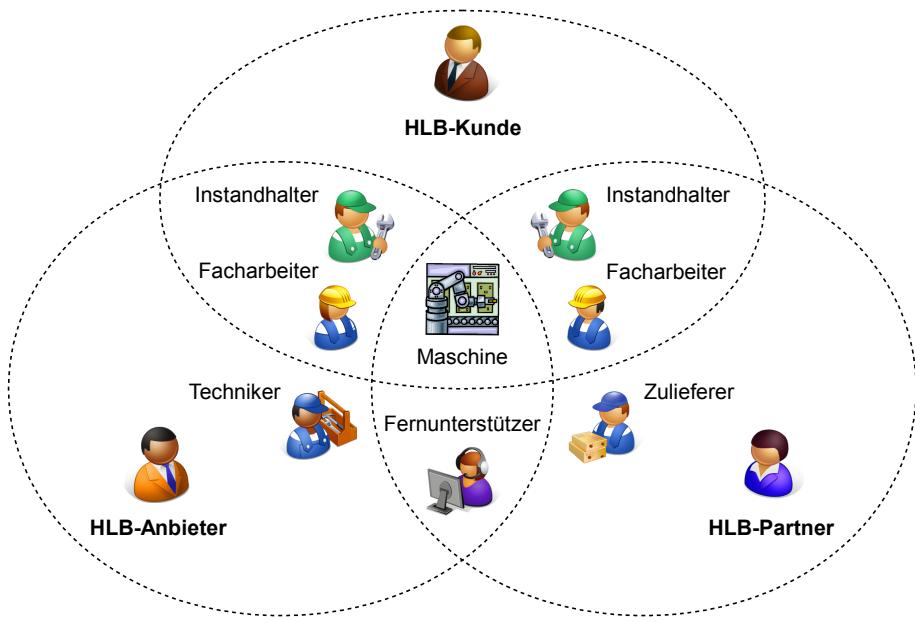


Abbildung 2.1.: Akteure im HLB-Mensch-Maschine-System in der Betriebsphase

Stillstand des technischen Systems Reparaturen durchführen (Johannsen, 1993, S. 7).

Darüber hinaus werden noch Entwurfsingenieure und Inbetriebnahme-Ingenieure aufgezählt. Entwurfsingenieure tragen in der Entwurfsphase zur Gestaltung und Optimierung des MMS bei. Inbetriebnahme-Ingenieure benötigen zum Einfahren von technischen Systemen sowohl hohes Gebrauchswissen als auch zur Behebung dabei auftretender Störungen über ausreichendes technisch-wissenschaftliches Funktionswissen (Johannsen, 1993, S. 8).

Unabhängig von theoretischem und praktischen Wissen der Akteure sei hier definiert, dass der Hilfe suchende Arbeiter an der Maschine im Zusammenhang mit der Fernunterstützung als *Novize* und der Hilfe leistende Service-Techniker als *Experte* bezeichnet wird. Dabei unterscheiden sich Experte und Novize neben der räumlichen Trennung auch darin, dass der Experte über die entsprechende Lösung zu dem Problem verfügt, mit welchem der Novize bei seiner Aufgabenbewältigung konfrontiert ist. Der Novize initiiert dabei die Kontaktaufnahme zum Experten. Der Problembegriff wird in Abschnitt 2.4 auf Seite 27 definiert, während in den folgenden Abschnitten die Thematik des Mensch-Maschine-Systems behandelt wird.

2. Theoretische Grundlagen

2.1.2. Anforderungen an MMS

Grundsätzlich gelten für die Gestaltung von MMS bzw. multimodalen Nutzerinterfaces in HLB prinzipiell die gleichen Anforderungen wie für jedes andere MMS auch. Hierfür existieren bereits eine ganze Reihe von Richtlinien, Normen und Empfehlungen. In Anlehnung an Timpe und Kolrep (2002) liegen die Gestaltungsbereiche von MMS im Bereich der größtmöglichen Subsysteme: dem Individuum, der Gruppe, der Organisation, der Technik und der Umwelt zusammen mit den zwischen ihnen existierenden Nahtstellen. Werden diese sehr allgemeinen Themenkreise auf die Fragen der Gestaltung und Entwicklung konkreter Systeme, die damit verbundenen Arbeitsbedingungen und die zur Aufgabenerfüllung erforderlichen Leistungsvoraussetzungen zugeschnitten, ergeben sich nach Timpe und Kolrep (2002, S. 33) die Gestaltungsbereiche

- Aufgabenstruktur und Wissenserfordernisse,
- Funktionsumfang,
- Funktionsverteilung,
- technische Systemkomponenten,
- Dialogschnittstelle,
- Qualifikation und Training sowie
- Assistenz und Unterstützung.

Bei der Gestaltung von MMS in hybriden Leistungsbündeln sind, wie bei der Gestaltung anderer MMS auch, Effizienz und Effektivität des Systems zu sichern. Während des gesamten Gestaltungsprozesses ist immer wieder die Frage zu stellen, wie sich ein MMS effektiv und effizient gestalten lässt. Hierfür wurden bereits verschiedene Richtlinien, Normen und Empfehlungen erarbeitet. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier folgende, ergänzt nach Timpe und Kolrep (2002, S. 34), aufgezählt:

- IFIP-Schnittstellenmodell (Dzida, 1983)
- VDI/VDE 3699 (Prozessführung mit Bildschirmen)
- VDI Richtlinie 3780 (Technikbewertung)
- VDI/VDE 3850 (Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen)
- VDI 4006 (Menschliche Zuverlässigkeit)
- VDI 5005 (Bürokommunikation; Softwareergonomie in der Bürokommunikation)
- EN ISO 9241 (Richtlinien zur Interaktion zwischen Mensch und Computer; speziell Teil 110 und 210: Grundsätze der Dialoggestaltung, Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme)
- EN ISO 9000 ff. (Grundsätze für Maßnahmen zum Qualitätsmanagement)
- EG-Richtlinie 90/270/EWG (Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten)

2.1.3. Unterstützung in MMS

Als ein Gestaltungsbereich von MMS wurde bereits in Abschnitt 2.1.2 auf der vorherigen Seite *Assistenz und Unterstützung* genannt. An dieser Stelle ist daher die Wirkungsweise eines Systems zur Unterstützung der Kollaboration zweier Operateure in den Kontext der MMI einzurordnen und vom Begriff des Assistenz- bzw. Unterstützungssystems abzugrenzen.

Engel (1996, S. 99) zufolge sind Unternehmen des deutschen Maschinenbaus durch einen permanent steigenden Wettbewerbsdruck bemüht, die Kosten der Produktion bei steigender Produktqualität zu senken. Die Konsequenz sind höhere Anforderungen an die Verfügbarkeit der Anlagen, die wiederum durch technische und organisatorische Störungen beeinträchtigt wird. Auf technischer Seite lässt sich die Verfügbarkeit durch Minimierung der Ausfallzeiten erhöhen. Die Verwendung von Bauteilen mit einer hohen Zuverlässigkeit sorgt für längere Abstände zwischen Ausfällen. Eine weitere Möglichkeit bietet aber auch eine Verkürzung der Störungsdiagnose durch geringere Fehlersuchzeiten, schnellere Ursachenfindung, Fehlerbehebung und Wiederinbetriebnahme. Engel sieht hier dringenden Handlungsbedarf, da durch Störungen im schlimmsten Fall ein ganzer Fertigungsprozess zum Stillstand kommen kann. In komplexen, verstärkt automatisierten und eng verketteten Anlagen erhöhen sich die Wahrscheinlichkeit von Störungen und die Anforderungen an die Instandhaltung. Der Störungsdiagnose als Teil der Instandhaltung kommt somit eine steigende Bedeutung in der industriellen Fertigung zu, doch erfordert diese immer weiterreichende Kenntnisse, so dass sich eine Notwendigkeit zur Unterstützung der Anwender ergibt.

Die Effizienzerhöhung bei der Aufgabenbewältigung bestätigt auch Timpe (1998, S. 1) als wesentliche Aufgabe einer Unterstützung. Dazu nutzt der Mensch zur Erfüllung seiner Arbeitsaufgaben gegebenenfalls die Unterstützung von anderen Personen (z. B. aus dem Kreis der Kollegen), oder sucht in Nachschlagewerken (z. B. Handbüchern) Hilfe. Dabei behält der Hilfesuchende zu diesem Zeitpunkt die Prozesskontrolle und bestimmt auch den Zeitpunkt, zu dem er um Hilfe bittet oder diese anfordert. Die Verbindung zu einem Unterstützungssystem schließt sich, indem zur Unterstützung informationsverarbeitende Technologien eingesetzt werden. Als Einsatzgebiete bestehen Möglichkeiten in der Unterstützung der Funktionen zur Wahrnehmung, der (Senso)motorik, dem Problemlösen auf der Ebene des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses, dem Entscheiden und der Aktivierung. Ein Operateur kann durch ein Unterstützungssystem „speziell dort Hilfe erhalten, wo potentiell Begrenzungen in seinen Ressourcen bei der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -ausgabe im Verlaufe der Aufgabenerfüllung auftreten können“ (Timpe, 1998, S. 2). Die Definition des Unterstützungssystems macht deutlich, dass es sich bei dem mit dieser Arbeit entwickelten Fernunterstützungssystem *nicht* um ein derartiges Unterstützungssystem handelt.

„Ein Unterstützungssystem ist ein informationsverarbeitendes technisches Gebilde, das die Aufgabenerfüllung eines Operateurs in einem Mensch-Ma-

2. Theoretische Grundlagen

schine-System dadurch fördert, dass es bestimmte, für seine Zielerreichung notwendige, Teilaufgaben innerhalb seiner Gesamtaufgabe übernimmt und/ oder ausführt. Es ist damit als Oberbegriff für rechnergestützte Technologien wie Assistenzsystem, Hilfesystem o. ä. zu verstehen.“ (Timpe & Kolrep, 2002, S. 50)

Ein Unterstützungssystem zur Kollaboration zwischen zwei Akteuren dient zwar dem Zweck der Effizienzerhöhung, ist aber in der geplanten und hier umgesetzten Ausrichtung nicht in der Lage, eigenständig Informationen zu verarbeiten, sondern erlaubt lediglich die Übertragung der Informationen aus dem Expertenwissen des anderen Akteurs. Gelänge es, das Expertenwissen technisch in ein System umzusetzen, würde das System zwar zu einem Unterstützungssystem werden, aber ohne den Kontakt zum Experten kein kollaboratives Fernunterstützungssystem mehr darstellen.

Einen theoretischen und praktischen Einblick in die Erstellung wissensbasierter Unterstützungssysteme, die der oben genannten Definition genügen, geben u. a. Timpe, Rothe und Seifert (1994) und Gaßner (1996). In den genannten Arbeiten steht die Erfassung von Erfahrungswissen unter Verwendung von Methoden zur Wissenserhebung und -modellierung im Vordergrund. Am Beispiel einer Störungsdiagnose bei Instandhaltungsarbeiten an Werkzeugmaschinen wird mit wissenspsychologischen Zugängen ein Wissenskörper als Implementierungsobjekt aufgebaut. Timpe merkt zu Gaßner (1996) an, dass bei der Erstellung des Wissenskörpers eine eher einseitige, in diesem Fall informatikorientierte, Sichtweise zu vermeiden, stattdessen auf eine wissenspsychologische Sichtweise abzustimmen ist und appelliert damit an eine disziplinübergreifende Sichtweise bei der Entwicklung von Unterstützungssystemen (Timpe, 1998, S. 16).

Neben der Sichtweise bei der Erstellung wissensbasierter Unterstützungssysteme weist Timpe auch auf den „vorher oft nicht abzuschätzenden Aufwand bzgl. der benötigten und zur Verfügung stehenden personellen und investiven Ressourcen“ hin (Timpe, 1998, S. 14). Konradt und Zimolong (1994) und Konradt (1992) weisen darauf hin, dass das der Expertenleistung zugrunde liegende Wissen zudem nicht vollständig im Wissenskörper eines Unterstützungssystems abbildbar ist und darüber hinaus auch der Erfahrungs- und Kenntnisstand der Nutzer berücksichtigt werden muss. Ein weiterer Nachteil ist die zeitaufwendige und kostenintensive Pflege der wissensbasierten Unterstützungssysteme, wenn später im Betrieb Veränderungen am technischen System permanente Korrekturen und Anpassungen im Unterstützungssystem erfordern (Mertens (1990) in Timpe (1998)).

Ein *kollaboratives* Fernunterstützungssystem erlaubt eine kommunikative Verbindung zwischen Operateur und Experte. Dabei trifft der Kenntnisstand des Nutzers direkt auf das Expertenwissen und ein gegenseitiger Informationsaustausch wird ermöglicht.

2.1.4. Der Operateur im MMS

Der Arbeitsalltag eines Operateurs an einer Fertigungsmaschine besteht in der Regel in der Erfüllung der Fertigungsaufträge, aber zunehmend auch aus dem Instandhalten der

2.1. Mensch-Maschine-Systemgestaltung

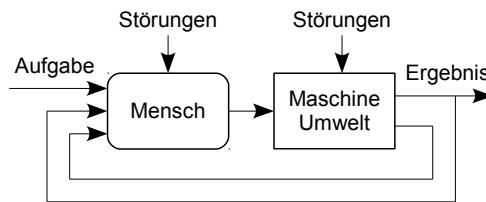


Abbildung 2.2.: Strukturdiagramm des Mensch-Maschine-Systems nach Hauß und Timpe (2002, S. 51) (vgl. auch Bubb, 1993, S. 407)

Maschine. Während bisher für die Instandhaltung eher speziell ausgebildete Instandhalter in Unternehmen zum Einsatz kamen, scheint sich die Durchführung instandhaltender Maßnahmen nach einer repräsentativen Umfrage im Jahr 1994 des Sonderforschungsberichts (SFB) 187 unter 1500 Betrieben des deutschen Maschinenbaus auf Maschinenführer zu verlagern. 1991 gaben 8,2 %, 1992 11,8 % und 1993 15,9 % der Unternehmen an, Maschinenführer Tätigkeiten der Instandsetzung ausführen zu lassen (SFB 187 (1994) in Engel (1996, S. 98 f.)). Maschinenführer werden dabei zunehmend bei der Diagnose kleiner und mittlerer Störungen beteiligt, da diese durch ihre langjährige Erfahrung und ihr detailliertes Wissen in der Lage sind, Fehler abzuleiten (Konradt & Zimlong, 1994). Den Trend zur Verlagerung der Instandhaltungstätigkeiten auf Maschinenführer sieht Engel (1996, S. 98) als Folge eines Zielwechsels: „Ziel ist nicht mehr die vollständige Automatisierung der Produktion, sondern eine gemeinsame Optimierung von Technologieeinsatz und Organisation (soziotechnisches System)“. Die Grundlagen der Instandhaltung wurden dabei 2003 in der DIN 31051 neu definiert. So enthält diese neben Begriffen wie Wartung, Inspektion und Instandsetzung, nun u. a. auch Definitionen zu den Begriffen Verbesserung und Schwachstellenanalyse.

Im folgenden Abschnitt werden zwei Modelle der Handlungsregulation vorgestellt, durch die sich das Verhalten des Operateurs während der Aufgabenerfüllung, bei der Diagnose und Problemlösung an der Maschine beschreiben lässt.

2.1.5. Regulationsmodelle in der MMI

Im Normalfall befindet sich der Operateur in einem ungestörten MMS (siehe Abbildung 2.2). Rückführungen auf das Handeln des Operateurs ergeben sich zum einen direkt aus der Interaktion mit der Benutzungsschnittstelle der Maschine und zum anderen aus dem beobachteten Ergebnis des Fertigungsprozesses.

2. Theoretische Grundlagen

Regulationsebenen-Modell nach Rasmussen

Rasmussen hat 1983 ein Modell vorgestellt, welches das Verhalten eines Operateurs bei Routine- und bei Ausnahmesituationen beschreibt. Dabei unterscheidet Rasmussen drei Verhaltensebenen bei Operateuren: (1) *fertigkeitsbasiertes*, (2) *regelbasiertes* und (3) *wissensbasiertes* Verhalten.

Fertigkeiten hat der Operateur dabei beispielsweise in der Ausbildung im Allgemeinen (z. B. die Handhabung von Werkzeugen) oder an der Maschine im Speziellen (z. B. durch immer wiederkehrende Handgriffe und Handlungsabfolgen) erworben. Fertigkeitsbasiertes Verhalten ist durch kurze Bearbeitungszeiten gekennzeichnet und erfordert keine Entscheidungsprozesse.

Immer dann, wenn Handlungen einfache wenn-dann-basierte Entscheidungen abrufen, wird regelbasiertes Verhalten angesprochen. Diese Regeln können explizit in der Arbeitsanweisung hinterlegt, durch Kollegen vermittelt oder durch Wiedererkennung von bekannten Situationen im Arbeitsalltag erlernt worden sein. Im Gegensatz zu den automatisch ablaufenden Fertigkeiten, werden diese Regeln bewusst ausgewählt, angewendet und mit der entsprechenden Handlungsabfolge ausgeführt.

Tritt eine dem Operateur unbekannte Arbeitssituation auf, die sich demnach nicht durch eine bekannte Regel bearbeiten lässt, handelt es sich um wissensbasiertes Verhalten. In dieser Situation stellt der Operateur eigene Ziele basierend auf einer Analyse der Situation auf und entwickelt einen Plan beispielsweise zur Behebung einer Störung. Der Plan wird dabei praktisch nach dem Prinzip *Versuch und Irrtum* durchgeführt oder aber es existiert ein Verständnis der funktionalen Eigenschaften der Maschine, welches es erlaubt, die Auswirkungen des Lösungsplans vorherzusagen bzw. zu erahnen. Der Plan zur Problemlösung basiert dabei auf einem gedanklichen Modell, das der Operateur von der Situation erstellt hat, so dass auch von modellbasiertem Verhalten gesprochen werden kann (Rasmussen, 1986, S. 102f.). Auf der wissensbasierten Verhaltensebene hängt die Planung der Handlung zur Interaktion mit der Umgebung vom strukturellen Wissen und der mentalen Repräsentation des strukturellen Aufbaus der Elemente und ihrer funktionalen Beziehungen zueinander ab (Rasmussen, 1986, S. 117). Zur Erstellung einer erfolgreichen Problemlösung sind systemspezifisches Hintergrundwissen, die Fähigkeit zur Abstraktion und Intuition nötig.

Handlungsregulation nach Hacker

Ähnlich zu dem vorgestellten Ebenenmodell nach Rasmussen ist die Handlungsregulationstheorie nach Hacker aufgestellt (Hacker, 1986, 2005). Es werden drei „Ebenen“ (Modi) psychischer Regulation (als Bestandteil eines Systems operativer Abbilder¹) unterschieden, die sich gerade auf der obersten Ebene noch weiter auffächern lassen. Auf

¹Ein operatives Abbildsystem entspricht einem mentalen Modell.

jeder Ebene wird zwischen aktionsvorbereitenden Prozessen und Aktionsprogrammen unterschieden.

Auf der untersten Ebene, der automatisierten (sensumotorischen) Regulationsebene initiieren nichtbewusstseinsfähige Wahrnehmungen unterbewusst ablaufende Bewegungen, Stereotypen/Routinen (Fertigkeiten). Der Ebene übergeordnet ist die wissensbasierte, perzeptiv-begriffliche Regulationsebene. Bewusstseinsfähige, jedoch nicht unbedingt bewusstseinspflichtige, wahrnehmungs- oder wissensgestützte Urteilsprozesse aktivieren bewusstseinsfähige Handlungsschemata. Auf dieser Ebene werden Wenn-Dann-Regeln abgerufen und bearbeitet. Die oberste Ebene stellt die intellektuelle Regulationsebene dar, in der bewusstseinspflichtige intellektuelle Analyse- und Synthesevorgänge verschiedenen Niveaus bewusstseinspflichtige Heuristiken, Strategien oder Pläne auslösen (Hacker, 2005, S. 247).

2.1.6. Wissensquellen des Operateurs

Grundlage des Handelns ist das Wissen des Operateurs. *Wissen* ist dabei „etwas im Gedächtnis eines Individuum gespeichertes“ und bildet die „wesentliche Grundlage für die bedingungsangepasste Verhaltensregulation des Individuums in seiner Umgebung“ (Timpe, Rothe et al. 1994, S. 37).

Dem Operateur stehen während der Systembenutzung prinzipiell interne und externe Wissensquellen zur Verfügung, um eine Aufgabe erfolgreich zu absolvieren. Relevante Quellen innerhalb des Gedächtnisses sind für den Operateur vor allem das Gerätewissen, das Aufgabenwissen und das mentale Modell. Externe Quellen bestehen beispielsweise aus Handbüchern, über die Benutzungsoberfläche der Maschine vermitteltes Wissen oder lassen sich durch Kontaktieren anderer Akteure wie Kollegen erschließen (Kraiss, 1993, S. 448).

Das Gerätewissen umfasst nach Kraiss Wissen bezüglich der Teilbereiche Funktionalität, Layout, Auslegung und Gerätetechnik, während zum Aufgaben- und Anwendungswissen das Planungs-, Methoden- und Selektionswissen zählen. Der Kompetenzerwerb eines Operateurs hängt dabei von der Benutzungshäufigkeit ab. Sach- und Interaktionskompetenz steigen mit häufiger Benutzung. Ein einmal erreichter Trainingszustand kann allerdings auch wieder verlorengehen, falls die Benutzungshäufigkeit wieder sinkt (Kraiss, 1993, S. 448 f.). Der schnelle Zugriff auf Wissen bei sporadisch auftretenden Tätigkeiten ist folglich für ein effizientes Arbeiten erforderlich.

Timpe, Rothe et al. (1994, S. 38 f.) betrachten das Wissen des Operateurs aus der wissenspsychologischen Perspektive und differenzieren zwischen *deklarativem* und *prozedurellem* Wissen. Deklaratives oder Faktenwissen wird über die Sinnesorgane aufgenommen (z. B. durch Lesen, Beobachten oder durch Mitteilung von anderen) und kann vom Individuum beispielsweise verbal wiedergegeben werden. Es umfasst Wissen über „Begriffe, Zustände, Ereignisse, gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen Zuständen, Bedingungen und deren Relevanz“ (Timpe, Rothe et al. 1994, S. 39). Dieses technisch-technologische

2. Theoretische Grundlagen

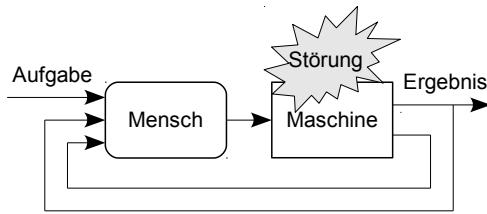


Abbildung 2.3.: Strukturdiagramm des MMS bei Auftreten einer Störung

Wissen, das sich mit dem Gerätewissen von Kraiss weitgehend überschneidet, ist je nach Erfahrungsstand des Operateurs Teil des mentalen Modells der benutzten Maschine. Für die Störungsdiagnose muss zusätzlich formales Wissen über die potentiellen Störungen im mentalen Modell vorhanden sein sowie die Kenntnis über geeignete Prüfverfahren.

Prozedurales Wissen wird im Gegensatz zum deklarativen Wissen nicht nur durch die Sinnesorgane aufgenommen, sondern entsteht durch immer wiederkehrende Handlungsausführungen. Es enthält Wissen über Techniken und Methoden zur Lösung von Aufgaben und Problemen, sowohl in Form von problembereichsspezifischen, Erfolg garantierenden Strategien als auch in Form heuristischer Strategien. Die heuristischen Strategien sind allgemeine Problemlösestrategien, die zwar immer anwendbar sind, aber nicht immer Erfolg versprechen (Timpe, Rothe et al. 1994, S. 40).

2.1.7. Störungen im MMS

Das Auftreten von Störungen in einem technischen System lässt sich mit endlichem Aufwand nicht verhindern (siehe Abbildung 2.3). Für ihr Auftreten existiert eine Vielzahl möglicher Ursachen. Timpe, Rothe et al. (1994, S. 33) fassen zusammen, dass „zumindest ein Teil der Störungen dadurch gekennzeichnet ist, dass

- ihre Symptome partiell übereinstimmen [...],
- zu ihrer Diagnose Messgeräte und andere Hilfsmittel eingesetzt werden müssen [...],
- sowohl die Symptome als auch die Störungsursachen partiell intransparent sind, d. h. nicht direkt wahrnehmbar, sondern nur aus Folgezuständen erschließbar sind, und
- ihre Auftrittshäufigkeit so gering ist, dass sie als seltene Ereignisse erlebt werden.“

Timpe, Rothe et al. (1994) merken dabei an, dass mit der genannten Auflistung zur Beschreibung von Störungen auch komplexe Probleme im Sinne von Dörner charakterisiert sind. Auf die Definition des Problemegriffs nach Dörner wird speziell in Abschnitt 2.4.1 auf Seite 27 eingegangen.

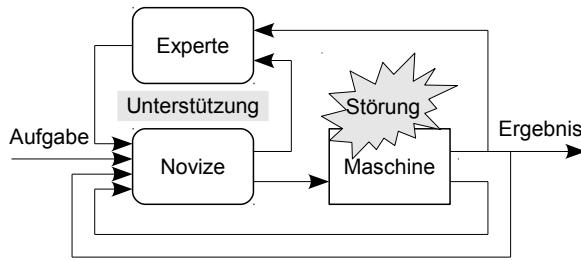


Abbildung 2.4.: Novize und Experte im Strukturdiagramm des MMS

2.1.8. Diagnose und Problemlösen im MMS

Nachdem eine Störung aufgetreten ist und noch bevor eine Problemlösung durch den Operateur erstellt wird, ist der Zustand der technischen Anlage zu diagnostizieren. Während der Diagnoseaufgabe, also nach dem Identifizieren des unerwünschten Zustands, aber noch vor dem Hilfegesuch, muss der Operateur entscheiden, ob Aktionen zur Aufrechterhaltung der Produktion, zum Schutz der Anlage oder des Menschen oder zur Minimierung der Ausfallzeit im Falle eines Anlagenstillstands getroffen werden müssen (Rasmussen, 1986, S. 9 ff.). Im Rahmen dieser Arbeit steht jedoch nicht die Prozessüberwachung von Anlagen in der Makroproduktion oder in Leitständen im Vordergrund, sondern lediglich *eine* Bearbeitungsstation in der Mikroproduktion mit nur *einem* Operateur.

Für die Entwicklung eines Unterstützungssystems wie das SVS wird angenommen, dass es diesem einen Operateur nicht gelingt, den Zustand der Maschine ausreichend zu diagnostizieren, dazu eine Problemlösung zu erstellen und diese erfolgreich umzusetzen. In dieser Situation wird nicht die unterste Ebene der Handlungsregulation angesprochen, sondern geprüft, ob bereits erlernte oder hinterlegte Wenn-Dann-Regeln vorliegen. Ist dies nicht der Fall, wird die intellektuelle bzw. wissensbasierte Ebene verwendet. Auf der wissensbasierten Verhaltensebene verfügt der Operateur im Fall der Kontaktierung eines Experten entweder nicht über ausreichendes Hintergrundwissen, die Intuition oder das nötige Vermögen zur Abstraktion, um eine Problemlösung zu erstellen, zu planen, durchzuführen, zu überprüfen und erfolgreich zum Abschluss also zur Lösung des Problems zu führen. Rasmussen (1986, S. 137) zufolge ist es die Hauptaufgabe beim wissensbasierten Problemlösen, diejenigen Eigenschaften der Umgebung (z. B. der Maschine), die in Bezug zum wahrgenommenen Problem stehen, in eine geeignete symbolische Repräsentation zu übertragen.

Diese Aufgabe kann nicht absolviert werden und führt zur Kontaktaufnahme mit dem Experten (siehe Abbildung 2.4). Durch den Kontakt zu einem Experten kann das für dieses spezielle Problem lückenhafte mentale Modell des Operateurs zur Lösung des

2. Theoretische Grundlagen

Problems für die Diagnose und anschließende Reparaturaufgabe quasi für den Moment ergänzt werden. Das Problem wird durch den Operateur beschrieben und damit an den Experten weitergereicht. Da der Experte per Definition in Abschnitt 2.1.1 auf Seite 8 über das nötige Geräte- und Handlungswissen bzw. das deklarative, formale und prozedurale Wissen für die Aufgabenerfüllung verfügt, kann er den hilfesuchenden Operateur unterstützen. Der Experte erlangt durch den Novizen indirekt Zugriff auf die Maschine und kann durch Anleiten des Novizen Manipulationen an der Maschine zur Lösung des Problems durchführen lassen. Der Experte erhält dabei auditiv und visuell Informationen durch Mikrofon und Kamera über das Ergebnis der Handlungen des Novizen auch unabhängig von der Kommunikation mit dem Novizen.

Die Handlungsfreiheit des Experten ist jedoch in der Fernunterstützungssituation eingeschränkt, so dass auch prozedurales Wissen verbal vermittelt werden muss. Hier stellt die Barriere *Entfernung* ein eventuell nicht zu lösendes Problem dar: eine Prozedur in hochgeübtem Zustand ist möglicherweise nicht mehr ohne weiteres verbalisierbar (Timppe, Rothe et al. 1994, S. 41). Beispiele hierfür sind, wenngleich nicht aus dem technischen Bereich, die Fähigkeiten Fahrrad zu fahren oder einen Schnürsenkel zu binden.

2.1.9. Multimodalität²

Multimodale Nutzerinterfaces zeichnen sich durch zwei oder mehrere Nutzereingabe- und Systemausgabemodalitäten aus. Diese werden idealerweise in koordinierter Weise miteinander kombiniert. Um eine intelligente Anpassbarkeit an den Nutzer, die Aufgabe und den Kontext zu ermöglichen, werden über verschiedene Sensoren Informationen des Nutzerinterfaces sowie der Umgebung aufgenommen und integriert sowie an den Nutzer in unterschiedlichen Modalitäten weitergeleitet. Abbildung 2.5 auf der nächsten Seite stellt die verschiedenen technischen Komponenten einer multimodalen Mensch-Maschine-Schnittstelle schematisch dar.

Die drei wesentlichen Modalitäten heutiger Mensch-Maschine-Schnittstellen sind auditiv, visuell und haptisch. Die weiteren menschlichen Sinneswahrnehmungen olfaktorisch und gustatorisch spielen im Bereich der Interfacegestaltung nahezu keine Rolle.

Bekannte Beispiele eines auditiven Interfaces sind die Ausgabe sowie die Registrierung von Sprache, Tönen und Klängen. Auf der visuellen Seite werden häufig Bilder, Texte, Grafiken oder Videos präsentiert. Die Systemeingabe erfolgt beispielsweise über Kameras durch die Registrierung von Augenbewegung (siehe auch Abschnitt 2.2 auf Seite 22), Gestik oder Mimik. Haptische Rückmeldung wird durch das System oft über Druck und Vibration an den Nutzer weitergeleitet. Auf der anderen Seite erfolgt die haptische Eingabe zumeist über manuelle Betätigung von Schaltern und Tastaturen sowie Kraft. Ein Interaktionskonzept mit den drei angesprochenen Sinnesmodalitäten lässt sich beispielsweise durch einen berührbaren Bildschirm (Touchscreen) samt Lautsprechern mit

²überarbeitete Version der Abschnitte 10.3.1 und 10.3.2 aus Höge et al. (2011)

2.1. Mensch-Maschine-Systemgestaltung

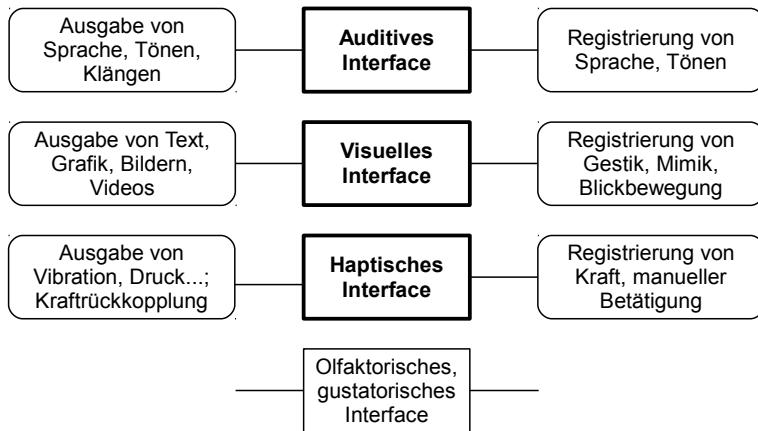


Abbildung 2.5.: Technische Komponenten von Benutzungsschnittstellen bezogen auf Sinnesmodalitäten (nach Hedicke, 2002, S. 210)

auditivem und visuellem Feedback realisieren.

Die Gestaltung einer multimodalen anstatt einer unimodalen Benutzungsschnittstelle bringt verschiedene Vorteile mit sich. So erlaubt die multimodale Gestaltung den jeweiligen Benutzern auf die Art und Weise mit dem technischen System zu interagieren, die am besten zu ihnen und ihren individuellen Bedürfnissen sowie Fähigkeiten und Fertigkeiten passen. So kann beispielsweise menschlichen Aspekten wie den Sprachkenntnissen, dem Alter oder etwaigen körperlichen Beeinträchtigungen Rechnung getragen werden. Bei temporären Einschränkungen, die eine Sinnesmodalität vorübergehend beeinträchtigen, der Arbeiter jedoch ansonsten als arbeitsfähig gilt, ist es hierdurch möglich, die Systemeingabe und -ausgabe auf eine andere Modalität umzustellen. Ferner ist eine kontinuierliche Anpassung an verschiedene und sich ändernde Arbeitsbedingungen möglich. Liegt beispielsweise eine hohe Lärmbelastung im Arbeitsumfeld vor, so kann es sich als sehr nützlich erweisen, auf die visuelle und/oder haptische Rückmeldungsmodalität zu wechseln bzw. diese redundant zur akustischen Variante zur Verfügung zu stellen (Oviatt, 2007).

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Gestaltung multimodaler Nutzerinterfaces den Bedürfnissen und Anforderungen an eine menschengerechte Interaktion entspricht, da Menschen untereinander über verschiedene Sinneskanäle miteinander kommunizieren. Zahlreiche Studien zeigen, dass multimodale Schnittstellen bezüglich der Fehlervermeidung und der erfolgreichen Fehlerbehebung unimodalen Schnittstellen überlegen sind (Oviatt, Bernard & Levow, 1998).

Das SVS soll primär zur Unterstützung der Kommunikation von Mensch zu Mensch und damit zu einer verbesserten Kollaboration eingesetzt werden und verfügt in der geplanten Version nur über eine rudimentäre Benutzungsschnittstelle. Der Aspekt der

2. Theoretische Grundlagen

Multimodalität kommt jedoch bei der Idee zum Einsatz, durch die Bereitstellung von Blickbewegungsdaten einen weiteren, natürlichen und intuitiven Informationskanal zu öffnen.

2.1.10. Usability Engineering³

Um ein methodisches Vorgehen bei der Planung, Entwicklung und Umsetzung eines MMS zu gewährleisten, ist die Durchführung eines Usability-Engineering-Prozesses dringend erforderlich. Dieser beinhaltet einen strukturierten Ansatz mit empirisch überprüften Methoden. Ein bekanntes und weit verbreitetes Verfahren ist der von Mayhew (1999) entwickelte Usability Engineering Lifecycle in Abbildung 2.6 auf der nächsten Seite. Dieser besteht aus den drei Hauptphasen

- Anforderungsanalyse,
- Design, Testung und Entwicklung sowie
- Umsetzung bzw. Einführung im Feld.

Jede dieser drei Hauptphasen beinhaltet eine Reihe von Aufgaben. Der Prozess beginnt mit der Anforderungsanalyse. Hierbei sind beispielsweise die Nutzerprofile sowie Aufgaben- und Tätigkeitsanalysen zu erstellen. Ersteres dient dem Zweck, spezifische Charakteristika potentieller Nutzer, beispielsweise den Grad an Arbeitserfahrung, das Vorwissen sowie bestimmte Fähigkeiten und Fertigkeiten zu identifizieren. Die entwickelten Nutzerprofile helfen einerseits bestimmte Kategorien an Hauptnutzern herauszufiltrieren. Andererseits werden die Erkenntnisse in den Designprozess einfließen und die dort zu treffenden Entscheidungen beeinflussen.

Die Aufgabenanalyse dient zur Schaffung eines tiefer gehenden Verständnisses über die auszuführenden Arbeitsabläufe und -aufgaben sowie der dahinter liegenden Ziele. Die gesammelten Informationen werden anschließend zur Festlegung der Usability-Ziele sowie als Orientierung während des Designprozesses genutzt. Zusätzlich sind die technischen Möglichkeiten und Einschränkungen zu beachten. Die durchgeführten Aufgaben- und Tätigkeitsanalysen sowie die daraus abgeleiteten Ansätze zur Funktionsallokation bilden eine grundlegende Voraussetzung für den Erfolg von adaptiven und adaptierbaren Schnittstellen. Dabei ist von Vorteil, bereits im Vorfeld der Systementwicklung zu klären, welche Teilaufgaben das technische System zu übernehmen hat und welche Teilaufgaben zwingend beim Nutzer verbleiben müssen, um ein effektives, effizientes und verlässliches MMS zu erhalten (Timpe & Kolrep, 2002).

Am Ende der Anforderungsanalyse („Requirements Analysis“, Abbildung 2.6 auf der nächsten Seite, oben) des Usability Engineering Lifecycle liegen die Usability-Ziele und die Designrichtlinien als Grundlage für die bevorstehende zweite Phase vor. Aus diesem Grund und um zeit- und kostenaufwändige Korrekturen im Nachhinein zu vermeiden,

³überarbeitete Version des Abschnitts 10.2.1 aus Höge et al. (2011)

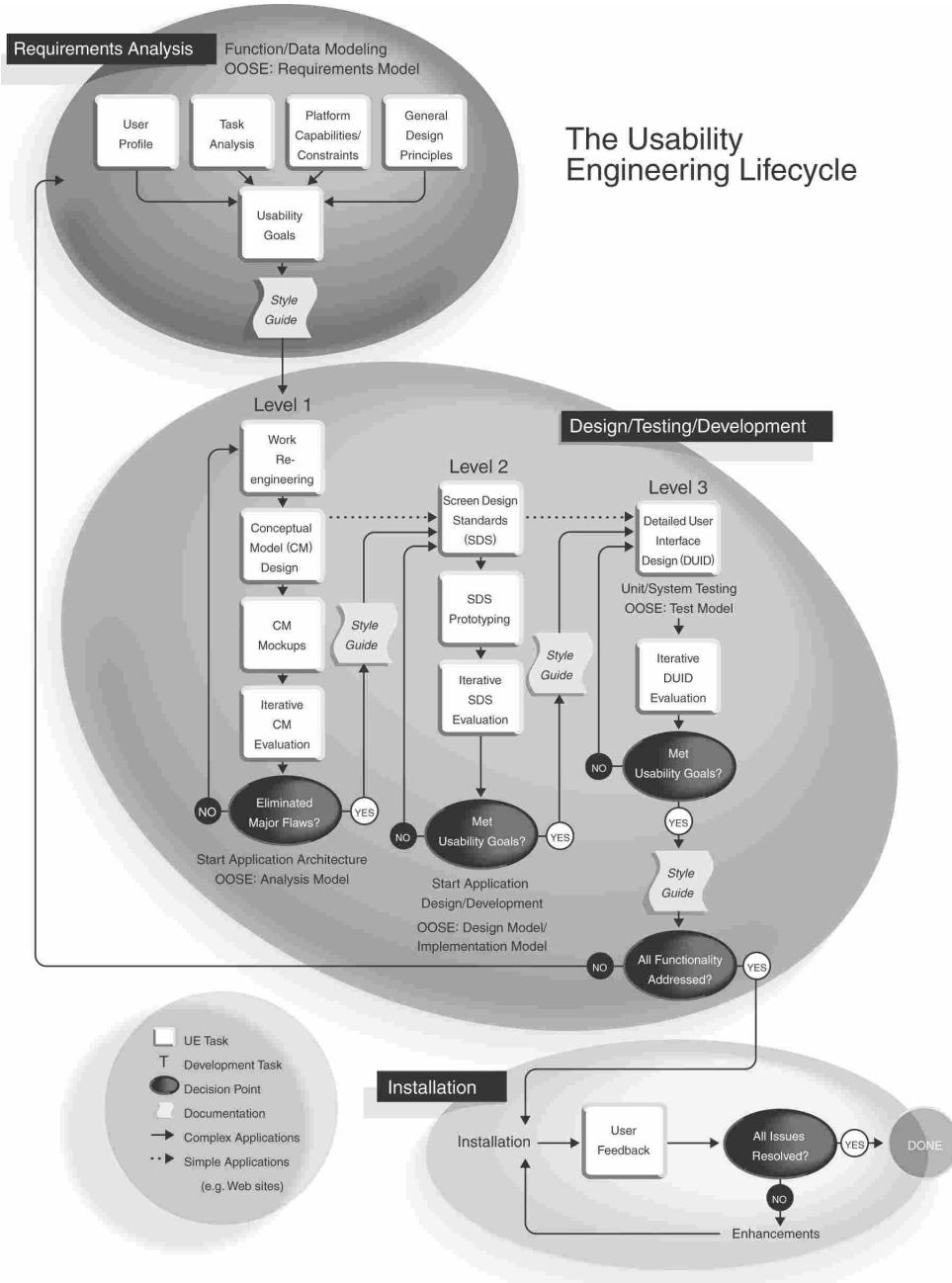


Abbildung 2.6.: Der Usability Engineering Lifecycle nach Mayhew (2011) (vgl. Mayhew, 1999).

2. Theoretische Grundlagen

sollte auf eine bestmögliche Ausarbeitung der Nutzerprofile und Aufgabenanalysen Wert gelegt werden.

In der zweiten Phase („Design/Testing/Development“), Abbildung 2.6, Mitte) erfolgen auf Basis der Erkenntnisse aus der ersten Phase das Design, das Testen und die Entwicklung des Nutzerinterfaces. Dies vollzieht sich als iterativer Prozess, in welchem sich die Entstehung von konzeptuellen Modellen und Mockups zu immer stärker ausgereiften Prototypen vollzieht. Am Ende erfolgt der finale Test des im Feld einzusetzenden Nutzerinterfaces. Hierbei ist sicherzustellen, dass die gesetzten Usability-Ziele erfüllt und alle Systemfunktionalitäten erhalten sind. Auftretende Defizite oder Diskrepanzen erfordern ein Re-Design samt erneutem Test.

Phase drei („Installation“, Abbildung 2.6, unten) besteht aus der Umsetzung bzw. Einführung des Nutzerinterfaces in das Feld der Anwender. Das Interface muss in alltäglichen Arbeitssituationen zeigen, ob es die Anforderungen erfüllt. Auftretende Probleme erfordern gegebenenfalls die Initiierung eines Re-Engineering-Prozesses.

Zusammenfassend ist die Wichtigkeit der sorgfältigen Planung und Durchführung hervorzuheben. Besonders die Erstellung der Nutzerprofile und der Aufgabenanalyse in der ersten Phase bildet die Grundlage für die erfolgreiche Nutzerinterface-Entwicklung. Je mehr Zeit hierin investiert wird, umso mehr Aufwand und Kosten werden im folgenden Entwicklungsprozess gespart.

2.2. Augen- und Blickbewegung

Bei der Entwicklung und Evaluation von MMS ist es ein gängiges Verfahren, die Messung der Blickbewegung als Methode zur Registrierung der visuellen Informationsaufnahme einzusetzen, beispielsweise bei der Gestaltung von Fahrerarbeitsplätzen des ÖPNV (Göbel, 1999).

2.2.1. Klassen der Augenbewegung

Rötting (1999b) liefert einen umfassenden Überblick über die unterschiedlichen Klassen der Augenbewegung. Es wird Unterschieden zwischen Bewegungen des Auges als Reaktion auf Bewegungen des Körpers oder der visuellen Umwelt, Ausrichtungen des Auges auf Sehobjekte und Mikrobewegungen des Auges. Blickbewegungen stellen dabei eine Untergruppe aller Augenbewegungen dar. Bei Blickbewegungen werden Parameter der Augenbewegung auf ein Blickobjekt bezogen (siehe Abschnitt 2.2.2 auf der nächsten Seite).

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit sind ausschließlich die Ausrichtungen des Auges auf Sehobjekte von Interesse. Diese Bewegungen sind erforderlich, da der Bereich des scharfen Sehens deutlich kleiner ist als der Bereich des Blickfeldes des Auges. So muss das Auge für eine scharfe Erfassung der Umwelt immer wieder neu ausgerichtet werden (Rötting, 1999b, S. 3).

Die Ausrichtung auf Sehobjekte vollzieht sich durch einen Wechsel aus Sakkaden und Fixationen. Bei unterschiedlichen Entfernungen der Sehobjekte finden zusätzlich Ver- genzbewegungen statt. Während kurz vor, bei und kurz nach den schnellen Sakkaden- Bewegungen keine visuelle Informationsaufnahme möglich ist, können in den relativen Ruhephasen des Auges während der Fixationen visuelle Informationen aufgenommen werden. Durchschnittliche Fixationen dauern dabei deutlich länger als das Minimum von etwa 100 ms (Rötting, 1999b, S. 3 ff.).

2.2.2. Parameter der Augenbewegung

Die Augen- bzw. Blickbewegung lässt sich als Parameter für unterschiedliche Arten der Analyse im Rahmen der Arbeitswissenschaft nutzen (Rötting, 1999b, S. 6 f.).

Als physiologischer Parameter dient die Auswertung der Augen- und Blickbewegung bei der Analyse der Beanspruchung eines Menschen durch die Belastung einer Aufgaben- bewältigung. So kann beobachtet werden, dass sich beispielsweise bei mentaler Anstrengung bestimmte Parameter der Augenbewegung wie die Sakkadenlatenzen verändern (Unema, 1999).

Die Analyse der Augen- und Blickbewegung wird auch genutzt, um den Vollzug der Handlung eines Akteurs beschreiben zu können. Der Ablauf der Handlung lässt sich anhand der Blickbewegung auf den Sehobjekten, wie eine Benutzungsoberfläche einer Software oder auf Bedienpulten von Leitständen, nachvollziehen.

In Zusammenhang mit dieser Arbeit dient die messtechnische Erfassung der Augenbewegung dazu, den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit einer anderen Person zur Verfügung zu stellen. Dies ermöglicht es beispielsweise auch, der Interaktion zweier Personen eine weitere Informationsquelle hinzuzufügen, wie es in dem eingangs erwähnten Puzzle-Experiment von Velichkovsky zur Anwendung kommt. Für eine Interaktion mit einer grafischen Benutzungsoberfläche lässt sich die Registrierung der Augenbewegung auch als Eingabemodalität (Mouse) nutzen (z. B. Liu und Pastoor, 1999; Trösterer und Dzaack, 2009).

Als wichtigste Parameter der Augenbewegungen sind die Fixationsdauer, daraus abgeleitete Maße, die Sakkadenlatenz sowie aus Sakkaden abgeleitete Maße zu nennen. Da es im Rahmen dieser Arbeit um die Visualisierung der gemessenen Augenbewegung bezüglich der visuellen Informationsaufnahme geht, ist in erster Linie die Messung der Fixationen von Interesse.

Die Phasen der relativen Ruhe des Auges gegenüber einem fokussierten Objekt werden als Fixationen bezeichnet. Die Dauer einer Fixation ist abhängig von den Aufgabenparametern und beträgt zwischen 100 ms und 350 ms, bei Leseaufgaben im Mittel 225 ms und bei Suchaufgaben etwa 275 ms (Rötting, 1999b, S. 8).

Aus der Registrierung von Fixationen bezogen auf ein Objekt lassen sich Maße der Blickbewegung bestimmen. Rötting (1999b, S. 12) führt hier die absolute und relative

2. Theoretische Grundlagen

Häufigkeit von Fixationen, die durchschnittliche Fixationsdauer oder die gesamte Verweildauer je Blickobjekt als Maß für das Erkennen von Objekten auf.

2.2.3. Methoden zur Registrierung der Augenbewegung

Rötting (1999a) liefert einen Überblick über Methoden zur Messung der Augenbewegungen. Aktuelle videobasierte Systeme basieren dabei meist auf den Verfahren der Blickachsenmessung (Point of Regard Measurement) bzw. der Cornea-Reflex-Methode; zur Identifikation der Augen im Gesicht bietet sich das als *Bright Pupil* bezeichnete Verfahren an. Die Verfahren sind kontaktfrei, liefern mit aktueller Technologie eine hohe örtliche und zeitliche Auflösung und bieten eine hohe Winkelgenauigkeit von $<0,4^\circ$ bis 1° .

Bei der Blickachsenmessung wird die Distanz zwischen einem festen Punkt auf dem Auge und einer Spiegelung einer Lichtquelle auf der Cornea (1. Purkinje-Bild) vermessen. Die Spiegelung wird blendfrei durch eine Infrarot-Lichtquelle (durch eine LED in infrarotem Spektrum) erzeugt, als fester Punkt kann sich der Mittelpunkt der Pupille bestimmen lassen. Die Berechnung der Distanz erfolgt durch Verfahren der automatischen Bildverarbeitung. Die Messmethode eignet sich für Vorrichtungen, die nicht am Kopf des Probanden angebracht sind (Rötting, 1999a, S. 27).

Bei der Cornea-Reflex-Methode ist die Lichtquelle in der Nähe des Auges untergebracht. Eine in der Nähe des Auges angebrachte Kamera registriert die Bewegung der Pupille gegenüber dem fixen Cornea-Reflex. Die Umgebung wird mit einer ebenfalls am Kopf angebrachten Szenenkamera erfasst. Durch den Abstand zwischen Kamera und Sichtachse des Auges ergibt sich ein Fehler durch Parallaxe, wenn die Position der Kalibrierung verlassen wird. Die höchste Genauigkeit wird bei diesem Verfahren nur erreicht, wenn die Blickobjekte sich im Abstand der durchgeföhrten Kalibrierung befinden (Rötting, 1999a, S. 28 ff.). Eine Betrachtung des Fehlers durch Parallaxe wird in Abschnitt 4.2.9 auf Seite 95 im Zusammenhang mit dem SVS durchgeführt.

Im Folgenden wird die englische Bezeichnung *Eye Tracking* für die *Registrierung der Augenbewegung* verwendet und der Begriff *Eye Tracker* wenn von dem *System zur Registrierung* gesprochen wird.

2.3. Augmented Reality

2.3.1. Klassische AR

Im Gegensatz zum Experiment von Velichkovsky (1995) ist es bei der Entwicklung des SVS das Ziel diejenige Person, welche die Unterstützung erfährt, in der eigenen Umgebung zu belassen und durch in deren Umgebung eingeblendete Informationen bei einer manuellen Tätigkeit zu unterstützen. Damit lässt sich das Szenario auf der linken Hälfte des durch Milgram und Kishino (1994) aufgespannten Virtuality Continuum einordnen,

2.3. Augmented Reality

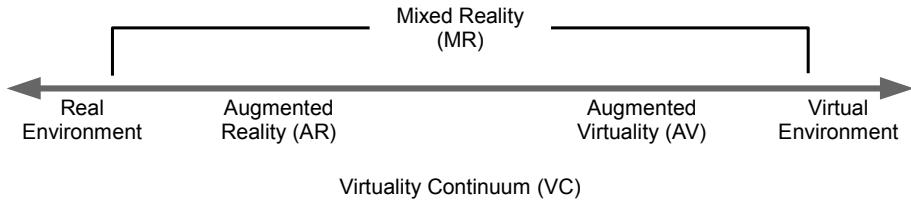


Abbildung 2.7.: Virtuality Continuum (nach Milgram & Kishino, 1994)

in dem die realen Bestandteile des Szenarios überwiegen und die virtuellen, eingeblendet beispielsweise in einem am Kopf getragenen Bildschirm (Head Mounted Display, HMD), diese nur ergänzen. Auf der anderen Seite des Kontinuums lassen sich Anwendungen finden, bei denen beispielsweise reale Elemente wie die Steuerungsgeräte in einem Flugsimulator benutzt werden, die Umwelt außerhalb des Cockpits jedoch virtuell generiert ist. Die Enden des Kontinuums werden auf der linken durch die vollkommen reale Umwelt ohne jegliche virtuell generierte Objekte und auf der rechten Seite durch eine virtuell generierte Umwelt repräsentiert, die in einer CAVE⁴ oder durch mit vor den Augen getragenen Displays (z. B. einem Virtual-Reality-Helm) erlebt wird.

Nach Azuma (1997, S. 2) weisen AR-Systeme die Charakteristik auf, dass sie zum einen Reales und Virtuelles kombinieren, interaktiv in Echtzeit funktionieren und zusätzlich innerhalb des dreidimensionalen Raumes registriert sind. Warum AR nicht nur ein interessantes Thema ist, sondern auch besonders nützlich ist, beantwortet er mit den Aussagen, dass AR die Wahrnehmung des Benutzers von der Umgebung und die Interaktion mit der Umgebung aufwertet, dass durch die virtuell in der Umgebung platzierten Objekte Informationen dargestellt werden können, die der Benutzer nicht mit seinen Sinnen wahrnehmen kann und diese Informationen dem Benutzer helfen, seine Arbeit in der realen Umgebung zu erledigen (Azuma, 1997, S. 3). Als Einsatzgebiete von AR listet Azuma sechs Gebiete auf: (1) Medizin, z. B. minimal invasive Chirurgie, (2) Fertigung und Reparatur (z. B. überlagerte Darstellung von Bauteil-Explosionszeichnungen) (3) zur Erläuterung (annotations) und Visualisierung (z. B. Visualisierung verlegter elektrischer Leitungen in einem Raum für Architekten), (4) Planen von Bewegungen und Wegen von Industrierobotern, (5) zur Unterhaltung (z. B. AR.Drone (Parrot, 2011)) und (6) für die militärische Luftfahrt. Azuma et al. liefern 2001 einen umfassenden Überblick auf Anwendungen der AR als Vervollständigung der Arbeit von 1997 (Azuma et al. 2001).

Das Verständnis von AR, das in dieser Arbeit als *klassisch* bezeichnet wird, lässt sich durch die Sichtweise von Neumann und Majoros (1998) beschreiben. Die Autoren sehen AR als Ergänzung menschlicher kognitiver Prozesse: durch Zugang zu Informationen über AR, durch das Einblenden von Anleitungen und sonstigen zur Wartung oder Re-

⁴Raum, auf dessen Wände stereoskopisch virtuelle Inhalte projiziert werden

2. Theoretische Grundlagen

paratur erforderlichen Informationen, lässt sich der Informationsabruf in die Performanz des Technikers integrieren. Die Suche nach Dokumenten entfällt, der unmittelbare Zugriff spart Zeit. Die Autoren weisen dem Einsatz von AR eine Reduzierung des Fehlerpotentials bei Service-Technikern aus, versprechen sich eine erhöhte Motivation durch AR bei der Aufgabenerfüllung und sehen Potential für ein Reduzieren von Lehrgängen.

2.3.2. Kollaborative AR

In dieser Arbeit kommt dem kollaborativen Aspekt mehr Bedeutung zu als dem Erweitern der Realität durch Zusatzinformationen aus technischen Anleitungen. Der Begriff der kollaborativen AR (*collaborative augmented reality*) hielt u.a. durch die Arbeiten von Schmalstieg, Fuhrmann, Szalavári und Gervautz (1996) und Billinghurst, Weghorst und Furness (1996) Einzug in die Forschung zur klassischen AR. Das Projekt *Studierstube* hat dabei zum Ziel, die Bedienmetapher eines zweidimensionalen Desktops in den dreidimensionalen Raum zu übertragen und dabei die Möglichkeit zu schaffen, dass mehrere Nutzer per HMD gemeinsam mit virtuellen Objekten arbeiten können (Schmalstieg, Fuhrmann, Hesina et al. 2002).

Billinghurst, Weghorst und Furness (1998) greift dem Begriff von Ishii und Miyake (1991) von einem *Open Shared Workspace* (offener, geteilter Arbeitsbereich) auf und stellt diesen in den Bereich der AR im Gegensatz zu etablierten zweidimensionalen Ansätzen (*Shared Desktop*, Videokonferenzen, etc.) des *Computer Supported Collaborative Work* (CSCW) oder auch im Gegensatz zu Wexelblat (1993), der die virtuelle Realität als geteilte Arbeitsumgebung für geeigneter hält. Ein Vergleich der Performanz von Kollaboration in AR und in VR erlaubte aber in einem ersten Experiment noch keine Aussage darüber, ob AR zur Kollaboration besser geeignet ist als VR (Billinghurst et al. 1998).

Ein Beispiel kollaborativer AR findet sich mit dem Whiteboard-Paradigma, bei dem zwei Benutzer über eine Distanz gemeinsam ein Whiteboard bearbeiten. Billinghurst und Kato (1999) integrieren nicht nur nicht nur den Blick auf den gemeinsamen Arbeitsbereich, sondern machen auch den Kollaborations- und Kommunikationspartner sichtbar (Face-to-face collaborative AR).

Das Whiteboard dient zuvor auch als Paradigma für die Arbeit von Ishii und Kobayashi (1992) an dem kollaborativen System *ClearBoard*. Ziel des Projektes ist es, motiviert durch Vorarbeiten mit der Studie *Videodraw* von Tang und Minneman (1991), ein System mit einem gegenseitig nutzbaren Arbeitsbereich über räumliche Entfernung hinweg zu realisieren. Insbesondere gängige Arbeitspraktiken sowie der nahtlose Übergang vom individuellen zum gemeinsamen, geteilten Arbeitsbereich sollen gewährleistet sein. Den Autoren gelingt es durch einen iterativen Gestaltungsansatz, nahtlos zwei Teams beim kollaborativen Arbeiten zu unterstützen. So wurde in *ClearBoard-1* eine transparente Glasplatte genutzt, welche die Funktionen eines Whiteboards und die eines Bildschirms für ein Videokonferenzsystem vereint. Die Entwickler geben als Gründe für diese Kom-

bination an, dass während Meetings ein Whiteboard häufig genutzt wird, um Ideen festzuhalten. Das Whiteboard fungiert in diesem Fall als gemeinsames Gedächtnis des ganzen Teams. Wenn jedoch diskutiert wird, liegt der visuelle Fokus der Dialogpartner auf dem Gesicht des jeweils anderen, um Gesten und Mimik zu analysieren. In diesem Zusammenhang spielt das gegenseitige Wissen um den Blickort (Mutual Gaze Awareness) eine ebenso entscheidende Rolle wie der geteilte Arbeitsbereich, den beide Teilnehmer gleichzeitig nutzen können. Trotz Problemen mit der optischen Schärfe des Videobildes weisen die Autoren auf die besondere Wichtigkeit der Gaze Awareness hin.

In *ClearBoard-2* eliminieren Ishii, Kobayashi und Grudin (1993) den Nachteil der Videounschärfe durch ein computerbasiertes System. Anstelle von Videotechnik wird eine Software eingesetzt, die gemeinsames Zeichnen ermöglicht (TeamPaint). Auch hier wird der geteilte Arbeitsbereich mit der Funktion eines Videokonferenzsystems vereint. Insbesondere diese Weiterentwicklung von ClearBoard macht deutlich, dass es sich in der Anwendung nicht mehr um klassische Mensch-Computer-Interaktion handelt, sondern ein Paradigmenwechsel zur Mensch-Mensch-Interaktion stattgefunden hat. Dabei wird die Interaktion der Menschen miteinander nicht mehr *durch* computergestützte Systeme, sondern unter *zu* Hilfenahme von Computertechnologien ermöglicht (Ishii, 1999).

Basierend auf Velichkovsky und anderen Studien (u. a. Ishii und Kobayashi (1992)) stellt Vertegaal 1999 das *Gaze Groupware System* vor. Ziel des Systems ist es, die Kommunikation während des kollaborativen Arbeitens zu unterstützen, indem der Kommunikationsfluss in Abhängigkeit der visuellen Aufmerksamkeit des jeweiligen Kommunikationspartners gelenkt wird. Jeder Teilnehmer des Systems sitzt vor einen Computerbildschirm und schaut auf eine virtuelle Arbeitsoberfläche. Um die Fläche herum sind die Gesichter der Kommunikationspartner angeordnet, ähnlich eines Videokonferenzsystems. Die durch Eye Tracker erfassten Blickkoordinaten wurden zusätzlich in der virtuellen Arbeitsoberfläche abgebildet (Vertegaal, 1999).

Weitere aktuelle Arbeiten, die sich in den Bereich der kollaborativen AR einordnen lassen, werden nachfolgend im Zusammenhang mit dem Thema des kollaborativen Problemlösens vorgestellt, da die Themenkomplexe bedingt durch die Kollaboration verschmolzen sind.

2.4. Kollaboratives Problemlösen

Fernunterstützung wird in dieser Arbeit als Teil des Problemlösens im Rahmen kollaborativer Arbeit betrachtet und im zweiten Teil dieses Abschnitts näher eingeordnet. Im folgenden Abschnitt wird zunächst der Problembegegnung erläutert.

2.4.1. Der Problembegegnung

Probleme sind nach Dörner (1976, S. 10 ff.) im Allgemeinen dadurch definiert, dass sie aus einem unerwünschten Anfangszustand und einem erwünschten Endzustand bestehen.

2. Theoretische Grundlagen

Tabelle 2.1.: Klassifikationssystem nach Dörner (1976, S. 14). Die beiden Merkmale einer Barriere sind der *Bekanntheitsgrad der Mittel* und die *Klarheit der Zielkriterien*. Die Ausprägung dieser Merkmale bestimmt die Art der Barriere, welche eine zentrale Komponente eines Problems bildet.

		Klarheit der Zielkriterien	
		hoch	gering
Bekanntheitsgrad der Mittel	hoch	Interpolations- barriere	dialektische Barriere
	gering	Synthesebarriere	dialektische Barriere und Synthesebarriere

Dazwischen befindet sich eine Barriere, welche die Transformation von Endzustand zu Anfangszustand verhindert. Dörner grenzt dabei Probleme von *Aufgaben* als geistige Anforderungen ab, bei denen der Lösungsweg bzw. die Lösungsmethode bekannt ist. Ob ein Individuum vor einer Aufgabe oder einem Problem steht, hängt dabei von den Vorerfahrungen ab.

Eine zentrale Rolle bei der Beschreibung eines Problems nimmt die *Barriere* ein. Tabelle 2.1 zeigt das Modell der vier Klassifikationsmöglichkeiten. Für die Klassifikation eines kollaborativ zu lösenden Problems sind diese Möglichkeiten zur Kategorisierung nicht ausreichend. Denn sobald mehrere Akteure zusammenarbeiten, besteht die Möglichkeit, dass die Expertise in der zu bewältigenden Aufgabe, also die Fähigkeit, das Problem zu lösen, unter den Teilnehmern divergiert. Lösen ein Experte und ein Novize gemeinsam ein Problem, muss die Barriere des Problems aus der Perspektive des Experten möglicherweise anders klassifiziert werden als aus der Perspektive des Novizen. Bezogen auf das Klassifikationssystem von Dörner kann das Problem für den Novizen beispielsweise eine dialektische Barriere darstellen, während es für den Experten trivial ist, da dieser die Lösung kennt. Somit besteht in der Aufgabe für den Experten im Extremfall keine Barriere.

Als Beispiel zu der erwähnten Limitierung der Klassifikation sei hier angenommen, dass die zu bewältigende Aufgabe das Optimieren einer Maschine mit dem Ziel einer kürzeren Durchlaufzeit eines Materials innerhalb eines Fertigungsprozesses ist. In diesem Fall weiß der Novize zum Beispiel, welche Werkzeuge er zur Verfügung hat. Aber in welcher Weise die Parameter an der Maschine zu modifizieren sind, ist ihm nicht bekannt. Folglich ist der Bekanntheitsgrad der Mittel für den Novizen hoch, die Klarheit der Zielkriterien jedoch niedrig. Hier liegt nach Dörners Klassifikation eine dialektische Barriere vor.

Wird nun dieselbe Situation aus der Perspektive des Experten betrachtet, ergibt sich eine vollkommen andere Barriere. Unter Umständen weiß der Experte aus Erfahrung mit ähnlichen Situationen, welche Parameter in welcher Weise das Zielkriterium beeinflussen

und auch welche Werkzeuge er zur Interaktion mit der Maschine verwenden muss. Für den Experten sind daher sowohl der Bekanntheitsgrad der Mittel als auch die Klarheit der Zielkriterien hoch. Die Barriere des vorliegenden Problems lässt sich für ihn als eine Interpolationsbarriere klassifizieren. Kennt der Experte den exakten Lösungsweg und stehen ihm alle benötigten Werkzeuge zur Verfügung, dann stellt das beschriebene Optimierungsproblem für ihn keine Barriere dar. Die zu bewältigende Aufgabe kann in diesem Fall nicht als Problem angesehen werden.

Zwar besteht die Möglichkeit in einer Situation der Fernunterstützung, dass die Aufgabe kein Problem für den Experten und nur ein Problem für den Novizen darstellt, doch wird in dieser Arbeit für diese Situation zwischen dem Experten und Novizen der Prozess des Problemlösens angenommen: die Barriere wird in diesem Fall durch die Entfernung zwischen den beiden Personen erzeugt. Nur der Novize verfügt über einen direkten, manuellen Zugang zum Problem. Zur Überwindung der Barriere stehen dem Experten lediglich unterschiedliche Arten technisch vermittelter Kommunikation zur Verfügung. Eine genauere Betrachtung des Problemlöseprozesses mit einer Spezifizierung seiner Merkmale erfolgt im folgenden Abschnitt.

2.4.2. Merkmale des kollaborativen Problemlösens

Der Abschnitt enthält eine Übersicht über mögliche Eigenschaften des kollaborativen Problemlösens. Diese Überblick dient dazu, eine Situation, in der ein Akteur einen anderen aus der Ferne unterstützt, als kollaboratives Problemlösen einordnen zu können. Fernunterstützung wird hier aus dem Grund der Interaktion zwischen dem Novizen und dem Experten als Teil kollaborativer Arbeit betrachtet. Auch der Bereich des Problemlösens ist, wie in Abbildung 2.8 auf der nächsten Seite dargestellt, in die Umgebung kollaborativer Arbeit eingebettet. Eine derartige Kategorisierung ist erforderlich, damit sich auch Aussagen zu den allgemeineren Themen (*kollaboratives*) *Problemlösen* und *kollaboratives Arbeiten* vornehmen lassen und diese auch in den Kontext der Fernunterstützung gebracht werden können. Die Schnittmenge der beiden genannten Teilmengen ergibt sich für Situationen, in denen kollaboratives Problemlösen per Fernunterstützung vollzogen wird.

Für Roschelle und Teasley (1995, S. 70) stellt kollaboratives Problemlösen eine koordinierte, synchrone Aktivität als Ergebnis eines kontinuierlichen Bestrebens dar, eine geteilte Auffassung eines Problems zu erstellen und aufrecht zu erhalten. Sie betonen dabei die Synchronizität, indem sie kollaboratives von kooperativem Problemlösen abgrenzen. Letzteres bedeutet hierbei eine Aufteilung der zielführenden Arbeit. Diese Definition stimmt mit dem Szenario des Fernunterstützens überein. Auch hier üben Novize und Experte eine koordinierte, synchrone Aktivität aus, in der beide versuchen ein gemeinsames Problemkonzept zu bearbeiten. Um Kollaboration handelt es sich hingegen, wenn zwei Akteure mit gemeinsamen Engagement bei koordinierter Leistungserbringung das Problem gemeinsam lösen. Dieser Argumentation folgt auch Dillenbourg (1999, S. 11).

2. Theoretische Grundlagen

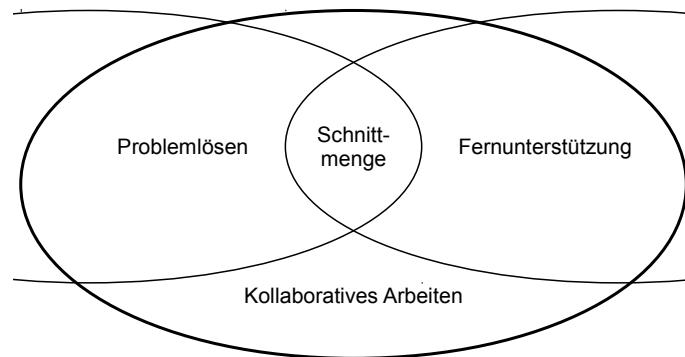


Abbildung 2.8.: In dieser Arbeit wird die Schnittmenge der Themen *Problemlösen* und *Fernunterstützung* im Kontext der kollaborativen Arbeit betrachtet.

Kooperation bezeichnet bei verteilter Arbeit die parallele, unabhängige Bearbeitung und Vollendung von Unteraufgaben zur abschließenden Kombination der individuellen Beiträge in einem gemeinsamen Produkt. Bei der *Kollaboration* wird die Bearbeitung der Aufgaben gemeinsam durchgeführt. Da diese Unterscheidung für die angestrebte Evaluation des in dieser Arbeit entwickelten SVS nicht von Bedeutung ist, wird dem Vorschlag von Rummel, Spada und Hauser (2006) gefolgt, die Begriffe Kollaboration und Kooperation in diesem Zusammenhang synonym zu verwenden. Daher wird wie bisher in dieser Arbeit von *kollaborativem* Arbeiten und Problemlösen gesprochen.

Wie bereits erwähnt, werden in dieser Arbeit Situationen aus der Schnittmenge des kollaborativen Problemlösens und der Fernunterstützung betrachtet: eine Person kontaktiert eine andere Person per Telekommunikation, um von dieser unbekannte Informationen zur Bewältigung einer Aufgabe zu erhalten. In diesem Fall stellt die Aufgabe ein zu lösendes Problem dar.

Um diese Situation von anderen Formen kollaborativen Problemlösens abgrenzen zu können, werden im Folgenden Eigenschaften aus der Literatur zum kollaborativen Problemlösen aufgezählt.

Distanz

G. M. Olson und J. S. Olson (2000) unterscheiden Distanz zwischen den interagierenden Partnern in den Kategorien

- Zusammenarbeit in einem Radius von 30 Metern,
- Kommunikation mit derzeit verfügbarer Technologie und
- Kommunikation mit zukünftig verfügbarer Technologie.

Es ist dabei wichtig, aktuelle von zukünftig verfügbarer Technologie abzugrenzen, um zu unterscheiden, ob eine Studie eine bereits entwickelte Technologie evaluiert oder

Konzepte unter Laborbedingungen testet, die möglicherweise erst in Zukunft verfügbar sind. Die Unterscheidung zwischen *derzeitiger* und *zukünftig* verfügbarer Technologie ist entscheidend zur Evaluation wie des in dieser Arbeit vorgestellten SVS. Die Unterscheidung ermöglicht es in den Versuchen zur Evaluation des Systems, die Zeit, die in jedem Durchgang benötigt wird, um das System vorzubereiten (z. B. zur Kalibrierung), nicht in die Lösungszeit mit ein zu berechnen. Die Unterscheidung ermöglicht es bereits zum Zeitpunkt der Evaluation anzunehmen, dass durch Weiterentwicklung der verwendeten Komponenten (wie z. B. HMD, Eye Tracker) zu einem späteren Zeitpunkt automatische, weniger zeitintensive Kalibrierungen verwendet werden können.

Symmetrie

Symmetrie ist bei Rummel et al. (2006, S. 203 f.) unter Verweis auf Dillenbourg (1999, S. 7 ff.) als eine Dimension von kollaborativer Arbeit beschrieben. Dillenbourg teilt den Symmetriebegriff im Zusammenhang von Kollaboration weiter in Symmetrie der *Aktionen*, des *Wissens* (auch der Fähigkeiten und Ausbildung) und des gesellschaftlichen *Rangs* auf. In der Fernunterstützung spielt dabei der Aspekt der Symmetrie des Wissens die wichtigere Rolle: die Möglichkeiten der Aktionen unterscheiden sich Prinzip bedingt, ein Rangunterschied gegenüber dem Novizen (z. B. bei Unterstützung durch einen Vorgesetzten) soll in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden.

Rummel et al. führen aus, dass es von Vorteil ist, wenn alle Teilnehmer in einer Kollaboration in ähnlichem Maße zum Bewältigen der Arbeit Leistungen beisteuern können. Damit muss die abschließende Aussage in Abschnitt 2.1.3 auf Seite 11 dahingehend überarbeitet werden, dass in einer Situation der Fernunterstützung der Austausch von Informationen nicht notwendigerweise auf Gegenseitigkeit beruht. Wenn ein Novize von einem Experten unterstützt wird, ist nach der in Abschnitt 2.1.1 auf Seite 8 aufgestellten Definition sowohl Geräte- als auch Handlungswissen zum Problem asymmetrisch verteilt. Fernunterstützung lässt sich folglich als *asymmetrisch* in der Kategorie bezüglich des Wissensstands der Akteure bezeichnen. Handelt es sich um eine asymmetrische Wissensverteilung in einer Kollaboration, so ist das Problem für jedes Mitglied der Gruppe getrennt zu klassifizieren; die Klassifikation nach Dörner ist für diesen Fall nicht ausreichend. Es ist darüber hinaus anzumerken, dass Rummel et al. kollaborative Arbeit auch dann als symmetrisch definieren, wenn es sich um zwei Experten in von einander unabhängigen Wissensgebieten handelt. Hier ergänzen sich die Kollaborationspartner komplementär in ihrer Expertise. Auch dieser Fall wird in dieser Arbeit nicht betrachtet.

Synchronizität

Der Begriff *Synchronizität* dient in dieser Arbeit als eine weitere Kategorie zur Charakterisierung kollaborativer Arbeit. Wenn räumlich entfernte Akteure nicht zeitgleich

2. Theoretische Grundlagen

kollaborativ arbeiten, wird diese als *asynchron* eingeordnet. Das gemeinsame Bearbeiten eines Dokuments über eine Online-Plattform wie Google-Documents⁵ muss nicht zwangsläufig zur gleichen Zeit geschehen. Eine kollaborative Arbeit per Fernunterstützung stellt im Gegensatz dazu einen synchronen Prozess dar. Wenn ein Novize bei seiner Aufgabenerfüllung von einem Experten aus der Ferne unterstützt wird, müssen beide Partner zur gleichen Zeit *synchron* zusammenarbeiten.

Für diese Kategorisierung wird bewusst nicht die Bezeichnung *Simultanität* mit Verweis auf Roschelle und Teasley (1995) gewählt, da simultanes Arbeiten nicht zwangsläufig das gleiche Ziel hat, sondern parallele Arbeitsabläufe beschreiben kann. Synchronizität umfasst hier also simultanes, kollaboratives, koordiniertes Arbeiten. Synchron sind die Arbeiten nicht im Sinne von *derselben Tätigkeit*, die synchron ausgeführt wird (wie z. B. bei Synchronschwimmern), sondern weil sie sich zeitgleich mit *derselben Sache* - dem problembehafteten Objekt - beschäftigen.

2.4.3. Faktoren für erfolgreiche kollaborative Arbeit

Aus der Literatur lassen sich mehrere Faktoren für erfolgreiches kollaboratives Arbeiten aus den Bereichen des CSCW bestimmen.

Als Hauptfaktoren für den Erfolg von kollaborativer Arbeit bezeichnet Barron (2000) die Einigung auf gemeinsame Ziele, ein gemeinsamer Fokus der Aufmerksamkeit und den gegenseitigen Kenntnis- und Wissensaustausch. Diese erwähnen auch Rummel et al. (2006, S. 205 f.) und ordnen sie in eine Makro- und eine Mikroebene ein. Auf der Makroebene stellt der Hauptfaktor eine gute Koordination dar, die sich in den Aspekten Zeitmanagement, Arbeitsteilung, Bereitstellen ungeteilten Wissens, Abstimmen individueller und gemeinsamer Arbeitsphasen und der Integration individueller Beiträge äußern. Auf der Mikroebene sehen Rummel et al. das gegenseitige Verstehen, Feedback und das Abwechseln in der aktiven Rolle der Kollaboration. Die systembedingte Beeinträchtigung der genannten Aspekte auf der Makro- und Mikroebene bei CSCW durch die durch Computer ermöglichte Kommunikation liefert nach Rummel et al. den Hauptgrund im Unterstützungsbedarf verteilter kollaborativer Arbeit.

Es wurde bereits in Abschnitt 2.4.2 auf der vorherigen Seite angemerkt, dass der *gegenseitige* Kenntnis- und Wissensaustausch nicht zwangsläufig ein Merkmal der Fernunterstützung darstellt. Die anderen beiden durch Barron benannten Faktoren, die Einigung auf gemeinsame Ziele und ein gemeinsamer Fokus der Aufmerksamkeit, werden in der Literatur auch als vorteilhaft im Zusammenhang mit einem geteilten Arbeitsbereich genannt, auf dessen Vorteile im Folgeabschnitt eingegangen wird.

⁵<http://docs.google.com/>

2.4.4. Vorteile eines geteilten Arbeitsbereiches

Wenn beide Interaktionspartner den Arbeitsbereich einsehen können, besteht ein sogenannter *geteilter Arbeitsbereich*. Der geteilte Arbeitsbereich kann bei räumlicher Trennung der Partner sowohl virtuell als gemeinsamer Arbeitsbereich vorliegen oder auch real bei einem der beiden Interaktionspartner, wobei der reale Arbeitsbereich durch den anderen Akteur beispielsweise durch ein übertragenes Videobild eingesehen werden kann. Beispiele für Studien, in denen sich ein geteilter Arbeitsbereich als vorteilhaft herausgestellt hat, werden im Folgenden aufgeführt.

In einer Studie mit einer Reparaturaufgabe von Fussell, Kraut und Siegel (2000) hat sich gezeigt, dass im Vergleich zu Anweisungen per Telefon, eine gemeinsame Sicht per Videobild die Effektivität in einer Fernunterstützung erhöhen kann. Der Vorteil einer gemeinsamen Sicht von Novize und Experte auf den Arbeitsbereich kommt besonders dann zum Tragen, wenn es sich in der Situation um ein komplexes Problem handelt, das zudem noch Objekte enthält, die nur schwer zu benennen sind (Riddle, Murphy & Burke, 2005) und diese gemeinsame Sicht damit die Grundlage für die Kommunikation bildet (Kraut, Miller & Siegel, 1996). Clark und Marshall definieren diese Grundlage als *common ground* (Clark und Marshall (1981) in Kraut, Fussell und Siegel (2003, S. 18)). Common ground besteht dabei in Situationen, in denen die Kommunikationspartner entweder über denselben Kenntnisstand verfügen (z.B. über Fachvokabular), eine gemeinsame Sprache situationsabhängig finden (sie haben sich dann auf ein Vokabular geeinigt) oder in denen sie den common ground durch non-verbale Kommunikation erreichen (z. B. innerhalb eines Raumes durch Gestik oder Mimik).

Beispiele für den Vorteil von common ground in Situationen der Fernunterstützung lassen sich bei einem globalen Markt für Maschinen nicht zuletzt in Situationen finden, in denen es bedingt durch unterschiedliche Muttersprachen von Helfer und Unterstütztem zu Problemen oder Missverständnissen in der Verständigung kommen kann. Dieses Beispiel unterstreicht dabei noch einmal die Aussage von Rummel et al. (2006), dass derartige kollaborative Situationen eine zusätzliche Unterstützung erfordern.

Kraut, Fussell et al. (2003, S. 17 f.) erwähnt auch noch einen weiteren Vorteil des geteilten Arbeitsbereichs. Dieser ermöglicht eine Erhöhung der *situational awareness* auf der Seite des unterstützenden Experten, da dieser für eine effektive Unterstützung sowohl das beispielsweise zu reparierende Objekt als auch die Aktionen des angeleiteten Novizen beobachten muss.

Interessant für den geteilten Arbeitsbereich ist auch die Untersuchung von Birnholtz, Ranjan und Balakrishnan (2010) mit einer Aufgabe zum Bauen von mehrschichtigen Lego-Säulen. Der Experte besaß dabei eine Papierkarte mit zusätzlichen Informationen zur Unterstützung des Novizen. In der Studie wurden zwei Bedingungen verglichen. In der einen Bedingung konnte der Experte die Aktionen des Novizen durch eine Übersichtskamera aus einer Perspektive von oben betrachten. Ein automatisches Kamerasystem übertrug in der anderen Bedingung detaillierte Ansichten der Bereiche, die der Novize ge-

2. Theoretische Grundlagen

Tabelle 2.2.: Kategorien des Wissens um die Blickrichtung einer anderen Person nach Gale (1998).

Bezeichnung	Bedeutung
Full Gaze Awareness	Eine Person kennt den exakten externen Referenzpunkt, den eine andere Person in diesem Moment betrachtet.
Partial Gaze Awareness	Eine Person kennt die Richtung, in die eine andere Person in diesem Moment blickt.
Mutual Gaze Awareness	Zwei Personen besitzen Blickkontakt.

rade manipulierte. Die Performanz in der Lego-Aufgabe war dabei in der Bedingung mit der Detailansicht für den Experten höher als im Vergleich zur Bedingung mit der Übersichtskamera. Die Interpretation der Autoren war, dass die detaillierte Ansicht für den Experten einen gemeinsamen Fokus der Aufmerksamkeit vermittelte und dadurch einen common ground begünstigte bzw. ermöglichte. Der Vorteil der detaillierteren Ansicht kam insbesondere dann zum Tragen, wenn es sich um komplexe aufgebaute Lego-Objekte handelte, die damit nur schwer zu benennen waren.

Aus dem Experiment von Birnholtz et al. lässt sich eine Lösung basierend auf einer am Kopf getragenen Kamera ableiten, welche eine detaillierte Ansicht der Szenerie liefert. Je nachdem, wohin sich der Novize dreht bzw. den Kopf neigt, würde die Kamera der Bewegung folgen.

Dieses Szenario ließe sich leicht zu einer Fernunterstützung erweitern. Wird nun noch dem Bedarf an zusätzlicher (software-) technischer Unterstützung innerhalb Fernunterstützung nachgekommen, so werden Systeme denkbar, in denen von Expertenseite aus Ortsinformationen visuell mit übermittelt werden. Es lässt sich vermuten, dass sich diese zusätzlichen Informationen positiv auf die Kollaboration auswirken könnten.

2.4.5. Vorteile einer „Shared-Vision“

In Abschnitt 2.2 auf Seite 22 wird dargelegt, dass die wesentliche Aufnahme visueller Informationen für das scharfe Sehen zum Zeitpunkt der Fixationen erfolgt. Zusammen mit dem Hinweis von Barron (2000), dass ein gemeinsamer Fokus der Aufmerksamkeit für den Erfolg kollaborativer Arbeit eine wichtige Komponente darstellt, lässt sich ein Fernunterstützungssystem vorstellen, in dem beiden Akteuren der visuelle Fokus der Aufmerksamkeit des jeweils anderen zur Verfügung steht. In diesem Fall weiß also jeder Akteur, worauf der andere gerade seinen Blick richtet.

Aus der Kategorisierung von Gale (1998) in Tabelle 2.2 geht hervor, dass sich für den Zustand des Wissens um den Blickort eines anderen die Bezeichnung *Full Gaze Awareness* verwenden lässt.

Es lassen sich mehrere Studien finden, die auf einen potentiellen Vorteil für die Kommunikation durch den Austausch von Blickbewegungsinformation hinweisen. Argyle et al. wiesen bereits im Jahr 1974 darauf hin, dass sowohl die Blickposition als auch die Blickrichtung einer Person relevante Informationen zur Aufgabenbewältigung enthalten könnte.

Aus dem Bereich der Flugzeugwartung stammt die Studie von Sadasivan, Greenstein, Gramopadhye und Duchowski (2005). Sie konnten zeigen, dass ungeübte Probanden von der Blickbewegung eines Experten in einer virtuell simulierten Aufgabe profitieren. Dazu wurde in diesem Experiment den Probanden das Suchmuster von Experten in einer virtuellen Realität eingeblendet. Im Vorfeld der Studie wurden diese Suchmuster von denjenigen Experten aufgezeichnet, welche die gleiche Aufgabe, das Identifizieren und Markieren von Fehlern, zuvor erfolgreich gelöst hatten. Die Experimentalgruppe zeigte sich sowohl hinsichtlich der Lösungszeit als auch bezüglich der Fehlervermeidung gegenüber der Kontrollgruppe, der die Suchmuster der Experten nicht gezeigt worden waren, überlegen. Das Beispiel spricht zwar für einen Lerneffekt durch die Präsentation eines visuellen Suchmusters, doch es wäre denkbar, dass ein positiver Effekt auf die Performance eines Novizen auch in einer synchronen Fernunterstützungsaufgabe zu beobachten wäre. Die eingeblendete Augenbewegung eines Experten könnte dazu führen, dass der Novize effektiver eine Problemlösestrategie zur Aufgabenbewältigung erlernen könnte.

Sadasivan, Greenstein et al. zeigten mit ihrer Studie auch, dass sich Strategien in der visuellen Suche von Novizen und Experten nicht nur qualitativ unterscheiden. Sie lassen sich auch auf einer Achse mit den Endpunkten *systematisch* und *zufällig* anordnen. Das Ergebnis der Studie spricht dafür, dass entlang dieser Achse eine Verbesserung erlernt werden kann. Es ist festzuhalten, dass Novizen visuelle Suchstrategien von Experten erlernen könnten und diese damit die Gelegenheit für ein schnelleres Angewöhnen einer systematischen Herangehensweise erhalten.

Brennan, Chen, Dickinson, Neider und Zelinsky (2008) verwendeten in ihrer Studie eine kollaborative Suchaufgabe. In dieser Studie sollte der Buchstabe *Q* unter einer Vielzahl von *O*-Buchstaben gefunden werden. Die Lösungszeiten und Fehlerzahlen fielen in derjenigen Versuchsbedingung, die für beide Partner Full Gaze Awareness bereitstellte, am kürzesten aus. Die Lösungszeit war sogar kürzer als die einer einzelnen Person. Dieses Ergebnis ist bemerkenswert, da bei der Kollaboration ein gewisser Koordinationsaufwand anfällt, der sich negativ auf die Lösungszeit auswirken kann. Bei einer reinen Suchaufgabe scheint hingegen die Registrierung und Bereitstellung der Augenbewegung als Ortsangabe eine optimale Möglichkeit für eine natürliche, intuitive und besonders schnelle Interaktion darzustellen.

2.4.6. Studien zum kollaborativen Problemlösen

Für das in den einleitenden Worten zu diesem Kapitel erwähnte Experiment von Velichkovsky diente ein computergestütztes Paradigma, das Lösen eines Puzzles am Bildschirm,

2. Theoretische Grundlagen

zur Untersuchung der Fernunterstützungssituation. In einer Vielzahl von Studien zum kollaborativen Problemlösen mit räumlich getrennten Akteuren kommen virtuelle Aufgaben zur Anwendung. Software-basierte bzw. Beispiele im virtuellen Raum sind dabei das Sortieren von Bildern (Hansen & Spada, 2010; Bertholet & Spada, 2005), Aufgaben zur Suche (Brennan et al. 2008), Tangram (Hancock & Dunham, 2001) oder die Anwendung einer Aufgabe zur Sichtprüfung in virtuellen Räumen aus dem Gebiet der Luftfahrttechnik (Sadasivan, Vembar, Washburn & Gramopadhye, 2007).

Neuartige Fernunterstützungssysteme, die später beispielsweise bei der Reparatur einer Maschine eingesetzt werden, sollten nicht unbedingt nur anhand virtueller Paradigmen evaluiert werden. Es kann zwar eingeräumt werden, dass die Benutzung komplexer Anlagen und Maschinen zum Großteil über Bildschirme mit graphischen Benutzungsoberflächen erfolgt, also auf einer virtuellen Ebene, aber für Fernunterstützung im Bereich der Software gibt es bereits etliche Lösungen (z. B. die Internettelefonie-Software Skype mit der Option, den Desktop zu teilen⁶). Im Bereich Fernzugriff liegen auch diejenigen Fälle, in denen sich Experten bei einer auftretenden Störung per Netzwerk mit einer Schnittstelle der Maschine verbinden.

Hardware-technische Fernunterstützungssysteme⁷ hingegen eignen sich speziell für die Unterstützung manueller Tätigkeiten an Maschinen. Zur Evaluation eines derartigen Systems sind Paradigmen mit einer gewissen Praxisnähe auch für Laborbedingungen heranzuziehen. Praxisnahe Szenarien sollte sich dabei an der Diagnoseaufgabe orientieren. Es sollte sich also ein undefinierbar Anfangszustand identifizieren lassen, der durch manuelle Manipulation in einen definierten Endzustand überführt werden kann.

Ein Experiment mit Aufgaben zu einem Schaltkreis-Mock-up⁸ wurde von Bauer, Kortuem und Segall (1999) in ihrer Untersuchung mit einem „reality-augmenting telepointer“ verwendet. Damit bestand für den Experten die Möglichkeit, über ein Head-Mounted Display dem Novizen räumliche Informationen zu vermitteln. Der Novize hatte die Aufgabe, die richtigen Verbindungen im Schaltkreis zu setzen. Dem Experten stand während der Unterstützung dieser Aufgabe zusätzlich die Lösung zur Verfügung.

Wie bereits erwähnt, verwendeten Birnholtz et al. (2010) eine Legoaufgabe, bei der mehrschichtige Säulen gebaut werden mussten. In einer praxisnahen Aufgabenstellung mussten Novizen der Studie von Fussell, Setlock und Kraut (2003) an einem Roboter fünf Reparaturaufgaben durchführen. Sie wurden dabei von einem Experten unterstützt, der je nach Versuchsbedingung fünf unterschiedliche Wege zur zur Kommunikation hatte.

2.4.7. Ein Unterstützungssystem für kollaboratives Problemlösen

Es lässt sich für die Fernunterstützung im Rahmen der kollaborativen Arbeit schlussfolgern, dass eine klassische Telefon- oder sogar eine Videokonferenzlösung für eine effektive

⁶<http://www.skype.com/>

⁷im Gegensatz zu einer reinen Softwarerealisierung

⁸ein Modell ohne echte Funktionalität

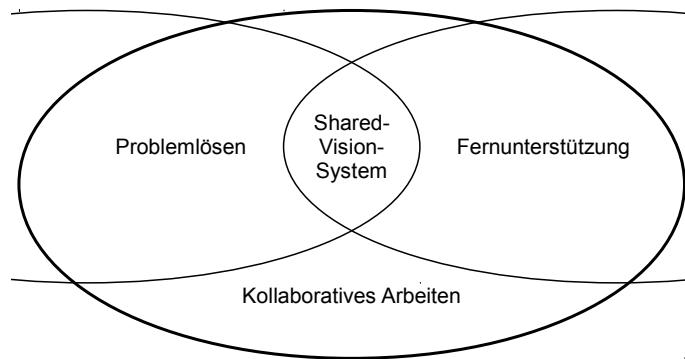


Abbildung 2.9.: Ein Shared-Vision-System bietet sich als eine Lösung für ein Fernunterstützungssystem in die Schnittmenge von Fernunterstützung und dem kollaborativen Problemlösen an.

und effiziente Unterstützung eines hilfesuchenden Operateurs nicht ausreichend ist. Die Erstellung von wissensbasierten Unterstützungssystemen ist aufwendig und kann nicht mit endlichem Aufwand für alle potentiellen Störungen umgesetzt werden. Hier könnte eine Unterstützungsform, ergänzt um zusätzliche Modalitäten wie die Visualisierung der Augenbewegung oder Technologien der Augmented Reality, eine effizientere, und wirtschaftlichere Lösung bieten.

Das im Folgenden vorgestellte Fernunterstützungssystem lässt sich durch den beschriebenen Hintergrund als technische Lösung in die Schnittmenge der Bereiche des Problemlösens und der Fernunterstützung im Kontext der kollaborativen Arbeit einordnen (siehe Abbildung 2.9). In Kapitel 3 ab Seite 39 im Abschnitt 3.1 wird das System als Ergebnis einer Anforderungsanalyse für Unterstützungssysteme speziell im Kontext hybrider Leistungsbündel beschrieben. Es werden in Abschnitt 3.2 auf Seite 51 Kriterien für die Entwicklung des Systems benannt; in Abschnitt 3.3 auf Seite 54 wird das System in seiner finalen Konfiguration beschrieben.

3. Entwicklung des Systems

Dem theoretischen Usability Engineering Lifecycle aus Abschnitt 2.1.10 auf Seite 20 folgend wird mit einer Anforderungsanalyse für Unterstützungssysteme in HLB begonnen. Ziel ist es, wesentliche Nutzerprofile und Arbeitsaufgaben im engen Bezug zum Demonstratorszenario des TR29 innerhalb der Domäne der Mikroproduktion zu identifizieren und zu definieren. Das Vorgehen sowie die Ergebnisse dieser Anforderungsanalyse werden im folgenden ersten Abschnitt beschrieben.

Zur Veranschaulichung der Domäne Mikroproduktion sind mit Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2 auf der nächsten Seite zwei Maschinen aus der Werkstatt des Zentrums für Mikroproduktionstechnik (ZMPT) der TU Berlin dargestellt, mit denen sich Bauteile mit Strukturgrößen im Mikrometer-Bereich beispielsweise für die Uhrenindustrie fertigen lassen. Es handelt sich um Maschinen, in welche die zu fertigenden Werkstückdaten elektronisch eingelesen werden. Nach einer Anpassung der Fertigungsparameter und dem Einsetzen und Ausrichten des Rohlings beginnt die automatische Bearbeitung des Werkstücks. Ein Eingreifen des Benutzers während des Fertigungsprozess ist in der Regel nicht erforderlich. Am Ende des Fertigungsprozesses wird das Werkstück entnommen und gesäubert.

3.1. Anforderungsanalyse für Unterstützungssysteme in HLB¹

3.1.1. Fokusgruppenstudie

Fokusgruppendiskussionen

Eine Methode, die insbesondere in den frühen Entwicklungsphasen der MMS-Gestaltung eingesetzt werden kann, ist die Fokusgruppendiskussion. Ziel dabei ist es, Anforderungen und Bedarfe an die Mensch-Maschine-Interaktion zu erheben. Eine Fokusgruppendiskussion ist eine moderierte Gruppendiskussion, die auf einen bestimmten Inhalt ausgerichtet wird. Der thematische Schwerpunkt wird mit Hilfe eines vorbereiteten Stimulus gesetzt (Krueger, 1989).

In den durchgeführten Fokusgruppendiskussionen wurde dafür ein grafisch vorbereitetes Szenario basierend auf einem Beispiel aus der Anwendungsdomäne Mikroproduktion speziell im HLB-Kontext gewählt. Die Gruppenteilnehmer in den Fokusgruppen sollten Interaktionsszenarien diskutieren und weiterentwickeln. Drei Fokusgruppendiskussionen

¹überarbeitete und erweiterte Version des Abschnitts 10.2 aus Höge et al. (2011)

3. Entwicklung des Systems



Abbildung 3.1.:
Maschine zum Drahterodieren



Abbildung 3.2.:
Maschine zum Senkerodieren

wurden jeweils mit einer Dauer von zwei Stunden durchgeführt. Als Experten für die unterschiedlichen Bereiche des HLB-Konzeptes wurden Mitarbeiter des TR29 zur Teilnahme an den Fokusgruppen eingeladen. Die insgesamt 14 Teilnehmer entstammten den Projektbereichen *Planung- und Entwicklung, Erbringung und Nutzung sowie HLB-Lifecycle*.

Um einen thematischen Bezugspunkt herzustellen und die Diskussion anzuregen, wurde den Teilnehmern als Stimulus das Szenario *Umrüsten einer Maschine* präsentiert. Das Szenario sollte so allgemein wie möglich gestaltet sein, um für alle Diskussionsteilnehmer einen Anknüpfungspunkt zu bieten und dennoch HLB-bezogen sein. Der HLB-Bezug wurde durch ein HLB-spezifisches Geschäftsmodell² hergestellt. Ausgangspunkt war dabei immer ein verfügbarkeitsorientiertes Geschäftsmodell, das zum Ende der Diskussion in ein ergebnisorientiertes Modell überführt werden sollte, um die Auswirkungen der Geschäftsmodelle auf die von den Teilnehmern genannten Aspekte identifizieren zu können.

Unter Verwendung der semiformalen K3-Notation (K3 = Kommunikation, Koordination, Kooperation) nach Foltz, Killich und Wolf (2000) wurde dieses Szenario parallel zur Gruppendiskussion grafisch aufbereitet. Die K3-Notation eignet sich dabei besonders, um schwach strukturierte Arbeitsabläufe zur Generierung eines gemeinsamen Verständnisses (zwischen den Diskussionsteilnehmern) für den Prozess selbst zu erhalten und Schwachstellen zu identifizieren. Mit Hilfe der K3-Notation können sowohl aktuelle Arbeitsabläufe dokumentiert (z. B. um *best practice* festzuhalten), wie auch hypothetische Abläufe modelliert werden. Die Teilnehmer der Fokusgruppen sollten dabei insbeson-

²zur Definition der Geschäftsmodelle siehe Meier und Uhlmann (2011)

3.1. Anforderungsanalyse

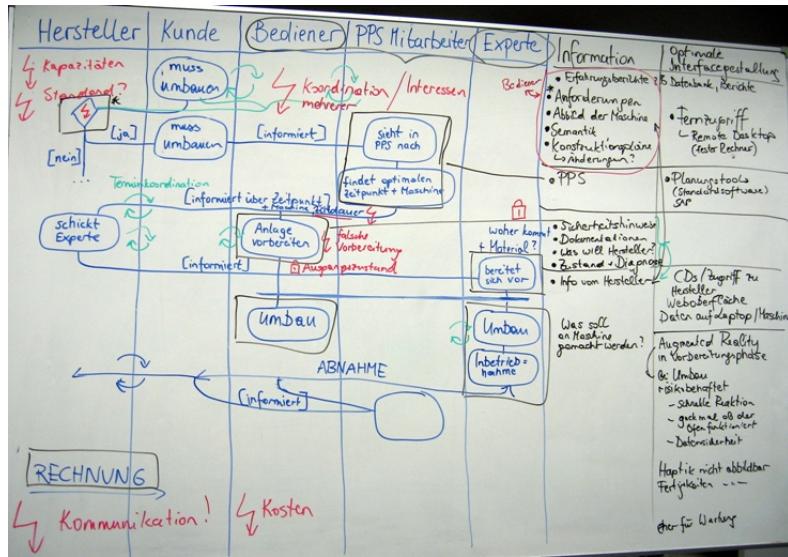


Abbildung 3.3.: Dokumentation einer Fokusgruppendiskussion mit der semiformalen K3-Notation

dere Schwachstellen, Sicherheitsaspekte, Interaktions- und Informationsflüsse sowie die potentielle Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen diskutieren. Vor allem die Interaktionen und die Informationsflüsse zwischen Anbieter, Kunden, Maschinen und Unterstützungswerkzeugen (z. B. ein Produktions-Planungssystem) waren von Interesse und wurden diskussionsbegleitend mittels der K3-Notation dokumentiert (siehe Abbildung 3.3). Die Diskussion wurde über die gesamte Zeit protokolliert und auf Video aufgenommen.

Ergebnisse der Fokusgruppendiskussionen

Bei der Identifizierung von Schwachstellen im HLB-Kontext wurden von den drei Fokusgruppen primär die Bereiche *Kommunikation* und *Koordination* genannt. Mehrere Beteiligte müssen koordiniert werden, wenn eine Dienstleistung des HLB-Anbieters vom Kunden in Anspruch genommen wird. Als wichtige Anforderung ist dabei die gemeinsame Problemdefinition zu sehen. Verschiedene Interessen und das Problemverständnis müssen geklärt werden, um einer fehlerbehafteten Kommunikation vorzubeugen. Für eine adäquate Lösung benötigt der HLB-Anbieter zudem ausreichende Informationen vom Kunden, ohne dabei Einblick in dessen interne Geschäftspolitik zu bekommen. Anforderungen, die sich daraus ergeben, sind möglichst kurze Kommunikationsketten zwischen Kunde und Anbieter, aber auch ein gewisses Grundvertrauen, wenn es um Aspekte der Sicherheit (z. B. Datensicherheit) geht.

3. Entwicklung des Systems

Eine zentrale Frage war, welche Informationen zur Verfügung stehen müssen, um einen optimalen Fluss der Aufgabenbewältigung oder Problemlösung zu gewährleisten. Im Wesentlichen wurden in diesem Zusammenhang Informationen genannt, die deutlich machen, was zu tun ist, in welchem zeitlichen Rahmen dies umzusetzen ist, wie der aktuelle Zustand (z. B. der Maschine, der Produktion usw.) ist und wie das Endergebnis aussehen soll.

Als Unterstützung für Kommunikation/Kooperation von Experten und Benutzern wurden verschiedenste Schnittstellen und technische Komponenten vorgeschlagen: Video, gemeinsames Einloggen an der Bedienoberfläche, E-Mail, Chat, Augmented Reality Anwendungen und Head-Mounted-Displays.

Als zentrale Anforderungen an die Interfacegestaltung im HLB-Kontext wurden von den Fokusgruppen eine nutzeradaptive Gestaltung und Rechteverwaltung sowie eine Protokollierung von Arbeitsschritten (Dienstleistungen) durch das technische System diskutiert. Des Weiteren sind eine umfangreiche Datenbereitstellung mit unterschiedlichen Zugriffsrechten und die Berücksichtigung personeller Faktoren (in Form von selbsterklärenden Schnittstellen) als weitere wichtige Ergebnisse hervorzuheben.

3.1.2. Erweiterte Analyse mit K3-Modellen

Zur Ermittlung der Anforderungen an die HLB-spezifische Gestaltung der Benutzungsschnittstellen werden die aus den Fokusgruppen abgeleiteten Befunde erneut aufgegriffen und auf alle Geschäftsmodelle (funktionsorientiert, verfügbarkeitsorientiert, ergebnisorientiert) erweitert. Dazu werden die in K3 notierten Protokolle der Diskussionen detailliert auf Anforderungen an die Mensch-Maschine-Schnittstellen untersucht, die spezifischen Eigenschaften der Schnittstellen erfasst und im Hinblick auf die weit reichende Vernetzung innerhalb des HLB evaluiert. Eine detaillierte K3-Notation wird für die Fälle *Neuerwerb* bzw. der *Ausbau einer bestehenden Anlage*, *Wartung* und *Reparatur* durchgeführt, da sie für die Gestaltung von Schnittstellen basierend auf dem Ergebnis der Fokussgruppendiskussionen am besten geeignet sind. Beim Beispiel *Neuerwerb* wird dazu die Kommunikation und Interaktion zwischen dem HLB-Anbieternetzwerk und dem HLB-Kundennetzwerk abgebildet. Das HLB-Anbieternetzwerk setzt sich dabei aus den Kommunikationspartnern *Zentrale*, *Vertrieb*, *Hersteller* und *Support* zusammen. Das HLB-Kundennetzwerk wird in diesem Beispiel nur durch den Kunden repräsentiert. Parallel wird festgehalten, welche Werkzeuge von den Kommunikationspartnern verwendet werden, um das Ziel eines Neuerwerbs zu erreichen.

Auf Grund des begrenzten Detaillierungsgrades der erstellten K3-Modelle sind nur allgemeine Unterschiede in den Anwendungsfällen erkennbar, die den in den Fokussgruppendiskussionen genannten Aspekten entsprechen. Es lassen sich folgende Problemfelder identifizieren:

- Unterschiede im Informationsstand zwischen HLB-Anbieternetzwerk und Kunden

3.1. Anforderungsanalyse

resultieren einerseits in unterschiedlichen Definitionen des Problems und andererseits in einer zu aufwendigen Planung der Dienstleistungserbringung (zur Wartung/Reparatur etc.) anstelle einer umgehenden Fehlerbehebung.

- Der unbekannte Zustand des HLB-Objekts (technisches System) macht Optimierungsprozesse sowohl für den HLB-Kunden als auch für den HLB-Anbieter unmöglich.
- Erfahrung und Wissen beim Umgang und bei der Arbeit mit der Maschine werden von den direkten, täglichen Benutzern gesammelt, aber nicht weitergegeben, z. B. an eine Fehlerdatenbank.
- Die Erbringung von Dienstleistungen zur Fehlerbehebung und Reparatur erfordert bislang Spezialisten, die dazu meist an den Maschinenstandort zeit- und kostenintensiv anreisen müssen.

Bei der Analyse der K3-Modelle zeigt sich unter anderem, dass viele Unterbrechungen in der Produktion durch ineffiziente Kommunikationsstrukturen ausgelöst werden, in denen ein wechselseitiger Informationsaustausch auftritt, der mit systembedingten Verzögerungen verbunden ist. Als Ergebnis aus der Analyse lassen sich folgende Anforderungen an die Mensch-Maschine-Schnittstellen in HLB ableiten:

1. Nutzbarkeit für Benutzer mit unterschiedlicher Erfahrung und Qualifikation
2. Integration von Kommunikationsmöglichkeiten und -geräten in Maschinennähe oder direkt in die Maschine
3. Integration von Hilfsmitteln zur Koordination von Dienstleistungen wie Reparatur und Wartung
4. Zugriff auf Daten, die beim Betrieb der Maschine durch Sensorik erfasst und gesammelt werden
5. Zugriff auf gesammeltes Wissen, das aus den Sensordaten generiert wird
6. Sicherheit zum Schutz des Know-How

Die sechste Anforderung *Sicherheit* ergibt sich durch Abgleich der fünf zuerst genannten Anforderungen mit den Ergebnissen der Fokusgruppendiskussionen. Diese bezieht sich auf die Wahrung der Interessen von HLB-Kunde und Anbieter und umfasst die Wahrung der Betriebsgeheimnisse des Kunden (z. B. spezielle Fertigungsprozeduren) und des HLB-Anbieters (z. B. Konstruktionsdaten der Fertigungsmaschine).

Aus den einzelnen Punkten ergeben sich wiederum neue Fragestellungen für die zukünftige Gestaltung von MMS in HLB, die im Rahmen dieser Arbeit nicht vollständig behandelt werden:

3. Entwicklung des Systems

Tabelle 3.1.: Die Szenariomatrix enthält in den kursiv gesetzten Bereichen die allgemeinen und spezifischen Anforderungen 1–6 jeweils aus der Sicht des HLB-Kunden bzw. HLB-Anbieters für den jeweiligen Anwendungsfall in Abhängigkeit des HLB-spezifischen Geschäftsmodells.

Perspektive	Anwendungsfall	funktions-orientiert	verfügbarkeitsorientiert	ergebnisorientiert
HLB-Kunde/ HLB-Anbieter	Produktion	<i>Anforderung allg., 1–6</i>	<i>Anforderung allg., 1–6</i>	<i>Anforderung allg., 1–6</i>
	Wartung	<i>Anforderung allg., 1–6</i>	<i>Anforderung allg., 1–6</i>	<i>Anforderung allg., 1–6</i>
	Störfall	<i>Anforderung allg., 1–6</i>	<i>Anforderung allg., 1–6</i>	<i>Anforderung allg., 1–6</i>
	Erweiterung	<i>Anforderung allg., 1–6</i>	<i>Anforderung allg., 1–6</i>	<i>Anforderung allg., 1–6</i>

- Wie können Benutzer mit unterschiedlichen Qualifikationen von Systemen unterstützt werden?
- Wie können Kommunikations- und Koordinationsmöglichkeiten in der Mensch-Maschine-Schnittstelle gestaltet werden?
- Wie können Benutzer die gesammelten Sensordaten und das generierte Wissen nutzen?

3.1.3. Erweiterte Analyse mit einer Szenariomatrix

Zur vertieften Analyse HLB-spezifischer Einflüsse auf die Schnittstellengestaltung und das Interaktionskonzept wird eine Matrix basierend auf einem morphologischen Kasten verwendet. Diese stellt die HLB in ihren Eigenschaften mit den drei exemplarischen Geschäftsmodellen funktionsorientiert, verfügbarkeitsorientiert und ergebnisorientiert den sechs bereits genannten allgemeinen Anforderungen jeweils aus der Perspektive des HLB-Kunden und des HLB-Anbieters sowie für die vier Anwendungsfälle Produktion, Wartung, Störfall und Erweiterung gegenüber. Je Anforderung wird für die verschiedenen Anwendungsfälle (Produktion, Wartung, Störfall und Erweiterung) das Szenario unter Berücksichtigung der Perspektiven von HLB-Kunden und Anbieter und abhängig von den exemplarisch ausgewählten Geschäftsmodellen im Hinblick auf die Mensch-Maschine-Interaktion definiert.

Im allgemeinen Teil der Tabelle 3.1 sind die generellen Einflüsse der Geschäftsmodelle auf den jeweiligen Anwendungsfall sowohl aus Sicht des HLB-Kunden als auch aus der des Anbieters beschrieben. Die Tabelle (Szenariomatrix) dient damit der Darstellung der

Tabelle 3.2.: Spezifische Rollenzuweisung

Geschäftsmodell	HLB-Anbieter	HLB-Kunde
funktionsorientiert	stellt Experten für spezielle Probleme	verfügt über Novizen bis hin zu Experten für Fertigungsaufgaben und Lösung von Problemen
verfügbarkeitsorientiert	stellt Experten zur Lösung jeglicher Probleme, um Verfügbarkeit zu garantieren	verfügt über Novizen bis hin zu Experten für Fertigungsaufgaben
ergebnisorientiert	stellt Experten für Fertigungsaufgaben sowie für die Lösung von Problemen	ist nicht beteiligt

Auswirkungen der sechs Anforderungen für jedes Geschäftsmodell in jedem Anwendungsfall und das aus jeder Perspektive und bietet als Ergänzung zur Fokusgruppendiskussion und erweiterten K3-Modell-Analyse eine lückenlose Beschreibung aller betrachteten HLB-Anwendungsfälle.

Aus den sechs genannten Anforderungen lassen sich drei Bereiche identifizieren, aus denen sich wiederum differenziertere Einflüsse ableiten lassen. Vor dem Hintergrund der heterogenen Nutzerlandschaft spielen Qualifikationsaspekte, Aspekte der Kommunikation, Koordination und Kooperation sowie Sicherheitsaspekte eine gesonderte Rolle (Rötting & Höge, 2008).

3.1.4. Ergebnisse der erweiterten Analysen

Qualifikationsaspekte

Als Qualifikationsaspekte werden die durch unterschiedliche Qualifikationsniveaus der Nutzer bedingten Anforderungen an das Interfacedesign subsumiert. In HLB-Geschäftsmodellen müssen sowohl niedrig- als auch hochqualifizierte Mitarbeiter an der Maschine eingesetzt werden können. Aus den Eigenschaften der Geschäftsmodelle ergeben sich spezifische Rollen, die den jeweiligen Akteuren zugewiesen werden können. Tabelle 3.2 zeigt die Zuweisung spezifischer Rollen der Mitarbeiter des HLB-Anbieters und des HLB-Kunden abhängig vom Geschäftsmodell.

Der HLB-Kunde ist nur im funktions- und verfügbarkeitsorientierten Geschäftsmodell involviert, da der HLB-Anbieter im ergebnisorientierten Geschäftsmodell die Produktion und den Betrieb der Maschinen vollständig übernimmt.

Im funktionsorientierten Geschäftsmodell kann der HLB-Kunde sowohl niedrig-, als auch hochqualifizierte Mitarbeiter an der Maschine einsetzen. Die Verantwortung für den Betrieb der Maschinen liegt in diesem Fall beim HLB-Kunden. Nur im Falle eines

3. Entwicklung des Systems

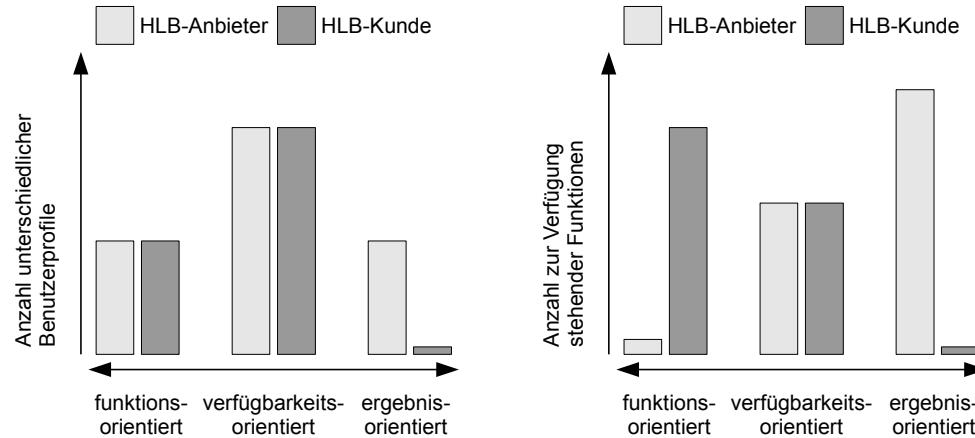


Abbildung 3.4.:
Bedarf an unterschiedlichen Nutzermodellen für das Interfacедesign abhängig von den jeweiligen Geschäftsmodellen.

Abbildung 3.5.:
In der Interaktion mit der Maschine angebotene Funktionalität beeinflusst von den Beschränkungen des jeweiligen Geschäftsmodells.

Ausfalls der Maschine werden Service-Techniker des HLB-Anbieters angefordert.

Im verfügbarkeitsorientierten Geschäftsmodell unterscheidet sich die Qualifikation des vom HLB-Kunden eingesetzten Personals nicht zwangsläufig von den Anforderungen im funktionsorientierten Geschäftsmodell. Der hauptsächliche Unterschied besteht in der Garantie für die Verfügbarkeit der Maschine seitens des HLB-Anbieters. Zum Beispiel muss das Expertenwissen der Mitarbeiter des HLB-Anbieters im Störungsfall dem Benutzer vor Ort schnellstmöglich zugänglich gemacht werden, um längere Ausfallzeiten bis zum Eintreffen des Service-Technikers zu vermeiden. In diesem Geschäftsmodell sind Fernunterstützungssysteme notwendig, um beispielsweise unter der Prämisse von minimaler Ausfallzeit mit Mitarbeitern vor Ort visuelle Diagnosen bei Störungen oder kollaborativ Reparaturaufgaben durchführen zu können.

Auf Grund der beschriebenen Einschränkungen ergeben sich Konsequenzen für das Design der Mensch-Maschine-Interaktion. Die Heterogenität der Mitarbeiter, welche mit der Maschine interagieren, ist in HLB größer als in herkömmlichen Geschäftsmodellen. Verschiedene Techniker mit unterschiedlichen Fähigkeiten, Verantwortungen und Aufgaben erfordern das Konzept unterschiedlicher Nutzerprofile für jeden Nutzer oder jede Gruppe von Nutzern. Die Profile ermöglichen es zudem, Bedienungsfunktionen von Reparatur- und Wartungsfunktionen zu trennen und lassen sich im Ausmaß der angebotenen Funktionalität an die Fähigkeiten des Technikers anpassen.

In Abbildung 3.4 wird qualitativ verdeutlicht, dass der HLB-Anbieter und der HLB-Kunde einen ähnlich hohen Bedarf an Nutzerprofilen in allen Geschäftsmodellen mit

3.1. Anforderungsanalyse

Ausnahme des verfügbarkeitsorientierten Geschäftsmodells haben. Wie in Tabelle 3.2 auf Seite 45 festgelegt ist, sind sowohl im funktionsorientierten als auch im ergebnisorientierten Geschäftsmodell beide Technikergruppen Experten sowohl für Probleme als auch für Arbeitsaufgaben. Deshalb können Nutzerprofile in diesen Gruppen den vollen Umfang an Funktionalität zur Verfügung stellen. Im ergebnisorientierten Geschäftsmodell ist ein Zugang zur Maschine für den HLB-Kunden nicht zwingend erforderlich. Die höchste Anzahl an Nutzerprofilen wird im verfügbarkeitsorientierten Geschäftsmodell benötigt. In diesem Geschäftsmodell müssen die Funktionen für Serviceleistungen wie Wartung oder Reparatur von den Funktionen, welche den täglichen Betrieb betreffen, getrennt werden. Techniker des HLB-Anbieters verfügen in diesem Geschäftsmodell über einen Fernzugriff auf servicerelevante Funktionen.

Abbildung 3.5 auf der vorherigen Seite zeigt, dass im funktionsorientierten Geschäftsmodell die Mitarbeiter des HLB-Kunden den größten Funktionsumfang benötigen, während die Mitarbeiter des HLB-Anbieters nur auf wenige servicerelevante Funktionen Zugriff erhalten, da Service-Techniker nur im Ausnahmefall kontaktiert werden. Das Gegenteil gilt für das ergebnisorientierte Geschäftsmodell, bei dem nur die Mitarbeiter des HLB-Anbieters in alle Prozesse des Betriebs, der Wartung und der Reparatur involviert sind.

Zur Umsetzung dieser Anforderungen ist bei der Entwicklung der Maschine und des Interfaces ein System zum Erstellen und Verwalten von unterschiedlichen Nutzerprofilen zu implementieren. Diesen Profilen werden unterschiedliche Zugriffsrechte und verfügbare Funktionen zugewiesen.

Kommunikation, Koordination und Kooperation

Um die Anforderungen an die MMI, die aus den Aspekten Kommunikation, Koordination und Kooperation (K3) in einem HLB entstehen, ableiten zu können, müssen sowohl Richtung und Initiierung der K3 als auch der Grad an Integration des HLB-Anbieters in die Prozesse des HLB-Kunden betrachtet werden. Ein vereinfachtes Schema der K3-Beziehungen und Richtungen werden in Abbildung 3.6 auf der nächsten Seite dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt an, ob HLB-Anbieter oder HLB-Kunde eine Kommunikation (Komm.), Koordination (Koord.) oder Kooperation (Koop.) initiieren.

Im funktionsorientierten Geschäftsmodell werden K3-Prozesse in der Regel vom HLB-Kunden initiiert, dargestellt durch einen Pfeil ausgehend vom HLB-Kunden auf den HLB-Anbieter. Der HLB-Kunde ist an Kommunikation mit dem Anbieter interessiert, wenn im täglichen Betrieb Probleme entstehen, welche die eigenen Mitarbeiter nicht lösen können. Sowohl die Koordination der Planung für Service und Wartung ist im Interesse des HLB-Kunden als auch die Kooperation während der Durchführung der Serviceleistungen durch den HLB-Anbieter. Bezuglich der Mensch-Maschine-Schnittstelle bedeutet dies, dass beim HLB-Kunden eine Kommunikationsoption bereits im Interface der Maschine integriert ist, mit der er eine Kontaktaufnahme und die Planung weiterer Schritte

3. Entwicklung des Systems

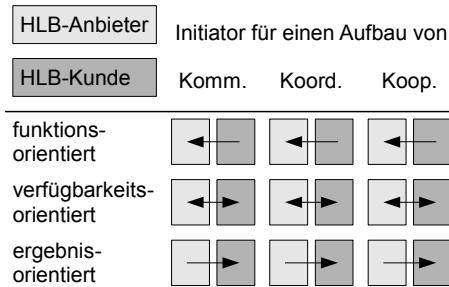


Abbildung 3.6.: Richtung der K3-Prozesse abhängig vom Geschäftsmodell

durchführen kann.

Im verfügbarkeitsorientierten Geschäftsmodell haben beide Seiten Interesse an K3-Prozessen. Um Ausfallzeiten der Maschine zu minimieren, initiiert hier auch der HLB-Anbieter K3-Prozesse, plant Wartungsintervalle, tauscht präventiv Komponenten aus oder leitet den HLB-Kunden bei Diagnosen und gegebenenfalls bei Reparaturen an.

Im ergebnisorientierten Geschäftsmodell werden sämtliche Leistungen vom HLB-Anbieter durchgeführt, daher initiiert er in diesem Fall die K3-Prozesse, wenn es notwendig ist. D.h., die Überprüfung der Notwendigkeit und Umsetzung von Kommunikationsmöglichkeiten im Gerät liegen vollständig in der Verantwortung des HLB-Anbieters.

Je mehr Anteile im Betrieb der Maschine der HLB-Anbieter übernimmt, desto höher ist der Grad an Integration von Anbieterprozessen beim Kunden. Während der Integrationsgrad im funktionsorientierten Geschäftsmodell am niedrigsten ist, werden Prozesse des HLB-Anbieters im ergebnisorientierten Geschäftsmodell vollständig in die Prozesse des HLB-Kunden integriert, da der HLB-Anbieter die Maschine vor Ort beim HLB-Kunden mit eigenen Mitarbeitern betreibt. In diesem Geschäftsmodell werden Arbeitsaufgaben und Produktionsprozesse zusammen vom HLB-Anbieter und HLB-Kunden geplant. Verwendete Prozess- und Maschinenschnittstellen sind hier zu den Werkzeugen zur Planung, zum Entwurf und zur Verwaltung des HLB-Kunden kompatibel, damit ein reibungsloser Produktionsablauf ermöglicht wird.

Sicherheit

Eines der zentralen Ergebnisse der durchgeführten Fokusgruppen war der Aspekt der Sicherheit von Daten und Wissen. Ein HLB, welches im Laufe seines Lebenszyklus rekonfigurierbar und erweiterbar, also veränderbar, ist, benötigt ein definiertes Konzept für das Verwalten der Prozessdaten, um schützenswertes Prozesswissen des HLB-Kunden oder HLB-Anbieters geheim zu halten.

Der Sicherheitsaspekt ist in einer Matrix der vom Geschäftsmodell abhängigen Interessen des HLB-Kunden und des HLB-Anbieters dargestellt. In Abbildung 3.7 ist abhängig

3.1. Anforderungsanalyse

		besonderes Interesse an einem Schutz von		
		gener. Wissen	Prozess-wissen	Sensor-daten
HLB-Anbieter				
HLB-Kunde				
funktions-orientiert				
verfügbarkeits-orientiert				
ergebnis-orientiert				

Abbildung 3.7.:

Interessen des HLB-Anbieters und HLB-Kunden an generiertem Wissen, Prozesswissen über den Maschinenbetrieb und Sensordaten abhängig vom Geschäftsmodell.

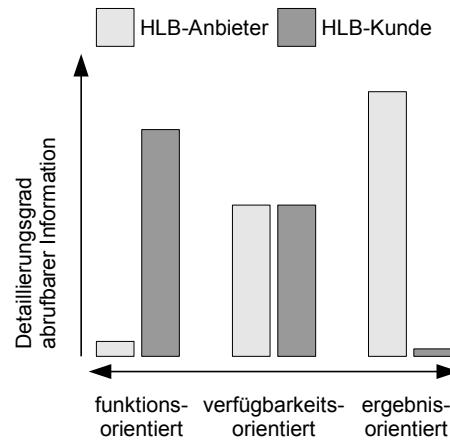


Abbildung 3.8.:

Informationsmenge, zu der der HLB-Anbieter und HLB-Kunde abhängig vom Geschäftsmodell Zugang hat.

vom jeweiligen Geschäftsmodell dargestellt, ob HLB-Anbieter oder HLB-Kunde ein vorrangiges Interesse an generiertem Wissen, Prozesswissen über den Maschinenbetrieb und Sensordaten haben.

Im funktionsorientierten Geschäftsmodell hat der HLB-Kunde ein Interesse daran, sein erworbenes Prozesswissen (z. B. zur Verarbeitung bestimmter Materialien mit der genutzten Maschine) und die entsprechenden Messdaten der Sensoren zu schützen. Zugleich hat der HLB-Anbieter im ergebnisorientierten Geschäftsmodell ähnliche Interessen. In diesen beiden Fällen hat jeweils eine Seite die volle Kontrolle über den Prozess und den Zugang zu Sensordaten wie in Abbildung 3.8 dargestellt. Vor allem im verfügbarkeitsorientierten, aber auch im funktionsorientierten Geschäftsmodell, wenn ein Servicetechniker des HLB-Anbieters an der Maschine arbeitet, müssen Funktionen zum Sichern der für den HLB-Kunden wichtigen Daten implementiert sein. Zur Lösung dieses Problems werden Daten in verschiedene Sicherheitskategorien unterteilt und getrennt voneinander gespeichert. So kann der HLB-Kunde in einem funktionsorientierten Geschäftsmodell die Programmierung der Fertigungsparameter in einem Bereich sichern, der dem Service-Techniker des HLB-Anbieters nicht zugänglich ist. Dieser hat während des Wartungsvorgangs nur Zugriff auf ein Fehlerprotokoll mit den für den Wartungsprozess relevanten Daten.

Auch im verfügbarkeitsorientierten Geschäftsmodell hat der HLB-Kunde ein Interesse daran, den Mitarbeitern des HLB-Anbieters den Zugriff auf bestimmte Daten zu verweh-

3. Entwicklung des Systems

ren. Zugleich muss der HLB-Anbieter Sensordaten der Maschine kontinuierlich überwachen können, um Ausfälle präventiv verhindern und Wartungen planen zu können. In diesem Fall werden die Daten so selektiert oder zu Kennwerten zusammengefasst, dass der HLB-Anbieter keine schützenswerten Prozessdaten des HLB-Kunden daraus ableiten kann.

Es lässt sich feststellen, dass insbesondere das Konzept der unterschiedlichen Geschäftsmodelle und die Veränderlichkeit des hybriden Leistungsbündels über den Lebenszyklus Auswirkungen auf die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und der Mensch-Maschine-Interaktion haben. Eine mehrstufige Anforderungsanalyse als Teil des Usability Engineering Lifecycle, begonnen mit einer Fokusgruppendifiskussion, über die Analyse von K3-Modellen bis hin zur morphologischen Analyse, in der breitgefächerte Perspektiven und Ausprägungen der Geschäftsmodelle unter verschiedenen Anwendungsfällen zum Einsatz kommen, liefert HLB-spezifische Anforderungen durch die Aspekte Qualifikation, Kommunikation, Koordination, Kooperation und Sicherheit an die MMS-Gestaltung.

3.1.5. Zusammenfassung der Anforderungsanalyse

Stellt der HLB-Ansatz spezifische Anforderungen an die Gestaltung und Konzeption von Mensch-Maschine-Schnittstellen und Mensch-Maschine-Interaktion? Diese Frage lässt sich ohne Weiteres bejahen. Stellt der HLB-Ansatz andersartige, außergewöhnliche Anforderungen, die sich an kein anderes Mensch-Maschine-System stellen lassen? Nein, es handelt sich nicht um außergewöhnliche Anforderungen. Bei der Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen, deren Schnittstellen und deren Interaktionskonzepte werden die gleichen etablierten Vorgehensweisen verfolgt, wie sie beispielsweise auch im Usability Engineering Lifecycle zur Anwendung kommen. Es gelten die gleichen internationalen und europäischen Normen und Richtlinien für die Mensch-Maschine-Systemgestaltung zur Prozessführung mit Bildschirmen, zur Technikbewertung, zur nutzergerechten Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen, zur Ergonomie, zur Mensch-Computer-Interaktion, zur Qualitätssicherung und nicht zuletzt zum Gesundheits- und Arbeitsschutz.

Wird aber nun die HLB-Definition mit ihren ergänzenden Ausführungen betrachtet, wird schnell deutlich, dass die charakteristischen Eigenschaften von HLB im Gegensatz zu klassisch getrennt entwickelten Produkten und Dienstleistungen wie ein Vergrößerungsglas bei der Betrachtung der Aspekte der Mensch-Maschine-Systemgestaltung wirken. Dabei hat die durchgeführte mehrstufige Anforderungsanalyse Aspekte zum Vorschein gebracht, die sich zusammengefasst den Bereichen (1) Qualifikation, (2) Kommunikation, Koordination, Kooperation und (3) Sicherheit zuordnen lassen.

Der Bereich Qualifikation macht deutlich, welche Auswirkungen die heterogene Nutzerlandschaft über den dynamischen Lebenszyklus eines HLB auf die Gestaltung von Nutzerprofilen, Funktionsaufteilung und -bereitstellung, aber auch auf die Konzeption

der Benutzerunterstützung hat. Hier ist durch Geschäftsmodelle, die eine hohe Verfügbarkeit des Fertigungsprozesses garantieren, ein echtzeitfähiges, weltweit einsetzbares, mobiles und einfach zu benutzendes Unterstützungssystem gefordert, das Servicetechniker befähigt, Benutzern am Ort des Problems aus der Ferne Hilfestellungen im Bereich Problemdiagnose und -behebung zu bieten.

Die Anforderungen an die Bereiche der Kommunikations-, Koordinations- und Kooperationsfähigkeit der beteiligten Stakeholder führt zu einer steigenden Integration von HLB-Anbieterprozessen in die bestehenden HLB-Kundenprozesse. Diese steigende Integration bietet dabei eine Chance zur Optimierung von Fertigungsprozessen bereits parallel zur HLB-Laufzeit durch den HLB-Anbieter und damit zur Effizienz- und Effektivitätssteigerung.

Die Integration birgt aber auch Gefahren, die im Aspekt Sicherheit Berücksichtigung finden. Die Vernetzung der Akteure, die Realisierung von Fernzugriff und Fernkontrolle auf beim HLB-Kunden betriebenen Maschinen erfordert ein ausdifferenziertes Sicherheitskonzept mit Regeln zur Datensicherung und zu Datenzugriffen. Der HLB-Kunde muss sein Interesse gewahrt sehen, seine unternehmensbezogenen Daten, sein Erfahrungswissen im Bereich der Fertigung und im Betrieb der Anlagen vor dem Zugriff Dritter zu sichern. Auf der Seite des HLB-Anbieters besteht ein Interesse, Konstruktions- und maschinenspezifische Daten vor dem Zugriff durch den HLB-Kunden zu schützen.

Damit wird deutlich, dass das HLB-Konzept ein Spannungsfeld im Bereich der Mensch-Maschine-Systemgestaltung eröffnet, das nicht nur gemeinsame Interessen von HLB-Anbieter und HLB-Kunden, sondern auch deren gegensätzliche Interessen berücksichtigen muss. Die Entwicklung und Gestaltung hybrider Leistungsbündel wird damit für Gestalter, Designer und Entwickler von Mensch-Maschine-Schnittstellen, für die gebrauchstaugliche Benutzung und für die Realisierung effizienter und effektiver Systeme in hybriden Leistungsbündeln eine besondere Herausforderung darstellen.

3.2. Kriterien

Zur Adressierung der HLB-spezifischen Anforderungen im Bereich der Qualifikation, wird in dieser Arbeit ein Fernunterstützungssystem vorgestellt, das Full Gaze Awareness ermöglicht. Für dieses System bestehen Anforderungen, die sich an den Anforderungen von handelsüblichen Eye-Tracking-Systemen orientieren. Alle Komponenten sollten sich durch handelsübliche Windows-basierte³ Computersysteme ansteuern und vernetzen lassen. Als Entwicklungsumgebung wurde Microsoft Visual Studio 2005 (später 2008) ausgewählt, da für diese bereits zahlreiche Bibliotheken für die Visualisierung und Netzwerkkommunikation zur Verfügung standen. Aus Kostengründen sollte darüber hinaus nur Software eingesetzt werden, die von den Urhebern kostenlos zur Verfügung gestellt wird oder aus dem Bereich der Open Source stammt. Daten (Video, Audio, Augenbe-

³aktuell war zum Zeitpunkt der Anschaffung das Betriebssystem Microsoft Windows XP

3. Entwicklung des Systems

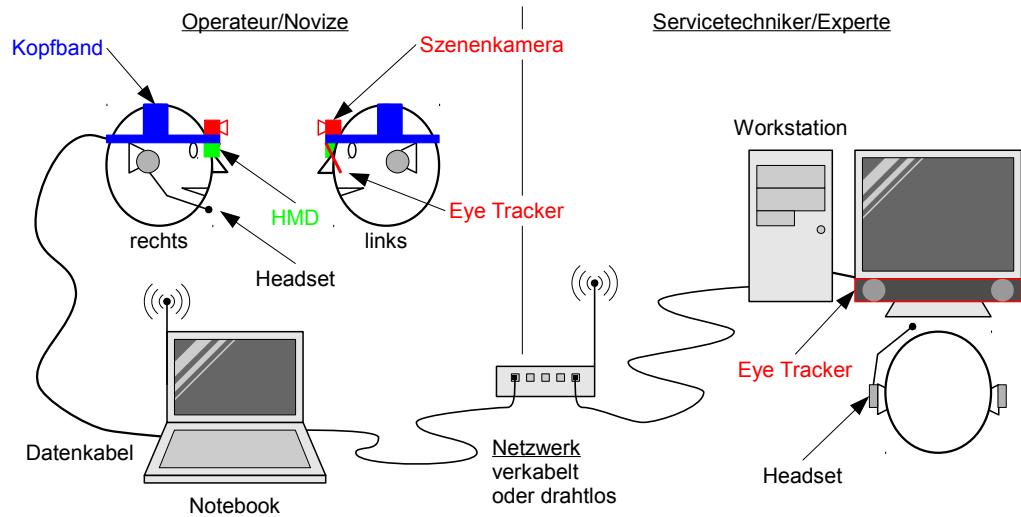


Abbildung 3.9.: Konzept zum Aufbau des Shared-Vision-Systems

wegung) sollten sich draht-gebunden oder drahtlos zwischen den PC-Systemen über ein Netzwerk versenden lassen. Der finanzielle Rahmen von 64.000 Euro für die Anschaffung aller Komponenten sollte eingehalten werden. Eine schematische Darstellung zum geplanten Aufbau des SVS ist in Abbildung 3.9 zu sehen.

3.2.1. Blickbewegungsmessung

Mobiles Eye-Tracking-System

Für das mobile Eye-Tracking-System bestanden die folgenden Anforderungen. Es sollte sich

- auf dem Kopf des Novizen an einem Tragegestell befestigen lassen,
- eine Bewegungsfreiheit von mindestens 3 m zulassen,
- das Gewicht sollte für den Novizen nicht unangenehm über die Tragezeit werden,
- das Blickfeld sollte nicht eingeschränkt werden,
- die Videokamera des Eye-Tracking-Systems sollte sich auch als Szenenkamera zur Übertragung an den Bildschirm des Experten verwenden lassen,
- die Eye-Tracking-Daten sollten an einer definierten Schnittstelle auslesbar und geeignet zu einer weiteren Datenverarbeitung sein,
- die Präzision sollte im Rahmen aktueller kommerzieller Eye-Tracking-Systeme liegen und
- die Abtastrate des Systems sollte nicht weniger als 25 Hz betragen.

Stationäres Eye-Tracking-System

An das stationäre Eye-Tracking-System werden die Anforderungen gestellt,

- dass sich das System in den Expertenarbeitsplatz integrieren lassen sollte,
- die Eye-Tracking-Daten sollten an einer definierten Schnittstelle auslesbar und geeignet zu einer weiteren Datenverarbeitung sein,
- die Präzision sollte im Rahmen aktueller kommerzieller Eye-Tracking-Systeme liegen und
- die Abtastrate des Systems sollte nicht weniger als 25 Hz betragen.

Der PC, auf dem die Eye-Tracking-Software installiert ist, sollte aus Kostengründen auch als Entwicklungs-, Test- und Versuchsrechner fungieren und ausreichend Leistung und Speicherplatz zur Verarbeitung von Videodaten bieten.

3.2.2. Datenbrille

Die Datenbrille (auch: Head-Mounted Display, Helmet-Mounted Display oder Head-Worn Display) sollte

- sich zusammen mit dem mobilen Eye-Tracking-System an einem Tragegestell befestigen lassen,
- eine Bewegungsfreiheit von mindestens 3 m zulassen,
- optische Durchsicht (optical see-through) auf den Arbeitsbereich des Novizen ermöglichen,
- den natürlichen Sichtbereich (Field of View) möglichst wenig beeinträchtigen,
- sich über eine definierte Videoschnittstelle (VGA) ansprechen lassen,
- eine Videoauflösung von mindestens 640 mal 480 Bildpunkten bieten und
- das Gewicht sollte für den Novizen nicht unangenehm über die Tragezeit werden.

3.2.3. Systemgenauigkeit

Für eine ungestörte Interaktion von Novize und Experte ist es erforderlich, dass der Experte auf seinem Bildschirm ein möglichst verzögerungsfreies Videobild des Arbeitsbereichs des Novizen betrachten kann. Das Videobild sollte überlagert sein von einer Markierung der aktuell gemessenen Augenbewegung des Novizen. Für einen größtmöglichen Effekt der Fernunterstützung ist es von Vorteil, wenn durch das HMD ein möglichst großer Teil des Arbeitsbereichs wahrgenommen werden kann. In diesem Bereich sollte dem Novizen die aktuell gemessene Augenbewegung des Experten auf der vom Experten betrachteten Stelle dargestellt werden. Die Umsetzung dieser Funktionen erfordert drei Kalibrierungen:

3. Entwicklung des Systems

1. Kalibrierung des Eye Trackers des Novizen basierend auf dem Videobild der Szenenkamera.
2. Kalibrierung des Eye Trackers des Experten auf den betrachteten Bildschirm.
3. Kalibrierung des HMD in der Art, dass die vom Experten gemessenen Augenbewegungen auf den Objekten im Videobild mit den realen Objekten überlagert sind.

Für die Videoübertragung ist ein Codec⁴ erforderlich, der dazu verwendet werden kann, mit möglichst geringer Verzögerung bei geringer Beanspruchung der Ressourcen (Speicher, Rechenzeit, Bandbreite) Videodaten über eine Netzwerkverbindung zu senden.

Die Aufgabe der Software auf der Seite des Novizen ist es, Videodaten von einer Kamera auszulesen, zu komprimieren und synchron zu den auflaufenden Augenbewegungskoordinaten des Eye Trackers in Datenpakete zu verpacken und an den Arbeitsplatz des Experten zu schicken. Auf der Seite des Experten ist es die Aufgabe des Programms, die ankommenden Daten zu entpacken, die Videodaten zu dekomprimieren, auf dem Bildschirm darzustellen und die vom Eye Tracker gemessenen Blickbewegungsdaten zurück an den Arbeitsplatz des Novizen zu senden. Dort müssen die Daten auf dem HMD des Novizen auf die Umgebung kalibriert dargestellt werden.

3.3. Das System⁵

3.3.1. Mobile Komponenten

Die mobile Komponente des SVS besteht aus einem Eye Tracker zur Erfassung der Augenbewegung und aus einem HMD zur Darstellung visueller Informationen (siehe Abbildung 3.10 und Abbildung 3.11 auf der nächsten Seite).

Head Mounted Eye Tracker

Da sich beide Augen in der Regel synchron bewegen und auch auf den gleichen Raumpunkt ausgerichtet sind, werden die Blickbewegungsdaten durch Messung der Bewegung von einem Auge erhoben. Vorteile einer binokularen Lösung liegen in der Redundanz der Blickbewegungsmessdaten sowie der theoretischen Möglichkeit zur Berechnung der Blicktiefe in den Raum hinein durch die Messung der Konvergenz⁶. Der als zweites genannte Vorteil wird jedoch durch Messungenauigkeiten geschmälert, zudem kommt der Vorteil bei einer Einsatzreichweite in Armlänge weniger zum Tragen, so dass das System mit nur einem Eye Tracker konzipiert wurde.

⁴Kunstwort aus engl. coder und decoder: zur digitalen Kodierung und Dekodierung

⁵überarbeitete und erweiterte Version des Abschnitts 10.3.3 aus Höge et al. (2011)

⁶gegengerichtete Schrägstellung der Augen bei einer Fixierung von Objekten bis zu einer Entfernung von wenigen Metern

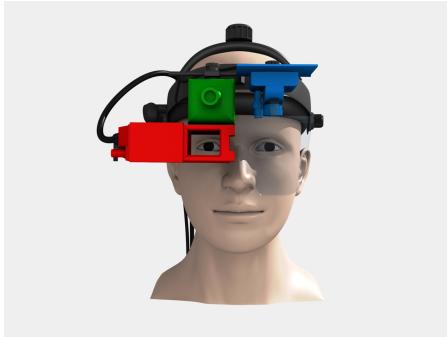


Abbildung 3.10.:

Modell der tragbaren Einheit des SVS mit HMD (rot), Eye Tracker (blau) und Szenenkamera (grün).



Abbildung 3.11.:

Foto der tragbaren Einheit des SVS mit HMD (vor linkem Auge), einem Eye Tracker (vor rechtem Auge) und einer Szenenkamera (oben links).

Head Mounted Display

Das HMD ermöglicht die Umgebung durch ein transparenten Bildschirm (optical see-through display) hindurch wahrzunehmen, lediglich beeinträchtigt durch die geringere Lichtdurchlässigkeit des Displays und durch den das Display einfassenden Rahmen. Das HMD erlaubt dabei Farbdarstellung bei einer Auflösung von bis zu 800 mal 600 Bildpunkten und lässt sich wie ein analoger Computermonitor ansprechen. Das Gefühl für den Raum und die Umgebung ist beim Sehen auf der einen Seite durch ein ungestörtes Auge und auf der anderen Seite durch eine see-through-Optik weitaus natürlicher als beim Sehen durch zwei, das Sichtfeld weiter einschränkende Optiken. Die Verwendung zweier HMD würde zwar eine räumliche Darstellung der AR-Inhalte ermöglichen. Doch bei gewissen Arbeitsschritten (z. B. Kalibrierungen in der Mikroproduktionstechnik) kommt es auf höchste Präzision an, bei der eine klare und eindeutige, ungetrübte Wahrnehmung besonders wichtig ist.

Videokamera

Videobilder aus der Perspektive des Novizen werden von der zum Eye-Tracking-System gehörenden Szenenkamera bei einer Auflösung von 752 mal 480 Bildpunkten aufgenommen und per USB an das Steuerungsnotebook übertragen. Die mobile Einheit des Shared-Vision-Systems besteht damit aus folgenden technischen Komponenten (siehe auch Abbildung 3.11):

- Liteye LE-750A-S (vgl. Liteye Systems, 2009)

3. Entwicklung des Systems

- SMI iView X HED⁷, montiert auf einem Kopftrageband, angepasst von SensoMotic-Instruments (SMI)
- Objektiv mit einer Brennweite $f = 8$ mm und einem Sichtfeld (FOV, Field of View) $\phi = \pm 15^\circ$
- Notebook mit dedizierter Grafikkarte und Zweikernprozessor (2,4 GHz) zur Ansteuerung des iView X HED mit der Software iView X und als Client des Shared-Vision-Frameworks fungierend

3.3.2. Stationäre Komponenten

Die stationäre Komponente des Shared-Vision-Systems besteht aus einem Bildschirm, auf dem sowohl die von der Szenenkamera des Novizen erfassten Videobilder ausgegeben als auch die vom Novizen fixierten Objekte per Fadenkreuz visualisiert werden.

Remote Eye Tracker

Zur Erfassung des vom Experten in dem Videobild fixierten Objektes dient ein unterhalb des Bildschirms angebrachter Remote Eye Tracker. Die stationäre Einheit besteht somit aus den Komponenten:

- SMI iView X RED⁸, montiert unter einem 19-Zoll-Bildschirm
- Workstation mit einem Vierkernprozessor (2,4 GHz) zur Ansteuerung des iView X RED mit der Software iView X und als Server des Shared-Vision-Frameworks fungierend

3.3.3. Vernetzung der Komponenten

Die hardwaretechnische Verbindung erfolgt über ein ethernet-basiertes lokales Netzwerk. Zwischen Client und Server ist sowohl eine kabelgebundene als auch eine kabellose Datenübertragung möglich. Für die softwaretechnische Vernetzung der Komponenten sorgen Applikationen, die eine verbale Kommunikation, die Bildübertragung und die Übertragung der Blickbewegungsdaten in beide Richtungen über eine Netzwerkverbindung ermöglichen. Während die Kommunikation durch Fremdsoftware realisiert ist, besteht die grundlegende Aufgabe des selbst entwickelten modularen Shared-Vision-Frameworks (SVF) darin, die einzelnen Systemkomponenten miteinander zu verbinden, Blickkoordinaten und Videobilder zu registrieren, sie über eine Netzwerkverbindung zum Computer des anderen Kommunikationsteilnehmers zu transportieren und dort geeignet zu visualisieren. Diese Grundstruktur wird in Abbildung 3.12 auf der nächsten Seite veranschaulicht.

⁷Head Mounted Eye Tracking Device

⁸Remote Eye Tracking Device

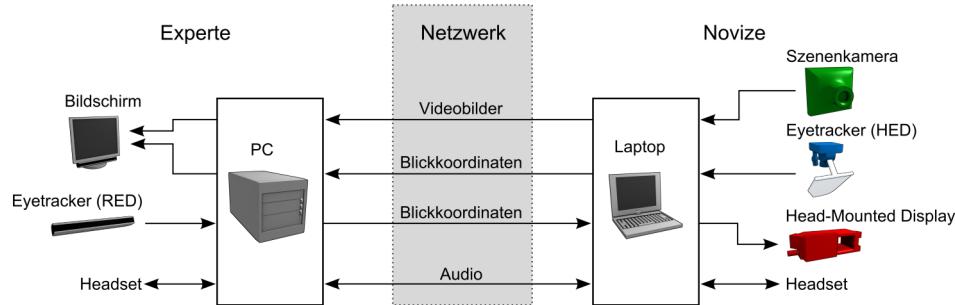


Abbildung 3.12.: Schematische Grafik zum Zusammenwirken der technischen Komponenten des Shared-Vision-Systems

Zur Abbildung 3.12 ist anzumerken, dass das SVF die Blickkoordinaten nicht selbst berechnet, sondern diese durch eine Schnittstelle zur Eye-Tracking-Software iView X ausliest. Die Gewinnung und Übertragung von Audiodaten (Sprache) wird ebenfalls nicht vom SVF realisiert. Hierfür wird eine externe Lösung per Internet-Telefonie oder eine zusätzliche Telefonverbindung vorausgesetzt.

3.3.4. Software Komponenten

Das SVF (Version 2010) umfasst neben der bereits genannten Kernfunktionalität im Wesentlichen folgende Features: Visualisierung der Blickkoordinaten durch ein Fadenkreuz mit optionaler, transparenter Spur; verschiedene konfigurierbare Filter für die Blickkoordinaten, um eine ruhigere Bewegung des Fadenkreuzes zu erhalten; verschiedene Visualisierungen für Koordinaten, die außerhalb des darstellbaren Bereichs liegen; optionale Verwendung der Mouse als Eye-Tracker-Ersatz, eine einfache mouse- und tastaturgesteuerte Benutzungsschnittstelle mit textuellem Feedback sowie ein intuitives Kalibrierungssystem zum Abgleich des im HMD dargestellten Bildes mit der realen Umgebung (siehe auch Abbildung 3.13 auf der nächsten Seite).

Das SVF ist als Client-Server-Anwendung konzipiert, der Quellcode ist komplett in der Programmiersprache C++ geschrieben und in einzelne Module unterteilt. Die Module umfassen zum einen Client und Server, aus denen sich die entsprechenden Programme erzeugen lassen, sowie eine Reihe von Funktionsbibliotheken.

Client-Server

Das Server-Programm wird auf dem Computer des Experten und das Client-Programm auf dem Laptop des Novizen ausgeführt. Um den Datenaustausch zu beginnen, baut der Client eine Verbindung per Transmission Control Protocol (verbundungsorientiertes Netzwerkprotokoll) zum Server auf. Anschließend übertragen (streaming) beide ihre

3. Entwicklung des Systems

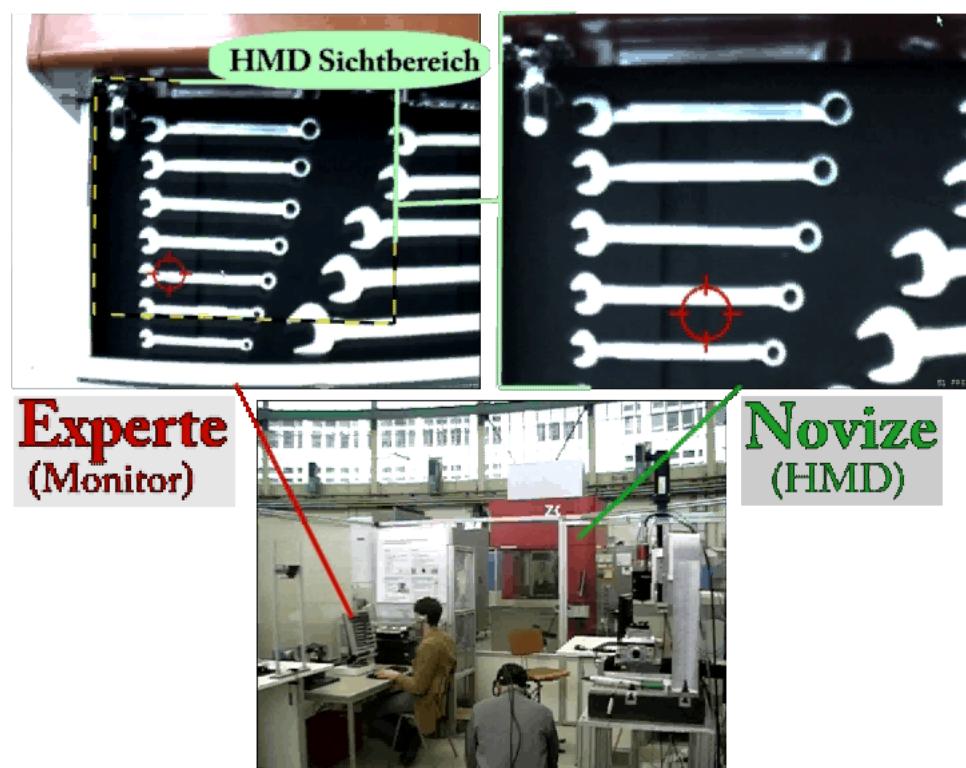


Abbildung 3.13.: Das SVS in Aktion: oben links ist die Sicht auf die Szene aus der Perspektive des Experten zu sehen, oben rechts die des Novizen durch das HMD hindurch. Unten ist eine Ansicht aus einer dritten Perspektive dargestellt.

Blick- und Videodaten per User Datagram Protocol (verbindungsloses Netzwerkprotokoll).

Software zur Kalibrierung

Eine wesentliche Komponente des SVF ist die Kalibrierung des HMD. Hierbei wird eine zweidimensionale Transformation gesucht, die das im HMD eingeblendete Bild der Szenenkamera so verändert, dass es sich möglichst gut mit der realen Umgebung deckt. Ist eine solche Transformation gefunden, so kann sie auf Blickkoordinaten des Experten (Kamerabild-Koordinatensystem) angewendet werden. Dadurch lassen sich die entsprechenden Bildschirm-Koordinaten berechnen, um dem Novizen die Blickkoordinaten des Experten im HMD anzeigen zu können. Eine Transformation, die diese Eigenschaft vollständig erfüllt, kann eigentlich nicht gefunden werden, da sich die Kamera und das Auge (welches das HMD und die Umgebung betrachtet) nicht auf einer Linie zum betrachteten Objekt befinden. Die beiden Bilder lassen sich daher theoretisch wegen des Parallaxen-Effekts auch nach Ausgleich von Verzerrungen nicht perfekt in Deckung bringen (engl. *matchen*). Allerdings ist der Abstand zwischen Auge und Kamera so gering und der übliche Abstand von Objekten so groß, dass der Effekt in der Regel vernachlässigt werden kann. Zur Vereinfachung wird also angenommen, dass ein Matching zwischen den beiden Bildern existiert und dass dieses außerdem durch eine affine Transformation in Form einer 3×3 Matrix beschrieben werden kann (vgl. Fellner, 1992). Die Koeffizienten dieser Transformationsmatrix werden nun aus (mindestens) drei Punkte-Korrespondenzen errechnet, die der Nutzer interaktiv eingibt. Hierfür markiert der Benutzer abwechselnd einen Punkt im Videobild der Szenenkamera (sichtbar auf einer virtuellen Ebene im HMD), und anschließend die Position, an der sich der identische Objektpunkt in der Umgebung (also auf der realen Ebene hinter dem HMD) befindet.

Durch die beschriebenen Verfahren ist bei der Anwendung des SVS gewährleistet, dass sich die Fernunterstützung mit einer Genauigkeit durchführen lässt, mit der Experte und Novize zweifelsfrei identifizieren können, worauf sich die visuelle Aufmerksamkeit des jeweils anderen bezieht.

3.3.5. Das SVS als Teil eines mehrstufigen Unterstützungskonzepts

Das Shared-Vision-System ist Teil eines mehrstufigen multimodalen Unterstützungskonzepts, das sich an dem heterogenen Stand der zur Aufgabenerfüllung erforderlichen Qualifikation der Nutzer orientiert (vgl. Gegusch et al. 2009). Da in einem HLB, wie bereits in Abschnitt 2.1.1 auf Seite 8 erwähnt, die Akteure des Mensch-Maschine-Systems während des gesamten Lebenszyklus geschäftsmodellabhängig unterschiedlichen Stakeholdern angehören und dabei verschiedene Rollen erfüllen (siehe Tabelle 3.2 auf Seite 45), ist das Unterstützungskonzept adaptierbar konzipiert.

Studien, welche die Anpassbarkeit von Nutzerschnittstellen sowie den Einfluss von

3. Entwicklung des Systems

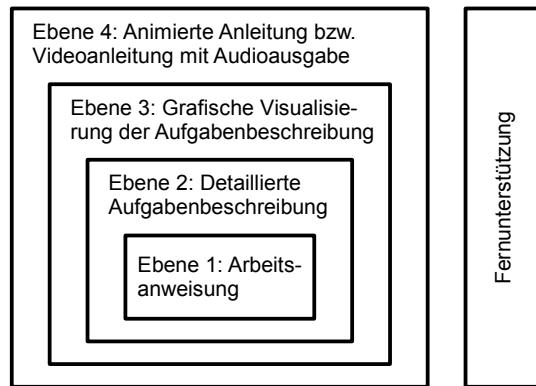


Abbildung 3.14.: Hierarchisches Modell multimodaler Benutzerunterstützung in HLB

Vorwissen untersuchten, zeigten, dass das Vorwissen der Nutzer deutlichen Einfluss auf die Effizienz von Navigationshilfen hat (Möller & Müller-Kalthoff, 2000). Im Lernkontext wird die Leistung von Novizen deutlich stärker von der Wahl einer günstigen Navigationsstrategie beeinflusst, als dies bei Experten der Fall ist (Unz, 2000). Die Gestaltung von adaptierbaren oder adaptiven Schnittstellen ermöglicht es auch auf der Ebene des Nutzers HLB-Geschäftsmodelle anzuwenden und umzusetzen.

Das Konzept verschachtelt die angebotene Unterstützung in unterschiedliche Ebenen, die sich von einander in dem Detaillierungsgrad und der Modalität der angebotenen Informationen unterscheiden. Das Konzept sieht vor, dass ein Benutzer selbst so viele Informationen durch die Unterstützungsform abruft, wie für die Absolvierung eines Arbeitsschritts oder zur Lösung einer Aufgabe erforderlich sind. Daher wird ein einfaches hierarchisches Modell in Abbildung 3.14 für das Ausmaß an Komplexität der Instruktionen zugrunde gelegt. Ausgangsebene in diesem Konzept ist eine Arbeitsanweisung. Ist diese Information nicht ausreichend, werden die Informationen der höher liegenden Ebenen abgerufen. Falls diese vier Unterstützungsebenen jedoch nicht zur Problemlösung führen oder dem Benutzer die Prozedur immer noch unklar sein sollte, kann Fernunterstützung angefordert werden. Die Fernunterstützung steht parallel aber auch zu jedem anderen Zeitpunkt zur Verfügung.

In Ebene 1 verfügt der Benutzer (z. B. der Maschinenbediener) über alle Informationen bezüglich der Bezeichnung und Funktion der zu verwendenden Werkzeuge und Maschinenteile, kann sich jedoch nicht an den genauen Ablauf der Aufgabenschritte erinnern. Die Arbeitsanweisung enthält daher alle zur Aufgabenerfüllung erforderlichen Arbeitsschritte. Ebene 2 wird von Nutzern angefordert, die über einen ähnlichen Kenntnisstand wie Nutzer der Ebene 1 verfügen, jedoch zusätzlich Erläuterungen zu Unteraufgaben der einzelnen Schritte benötigen. Die Erläuterungen zu Unteraufgaben beinhalten dabei eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Schritte in einer auf Ebene 1 erwähnten Arbeits-

anweisung. Dies bedeutet, dass die Aktionen, die mit den Werkzeugen und Objekten ausgeführt werden sollen, genau erklärt werden. Falls dem Nutzer die Bezeichnungen für die Werkzeuge und Objekte nicht bekannt sind, ist Ebene 3 anzufordern. Hier unterstützt eine grafische Visualisierung die Identifikation der Werkzeuge und Objekte. Durch diese Visualisierung kann der Nutzer die Bedeutung der Handlungsanweisung den Objekten zuordnen, ohne die Bezeichnung für diese kennen zu müssen. Auf Ebene 4 wird das Verständnis der Arbeitsanweisung anhand von Animationen unterstützt. Diese Animationen zeigen den Ablauf des Arbeitsschrittes auf eine Art und Weise, die ein unbewegtes Bild nicht zeigen könnte, beispielsweise wie und wo die Werkzeuge mit den Objekten interagieren müssen. Damit wird ein Nutzer befähigt, eine Aufgabe zu bewältigen, mit deren Lösung er keine Erfahrung hat.

Fernunterstützung wird angefordert, wenn alle vier Ebenen den Benutzer nicht ausreichend unterstützen, um das Ziel zu erreichen, das Problem zu lösen oder falls aus anderen Gründen Rückfragen an einen Experten erforderlich sind. Der Vorteil der Fernunterstützung ist, dass diese Kommunikation zulässt und damit einen Rückkanal öffnet. Die Ermöglichung von Rückfragen ist notwendig, wenn der Benutzer trotz Instruktionen aus den vier Unterstützungsebenen die Aufgabe nicht lösen kann, die Instruktion für das zu lösende Problem zu unspezifisch ist, keine Instruktion für den aufgetretenen Problemfall vorbereitet wurde oder der Lösungsprozess wider Erwarten nicht zur vollständigen Wiederherstellung der Funktionalität der Maschine führt.

Das beschriebene mehrstufige Unterstützungsmodell erlaubt bei einem zukünftigen Systemausbau eines HLB-spezifischen Unterstützungssystems eine gewisse Adaptierbarkeit durch den Benutzer abhängig von dessen Geräte- und Handlungswissen. Lässt sich der Kenntnisstand des Benutzers zusätzlich in dem System hinterlegen, kann sich das System diesem auch anpassen und so den entsprechenden Detaillierungsgrad einer Beschreibung einer Arbeitsanweisung vorschlagen (Gegusch et al. 2009).

4. Experimentelle Studien

4.1. Vorstudien

Bereits im frühen Entwicklungsstadium des Shared-Vision-Systems wurden mehrere Studien durchgeführt, um frühzeitig Schwachstellen aufzudecken und um Erfahrung für eine Evaluation des Systems zu sammeln. Neben den technischen Aspekten lag der Fokus insbesondere im Austesten mehrerer Paradigmen, da sich die in Abschnitt 2.4.6 auf Seite 35 beschriebenen Szenarien nicht direkt für eine Evaluation des Systems eigneten oder nicht zur Verfügung standen. Als erforderlich zeigte sich auch, dass die Benutzung des SVS sowohl für Novizen als auch Experten ein Training erforderte, um die Funktionen (Mouse- und Blickinteraktion) und die Wirkung (der Novize sieht, worauf der Experte deutet bzw. der Experte sieht, was der Novize betrachtet) zu verinnerlichen.

Wird in den Studien von einer *Voice*-Bedingung gesprochen, so bedeutet das, dass es keine andere Möglichkeit zur Kommunikation mit dem Novizen gab als per Sprache. In einer *Mouse*-Bedingung war es dem Experten zusätzlich möglich, mit einer Computer-Mouse auf Objekte und Orte zu zeigen. Full Gaze Awareness sowohl beim Novizen als auch beim Experten stand nur in der *SVS*-Bedingung zur Verfügung.

4.1.1. Puzzle-Vorstudie

In einer ersten Vorstudie wurde im Sommersemester 2008 der Versuch unternommen, die Studie von Velichkovsky (1995) mit einem manuell zu lösenden Puzzle umzusetzen. Da die mouse-basierte Unterstützung noch nicht implementiert war, wurde die Studie nur mit SVS- und Voice-Unterstützung durchgeführt.

Das für Kinder geeignete Puzzle bestand aus 50 Teilen, enthielt zwei Motive und wurde von den Novizen ($N = 8$) im Sitzen gelöst. Jedes Motiv wurde jeweils mit einer anderen Unterstützungsform bearbeitet. Der jeweilige Experte ($N = 4$) unterstützte nacheinander zwei Novizen. Damit Experte und Novize ohne technische Hilfsmittel verbal kommunizieren konnten, befand sich der Experte in demselben Raum, jedoch optisch durch eine Stellwand vom Novizen getrennt. Der Experte hatte vor dem Versuch die Gelegenheit, durch Training mit den Puzzles zum Experten zu werden. Während der Unterstützung lag zusätzlich eine Lösung als Schablone bereit.

Als ein Problem stellte sich die sitzende Position des Novizen heraus. Um Verzerrungen durch die Kamera so gering wie möglich zu halten, wurde zwar auf einer schiefen Ebene (Rednerpult) gepuzzelt, damit sich durch die leicht nach unten geneigte Kopf-

4. Experimentelle Studien

haltung beim Puzzeln eine parallele Ebene für den Sichtwinkel der Kamera ergibt. Die Kalibrierung war jedoch zu ungenau und das Puzzle ließ sich zu leicht von den Novizen lösen. Die Puzzle-Teile waren für den Experten auf dem Videobild nicht gut genug zu erkennen, da die Teile sich gegenseitig verdeckten und da das Videobild aufgrund schlechter Ausleuchtung zu dunkel war, um die Bildausschnitte auf den Puzzle-Teilen schnell und eindeutig durch den Experten zu identifizieren.

Das Puzzle als manuelles Paradigma schied nach der Vorstudie aus. Puzzles mit mehr als 50 Teilen bieten zu detaillierte Motive, die zu schwer für den Experten zu erkennen sind und lassen sich nicht innerhalb der angestrebten Versuchszeit lösen. Die schiefe Ebene ist nicht optimal zur Kalibrierung geeignet. Das gewählte Weitwinkelobjektiv ($f = 3,6\text{ mm}$; $\phi = \pm 33^\circ$) erlaubt zwar eine große Übersicht für den Experten, aber verzerrt das Videobild zu stark in Richtung der Ecken, so dass die Kalibrierung zu ungenau wird.

4.1.2. Erfahrungen durch die Teilnahme an der LNDW 2008

Die *Lange Nacht der Wissenschaften*¹ (LNDW) wurde 2008 und 2009 für Vorversuche genutzt. Als Paradigma diente 2008 das asiatische Legespiel *Tangram* (siehe Abbildung 4.1 auf der nächsten Seite sowie Abschnitt 4.2.1 auf Seite 71), bei dem aus einfachen geometrischen Formen eine Figur, von der nur eine Silhouette zur Verfügung steht, nachgelegt werden soll. In jeder Aufgabe werden alle sieben Teile verbaut. Gepuzzelt wurde wie in der in Abschnitt 4.1.1 beschriebenen Studie auf einer schiefen Ebene. Die Tangram Puzzle-Teile wurden mit Magneten versehen, damit sie an einem auf das Rednerpult gelegten magnetischen Whiteboard haften konnten. Die Experten unterstützten die Novizen mit Hilfe einer Lösungsschablone entweder durch Benutzung des SVS oder allein verbal auf Basis des Videobilds, ohne selbst vorher das Tangram gepuzzelt zu haben. Jeder Novize konnte sich bei bis zu vier verschiedenen Tangram-Aufgaben unterstützen lassen.

Neben den bereits erwähnten Einschränkungen zeigte sich zusätzlich, dass die Qualität des Videobilds bezüglich Auflösung, Schärfe und Ausleuchtung insbesondere bei schlechten Lichtverhältnissen nicht optimal war. Es zeigte sich, dass die Gewichtsverteilung der auf dem Kopfband montierten Komponenten zu einseitig war, so dass das System leicht verrutschte und damit eine erneute Kalibrierung erforderte. Teilnehmer der Studie merkten an, dass sowohl der Sichtbereich durch das HMD als auch der Sichtbereich des Videobildes zu eingeschränkt sind, wenn sich die Novizen mit ihrer Körperhaltung zu dicht am Tangram-Puzzle befinden.

Als Folge wurde die Gewichtsverteilung durch Verlegung der Kabel in eine ausgeglichene Position überarbeitet. Um die Last der vom Kopf hängenden Kabel zu vermindern,

¹Einen Abend im Jahr öffnen wissenschaftliche Institutionen in Berlin und Potsdam ihre Türen für Publikum.

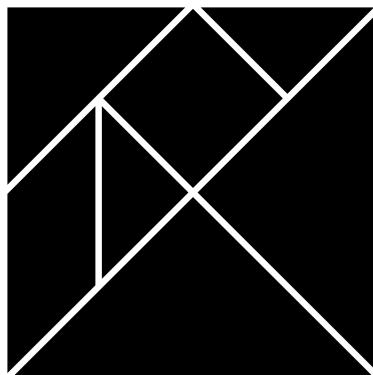


Abbildung 4.1.: Die sieben „Bau-“ bzw. Puzzle-Teile des Tangram-Spiels ergeben zusammengelegt ein Quadrat.

wurden die Kabel in einem Kabelschlauch zusammengefassst und für den nächsten Versuch in Schulterhöhe von einem Stativ gehalten. Komponenten wie Kamera und HMD wurden trotz bekannter Nachteile aus technischen und finanziellen Gründen nicht mehr gegen vermeintlich bessere Komponenten getauscht. Zur Kommunikation mit entfernten Experten wurde das System mit Headsets und einer Internet-Telefonie-Software erweitert.

4.1.3. Spindel-Vorstudie

Motivation und Apparatus

In dieser Vorstudie wurde ein Reparatur-Szenario aus der Mikroproduktion des SFB/TR29 genutzt (siehe Abbildung 4.2 auf der nächsten Seite). Das Hauptziel war es, die Effizienz und Effektivität des SVS im Vergleich zu einem Reparaturhandbuch zu bewerten. Nebenziel war die Überprüfung aller Funktionen des SVS in einem praktischen Reparaturszenario. Die Mouse-Unterstützung wurde zwar auch eingesetzt, aber durch einen Kalibrierungsfehler anschließend nicht in die Auswertung einbezogen. Die Durchführung fand in der Werkstatt des ZMPT der TU Berlin statt. In der Werkstatt befand sich der Arbeitsplatz des Novizen, der Experte war per Netzwerk von einem anderen Gebäudeteil aus mit dem Novizen in der SVS-Bedingung verbunden. Als zu lösendes Problem war eine Feder innerhalb des Spindelgehäuses als defekt definiert. Diese sollte vom Novizen entnommen und wieder eingesetzt werden (siehe Abbildung 4.3 auf der nächsten Seite). Aufgabe der Federn ist, bei Anlegen der Druckluft den Haltemechanismus des Fräswerkzeugs zu öffnen, damit das Werkzeug ausgewechselt werden kann. Ist eine Feder gebrochen, kann das Werkzeug nicht ausgewechselt werden.

Die Reparaturaufgabe wurde in 15 Unteraufgaben gegliedert, sieben zur Demontage und acht zur Montage der Feder. Die Effizienz wurde durch Zeitmessung mit einer Stopp-

4. Experimentelle Studien



Abbildung 4.2.:

Das Foto zeigt die in der Spindel-Studie verwendete Hochgeschwindigkeits-Frässpindel von einem Kühlkörper umgeben.



Abbildung 4.3.:

Das Foto zeigt die Entnahme einer der drei Federn.

uhr überprüft. Gemessen wurden die Zeit zur Fertigstellung jedes Einzelschritts und die Bearbeitungszeit der Gesamtaufgabe. Die Effektivität wurde durch Auszählen der Fehler wie falsche Handgriffe oder falsche Schritte durch Beobachtung überprüft. Mittels eines Fragebogens wurde die Zufriedenheit der Novizen mit der Unterstützungsform ermittelt und erfragt, ob die Funktionen des SVS (z. B. Anzeige des visuellen Fokus) als hilfreich wahrgenommen wurden.

Versuchsablauf

Für eine möglichst homogene Stichprobe ($N = 14$, Between-Design) wurden männliche Studenten akquiriert, die sich die Reparatur einer Bohrmaschine mit Hilfe eines Handbuchs zutrauten. Die Teilnehmer der Kontrollgruppe lösten die Reparaturaufgabe mit dem Handbuch. Bei Teilnehmern der SVS-Gruppe war vor Beginn der Reparaturaufgabe die Kalibrierung von Eye Tracker und HMD durchzuführen. Während der Aufgabe wurden sie durch einen mit der Spindel vertrauten Experten unterstützt. Der Experte musste dieselbe Anleitung zur Unterstützung benutzen, die auch den Teilnehmern der Kontrollgruppe zur Verfügung stand. Dadurch sollte sich die Performanz der Gruppen nur durch die verwendete Unterstützungsform und durch die individuellen Eigenschaften der Teilnehmer unterscheiden. Nach dem Absolvieren der Aufgabe erhielten die Novizen den vorbereiteten Fragebogen.

Ergebnisse

Rein deskriptiv zeigt sich zwar ein Trend, dass Novizen mit der Unterstützung durch das SVS die Spindel schneller repariert und auch weniger Fehler gemacht haben. Dieser lässt sich jedoch mit statistischen Verfahren nicht belegen. Der Unterschied zwischen der mittleren Gesamtreparaturzeit (MZ in [min,s]) der Kontrollgruppe ($MZ_K = 32, 34;$

Standardabweichung $s = 12,14$) und der SVS-Gruppe ($MZ_{SVS} = 25,46$; $s = 4,42$) ist nicht signifikant ($p = 0,141$; $Z = -1,470$; Mann-Whitney-U-Test). Der Unterschied zwischen der mittleren Fehleranzahl (MF in [n]) der Kontrollgruppe ($MF_K = 3,5$; $s = 2,39$) und der SVS-Gruppe ($MF_{SVS} = 2,75$; $s = 2,05$) ist ebenfalls nicht signifikant ($p = 0,55$; $Z = -0,597$; U-Test).

Diskussion

Ein Grund dafür, dass die Unterschiede zwischen den Gruppen nicht signifikant ausgefallen sind, ist mit Sicherheit der geringe Stichprobenumfang. Außerdem hat sich gezeigt, dass die Spindelreparatur als Paradigma nicht optimal ist. Die Aufgabe mit 15 Arbeitsschritten ist nicht ausreichend komplex. Auch ohne Unterstützung durch einen Experten wurde die Aufgabe schnell gelöst.

Es konnte zudem beobachtet werden, dass die Performanz in einigen Teilaufgaben stark von dem handwerklichen Geschick bzw. der Erfahrung mit dem Umgang der Werkzeuge abhing. Nur in wenigen Aufgaben waren Bauteile nicht auf Anhieb zu finden, so dass sich kaum ein positiver Effekt durch die Sichtbarkeit des visuellen Fokus des Experten ergeben konnte. Die Blickbewegungsmessung des Experten wurde durch das Ablesen der standardisierten Anleitung beeinträchtigt. Beim Blick auf die Anleitung verschwand systembedingt die Markierung des visuellen Fokus für den Novizen.

Es zeigte sich auch, dass das Verfahren zur Kalibrierung des HMD für viele Teilnehmer nicht einfach genug war und die Vorbereitungszeit zu sehr ausdehnte. Als Folge wurde die Kalibrierung des HMD auf das in Abschnitt 3.3.4 auf Seite 59 beschriebene Verfahren vereinfacht. Bislang mussten die Novizen durch horizontales und vertikales Strecken/Stauchen und Verschieben des Videobildes die Sicht durch das HMD an die Realität anpassen. Das neue Verfahren mit der Methode der affinen Transformation ermöglicht auch eine Anpassung durch Rotation des Videobildes für eine höhere Deckungsgleichheit.

Da die Genauigkeit des Systems nur während der Kalibrierung sichtbar war, aber nicht während der Anwendung des Systems überprüft werden konnte, musste für Folgestudien ein Überprüfungsverfahren entwickelt werden (siehe Abschnitt 4.2.9 auf Seite 93). Ebenso wurde beobachtet, dass die Novizen die Funktionen des SVS nicht ausreichend verstanden hatten. Insbesondere fehlte dem Novizen das Verständnis, welcher Bereich des eigenen Blickfeldes vom Experten erfasst wird. Außerdem wurde die Markierung des Blickortes des Experten teilweise nicht als Information genutzt. Als Folge wurde die in Abschnitt 4.2.8 auf Seite 86 erwähnte Systembeschreibung und Übungsaufgabe entwickelt, um die Vertrautheit der Novizen mit dem System zu erhöhen.

4.1.4. Erfahrungen durch die Teilnahme an der LNDW 2009

Zur Langen Nacht der Wissenschaften 2009 wurde der Uhrenbausatz *My First Clock* als Paradigma gewählt. Der Bausatz besteht aus 33 farbigen Teilen und ist geeignet für

4. Experimentelle Studien

Kinder ab dem Grundschulalter. Ohne Anleitung ist es für einen Novizen nicht möglich, innerhalb kurzer Zeit die Zahnräder der Uhr in der richtigen Reihenfolge innerhalb des Gehäuses zu montieren. Der Bausatz wurde im Gegensatz zum Aufbau von 2008 von den Novizen auf einem Tisch zusammen gebaut. Dadurch blickte die Kamera meist schräg auf die Szene. Die Bauteile waren alle unterschiedlich eingefärbt, so dass sie sich anhand der Farbe identifizieren ließen. Sowohl die Mouse-Unterstützung als auch die SVS-Unterstützung kamen zum Einsatz. Wie erwartet, stellte sich der schräge Sichtwinkel als negativ für die Kalibrierung heraus. Wie auch in der Spindel-Vorstudie beeinträchtigten die häufigen Blicke des Experten auf die Montageanleitung die Blickbewegungsmessung. Als Fazit wurde der Uhrenbausatz als nicht ausreichend geeignet für eine umfassende Folgestudie bewertet.

4.2. Tangram-Hauptstudie

4.2.1. Auswahl eines geeigneten Paradigmas zur Evaluation des SVS

Handeln im visuell-räumlichen Bereich

Die in Abschnitt 2.4.6 auf Seite 35 erwähnten Studien zum kollaborativen Arbeiten und Problemlösen verwenden neben virtuellen Aufgaben, die sich nur in einer Software lösen lassen, auch manuelle Aufgaben, die hauptsächlich die visuell-räumlichen Fähigkeiten der Probanden fordern. Wie in den Vorstudien beschrieben, kommen zur Evaluation des SVS nur manuelle Aufgaben in Frage. Die meisten vorstellbaren Problemszenarien, die Fernunterstützung im Störfall an der Maschine notwendig machen, fordern neben den in Abschnitt 2.1.6 auf Seite 15 aufgeführten Wissensquellen vor allem das Erkennen und Handeln auf der visuell-räumlichen Ebene. Dies gilt auch für Informationen, die keine visuelle Komponente besitzen (z. B. Temperatur oder Druck). Erst die Darstellung dieser Information auf Anzeigen wie Displays oder analogen Messgeräten ermöglicht eine visuelle Repräsentation. Ein für die Evaluation geeignetes Paradigma muss Handeln im visuell-räumlichen Bereich beinhalten.

Freiheitsgrade

Eine Eigenschaft manueller Paradigmen zur Untersuchung kollaborativen Problemlösens ist die hohe Anzahl von Freiheitsgraden bei der Lösung des Problems. In der Spindel-Vorstudie hat sich gezeigt, dass eine streng standardisierte Aufgabenstellung einer natürlichen Interaktion zwischen dem Novizen und dem Experten widerspricht. Ein Argument für Systeme zum Aufbau einer Kommunikation mit einem externen Experten ist gerade, dass weder das hinterlegte Wissen des Operateurs noch abrufbares Wissen in Handbüchern und anderen externen Quellen ausreichend für eine Problemlösung ist. Die Beschreibung von Standardlösungen in Handbüchern ist in diesen Fällen nicht ausreichend. Von einem Unterstützer wird ein hohes Maß an technischem Funktionswissen

gefordert. Es ist ein mentales Modell der Maschine erforderlich, das ausreichend dimensioniert ist, um möglichst viele Eigenschaften der Maschine und der Umwelt, die in Bezug zum wahrgenommenen Problem stehen, in eine geeignete symbolische Repräsentation zu übertragen. Diese Repräsentation dient dann als Grundlage für Entwicklung und Anwendung von Problemlösestrategien. Daher kann es Experten gelingen, in Situationen Lösungen zu finden, in denen standardisierte Verfahren nicht zum Erfolg führen. Ein streng standardisiertes Vorgehen bei der Bearbeitung eines Paradigmas kann diese Freiheitsgrade nicht bieten.

Beschränkungen durch das SVS

Beschränkungen durch das SVS bestehen durch den Umstand, dass das kopfgetragene System nur in der zweidimensionalen Ebene auf einen bestimmte Distanz kalibriert wird. Auch durch den fest einzustellenden Fokus des Objektivs der Szenenkamera entfallen Problemstellungen, die eine räumliche Tiefe beinhalten (siehe auch Abschnitt 4.2.9 auf Seite 93). Weiter entfernte oder näherliegende Objekte werden unscharf abgebildet und sind damit für den Experten im Videobild schwer oder nicht mehr erkennbar.

Da es sich beim SVS um ein Unterstützungssystem für manuelle Tätigkeiten handelt, spielt die Entfernung zum Problembereich eine untergeordnete Rolle. Der Abstand zwischen Akteur und Problem muss aus anatomischen Gründen zwischen 0,3 m und 0,5 m liegen. Innerhalb dieser Distanz lässt es sich für einen Novizen noch angenehm mit den Händen ohne Strecken des Körpers oder die Zuhilfenahme von den Tätigkeitsbereich verlängernden Werkzeugen arbeiten.

Das Sichtfeld eines Novizen entspricht dem natürlichen Gesichtsfeld des Menschen bis auf den durch den Rahmen des HMD verdeckten Bereich. Dieser Bereich wird jedoch zum Teil durch die Wahrnehmung mit dem unverdeckten Auge kompensiert. Die Szenenkamera des SVS deckt jedoch einen Bereich ab, der bei einem Abstand von 0,4 m in etwa einem DIN A4-Blatt im Querformat entspricht. Nur ein Bruchteil dieses Bereichs lässt sich für die Visualisierung von Informationen über das HMD nutzen (siehe auch Abbildung 4.4 auf der nächsten Seite).

In den Vorstudien zeigte sich, dass eine sitzende Körperhaltung des Novizen zu einer geneigten Kopfhaltung führt, wenn eine Aufgabe auf einem Tisch bearbeitet wird. Dabei ergeben sich Verzerrungen durch die Perspektive der Szenenkamera, die sich mit dem SVS in der aktuellen Version nicht ausgleichen lassen. Auch die Kalibrierung des Eye Trackings ist nicht geeignet für eine schiefe Ebene, in der die Kalibrierungspunkte in unterschiedlicher Raumtiefe liegen. Eine Lösung könnte in einer schiefen Arbeitsebene mit einer parallelen Ausrichtung auf die Kameraebene bzw. rechtwinkligen Ausrichtung zur Sichtachse des Novizen darstellen.

Einen letzten systembedingten Nachteil stellt die Abnahme des Tragekomforts über die Tragedauer der mobilen Komponente des SVS dar. In Eigenversuchen hat sich gezeigt, dass sich nach etwa 40 bis 45 Minuten ein anfangs noch unangenehmer, später

4. Experimentelle Studien

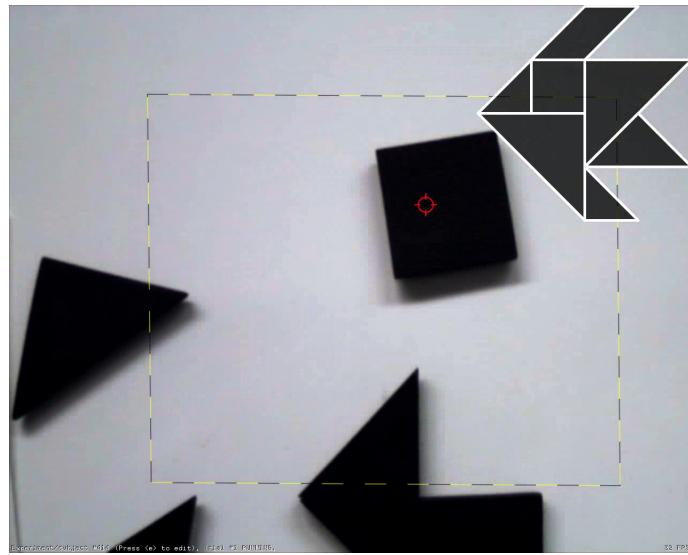


Abbildung 4.4.: Videobild der Szenenkamera auf dem Bildschirm des Experten während einer Tangram-Aufgabe. Das scharz-gelb gestrichelte Parallelogramm zeigt den Bildausschnitt des HMD, das Fadenkreuz zeigt den aktuellen Blickort des Novizen. Rechts oben ist die Lösung halb-durchsichtig (hier vollständig überdeckend) eingeblendet.

dann schmerzender Druck auf Stirn, Schläfen und Hinterkopf einstellt. Ein Lockern der Stellschrauben des Kopfbands entfällt, da das kopfgetragene System nach der Kalibrierung keinesfalls verrutschen darf. Abzüglich einer durchschnittlichen Dauer von 5 bis 10 Minuten für die Kalibrierung ergibt sich eine Aufgabenbearbeitungszeit von etwa 20 Minuten mit hohem Tragekomfort.

Aufbau- und Umbau

Um möglichst viele Probanden hintereinander testen zu können, sollte auch die Umbau- und Vorbereitungszeit kurz ausfallen, da sonst der folgende Experte für seine Wartezeit hätte entschädigt werden müssen. Das bedeutet, dass sich das Problem schnell wieder in einen undefinierten Zustand setzen lassen sollte, nachdem es gelöst wurde.

Novizen und Experten

Das Paradigma muss außer den eben beschrieben Einschränkungen auch noch ein Problem für den Novizen darstellen; dessen Aufgabe ist es, das Problem zu lösen. Dazu muss das Problem von einem undefinierten Ausgangszustand in den definierten Endzustand überführt werden. Der Experte, der bei der Lösung behilflich ist, muss wissen, wie das Problem in den definierten Endzustand überführt werden kann. Für eine möglichst unbe-

schränkte Interaktion, sollte der Weg zum definierten Endzustand mehrere Möglichkeiten zur Lösung bieten. Der Experte selbst sollte ohne Trainingseffekte eine konstante Leistung über alle Versuche erbringen, aber aus Zeit- und Kostengründen nicht aufwendig ausgebildet werden müssen. In Tabelle 4.1 sind einige Beispiele genannt, die im Rahmen dieser Arbeit als Paradigma in Betracht gezogen wurden.

Tabelle 4.1.: Vor- und Nachteile potentieller Paradigmen

Paradigma	Vorteil	Nachteil
Lego	hoher Erklärungsbedarf, vielfältige Formen	dreidimensional, Umbauzeit, kleinteilig
Metallbaukasten	Werkzeug wie Schraubenzieher, Maulschlüssel, Ähnlichkeit mit Montage	dreidimensional, Umbauzeit, kleinteilig
Modellbausatz	komplexe Formen, Ähnlichkeit mit Montage	dreidimensional, nicht zerlegbar, teuer, meist nur ein vorgeschriebener Lösungsweg
Rubik's Cube	hoher Schwierigkeitsgrad für Novize, mehrere Lösungswege	eindeutig beschreibbare Handgriffe, nicht reproduzierbarer Anfangszustand, in Kamera nicht gut erkennbar
Tangram	zweidimensional, Umbauzeit, Schwierigkeitsgrad, mehrfache Lösungswege, kein Training erforderlich	einfache geometrische Formen, mit Anleitung trivial, Objektsuche & Identifikation einfach

Tangram

Nach Abwägung der Vor- und Nachteile und unter Berücksichtigung der aufgeführten Kriterien und systembedingten Beschränkungen wurde das Legespiel *Tangram* für die Evaluation des SVS ausgewählt. Tangram als Paradigma vereint die meisten der genannten Kriterien und wurde bereits in verschiedenen Studien als Aufgabe verwendet. Smith, Frazier, Ward und Webb (1983) beispielsweise verwendeten Tangram-Aufgaben um zu testen, ob es Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen bei der Entwicklung des visuell-räumlichen Vorstellungsvermögens gibt.

Der Lösungsprozess bietet genügend Freiheitsgrade, während die Lösung in den meisten Fällen eindeutig ist. Zudem ist es ein weiterer Vorteil von Tangram, dass viele der Aufgaben ohne Lösung extrem schwer sind, während sie mit einer Lösungsvorgabe trivial sind. Zugleich unterscheiden sich die Aufgaben nicht in ihrer Komplexität und in der Anzahl der Lösungsschritte untereinander, auch wenn einige als schwieriger und andere als leichter empfunden werden. Auf diese Weise kann die Situation nachempfunden werden, dass ein Problem für den Arbeiter vor Ort nicht lösbar ist und nur ein Experte mit

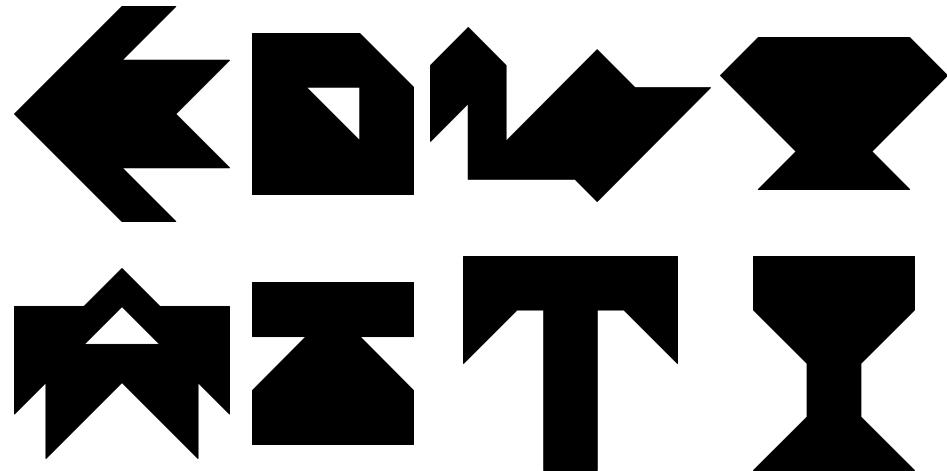


Abbildung 4.5.: Die acht verwendeten Tangram Puzzle-Aufgaben (Trial 1 bis 8 von oben links nach unten rechts).

dem entsprechenden Handlungswissen dem Novizen die Lösung ermöglichen kann. Hilfe in diesem Szenario ist notwendig, obwohl das Problem theoretisch auch mit den Mitteln vor Ort lösbar wäre. Tangram ermöglicht auch eine nicht-standardisierten Interaktion, die womöglich Vorteile einer intuitiven Kommunikation (z. B. mit Blickbewegungen) besser zum Vorschein kommen lässt, als wenn die einzelnen Schritte eines Prozesses bereits festgelegt sind.

Für die Versuche wurde ein handelsübliches Tangram-Spiel (Schmidt Spiele) verwendet. Damit die Spielsteine auch auf einer schiefen Ebene haften, sind an deren Rückseite Magneten in ausgefräste Vertiefungen eingeklebt. Ausgewählt wurden acht Tangram-Aufgaben (siehe Abbildung 4.5), die sich in Vortests unter fünf Kollegen als ausreichend schwer herausgestellt hatten (die Lösungszeit sollte ohne zusätzliche Hilfe nicht unter fünf Minuten betragen).

An dieser Stelle lässt sich anmerken, dass das Problem des Tangram-Lösens nach der Klassifikation von Dörner lediglich eine Interpolationsbarriere für den Experten darstellt (siehe Tabelle 2.1 auf Seite 28) und für den Novizen nicht einmal den Status eines Problems erreicht, da dieser angeleitet wird. Demnach wäre das Paradigma für eine Studie zum kollaborativen Problemlösen nicht geeignet. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass dem Experten kein standardisiertes Vorgehen vorgegeben wird und der Novize aktiv zur Lösung des Problems durch eigene Ansätze, Verbesserungsvorschläge oder Korrekturen beitragen kann. In den erwähnten Vorstudien war es auch vereinzelt zu beobachten, dass der Experte selbst Fehler macht. In einigen Fällen ist es vorgekommen, dass der Novize diese Fehler erkannt hat und eigenständig korrigierend gehandelt hat. Demzufolge stellt auch die Anleitung mit einer Lösung durch einen Experten kein vollständig trivialen

Fall innerhalb des kollaborativen Problemlösens dar. Der Novize kann in einer nicht-standardisierten Interaktion schnellere Lösungszeiten erreichen, wenn er sich aktiv am Lösungsprozess beteiligt.

4.2.2. Mosaik-Test

Der Mosaik-Test ist ein Subtest aus der Skala für räumliche Intelligenz des *Hamburg-Wechsler-Intelligenztests für Erwachsene* (HAWIE-R, Tewes (1994)) und wurde in verschiedenen Arbeiten verwendet, um visuell-räumliche Fähigkeiten zu messen (z. B. Mervis, Robinson und Pani (1999), Shah und Frith (1993)). Die Bearbeitung der Aufgaben des Mosaik-Tests ähnelt der Lösung des Tangram-Puzzles, da das Bearbeiten figurale Kompetenz für das Ableiten einer Lösung in Einzelschritten aus einem vorgegebenen Zielzustand bei gleichzeitiger motorischer Arbeit mit den Händen erfordert. Auf Grund dieser inhaltlichen Nähe des Mosaik-Tests zum Paradigma eignet sich der Mosaik-Test auch als Kontrollvariable, um die generelle Kompetenz der Versuchsteilnehmer für derartigen Aufgaben zu messen.

Durch Anwendung des Mosaik-Tests lässt sich überprüfen, ob Unterschiede zwischen den Gruppen darauf zurückzuführen sind, dass Probanden mit hoher räumlicher Intelligenz überzufällig häufig einer bestimmten Gruppe zugeordnet wurden. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Test sich in wenigen Minuten durchführen und damit gut in den Versuchsablauf integrieren lässt. Die Hypothesen zu den Zusammenhängen zwischen räumlicher Intelligenz und der Lösungszeit werden anhand dieses Tests überprüft.

Zur Auswertung werden die Rohwerte des Tests verwendet. Diese werden nicht weiter anhand der zum Test gehörenden Normtabellen relativiert, sondern gehen direkt in die Berechnungen mit ein. Die Werte der Experten und Novizen werden dabei als getrennte Variablen behandelt. Diese Wertereihen sind zum größten Teil untereinander redundant, da die Testergebnisse der Novizen für die spätere Rolle als Experten übernommen werden. Durch den Versuchsablauf bedingt, bringen nur die Werte des ersten Experten und des letzten Novizen abweichende Werte in die Versuchsreihe ein (zum Versuchsablauf siehe Abschnitt 4.2.8 auf Seite 86). Dennoch werden die Mosaik-Testergebnisse als getrennte Variablen für Experten und Novize geführt, da es unklar ist, inwiefern die Fähigkeiten eines Probanden sich in diesem Paradigma auswirken, wenn sie sowohl als Novizen wie auch als Experten mit dem Problem interagieren.

4.2.3. Hypothesen

Die erste Hypothesen-Gruppe bezieht sich auf die Bewertung der Effizienz des SVS. Dabei soll überprüft werden, ob sich die drei umgesetzten Unterstützungsformen hinsichtlich ihrer Effizienz unterscheiden, also in welchen Bedingungen die Tangram-Aufgaben schneller gelöst werden.

Die zweite Hypothesen-Gruppe versucht Effekte durch die individuellen Eigenschaften

4. Experimentelle Studien

hinsichtlich der Puzzle-Kompetenz zu berücksichtigen. Die Hypothesen begründen sich durch Beobachtungen zur Spindel-Vorstudie in Abschnitt 4.1.3 auf Seite 65, in der sich die handwerklichen Fertigkeiten der Probanden untereinander deutlich unterschieden und dementsprechend auf die Bearbeitungszeit der Aufgabe ausgewirkt haben.

Die Beurteilung der Effektivität des Systems erfolgt qualitativ durch eine Fragebogenhebung im Anschluss an das Experiment (siehe Abschnitt 4.2.4 auf Seite 77). Auch die Hypothesen der dritten Gruppe begründen sich durch die Beobachtungen in den Vorstudien. Das Verhalten einiger Novizen ließ darauf schließen, dass die Markierungen der visuellen Aufmerksamkeit im HMD nicht genutzt wurden und stattdessen ausschließlich die verbale Information verwertet wurde. Zudem konnte in der Spindel-Vorstudie beobachtet werden, dass Anweisungen ohne eigenes Mitdenken durch den Novizen umgesetzt wurden.

Lösungszeiten kollaborativ gelöster Puzzleaufgaben

In dem von Brennan et al. (2008) durchgeführten Experiment mit einer visuellen Suchaufgabe zeigte sich, dass sich für die Kollaboration ein Vorteil aus der Möglichkeit ergibt, den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit des jeweils anderen wahrnehmen zu können. Für eine Fernunterstützungssituation, in der zwei Akteure ein Puzzle gemeinsam lösen, bedeutet das, dass sich in den Phasen der visuellen Suche ein Vorteil ergeben wird, wenn die Akteure jeweils den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit des anderen wahrnehmen können. Die daraus abgeleitete Hypothese (H) lautet:

H 1a) *Die Lösungszeiten in einer kollaborativ gelösten Puzzle-Aufgabe fallen kürzer aus, wenn beide Akteure zusätzlich zur verbalen Kommunikation den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit des jeweils anderen wahrnehmen können.*

In dem kollaborativ bearbeiteten Puzzle-Experiment von Velichkovsky (1995) zeigte sich, dass die Lösungszeiten kürzer ausfallen, wenn der Experte Eingaben mit der Mouse vornehmen kann, um dem Novizen visuell-räumliche Informationen zu vermitteln. Damit lässt sich Hypothese 1b) folgendermaßen formulieren:

H 1b) *Die Lösungszeiten in einer kollaborativ gelösten Puzzle-Aufgabe fallen kürzer aus, wenn dem Experten eine Mouse als Eingabegerät zur Verfügung steht.*

In demselben Experiment von Velichkovsky (1995) zeigte sich, dass es keine signifikanten Unterschiede in den Lösungszeiten zwischen einer mouse-basierten und einer auf Eye Tracking basierten Unterstützung durch einen Experten gibt. Es wird damit in Hypothese 1c) angenommen, dass dies auch für die Lösung des Tangram-Puzzles gilt, auch wenn der Experte zusätzlich die Information des visuellen Fokus vom Novizen erhält.

H 1c) *Die Lösungszeiten in einer kollaborativ gelösten Puzzle-Aufgabe unterscheiden sich nicht zwischen den Gruppen, in denen zusätzlich visuelle Informationen bereitgestellt*

werden. Die Eingabemodalität zur Erweiterung der Realität des Novizen durch das HMD hat keinen Einfluss auf die Lösungszeit.

Zusammenhang zwischen räumlicher Intelligenz und Lösungszeiten kollaborativ gelöster Puzzleaufgaben

Das Lösen von Puzzleaufgaben hängt von den individuellen Fähigkeiten einer Person im visuell-räumlichen Bereich ab. Um die individuellen Fähigkeiten im visuell-räumlichen Bereich außerhalb der Puzzle-Aufgabe zu messen, wird ein Testverfahren zur Messung räumlicher Intelligenz verwendet. Bei einer randomisierten Zuordnung der Probanden zu den einzelnen Gruppen ist mit Hypothese 2a) anzunehmen, dass sich die Gruppen in ihren Messwerten zur räumlichen Intelligenz nicht voneinander unterscheiden.

H 2a) *Die Performanz in einem Verfahren zur Messung der räumlichen Intelligenz variiert nicht zwischen den Gruppen.*

Damit räumliche Intelligenz als Kontrollvariable genutzt werden kann, ist zusätzlich zu Hypothese 2a) die Unabhängigkeit der Ergebnisse eines Tests zur Messung räumlicher Intelligenz des Experten von denen des Novizen in Form von Hypothese 2b) zu bestätigen. Ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Werten würde darauf hinweisen, dass keine Randomisierung stattgefunden hat und sich überzufällig Personen zusammengefunden haben, die diesen Test besonders gut lösen können. Die Bestätigung der Hypothese 2b) zusammen mit der Nullhypothese 2a) stellt eine Voraussetzung für die Interpretation der Daten dar.

H 2b) *Die Performanz des Experten in einem Verfahren zur Messung der räumlichen Intelligenz korreliert nicht mit der Performanz des Novizen im gleichen Verfahren.*

Sollte das Verfahren zur Messung räumlicher Intelligenz ähnliche Fähigkeiten messen, wie sie auch zur Lösung der Puzzleaufgabe erforderlich sind, lässt sich auf einen Zusammenhang zwischen der Leistung in dem Verfahren zur Messung räumlicher Intelligenz und der Leistung in der kollaborativ gelösten Puzzle-Aufgabe schließen. Ein derartiger Zusammenhang bildet die Voraussetzung dafür, dass die Werte des Verfahrens als Kontrollvariable eingesetzt werden können, und führt somit zur Hypothese 2c). Damit können die Werte bei der Auswertung der Daten dazu benutzt werden, eventuelle Unterschiede zwischen den Gruppen auszugleichen, die auf eine ungünstige Verteilung zurückzuführen sind.

H 2c) *Die Performanz von Experten bzw. Novizen in einem Verfahren zur Messung der räumlichen Intelligenz korreliert mit der Lösungszeit der kollaborativ gelösten Puzzleaufgabe.*

Hypothesen zur subjektiven Einschätzung der erlebten Unterstützungsform nach dem Versuch

Das Aufsuchen und Identifizieren des Objektes, auf das der Experte weist, ist für den Novizen leichter, wenn dieses durch den Experten markiert wird. Diese Erleichterung hat möglicherweise eine Reduzierung der kognitiven Anteilnahme des Novizen am Lösungsprozess zur Folge, wenn Hilfestellung per Markierung (per Mouse oder per Eye Tracking) durch den Experten geleistet wird. Dieser Aspekt wird mit Hypothese 3a) berücksichtigt.

H 3a) *Die durch den Novizen wahrgenommene aktive Teilnahme an einer kollaborativ gelösten Puzzle-Aufgabe fällt niedriger aus bei den Bedingungen, in denen Möglichkeiten zur Markierung von Objekten durch den Experten bestehen, als bei rein verbaler Kommunikation.*

In Ergänzung zu Hypothese 3a) lässt sich mit Hypothese 3b) überprüfen ob sich die Visualisierung einer Mouse-Eingabe oder des Fokus des visuellen Aufmerksamkeit auch positiv für den Novizen auf das Verständnis der Anweisungen des Experten auswirkt. Hypothese 3c) berücksichtigt hingegen die Perspektive des Experten.

H 3b) *Das Verständnis des Novizen, auf welches Objekt sich die Anweisungen des Experten beziehen, ist größer als bei rein verbaler Kommunikation, sowohl in der Bedingung mit Mouse-Eingabe als auch in der Bedingung mit Full Gaze Awareness.*

Die Möglichkeit zur Vermittlung visuell-räumlicher Information sollte dazu führen, dass der Experte sich leichter mitteilen und damit den Novizen effektiver anleiten kann. Daraus folgt in Hypothese 3c), dass der Experte seine Anweisungen als wirksamer einschätzt, wenn ihm die Möglichkeiten zur Markierung von Objekten zur Verfügung stehen.

H 3c) *Der Experte schätzt die Verständlichkeit seiner Anweisungen höher ein, wenn er die Möglichkeit einer Mouse-Eingabe oder die Möglichkeit zur Kommunikation mit Hilfe von Blickbewegungen hat, als bei reiner Sprachkommunikation.*

Rückfragen des Novizen zur Anweisungen des Experten haben direkte Auswirkungen auf die Lösungszeit der Puzzle-Aufgabe. Es hängt dabei insbesondere davon ab, wie schnell der Experte solche Rückfragen versteht. Nachfragen durch den Novizen sollten verständlicher für den Experten sein, wenn der Experte den visuellen Fokus der Aufmerksamkeit des Novizen wahrnehmen kann. Somit lässt sich Hypothese 3d) folgendermaßen formulieren:

H 3d) *Der Experte bewertet die Rückfragen des Novizen als leichter verständlich, wenn das System beiden Akteuren den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit des jeweils anderen zur Verfügung stellt.*

In der letzten Hypothese 3e) wird die Auswirkung der Markierung der visuellen Aufmerksamkeit bzw. des Zeigens mit der Mouse im HMD des Novizen auf die subjektive Wahrnehmung der Aufgabenschwierigkeit überprüft. Es wird angenommen, dass Novizen durch die erweiterte Realität die Aufgabenbewältigung als einfacher wahrnehmen, da damit visuelle Hinweise auf den Lösungsprozess zusätzlich zu den verbal durch den Experten angebotenen vermittelt werden.

H 3e) *Novizen erleben die Tangram-Aufgaben subjektiv als schwieriger, wenn sie nur verbale Unterstützung erfahren. Novizen, die durch die Anzeige einer Mouse-Eingabe oder der visuellen Aufmerksamkeit des Experten unterstützt werden, werden die Tangram-Aufgaben als einfacher wahrnehmen.*

4.2.4. Fragebogen

Die im vorhergehenden Abschnitt erwähnte Erhebung der subjektiven Wahrnehmung wird durch die nachfolgenden Items eines post-experimentellen Fragebogens vorgenommen. Bestimmte Items sind darauf ausgelegt, einen Unterschied zwischen den Bedingungen zu erfassen. Damit werden die Hypothesen zu den subjektiven Einschätzungen der Probanden überprüft. Außerdem sind auch allgemeine Fragen zum System und spezifische, auf Eigenschaften der einzelnen Bedingungen ausgerichtete Fragen enthalten.

Bei fast allen Items des Fragebogens wird eine fünfstufige Likert-Skala verwendet. Die Probanden müssen also Aussagen mit einer Zahl von 1 („trifft gar nicht zu“) bis 5 („trifft voll zu“) bewerten. Zu Erstellung des Fragebogens, wie auch zur Erhebung wurde das Angebot *oFb onlineFragebogen*² in der kostenlosen Version genutzt. Da sich einige Items direkt auf eine der Versuchsbedingungen beziehen, wurde der Fragebogen so programmiert, dass die von der Bedingung abhängigen Fragen nur erschienen, wenn zu Beginn des Fragebogens die dazugehörige Variable *Versuchsbedingung* den richtigen Wert erhalten hatte.

Fragebogenitems für Novizen

Der erste Teil des Fragebogens bezieht sich auf das Experiment aus Sicht des Novizen. Da die Sinneseindrücke des Probanden unmittelbar nach dem Experiment noch frisch sind, wird der Fragebogen gleich im Anschluss erhoben, nachdem der Proband den Versuch als Novize durchgeführt hat. Die Items Nov-A1, Nov-A2 und Nov-A3 decken im weitesten Sinne Eindrücke zum Tragekomfort des Systems ab.

Mit Item Nov-A1 soll abgeschätzt werden, inwiefern eine Gewichtsreduzierung essenziell für die Verbesserung des Systems ist. Wird ein hoher Mittelwert in diesem Item erreicht, könnte eine geringeres Gewicht bei einer Überarbeitung des Systems den Tragekomfort des Systems erhöhen.

²<https://www.soscisurvey.de/>

4. Experimentelle Studien

Nov-A1 *Das Gewicht des Shared-Vision-Systems stellt beim Tragen eine Belastung dar.*

In vorhergehenden Studien wurde die spezifische negative Eigenschaft *unangenehmes Drücken* als zentral identifiziert. Eine bequeme Benutzung des SVS in längeren Phasen kollaborativen Problemlösens könnte sich als zentral für eine spätere Akzeptanz durch Wartungstechniker herausstellen.

Nov-A2 *Das Tragen des Shared-Vision-Systems drückt unangenehm am Kopf.*

Auch Item Nov-A3 spricht die Akzeptanz späterer Benutzer des SVS an. Da Bewegungsfreiheit in der Tangram-Aufgabe keine Rolle spielt, könnte ein hoher Mittelwert des Items darauf hinweisen, dass das HMD sowie der halb-durchlässige Spiegel des Eye Trackers eine Einschränkung des Arbeitsraums bedeuten.

Nov-A3 *Das Shared-Vision-System schränkt mich beim Arbeiten ein.*

Item Nov-A4 dient der Kontrolle, dass die Aufgabe auch aus der Perspektive der Novizen für eine Unterstützungssituation geeignet war. Ein niedriger Mittelwert würde darauf hindeuten, dass die Aufgabe auch von einer Person allein einfach gelöst werden kann. Im Detail wird zusätzlich in den Items Nov-T1 bis Nov-T8 die wahrgenommene Schwierigkeit jeder Tangram-Aufgabe (siehe Abbildung 4.5 auf Seite 72) auf einer Skala von 1 („sehr leicht“) bis 5 („sehr schwierig“) erhoben. Die Detailbewertungen dienen zur Überprüfung der Hypothese 3e), in der die Annahme getroffen wird, dass die Tangram-Aufgaben in der rein verbalen Bedingung als schwieriger zu lösen wahrgenommen werden.

Nov-A4 *Ich hätte die Tangram-Aufgaben größtenteils auch ohne Hilfe lösen können.*

Die Items Nov-A5 und Nov-A6 sollen eine Aussage darüber ermöglichen, wie sehr der Novize aktiv am Lösungsprozess beteiligt war. Es soll überprüft werden, inwiefern sich die Anleitung mit Hilfe des SVS auf die kognitive Beteiligung des Novizen auswirkt. Die Annahme war hierbei in Hypothese 3a), dass die beiden Versuchsbedingungen mit zusätzlicher visueller Hilfestellung durch den Experten in einer geringeren Anteilnahme des Novizen resultieren, da diesem mehr Informationen zur Verfügung gestellt werden.

Nov-A5 *Ich habe im Lösungsprozess aktiv mitgedacht.*

Nov-A6 *Ich habe die Anweisungen lediglich ausgeführt ohne zu überprüfen, ob sie zum Ziel führen.*

Die folgenden Items adressieren jeweils die spezifischen Gruppen Voice (V), Mouse (M) und SVS (S). So soll mit den Items Nov-V1, Nov-M2 und Nov-S3 erhoben werden, ob die verbale Interaktion mit dem Experten allgemein schwierig ist. Mit den Items Nov-M1 und Nov-S1 soll zusätzlich erfasst werden, ob es insbesondere schwierig ist, der Markierung im HMD zu folgen.

Nov-V1 *Es war schwierig, den sprachlichen Anweisungen des Experten zu folgen.*

Im Speziellen wird mit Item Nov-V2 dabei die Verständlichkeit der räumlichen Information („welches Objekt“) angesprochen. Es soll überprüfen, ob die Verständlichkeit der Anweisungen des Experten mit der Interaktionsbedingung zusammenhängt. Es wird erwartet, dass Probanden in den beiden Bedingungen mit visuell-räumlicher Information in den Items Nov-M3 und Nov-S2 höhere Werte angeben, da der Experte ihnen die Objekte leichter zeigen kann.

Nov-V2 *Ich wusste sofort, auf welches Objekt sich die sprachlichen Anweisungen des Experten bezogen.*

In den Gruppen mit Unterstützung durch zusätzliche visuell-räumliche Informationen wird das Item Nov-V2 in den Items Nov-M3 und Nov-S2 wiederholt. Höhere Mittelwerte in den Items Nov-M3 und Nov-S2 gegenüber Item Nov-V2 würden darauf schließen lassen, dass die Novizen Anweisungen des Experten als effizienter gegenüber der verbalen Bedingung wahrnehmen.

Weitere spezifische Items werden hinzugefügt, um zwischen den Eingabemodalitäten mit Mouse und Eye Tracking einen potentiellen Unterschied identifizieren zu können. Das Item Nov-M3 dient damit der Überprüfung von Hypothese 3b).

Nov-M1 *Es war schwierig, den Mouse-Bewegungen des Experten zu folgen.*

Nov-M2 *Es war anstrengend, den sprachlichen Anweisungen des Experten zu folgen.*

Nov-M3 *Ich wusste sofort, auf welches Objekt sich die Anweisungen des Experten bezogen.*

Nov-M4 *Ich hatte das Gefühl, dass der Experte den Mouse-Zeiger nicht genutzt hat um mir zu zeigen, welches Objekt ich nehmen soll.*

Nov-M5 *Ich habe eigentlich nicht auf den Mouse-Zeiger des Experten geachtet.*

Zusätzlich wird erfragt, ob die jeweilige Interaktionsform nach Wahrnehmung des Novizen überhaupt durch den Experten genutzt wird bzw. ob der Novize die visuelle Einblendung im HMD auch genutzt hat. Die Items Nov-M1, Nov-M4 und Nov-M5 werden im Fragebogen der Gruppe mit Umsetzung einer Full Gaze Awareness an die Blickbewegungsmessung angepasst. Hohe Mittelwerte könnten darauf hindeuten, dass die Art der Visualisierung überarbeitet werden muss.

Nov-S1 *Es war schwierig, den Blickbewegungen des Experten zu folgen.*

Nov-S2 *Ich wusste sofort, auf welches Objekt sich die Anweisungen des Experten bezogen.*

4. Experimentelle Studien

Nov-S3 *Es war anstrengend, den sprachlichen Anweisungen des Experten zu folgen.*

Nov-S4 *Ich hatte das Gefühl, dass der Experte seinen Blick nicht genutzt hat um mir zu zeigen, welches Objekt ich nehmen soll.*

Nov-S5 *Ich habe eigentlich nicht auf den Blickpunkt des Experten geachtet.*

Nov-S6 *Ich hatte das Gefühl, dass der Experte auf meinen Blick geachtet hat um zu wissen, welche Objekte ich angucke.*

Mit dem letzten Item Nov-S6 wird in der Gruppe, in der die Augenbewegungen gemessen werden, erfragt, ob der Novize wahrnimmt, dass sein Blick dem Experten als Rückkanal dient bzw. diese Information auch nutzt. Ein hoher Mittelwert würde dafür sprechen, dass die Umsetzung der Full Gaze Awareness auf beiden Seiten gelungen ist.

Fragebogenitems für Experten

Der zweite Teil des Fragebogens bezieht sich auf das Experiment aus Sicht des Experten. Auch diese Erhebung findet direkt im Anschluss an die Rolle des Probanden als Experte statt.

Mit Item Exp-A1 wird mit einer allgemeinen Einschätzung des Experten zum System erhoben, ob die Übertragung des bewegten Kamerabildes einer am Kopf befestigten Szenenkamera dem Experten Schwierigkeiten bei der Unterstützung bereitet. Ein hoher Mittelwert in diesem Item würde für zukünftige Untersuchungen eine Überarbeitung der Videoverarbeitung des SVS erfordern. Ähnlich zu handelsüblichen Videokameras könnte ein Bildstabilisator implementiert werden, der Kopf- bzw. Körperbewegungen bis zu einem gewissen Maß kompensiert.

Exp-A1 *Die Bildübertragung war sehr verwackelt und erschwerte das Arbeiten.*

In den Items Exp-A2, Exp-A3 und Exp-A5 des Expertenfragebogens soll der Experte einschätzen, ob seine Anweisungen für den Novizen direkt verständlich gewesen sind. Es wird die subjektive Wahrnehmung des Experten zum Verständnis des Novizen bezüglich seiner eigenen Anweisungen abgefragt. In Hypothese 3c) auf Seite 76 wird zu beiden Bedingungen mit visuell-räumlicher Information erwartet, dass der Experte sich leichter mitteilen und effektiver anleiten kann. Dieses wiederum soll sich auch darin widerspiegeln, dass der Experte seine eigenen Anweisungen als wirksamer einschätzt, verglichen mit der Voice-Bedingung.

Exp-A2 *Der Novize konnte meinen Angaben gut folgen.*

Exp-A3 *Der Novize hatte Schwierigkeiten, meine Anweisungen inhaltlich zu verstehen.*

Exp-A4 *Ich konnte gut verstehen, worauf sich Rückfragen des Novizen bezogen.*

Exp-A5 *Ich hatte den Eindruck, der Novize wusste sofort, auf welches Bauteil sich meine Anweisungen bezogen.*

Item Exp-A4 dient der Überprüfung von Hypothese 3d) auf Seite 76. Es richtet sich damit an den Unterschied zwischen den Bedingungen bezüglich der Rückfragen des Novizen. Die Annahme ist, dass die Rückfragen des Novizen präziser und somit auch für den Experten verständlicher werden, wenn der Experte dem Novizen per Mouse oder Blickbewegung visuell-räumliche Information zur Verfügung stellen kann. Zur Verifizierung von Hypothese 3d) wird in der Gruppe, die Full Gaze Awareness erlebt, ein höherer Mittelwert erwartet als in den anderen Bedingungen.

Die folgenden Items sind jeweils den unterschiedlichen Gruppen angepasst. Die Items Exp-V1, Exp-M1 und Exp-S1 dienen der Abfrage der subjektiven Wahrnehmung des Experten, wie geeignet das SVS in seiner jeweiligen Ausprägung zur Funktionserfüllung ist. Mit den Items Exp-V2, Exp-M2 und Exp-S4 wird hingegen abgefragt, wie der Experte die Eingabemodalität zur Übermittlung von Informationen an den Novizen wahrgenommen hat.

Exp-V1 *Novizen mündliche Instruktionen zu übermitteln, hat gut funktioniert.*

Exp-V2 *Ein Eingabegerät, wie z. B. eine Mouse, hätte mir das Arbeiten mit dem Novizen erleichtert.*

Exp-M1 *Dem Novizen Instruktionen mit der Mouse zu übermitteln, hat gut funktioniert.*

Exp-M2 *Ich fand es intuitiv, mit meiner Mouse auf Puzzle-Teile zu zeigen.*

Exp-S1 *Dem Novizen Instruktion mit den Blickbewegungen zu übermitteln, hat gut funktioniert.*

Exp-S2 *Die im Videobild dargestellte Blickposition des Novizen war hilfreich.*

Exp-S3 *Ich habe auf die Blickposition des Novizen kaum geachtet.*

Exp-S4 *Ich fand es intuitiv, mit meinem Blick auf Puzzle-Teile zu zeigen.*

Die Items Exp-S2 und Exp-S3 berücksichtigen speziell den Rückkanal des Novizen durch die Visualisierung seiner Blickbewegung. Ein hoher Mittelwert bei Item Exp-S2 spricht dafür, dass die Visualisierung der Blickbewegung des Novizen als hilfreich wahrgenommen wird. Ein hoher Mittelwert in Item Exp-S3 könnte darauf hinweisen, dass die Visualisierung des visuellen Fokus des Novizen nur unzureichend umgesetzt worden ist.

4. Experimentelle Studien

4.2.5. Zusammensetzung der Stichprobe

Kriterien

Für alle Teilnehmer der Studie galten folgende Ein- und Ausschlusskriterien:

- Die Teilnehmer durften keine Erfahrung mit dem Legespiel Tangram besitzen.
- Die Probanden mussten volljährig sein.
- Zur Umgehung bildungsbezogener Unterschiede in der Fähigkeit Puzzle-Aufgaben zu lösen und die geometrischen Formen der Tangram-Teile zu beschreiben, wurde eine fehlende Hochschulreife als Ausschlusskriterium definiert.
- Ein Ausschlusskriterium stellten auch körperliche Beeinträchtigungen oder Erkrankungen dar, welche die zu untersuchenden Parameter beeinflussen oder die manuelle Interaktion mit dem Puzzle beeinträchtigen könnten (z. B. eine motorische Störung der Hand).
- In der SVS-Bedingung galt die Erfordernis einer Sehhilfe (Brille oder Kontaktlinsen) als Ausschlusskriterium. Probanden mit dunkelbrauner Augenfarbe wurden ausgeschlossen, um Schwierigkeiten in der Erkennung der Pupille durch die Eye Tracking Software zu vermeiden.
- Um möglicherweise auftretende Unterschiede in der Kommunikation in den verschiedenen Kombinationen der dyadischen Interaktion zu vermeiden, sollten alle Probanden männlich sein. Es ist anzumerken, dass dieses Ausschlusskriterium nicht zwingend notwendig gewesen wäre. Es wurde als Vorsichtsmaßnahme eingesetzt, um eventuell auftretende unvorhergesehene Varianz zu verhindern. Die Studie wäre auch nur mit Teilnehmerinnen durchführbar gewesen.
- Im Anschluss an die Vorstudie wurde ergänzt, dass die Probanden Deutschkenntnisse auf muttersprachlichem Niveau besitzen mussten. In der Vorstudie wurde beobachtet, dass bei der verbalen Kommunikation zwischen Experte und Novize Missverständnisse sowohl bei der Bezeichnung als auch bei der Positionierung der Tangram-Teile auftraten, wenn einer oder beide Teilnehmer einer Dyade sich nicht auf muttersprachlichem Niveau ausdrücken konnten. So dauerten die Versuche mit vereinzelt mehr als 5 Minuten je Trial deutlich länger als erwartet (insbesondere wenn beide interagierenden Probanden nicht über Deutschkenntnisse auf muttersprachlichem Niveau verfügten).

Akquise

Die Stichprobe ($N = 54$) setzte sich aus einer Kontrollgruppe und zwei Experimentalgruppen zu je 18 Probanden zusammen. Sämtliche Probanden wurden zwischen dem 1. Juni und dem 17. September 2010 auf einem der folgenden Wege rekrutiert:

- Es wurden Aushänge an schwarzen Brettern in unterschiedlichen Gebäuden der TU Berlin aufgehängt. Die Aushänge enthielten eine rudimentäre Versuchsbeschreibung, führten die Ausschlusskriterien auf und erwähnten die Aufwandsentschädigung.
- Freunde, Bekannte und Kollegen wurden gefragt, ob sie an dem Versuch teilnehmen können.
- Es wurden Empfehlungen durch die bereits getesteten Probanden in ihren Bekanntenkreisen gegeben.
- Versuchspersonen wurden spontan im Universitätsgebäude angeworben.

Die Überprüfung der Probanden bezüglich ihrer Eignung fand entweder persönlich oder durch ein Telefoninterview statt. Jeder Teilnehmer erhielt nach Studienteilnahme eine Aufwandsentschädigung von fünf Euro je angefangener halben Stunde. Die Teilnahme der Probanden an der Studie erfolgte stets freiwillig. Sie wurden mündlich und schriftlich ausführlich vor dem Versuch aufgeklärt. Vor dem Beginn der Versuche unterzeichneten alle Probanden eine schriftliche Einverständniserklärung.

Soziodemographische Daten

Zur Beschreibung der Stichprobe wurden die Teilnehmer vor dem Experiment nach Alter und Berufsausbildung gefragt. Im Anschluss wurde der Mosaik-Test aus dem HAWIE-R durchgeführt. Das Alter der Studienteilnehmer betrug im Durchschnitt 25,3 Jahre. Die Gruppen unterschieden sich weder bezüglich ihres Alters ($F(2) = 2,060; p = 0,138$) noch hinsichtlich des Wertes des Mosaik-Tests (Experten: $F(2) = 0,843; p = 0,436$; Novizen: $F(2) = 0,204; p = 0,816$). Details zur Erhebung des Mosaik-Testwerts sind in Abschnitt 4.2.2 auf Seite 73 beschrieben, eine deskriptive Statistik ist in Tabelle D.1 auf Seite 146 zu finden.

4.2.6. Gruppenspezifischer Versuchsaufbau

Novizen und Experten sind während des Versuchs räumlich und damit optisch und akustisch voneinander getrennt. Die einzige Möglichkeit zu einem verbalen Austausch besteht über eine Internet-Telefonie-Software per Sprechgarnitur (Headset). Eine Übersicht über die Konfiguration des SVS in den entsprechenden Gruppen enthält Tabelle 4.2 auf der nächsten Seite. Die Versuchsbedingung wird durch die Konfiguration des SVS bestimmt und stellt die unabhängige Variable dar. Abhängige Variablen sind der Mosaik-Test, die Lösungszeit für die Tangram-Aufgaben und der post-experimentelle Fragebogen. Die Probanden werden insgesamt von drei Versuchsleitern betreut, da durch den Versuchsablaufplan zeitgleich ein Novize, ein Experte und ein neuer Proband anwesend sind (siehe Abschnitt 4.2.8 auf Seite 86).

4. Experimentelle Studien

Tabelle 4.2.: Konfiguration des SVS für die Akteure *Novize* (Nov) und *Experte* (Exp) in Abhängigkeit der Gruppe

Gruppe	Headset	HMD	Mouse	Eye Tracking
Voice	Nov & Exp	–	–	–
Mouse	Nov & Exp	Nov	Exp	–
SVS	Nov & Exp	Nov	–	Nov & Exp

Aufbau: Voice

Novizen der Kontrollgruppe (Voice) tragen die mobile Einheit des SVS, um per Szenenkamera Videobilder aus ihrer Perspektive an den Experten zu übertragen. Weder das HMD noch der Eye Tracker kommen in dieser Bedingung zum Einsatz. Beide Systemteile sind zwar immer noch am Kopfträger montiert, aber nach oben außer Sichtweite des Novizen geklappt.

Auf der Seite des Experten ist lediglich das übertragene Videobild und die auditive Verbindung zum Novizen von Bedeutung. Experten der Voice-Gruppe steht keine zusätzliche Modalität zur Kommunikation mit dem Novizen zur Verfügung.

Aufbau: Mouse

Novizen der Mouse-Gruppe erhalten über das HMD des SVS zusätzlich eine visuelle Information, auf welches Objekt der unterstützende Experte in ihrer Umgebung zeigt. Durch das HMD kann der Novize die Orte in seiner Umgebung zu den Anweisungen identifizieren, die der Experte übermittelt. Das HMD ist nur nach einer Kalibrierung verwendbar. Details zur Kalibrierung sind in Abschnitt 4.2.9 auf Seite 93 aufgeführt.

Experten der Mouse-Gruppe steht eine Computer-Mouse zur Verfügung, um den Novizen Ortsinformationen über Objekte zu übermitteln, indem sie die Mouse auf dem Videobild der Szenenkamera bewegen und positionieren.

Aufbau: SVS

Novizen der SVS-Gruppe erleben Full Gaze Awareness, indem sie über das HMD die Information über den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit des Experten erhalten. Gleichzeitig wird ihre Augenbewegung per Eye Tracker erfasst und an den Experten übertragen.

Experten der SVS-Gruppe übermitteln den Fokus ihrer visuellen Aufmerksamkeit an den Novizen durch Nutzung eines Eye Trackers, der auf das Videobild der Szenenkamera kalibriert ist. Auf dem Videobild ist auch die Information über den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit des Novizen enthalten, so dass auch sie Full Gaze Awareness erleben.

Aufbau: Versuchsleiter

Das Startsignal für die Tangram-Trials wurde durch den Versuchleiter des Experten per Sprechfunkgerät übermittelt, so dass Experte und Novize zeitgleich das Startsignal erhielten. In Vorversuchen hatte sich gezeigt, dass bei den Probanden kein Zeitdruck aufkam, obwohl die Probanden schriftlich instruiert wurden, das Puzzle so schnell wie möglich zu lösen. Daraufhin wurde in Anlehnung an Sportwettkämpfe das Startkommando „Auf die Plätze, fertig, los!“ gegeben, um die Probanden noch mal an die Versuchsinstruktion zu erinnern.

Die Messung der Lösungszeit erfolgte auf Tastendruck durch den Versuchsleiter des Experten. Damit wurde auch der Videomitschnitt der Experten-Perspektive gesteuert (für ein Bildschirmfoto siehe Abbildung 4.4 auf Seite 70). Zur Überprüfung der Qualität und Lautstärke der Audioverbindung zwischen Experten und Novizen konnten die jeweiligen Versuchsleiter über einen einseitigen Mono-Kopfhörer die Kommunikation zwischen den Probanden mithören.

4.2.7. Novizen-Experten-Rolle

Fernunterstützungssituationen zeichnen sich dadurch aus, dass einer der beiden Interaktionspartner (Novize) durch ein Defizit im Geräte- und/oder Handlungswissen in einer Problemsituation einen anderen Interaktionspartner (Experte) kontaktiert, der nicht über dieses Defizit verfügt. In der Praxis wird die Rolle des Experten meistens durch Service-Techniker eingenommen, die sowohl Erfahrung mit der Maschine als auch Zugriff auf hinterlegtes Wissen in Form von Handbüchern oder Datenbanken zu ähnlichen Fällen samt Lösungen haben. Im Tangram-Experiment wird dieser Fall versucht abzubilden: ein Experte zeichnet sich dadurch aus, dass er bereits als Novize die Tangram-Aufgaben gelöst hat und zusätzlich Zugriff auf die Lösung zum Problem in Form einer Lösungsskizze hat (z. B. Abbildung 4.1 auf Seite 65).

Wird für die Rolle des Experten (z. B. im Experiment von Velichkovsky (1995)) immer dieselbe Person über einen Versuchstag herangezogen, ergeben sich zwei Probleme. Angenommen, die 18 Versuchsdurchgänge zu einer Bedingung werden innerhalb von drei Versuchstagen mit jeweils einem Experten umgesetzt. Unterschiede im Verhalten (z. B. den Erklärungsfähigkeiten) der Experten haben dadurch einen großen Einfluss auf die Messungen in einer Versuchsbedingung. Zudem ist es möglich, dass Fähigkeiten der Experten zwischen den Gruppen ungleich verteilt sind. Unterstützen in einer Gruppe beispielsweise zufällig zwei Experten besonders gut, kommt es viel leichter zur Artefaktbildung. Als zweites Problem sind Übungseffekte wahrscheinlich, die sich im Verlauf eines Versuchstages bei den Experten einstellen könnten. Dadurch fallen die Lösungszeiten gegen Ende des Versuchstages immer kürzer aus. Außerdem bietet die Wiederholung der Anleitungen für die sich wiederholenden Tangram-Aufgaben Potential für ein quasi-standardisiertes Vorgehen, das durch das Tangram-Paradigma vermieden werden sollte.

4. Experimentelle Studien

Tabelle 4.3.: Ausschnitt für das verschachtelte Versuchsdesign mit beispielhaft gewählten Zeiten. Grau unterlegt sind die Phasen, in denen Novize und Experte kollaborativ das Tangram-Spiel lösen.

Zeit	Dauer	Proband <i>n</i>	Zeit	Dauer	Proband <i>n + 1</i>
00:00	00:05	Empfang	—	—	—
00:05	00:10	HAWIE-R	—	—	—
00:15	00:05	Instruktion	—	—	—
00:20	00:10	Kalibrierung	—	—	—
00:30	00:05	Übung Novize	00:30	00:05	Empfang
00:35	00:15	Tangram Novize	00:35	00:10	HAWIE-R
—	—	—	00:45	00:05	Instruktion
00:50	00:05	Umbau & Transfer	00:50	00:10	Kalibrierung
00:55	00:05	Fragebogen Novize	—	—	—
01:00	00:05	Übung Experte	01:00	00:05	Übung Novize
01:05	00:15	Tangram Experte	01:05	00:15	Tangram Novize
—	—	—	—	—	—
01:20	00:05	Fragebogen Experte	01:20	00:05	Umbau & Transfer
01:25	00:00	Entschädigung	01:25	00:05	Fragebogen Novize
—	—	—	01:30	00:05	Übung Experte
—	—	—	01:35	00:15	Tangram Experte
—	—	—	—	—	—
—	—	—	01:50	00:05	Fragebogen Experte
—	—	—	01:55	00:00	Entschädigung

Daher fungiert in dieser Studie jeder Novize für den jeweils nachfolgenden Novizen als dessen Experte. Daraus ergibt sich ein verschachtelter und organisatorisch aufwendiger Ablaufplan (siehe Tabelle 4.3).

4.2.8. Versuchsablauf

Ablaufplan

Jeder Proband absolviert drei Stufen während des Versuchs. Außerdem wird der erste Novize einer Versuchsbedingung durch den Experten-Versuchsleiter unterstützt. Der Novize wird dadurch für die Rolle als Experte für den ersten vollständigen Versuchsdurchgang vorbereitet. Der Versuchsdurchgang des Novizen wird bei dieser einmaligen Unterstützung durch den Versuchsleiter für ungültig erklärt.

Für einen nahtlosen Übergang zwischen den Stufen und zur Vermeidung unnötiger Wartezeiten bei den Probanden, sind immer drei Probanden zeitgleich involviert. Ein dritter Proband stößt immer dann hinzu, wenn sich die vorherigen Probanden gerade in der Rolle als Novize und Experte in der Übungsphase mit dem Tangram-Spiel befinden. In Tabelle 4.3 wird Proband *n* vom Versuchsleiter oder von einem Experten beim

Puzzeln unterstützt, der an einem Vortag Novize war. Proband $n + 1$ wird von Proband n , Proband $n + 2$ von Proband $n + 1$ usw. unterstützt. Der Novize des letzten Durchgangs eines Versuchstages wird gegebenenfalls als Experte für den Beginn eines neuen Versuchstages eingeladen.

Vorbereitung

Die erste Station dient der Vorbereitung auf das Tangram-Experiment. Hat der Proband sein Einverständnis zum Versuch erteilt (siehe Kapitel F ab Seite 161), werden mit einem Vorfragebogen soziodemographische Daten (Alter, Ausbildungsstand) erfasst und der Mosaik-Test des HAWIE-R durchgeführt. Anschließend erhält der Proband eine Einführung in das SVS, bestehend aus einer für die Versuchsbedingung spezifischen schriftlichen Erläuterung und einem Einführungsvideo³ (siehe Kapitel G ab Seite 163 und Abbildung 3.13 auf Seite 58).

Ziel der Einführung in das SVS ist es, dem Novizen die Interaktionsmöglichkeiten des Systems zu erläutern und eine korrekte Interpretation der Visualisierung im HMD bzw. auf dem Videobild am Expertenarbeitsplatz zu ermöglichen. Der schriftliche Teil ist mit Abbildungen der Komponenten und Fotos zu den Beschreibungen versehen. Da sich das Interaktionsprinzip auf zwei Akteure bezieht und beide Akteure gleichzeitig Informationen wahrnehmen bzw. übermitteln, ist eine kurze und einfache textbasierte Beschreibung nur schwer möglich. Daher kann der Novize parallel zum Text ein Video als Referenz zum besseren Verständnis der Funktionsweise des Systems betrachten. Die Einführung schließt mit drei Fragen zum Verständnis der Funktionen und des Interaktionsprinzips ab (siehe Kapitel G). Alle Fragen müssen vom Novizen korrekt beantwortet werden, damit dieser am Versuch teilnehmen kann. Ist dies nicht der Fall, werden dem Probanden noch einmal im Gespräch die nicht verstandenen Teile des Tutorials erläutert. Im Anschluss wird der Proband an den Versuchsleiter für die Novizen-Station übergeben.

Ausstattung der Novizen-Station

Hier wird das SVS auf den Novizen kalibriert, der Novize absolviert eine Einführung und löst acht Tangram-Aufgaben. Danach wird der Novize dem Versuchsleiter für die Experten-Station übergeben.

Der Versuchsräum enthält neben der mobilen Einheit des SVS ein magnetisches Whiteboard. Das Whiteboard ist annähernd parallel zur Ebene der Szenenkamera bzw. senkrecht zur Sichtachse des Novizen ausgerichtet. Es dient als Puzzle-Unterlage für das magnetische Tangram. Links des Puzzle-Bereichs wird vom Versuchsleiter die jeweilige Tangram-Aufgabe in Form einer Silhouette angepinnt (siehe Abbildung 4.9 auf Seite 92). Die Kabel sind zur Entlastung des Gewichts am Kopfband von der Zimmer-

³<http://youtu.be/114oLar86qE>

4. Experimentelle Studien



Abbildung 4.6.:

Das Foto zeigt die zur Kalibrierung des HMD erforderliche Kinnstütze.

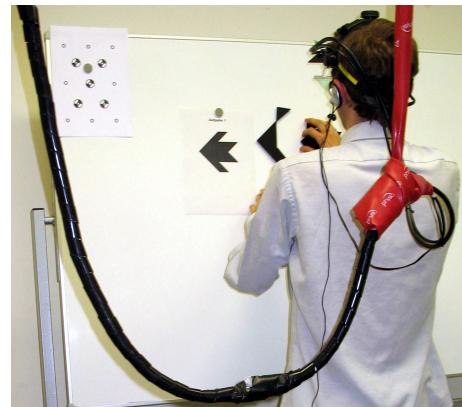


Abbildung 4.7.:

Die Datenkabel sind zur Entlastung von der Decke über eine Schlaufe abgehängt.

decke abgehängt. Die Konstruktion ermöglicht innerhalb des Versuchsraums auch einen Bewegungsradius von zwei bis drei Metern (siehe Abbildung 4.7).

Das Anlegen der mobilen Einheit des SVS ist nur mit Hilfe eines Versuchsleiters möglich. Nach dem Anlegen des Funkmikrophons, folgt das Aufsetzen des Nackenbügel-Headsets. Abschließend wird dem Novizen das Kopfband aufgesetzt. Dazu werden HMD und Spiegel nach oben geklappt. Der Proband benutzt die beiden Stellschrauben des Kopfbands, um das System so fest wie nötig und so komfortabel wie möglich einzustellen. Das Kopfband darf nach dem Anlegen nicht mehr verrutschen. Der Versuchsleiter überprüft visuell, ob das System horizontal und mittig ausgerichtet ist.

Kalibrierung des Novizen

Nur in der SVS-Bedingung wird der Spiegel des Eye Trackers so vor dem linken Auge des Probanden positioniert, dass Auge und Pupille in der Eye Tracking Software klar erkennbar sind. Die Regler für die Erkennung des Cornea-Reflexes und der Pupille werden solange angepasst, bis auch bei Augenbewegungen an die Ränder des Sichtbereichs stabiles Eye Tracking möglich ist. Für die Kalibrierung wird eine Kinnstütze vor dem Whiteboard in Position gebracht und an die Körpergröße des Probanden angepasst (siehe Abbildung 4.6). Aus hygienischen Gründen erhält jeder Novize ein frisches Taschentuch zwischen Auflage und Kinn. Der Proband legt sein Kinn etwa mittig in die Kinnstütze. Dabei wird darauf geachtet, dass die Kopflage so ausgerichtet ist, dass der Proband leicht mit dem Kopf nach unten geneigt in annähernd natürlicher Kopfhaltung nach vorne blickt.

Der Proband wird nun aufgefordert, die auf ein DIN A4-Blatt gedruckte Kalibrier-

matrix, mit beiden Händen mittig in Augenhöhe zu verschieben (siehe Abbildung C.1 auf Seite 142). Dadurch kann auf das natürliche Blickfeld vor dem Probanden kalibriert werden. Im nächsten Schritt wird die Szenenkamera auf die Kalibriermatrix ausgerichtet. Der Versuchsleiter richtet die Kamera durch Neigung und Drehung auf den Bereich aus. Dadurch, dass die Kamera über dem rechten Auge positioniert ist, ist die Neigung der Bildebene nicht vollständig parallel zur Tafeloberfläche. Das hat zur Folge, dass die Kalibrierung zu den Rändern des Videobilds hin ungenauer wird.

Die Kalibrierung der Augenbewegung erfolgt für größte Genauigkeit auf neun Punkte, die äußeren acht und den Mittelpunkt der Kalibriermatrix. Nach erfolgter Kalibrierung wird überprüft, ob das Fadenkreuz der Blickkoordinate innerhalb eines Radius von 4,14 mm um jeden Kalibrierungspunkt liegt (siehe Tabelle C.1 auf Seite 141). Liegt das Fadenkreuz der Blickkoordinate außerhalb eines Kreises, wird erneut kalibriert. Die Berechnung des Maßes ist in Abschnitt 4.2.9 auf Seite 93 erläutert.

Sowohl in der Mouse- als auch in der SVS-Bedingung wird das HMD kalibriert. Ziel ist es, mit dem Verfahren der affinen Transformation die korrekte Einblendung von visuellen Inhalten in die Realität des Novizen zu ermöglichen und gleichzeitig dem Experten den Ausschnitt, der durch das HMD wahrgenommen wird, durch einen Rahmen auf dem Videobild der Szenenkamera zu markieren.

Dazu hilft der Versuchsleiter dem Probanden, das HMD so vor dem rechten Auge zu platzieren, dass sich das Videobild der im HMD angezeigten Szenenkamera annähernd mittig mit der durch das HMD sichtbaren Kalibriermatrix überdeckt. Je besser der Bildausschnitt in Deckung gebracht wird, desto schwächer fällt die Verzerrung durch die Transformation aus. Eine nur schwach verzerrte Kalibrierung ist in Abbildung 4.4 auf Seite 70 zu sehen. Der Rahmen, der den sichtbaren Bildausschnitt durch das HMD markiert, ist nahezu rechtwinklig und kaum rotiert. Starke Verzerrungen würden das Rechteck zu einem Parallelogramm scheren und zusätzlich rotieren. Es kann auch vorkommen, dass sich der Sichtbereich des HMD soweit verschiebt, dass der Experte keine Anweisungen mehr im HMD-Sichtbereich platzieren kann. Der Rahmen befindet sich dann ganz am Rand des Videobilds bzw. ragt darüber hinaus. Eine effektive Unterstützung durch Mouse oder Blick ist in diesem Fall nicht mehr möglich.

Die Kalibrierung erfolgt praktisch, indem der Novize jeweils drei virtuelle, sich im Videobild befindende und drei reale, durch das HMD sichtbare Punkte, mit einem linken Mouse-Klick markiert. Während dieser Kalibrierung ist es wichtig, dass sich der Proband nicht mit dem Kopf bewegt, da sich sonst Videobild und Realität gegeneinander verschieben und eine Kalibrierung unmöglich machen. Nachdem drei Punkte oder mehr vom Probanden markiert wurden, zeigt der Versuchsleiter, wie die Kalibrierung sich auf das Videobild auswirkt. Im Idealfall ist nun das im HMD sichtbare Videobild mit der durch das HMD sichtbaren Realität deckungsgleich.

Ist die Kalibrierung ausreichend, wird die Kinnstütze entfernt. Dem Probanden wird wieder das kalibrierte Szenenvideo eingeblendet, damit er die während der Kalibrierung eingenommene Position wieder einnehmen kann. Dazu nähert sich der Proband solange

4. Experimentelle Studien

dem Whiteboard, bis das Videobild mit der Realität deckungsgleich wird. Bestätigt der Proband, dass die Position erreicht ist, wird das Live-Videobild im HMD entfernt. Der Proband wird instruiert, die eingenommene Position bezüglich des Abstandes zur Tafel während des Versuches nicht mehr zu ändern. Der Kopf darf allerdings gedreht und geneigt werden, damit der Proband auf die Aufgabenstellung blicken und den Pfeileinblendungen des Experten folgen kann.

Übungsaufgabe

Anschließend erhält der Novize mit einer Übungsaufgabe die Gelegenheit, die Funktionen des SVS sowie die Interaktion mit dem Experten zu erleben (siehe Kapitel H ab Seite 173). Im ersten Teil der Übung wird die quadratische Standardform des Tangram-Spiels nachgelegt, um mit dem Umgang mit den Puzzle-Teilen vertraut zu werden. An dieser Stelle wird der Novize auch noch einmal daran erinnert, die Puzzle-Teile auf dem Whiteboard nur zu verschieben, anstatt sie abzunehmen und wieder anzuheften. Die nachfolgenden drei Schritte der Übungsaufgabe gelten nur für die Mouse- und SVS-Bedingung.

Der Experte markiert mehrere Objekte, die der Novize mit Fingerzeig dem Experten bestätigt. In der SVS-Bedingung blickt der Novize anschließend auf einige Objekte und bestätigt, wenn er erkennt, dass der Experte ebenso auf diese Objekte blickt. Abschließend werden einige Puzzle-Teile außerhalb des Sichtbereichs des HMD des Novizen platziert. Wieder markiert der Experte Puzzle-Teile, aber diesmal nur diejenigen, die sich außerhalb des gelb-schwarz-schraffierten Rahmens befinden. Dem Novizen wird in diesem Moment im HMD ein Pfeil angezeigt, der auf den Ort der Markierung ausgerichtet ist. Da die Markierung außerhalb des Sichtfelds durch das HMD liegt, ist nur der Anfang des Pfeils sichtbar. Folgt der Novize durch leichte Kopfdrehung der angezeigten Richtung, wird auch die Spitze des Pfeils bzw. das Fadenkreuz sichtbar und das markierte Objekt kann vom Novizen identifiziert und vom Experten bestätigt werden. Durch dieses Vorgehen kann der Novize die bislang nur in der theoretischen Einführung zum SVS erläuterten Funktionen selbst erleben.

Überprüfung der Güte der Kalibrierung

Unmittelbar bevor und direkt nach der Durchführung der Tangram-Aufgaben wird ausschließlich in der SVS-Bedingung überprüft, ob die Güte aller Einzelkalibrierungen zusammen innerhalb des maximalen Toleranzbereichs von einem Radius von 12,43 mm um einen Punkt herum liegen. Nur dann ist gewährleistet, dass auch das kleinste Tangram-Puzzle-Teil während des Versuchs zweifelsfrei identifiziert werden kann.

Dazu wird Abbildung C.2 auf Seite 143 in das Sichtfeld des Novizen gebracht. Der Versuchsleiter des Experten markiert nacheinander mehrere Kreise (z. B. B5, E7 etc.), verteilt bis in die vier Bildschirmecken. Der Experte muss den entsprechenden Kreis-

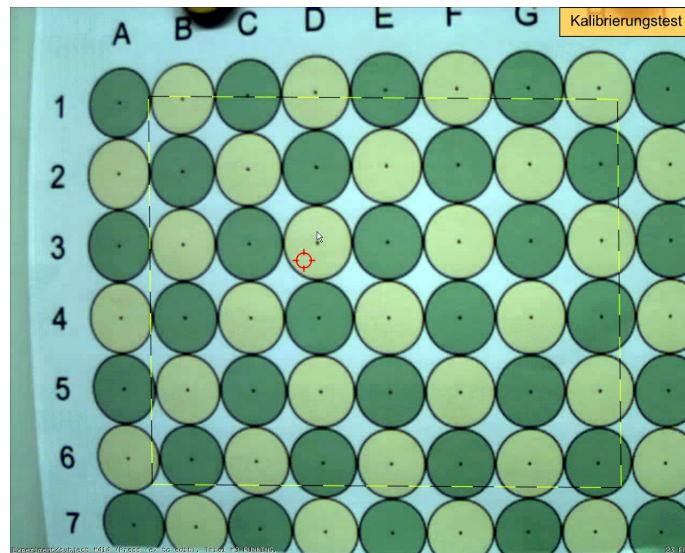


Abbildung 4.8.: Der Versuchleiter markiert D3; der Fokus der visuellen Aufmerksamkeit des Novizen liegt innerhalb des Toleranzbereichs.

mittelpunkt fixieren. Dieser Punkt wird dem Novizen auf dem HMD in seine Umwelt projiziert. Es ist die Aufgabe des Novizen, diesen markierten Punkt zu fixieren. Der Versuchsleiter des Experten kann nun beobachten, ob die Blickkoordinate des Novizen innerhalb des von ihm markierten Kreises liegt (siehe Abbildung 4.8).

Die Überprüfung erfolgt somit rein visuell. Liegt eine markierte Fixation des Novizen deutlich außerhalb des überprüften Kreises, muss erneut kalibriert werden. Liegen eine oder mehrere Fixationen des Novizen gerade noch auf dem Rand, wird der Versuch durchgeführt. Nach dem Versuch wird die Kalibrierung wiederholt um festzustellen, ob der Versuch komplett auswertbar durchgeführt wurde. Sind die eben genannten Bedingungen nicht erfüllt, wird der Versuch nicht gewertet.

Tangram-Aufgaben

Im Anschluss führt der Proband den Versuch als Novize durch. Der Versuch besteht aus den in Abbildung 4.5 auf Seite 72 dargestellten acht Tangram-Aufgaben. Jede Aufgabe wird auf Kommando des Versuchsleiters des Experten gestartet. Nach jeder gelösten Aufgabe nimmt der Versuchsleiter des Novizen die entsprechende Silhouette ab und heftet per Magnet die neue Aufgabe an das Whiteboard an. Einen Eindruck von der Puzzle-Tätigkeit liefert Abbildung 4.9 auf der nächsten Seite.

Nach Absolvierung der letzten Aufgabe wird ein weiteres Mal die Güte der Kalibrierung überprüft um sicherzustellen, dass das System nicht während des Puzzelns verrutscht ist und die Genauigkeit der Blickbewegungsdaten nicht mehr gewährleistet

4. Experimentelle Studien



Abbildung 4.9.:
Das Foto zeigt einen puzzelnden Novizen.

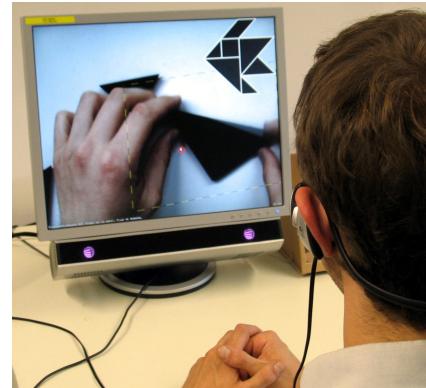


Abbildung 4.10.:
Das Foto zeigt einen Experten der SVS-Gruppe während der Unterstützung eines Novizen.

werden kann.

Der Versuchsleiter des Novizen bereitet das System auf den nächsten Probanden vor, indem das Kopfband durch ein Desinfektionstuch gereinigt und das Taschentuch der Kinnstütze entfernt wird. Der Novize begibt sich zum Ausfüllen des ersten Teils des Fragebogens zum Expertenarbeitsplatz.

Experten-Station

Der Fragebogen wird vom Novizen direkt nach dem Versuch online an einem PC im Versuchsraum ausgeführt. Anschließend nimmt er als Experte vor dem stationären Teil des SVS Platz (siehe Abbildung 4.10).

Je nach Versuchsbedingung wird der Experte unterschiedlich auf seine Rolle vorbereitet. In der Voice-Bedingung steht dem Experten nur das Headset zur Kommunikation mit dem Novizen zur Verfügung, Kalibrierungen entfallen. In der Mouse-Bedingung hat der Experte als Interaktionspartner der Übungsaufgabe erstmals Gelegenheit, mit der Maus auf Objekte in der Umgebung des Novizen zu zeigen.

Das Remote-Eye-Tracking-System wird nur in der SVS-Bedingung verwendet. Dazu kalibriert der Versuchsleiter den Experten auf 9 Punkte mit Hilfe der iView X-Software. Anschließend wird überprüft, ob die Kalibrierung innerhalb der tolerierbaren Grenzen von $\pm 0,5^\circ$ horizontal und vertikal liegt. Nach der Kalibrierung ist der Experte bereit für die Übungsaufgabe um zu erfahren, welche Möglichkeiten das eigene Eye Tracking als auch das des Novizen für die gemeinsame Kommunikation bietet.

Der Versuchsleiter blendet zu Beginn jedes Versuchsdurchgangs per Tastenkombination die Lösung der jeweiligen Aufgabe ein. Diese wird halb-durchlässig rechts oben dem

Videobild der Szenenkamera überlagert. Sind auch die Vorbereitungen auf der Seite des (neuen) Novizen abgeschlossen, gibt der Versuchsleiter des Experten per Sprechfunkgerät das Startkommando und startet per Tastendruck die Aufzeichnung des Videos und der verbalen Kommunikation. Es werden zusätzlich noch die Startzeit und die Blickbewegungs- bzw. Mouse-Koordinaten (jeweils nur in der Mouse- bzw. SVS-Bedingung) in einem Log-File aufgezeichnet. Beobachtet der Versuchsleiter das Ende der Aufgabe mit dem Anlegen des letzten Puzzle-Teils, stoppt dieser auch die Zeit und die Aufzeichnung der Daten.

Nach dem letzten Durchgang beantwortet der Proband den zweiten Teil des Fragebogens zu seinen subjektiven Eindrücken als Experte. Abschließend wird der Proband für seinen Aufwand entschädigt.

4.2.9. Erreichte Systemgenauigkeit

Berechnung der Toleranzmaße

Die Bedingungen, in denen visuelle Markierungen durch eine Mouse oder durch Messung und Visualisierung der Augenbewegung genutzt werden, um ein Hilfsmittel bei der Kommunikation bereitzustellen, sind davon abhängig, dass diese Markierungen mit einer bestimmten Genauigkeit an den entsprechenden Orten erscheinen. Bei der Bearbeitung der Tangram-Aufgaben ist es entscheidend, dass die Markierung eines Ortes es mindestens zulässt, dass ein dahinter liegendes Puzzle-Teil eindeutig identifiziert werden kann. Dieser Fall tritt genau dann ein, wenn der Experte ein Objekt in der Umgebung fixiert und er überprüfen möchte, ob der Novize eben genau dieses Objekt auch fixiert. In der SVS-Bedingung wäre die Situation in folgendem Dialog gegeben. Experte: „Nimm als nächstes dieses Puzzle-Teil!“ Novize: „Dieses hier?“ Der Experten erhält nur durch die Visualisierung der Fixation des Novizen die Information, auf welches Objekt sich „dieses“ bezieht, falls der Novize nicht mit einem Finger darauf deutet. In der Mouse-Bedingung kann der Novize ausschließlich durch Fingerzeig diese Rückbestätigung liefern. In diesem Fall ist nur die Güte der HMD-Kalibrierung von Bedeutung.

Für die SVS-Bedingung bedeutet das, dass die Summe aller Messungenauigkeiten der drei kalibrierten Systeme nicht größer sein darf als der Radius eines Kreises, der in das kleinste Puzzle-Teil des Tangram-Spiels eingeschlossen ist (siehe Abbildung 4.11 auf der nächsten Seite). Da es sich bei dem kleinsten Teil um ein Dreieck handelt, wird zur Bestimmung des Radius der mathematische Satz herangezogen, dass sich die Winkelhalbierenden (Innenwinkel) eines Dreiecks in einem Punkt M schneiden, der den Mittelpunkt des Inkreises darstellt (Degen & Profke, 1976).

Die Berechnung des Radius r des Inkreises erfolgt für das kleinste Puzzle-Teil, dessen Länge der Seite $c = 60 \text{ mm}$ beträgt. Der Radius r berechnet sich mit dem Winkel $\alpha = 45^\circ$ durch Gleichung (4.1) auf der nächsten Seite.

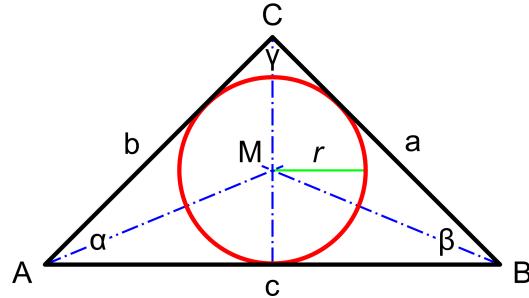


Abbildung 4.11.: Der maximale Fehler darf nach der Kalibrierung nicht größer als der Radius r sein, da sonst das kleinste Tangram Puzzle-Teil (das abgebildete rechtwinklige, gleichschenklige Dreieck) bei Full Gaze Awareness auf der Seite des Experten identifiziert werden kann.

$$r = \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{c}{2} \\ = 12,43 \text{ mm} \quad (4.1)$$

Unter der Annahme, dass sich Messgenauigkeiten auf alle Einzelkalibrierungen gleichmäßig verteilen, fällt auf jede Einzelkalibrierung ein Drittel des maximal zulässigen Toleranzmaßes. Somit steht jedem System ein Toleranzmaß von $\frac{r}{3} = 4,14 \text{ mm}$ zur Verfügung. Für die Eye Tracking Kalibrierung lässt sich dieser Wert in einen horizontalen bzw. vertikalen Winkel maximaler Abweichung umrechnen, um zu überprüfen, ob sich diese Genauigkeit mit der gegebenen Hardware der Systeme iView X RED und iView X HED erreichen lässt.

Der Hersteller gibt die Präzision der iView X HED mit $< 0,5^\circ$ bis $1,0^\circ$ an (SensoMotoric Instruments, 2011a). In den Versuchen muss folglich stets eine Genauigkeit von $< 0,59^\circ$ bei einem Abstand zwischen Auge und Kalibrierungsebene von 400 mm erreicht werden, um das Toleranzmaß von 4,14 mm nicht zu überschreiten.

Der Arbeitsbereich der iView X RED wird mit 600 bis 800 mm angegeben (SensoMotoric Instruments, 2011b). In diesem Bereich erreicht das System eine Winkelgenauigkeit von $< 0,4^\circ$. Um das Toleranzmaß von 4,14 mm nicht zu überschreiten, muss die Winkelgenauigkeit der Kalibrierung für den genannten Arbeitsbereich zwischen $0,4^\circ$ und $0,3^\circ$ liegen.

Während die erforderliche Genauigkeit für das iView X HED-System in der Praxis erreicht wurde, musste beim iView X RED-System die Genauigkeit auf einen Winkel $< 0,5^\circ$ bzw. einen Toleranzbereich von 5,24 bis 6,98 mm gesenkt werden. Damit bleibt für die HMD-Kalibrierung noch ein Toleranzbereich von 1,30 bis 3,05 mm, wenn der Arbeitsbereich der RED innerhalb von 600 bis 800 mm liegt. Damit wird deutlich, dass das SVS

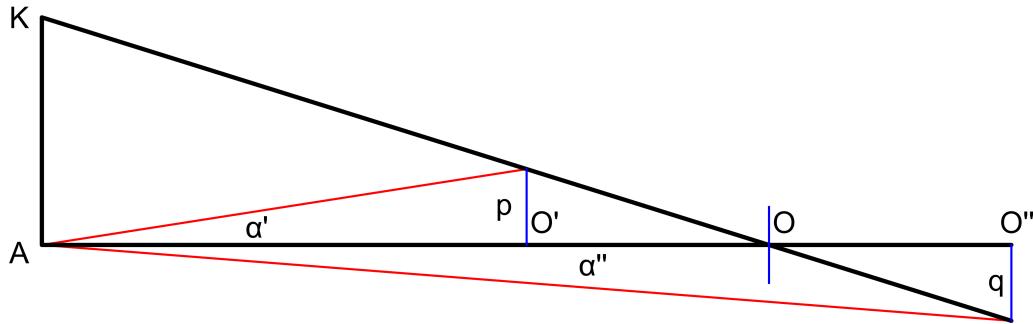


Abbildung 4.12.: Seiten- und Winkelbeziehungen zur Berechnung des Parallaxenfehlers.

in der Bedingung mit Full Gaze Awareness an der Grenze der technisch realisierbaren Präzision betrieben wird.

Parallaxenfehler

Ein weiterer Fehler ergibt sich, wenn die Position der Kalibrierung verlassen wird und der Proband den Abstand zwischen Auge und Tangram-Puzzle verkürzt oder verlängert. Da die Szenenkamera nicht in der Sichtachse des Auges liegt, kommt es in diesen Fällen zu einer Abweichung durch Parallaxe. Im Video der Szenenkamera erscheinen beispielsweise die gemessenen Fixationen zu hoch oder zu tief. Von dieser Verschiebung sind das HMD und der kopfgetragene Eye Tracker betroffen.

Die Geometrie der Verschiebung lässt sich anhand Abbildung 4.12 beschreiben und gilt sowohl für die horizontale als auch die vertikale Ebene. Der vertikale Abstand zwischen Kamera und Auge ist jedoch vergleichsweise gering zum horizontalen Abstand (siehe Abbildung 3.11 auf Seite 55). Zusätzlich wird der Abstand in der Tiefe zwischen Kamera und Auge vernachlässigt. Die Szenenkamera an Punkt K befindet sich in einem Abstand von \overline{KA} von Punkt A des Auges entfernt. Das Objekt O befindet sich in einem Abstand \overline{AO} vom Auge entfernt. Bewegt sich der Betrachter um den Abstand $\overline{O'O}$ auf die kalibrierte Ebene zu, ergibt sich ein Winkelfehler von α' . Wenn sich der Betrachter um den Abstand $\overline{OO''}$ vom Punkt O entfernt, ergibt sich ein Winkelfehler von α'' .

Für die Winkelabweichungen α' und α'' ergeben sich durch die Seitenverhältnisse in (4.2) und die Beziehung der Gleichungen in (4.3) die Gleichungen in (4.4).

$$\frac{p}{\overline{O'O}} = \frac{\overline{KA}}{\overline{AO}} \quad \frac{q}{\overline{OO''}} = \frac{\overline{KA}}{\overline{AO}} \quad (4.2)$$

$$\tan \alpha' = \frac{p}{\overline{AO} - \overline{O'O}} \quad \tan \alpha'' = \frac{q}{\overline{AO} + \overline{OO''}} \quad (4.3)$$

$$\tan \alpha' = \frac{\overline{O'O} \cdot \frac{\overline{KA}}{\overline{AO}}}{\overline{AO} - \overline{O'O}} \quad \tan \alpha'' = \frac{\overline{O'O} \cdot \frac{\overline{KA}}{\overline{AO}}}{\overline{AO} + \overline{O'O}} \quad (4.4)$$

Für das Eye Tracking bedeutet der Parallaxenfehler, dass bei einer Distanz von 400 mm zwischen Auge und Kalibrierungsebene und einem Abstand von Kamera und Auge von 40 mm (etwa 40 mm beim SVS) bei einer Distanzänderung von ± 50 mm durch den Probanden Winkelabweichungen bis zu $0,82^\circ$ entstehen. Aus diesem Grund sind keine Distanzänderungen zum Objekt und vom Puzzle-Objekt weg während des Versuchs erlaubt.

5. Ergebnisse

5.1. Auswertungsmethodik

Die Analyse der Daten erfolgt mit Methoden der statistischen Datenanalyse. Zur Berechnung aller Analysen wurde die Software *PASW Statistics* in Version 18.0.0 von SPSS Inc. genutzt. Es wird ein parametrisches Verfahren verwendet, wenn die Variable normalverteilt ist, andernfalls kommt ein non-parametrisches zum Einsatz. Zum Test auf Normalverteilung wird dazu vor jeder Analyse der Kolmogorow-Smirnow-Anpassungstest (KSA-Test) durchgeführt.

5.2. Lösungszeiten der Tangram-Aufgaben

Die Performanz der Probanden in ihrer Fähigkeit, die Tangram-Aufgaben zu lösen, wird über die Lösungszeit operationalisiert. Es wird angenommen, dass sich die unabhängige Variable der Unterstützungsform auf die Lösungszeit jeder einzelnen Puzzle-Aufgabe (Trials) auswirkt. Daher werden die einzelnen Zeiten der acht Trials in einem Versuchsdurchgang zu einem arithmetischen Mittelwert zusammengefasst und dem jeweiligen Probanden des Durchgangs zugewiesen. In Abbildung 5.1 auf der nächsten Seite ist an den Gruppen-Mittelwerten erkennbar, dass keine signifikanten Unterschiede zu erwarten sind (für weitere Details siehe auch Kapitel I ab Seite 175).

In Hypothesen 1a) und 1b) wird angenommen, dass die Tangram-Aufgaben in der Mouse- und SVS-Bedingung schneller gelöst werden, als in der Voice-Bedingung. Zur Analyse, ob es zwischen den Lösungszeiten in den unterschiedlichen Versuchsbedingungen signifikante Unterschiede gibt, wird eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit dem Faktor Gruppe, also der Voice-, Mouse- und SVS-Bedingung, durchgeführt. Die Variable ist normalverteilt (KSA-Test: $p = 0,718$). Der Faktor Gruppe zeigt dabei keinen Einfluss auf die Lösungsgeschwindigkeit der Probanden ($F(2, 51) = 0,684; p = 0,509; \eta^2 = 0,26$). Somit können die Hypothesen 1a) und 1b) nicht aufrecht erhalten werden.

In Hypothese 1c) wird angenommen, dass sich die Mouse- und SVS-Bedingung nicht hinsichtlich ihrer Lösungszeiten unterscheiden. Aus dem Ergebnis zu den Hypothesen 1a) und 1b) folgt auch, dass die Nullhypothese 1c) bestätigt werden kann. Die Unterstützung per Mouse oder mit der Möglichkeit zur Blickinteraktion zeigt keinen signifikanten Unterschied in den Lösungszeiten.

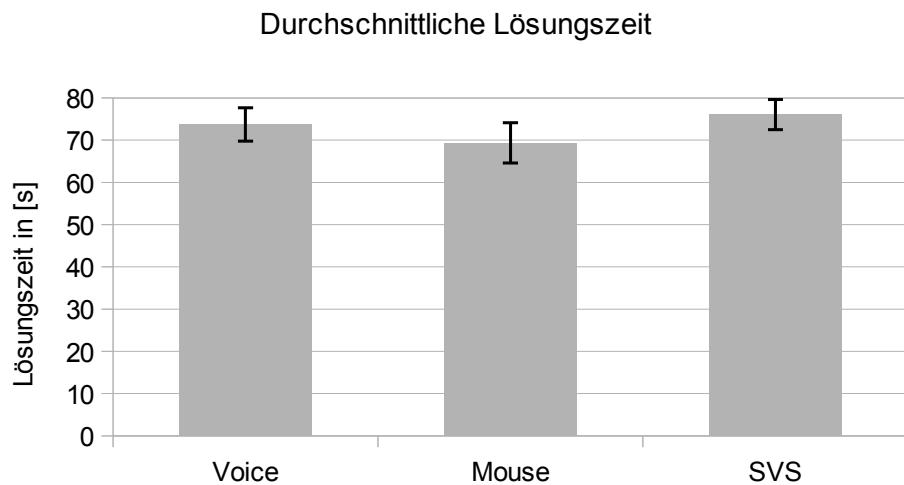


Abbildung 5.1.: Die durchschnittlichen Lösungszeiten in den drei verschiedenen Bedingungen unterscheiden sich nicht signifikant. Die Fehlerbalken entsprechen dem jeweiligen Standardfehler.

5.3. Zusammenhänge zwischen dem Mosaik-Test und der Lösungszeit

Mit der Durchführung des Mosaik-Tests des HAWIE-R wird untersucht, ob sich möglicherweise die Gruppen hinsichtlich ihrer Fähigkeiten unterscheiden, Puzzle-Aufgaben wie Tangram zu lösen. Diese Fähigkeit ist dabei vom Versuch unabhängig, die Analyse des Mosaik-Tests erlaubt somit die Aufdeckung systematischer Unterschiede.

In Hypothese 2a) auf Seite 75 wird angenommen, dass keine Unterschiede in den Fähigkeiten des Lösen von Puzzle-Aufgaben zwischen den Gruppen bestehen. Zur Überprüfung wird eine einfaktorielle Varianzanalyse mit dem Faktor Gruppe sowohl unter Verwendung der Mosaik-Test-Werte der Experten, als auch mit den Werten der Novizen gerechnet. Die Wertereihen der Experten und Novizen sind dabei zum größten Teil untereinander redundant, da der Wert, der für einen Probanden als Novizen erhoben worden ist, für die Rolle als Experten übernommen wird. Es ändert sich lediglich die Rolle des Probanden, nicht jedoch seine Fähigkeit. Nur der Versuchsdurchgang des ersten Experten und des letzten Novizen bringt hier einen anderen Wert auf Grund des Versuchsdesigns ein. Beide Datensätze liegen normalverteilt vor (KSA-Test Experten: $p = 0,563$; Novizen: $p = 0,475$). Die Varianzanalyse ergibt weder für den Mosaik-Test-Wert der Novizen noch für den Wert der Experten einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Performanz in diesem Test (Experten: $F(2, 51) = 0,843$; $p = 0,436$;

5.4. Unterschiede unter Berücksichtigung der Kovariate

Tabelle 5.1.: Einfluss der Kovariaten auf die Lösungszeit

Mosaik-Test	df	F-Wert	p
Novize	2	36,1	<0,001***
Experte	2	31,1	<0,001***

$\eta^2 = 0,032$; Novizen: $F(2, 51) = 0,204$; $p = 0,816$; $\eta^2 = 0,008$.

Damit die Erhebung der räumlichen Intelligenz als Kontrollvariable genutzt werden kann, wird mit Hypothese 2b) überprüft, ob die Performanz der Experten im Mosaik-Test mit der Performanz der Novizen korreliert. Es kann hypothesen-konform zwischen den Gruppen bezüglich des Mosaik-Test Ergebnisses kein Zusammenhang ermittelt werden ($r = 0,007$; $p = 0,962$). Damit lässt sich die Nullhypothese 2b) bestätigen; die Voraussetzung zur Interpretation der Daten ist erfüllt.

In Hypothese 2c) wird angenommen, dass sowohl die Performanz des Experten als auch die Performanz des Novizen im Mosaik-Test mit der Lösungszeit der Tangram-Aufgaben korrelieren. Die Hypothese lässt sich bestätigen, da die jeweilige Korrelation signifikant ist (Experten: $r = -0,507$; $p < 0,001$; Novizen: $r = -0,542$; $p < 0,001$). Der Mosaik-Test lässt sich so als Kontrollvariable nutzen, um eventuelle Unterschiede zwischen den Gruppen auszugleichen, die auf eine ungünstige Verteilung zurückzuführen sind.

5.4. Unterschiede unter Berücksichtigung der Kovariate

Die Kontrollvariable ermöglicht es, die Gesamtvarianz von der durch Fähigkeiten im visuell-räumlichen Bereich verursachten Varianz zu bereinigen. Es lässt sich folglich der Varianzanteil erfassen, der maßgeblich durch den Faktor Gruppe induziert ist.

Die Hypothesen 1a) und 1b) werden unter Berücksichtigung der Kontrollvariable erneut überprüft. Dazu wird eine einfaktorielle Varianzanalyse mit dem Faktor Gruppe und zwei Kovariaten, dem Testwert des Experten und dem Testwert des Novizen im Mosaik-Test, gerechnet. In Tabelle 5.1 ist aufgelistet, dass der Einfluss der beiden Kovariaten signifikant ist.

Das Ergebnis der Analyse ist, dass auch unter Berücksichtigung der Kovariaten die Versuchsbedingung keinen signifikanten Einfluss auf die Lösungszeiten der Tangram-Aufgaben hat ($F(2, 51) = 1,761$; $p = 0,183$; $\eta^2 = 0,067$). Es ist lediglich eine numerische Veränderung des Signifikanzwerts zu beobachten (vorher: $p = 0,509$; nachher: $p = 0,183$).

5.5. Ergebnisse zum postexperimentellen Fragebogen

Im Rahmen der Auswertung des Fragebogens wurden einige Items zu einem Wert zusammengezogen und im Sinne einer Skala interpretiert. Es wurde jedoch keine Faktorenanalyse gerechnet, sondern nach Augenscheininvalidität konstruiert.

Mit Hypothese 3a) wird die Vermutung aufgestellt, dass sich die Art der Unterstützung auf die kognitive Anteilnahme der Novizen am Lösungsprozess auswirkt. Dazu werden die Items Nov-A5 und Nov-A6 zu einem Wert zusammengefasst, der die „aktive Teilnahme des Novizen“ widerspiegelt. Durch einen KSA-Test kann die Normalverteilung der Daten bestätigt werden ($p = 0,138$). Anschließend wird eine einfaktorielle Varianzanalyse mit dem Faktor Gruppe gerechnet. Es zeigt sich, dass die Versuchsbedingung einen signifikanten Einfluss auf die Einschätzung der Probanden in den Items hat ($F(2, 51) = 5,142$; $p = 0,009$; $\eta^2 = 0,168$; siehe Abbildung 5.2 auf der nächsten Seite).

Unter der Berücksichtigung des multiplen Testens werden anschließend Post-Hoc-Tests zwischen den Gruppen gerechnet. Es werden die konservative Bonferroni- und die liberalere LSD-Korrektur angewendet. Unter Verwendung der Bonferroni-Korrektur unterscheidet sich die SVS-Bedingung nur von der Mouse-Bedingung (SVS vs. Mouse: mittlere Differenz = 1,03; $p = 0,008$; SVS vs. Voice: mittlere Differenz = 0,69; $p = 0,116$; Mouse vs. Voice: mittlere Differenz = -0,33; $p = 0,939$). Wird jedoch die LSD-Korrektur angewendet, unterscheidet sich von der SVS-Bedingung neben der Mouse- zusätzlich die Voice-Bedingung (SVS vs. Mouse: mittlere Differenz = 1,03; $p = 0,003$; SVS vs. Voice: mittlere Differenz = 0,69; $p = 0,039$; Mouse vs. Voice: mittlere Differenz = -0,33; $p = 0,313$). Damit lässt sich Hypothese 3a) nicht bestätigen. Die Probanden schätzten ihre Anteilnahme am Lösungsprozess in der Mouse- und der SVS-Bedingung nicht als geringer ein.

Zu Überprüfung von Hypothese 3b) dient Item Nov-M3, in dem der Novize eine Aussage dazu macht, ob er immer sofort erkennen kann, auf welches Objekt sich die Anweisung des Experten bezieht. Es wird erwartet, dass diese Aussage in der Mouse- und SVS-Bedingung durch die visuelle Hilfestellung einer Markierung im HMD im Mittel höher bewertet wird als in der Voice-Bedingung.

Da die Werte nicht normalverteilt sind (KSA-Test: $p < 0,001$), werden die Gruppen anhand eines nicht-parametrischen Kruskal-Wallis H-Tests verglichen. Es zeigt sich, dass der Faktor Gruppe keinen signifikanten Einfluss auf die Ausprägung des Items hat ($\chi^2(2) = 3,464$; $p = 0,177$). Damit kann die Hypothese 3b), dass die Werte des Items sowohl in der SVS- als auch in der Mouse-Bedingung höher als in der Voice-Bedingung sind, nicht angenommen werden.

Zur Überprüfung der Hypothese 3c) werden die Items Exp-A2 und Exp-A3 zu einer Größe zusammengefasst. Hier liegen die Daten normalverteilt vor (KSA-Test: $p = 0,229$). Es wird erwartet, dass der Experte in den Bedingungen Mouse und SVS die Verständlichkeit seiner Anweisungen höher einschätzt als in der Voice-Bedingung, der Novize also seiner Meinung nach den Anweisungen besser folgen konnte und weniger Schwierigkeiten

5.5. Ergebnisse zum postexperimentellen Fragebogen

Aktive Teilnahme des Novizen

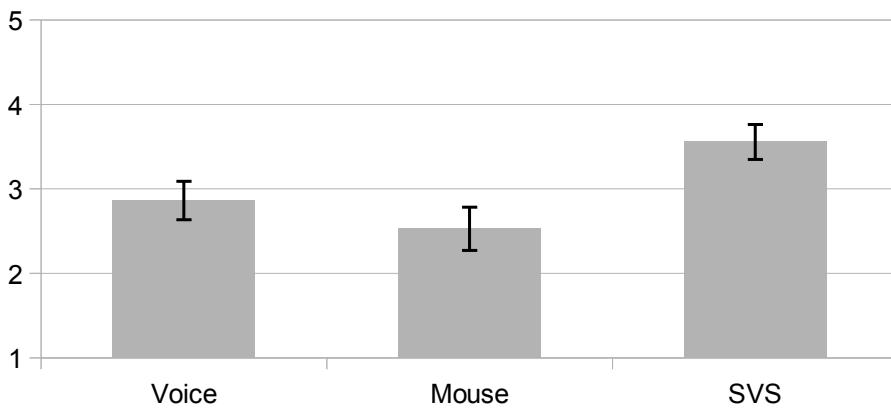


Abbildung 5.2.: Durchschnittliche Einschätzung der Novizen zu ihrer aktiven Teilnahme am Problemlöseprozess in der zusammengefassten Größe *Aktive Teilnahme*. Bewertet wurde auf einer fünfstufigen Likert-Skala von 1 *trifft gar nicht zu* bis 5 *trifft voll zu*.

mit dem inhaltlichen Verständnis hatte. Es lässt sich jedoch kein signifikanter Unterschied in der Antwort zwischen den Gruppen feststellen ($F(2, 51) = 1,090; p = 0,344; \eta^2 = 0,041$). Die Hypothese 3c) lässt sich damit nicht bestätigen.

In Hypothese 3d) wird erwartet, dass der Experte die Rückfragen des Novizen als leichter verständlich einschätzt, wenn der visuelle Fokus des Novizen dargestellt wird. Die Antworten zu Item Exp-A4 auf Seite 81 sollten im Mittel in der SVS-Bedingung höher ausfallen. Da die Daten nicht normalverteilt sind (KSA-Test: $p = 0,005$), werden die Gruppen anhand eines nicht-parametrischen Kruskal-Wallis H-Tests verglichen. Es zeigt sich, dass der Faktor Gruppe keinen signifikanten Einfluss auf die Ausprägung des Items hat ($\chi^2(2) = 1,024; p = 0,599$). Auch diese Hypothese muss angesichts der ähnlichen Antworten der Experten in allen Gruppen verworfen werden.

In Hypothese 3e) wird die Annahme getroffen, dass Probanden die Lösung der Tangram-Aufgaben als leichter einschätzen, wenn ihnen visuelle Hilfestellungen zur Verfügung stehen. Da die Werte des Items in diesem Fall normalverteilt sind (KSA-Test: $p = 0,505$), wird eine einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor Gruppe gerechnet. Aus der Analyse geht hervor, dass die Aufgabenbewertung sich nicht signifikant zwischen den Gruppen unterscheidet ($F(2, 51) = 0,147; p = 0,863; \eta^2 = 0,006$). Probanden empfanden die Tangram-Aufgaben in allen Bedingungen als gleich schwierig. Damit kann auch Hypothese 3e) nicht aufrecht erhalten werden.

5. Ergebnisse

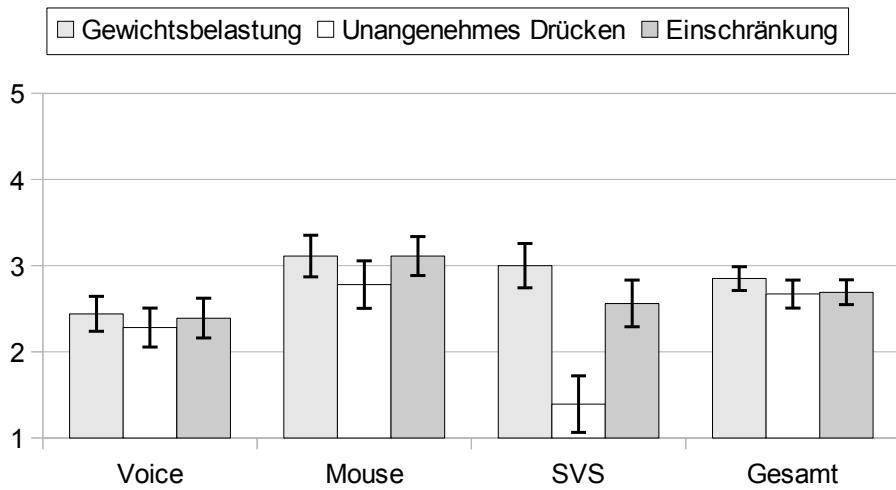


Abbildung 5.3.: Durchschnittliche Einschätzung der Novizen zum Tragekomfort des SVS hinsichtlich des Gewichts, des Druckgefühls durch das Kopfband und der Einschränkung bei der Arbeit.

5.6. Deskriptive Analysen

Der Fragebogen enthält auch Aussagen zu Fragen, die von allgemeinem Interesse für eine Einschätzung und für eine Weiterentwicklung des System sind. Diese Angaben werden mit einer allgemeinen Aussage im Folgenden beschrieben. Die deskriptive Statistik zu den Items befindet sich in Kapitel E ab Seite 149.

In Abbildung 5.3 ist zu sehen, dass die Probanden aller Gruppen bezüglich des Tragekomfort angeben, dass das SVS weder hinderlich, noch unangenehm bei der Aufgabenbewältigung wahrgenommen wurde (Items Nov-A1, Nov-A2 und Nov-A3).

Die Ergebnisse zu den gruppen-spezifischen Items des Novizen sind in Abschnitt E.3 auf Seite 153 aufgelistet. In diesen geben die Probanden an, dass es eher nicht schwierig war, den verbalen Anweisungen, den Mouse-Bewegungen oder der Visualisierung der visuellen Aufmerksamkeit in der SVS-Bedingung zu folgen (Items Nov-V1, Nov-M1 und Nov-S1). Auch bezogen auf die rein auditive Modalität stimmen die Probanden eher nicht zu, dass es anstrengend war, den Anweisungen des Experten zu folgen (Nov-M2 und Nov-S3). Sie stimmen in allen Gruppen der Aussage eher zu, dass sie sofort wussten, worauf sich die Anweisungen des Experten bezogen (Items Nov-V2, Nov-M3 und Nov-S2). Die Probanden der Gruppen Mouse und SVS geben an, dass sowohl die spezifischen zusätzlichen Modalitäten Mouse und Blick von den Experten eher genutzt wurden und sie diese selbst auch eher beachtet haben (Items Nov-M4 und Nov-S4 bzw. Nov-M5).

und Nov-S5. Der Aussage, ob der Experte den eigenen Blick als Feedback genutzt hat, stimmen sie weder zu noch lehnen sie diese ab (Item Nov-S6).

Die Experten geben in den allgemeinen Items (siehe Abschnitt E.4 auf Seite 156) des Fragebogens an, dass das Videobild eher nicht verwackelt war oder die Arbeit beeinträchtigt hat (Item Exp-A1). Sie stimmen der Aussage eher zu, dass sie den Eindruck hatten, der Novize wusste sofort, auf welches Objekt sich seine Anweisungen beziehen (Item Exp-A5).

In den gruppen-spezifischen Items der Voice-Bedingung (siehe Abschnitt E.5 auf Seite 158) stimmen die Experten eher der Aussage zu, dass das Übermitteln von verbalen Instruktionen an den Novizen gut funktioniert hat (Item Exp-V1). 15 von 18 Probanden stimmen weder der Aussage zu noch lehnen sie ab, dass ihnen eine Mouse oder etwas Ähnliches als zusätzliches Eingabegerät die Unterstützung eines Novizen erleichtert hätte (Item Exp-V1, 3 Aussagen fehlen). Experten der Mouse-Bedingung geben an, dass es eher gut funktioniert hat, Instruktionen mit der Mouse an den Novizen zu übermitteln (Item Exp-M1) und bewerteten diese Möglichkeit als eher intuitiv (Item Exp-M2). Auch Experten der SVS-Bedingung geben an, dass es eher gut funktioniert hat, Instruktionen per Augenbewegung an den Novizen zu übermitteln (Item Exp-S1). Mit der Angabe *weder noch* nehmen die Experten Stellung zu Aussagen, ob die im Videobild dargestellte Blickposition des Novizen hilfreich war (Item Exp-S2), ob sie auf die Blickposition des Novizen geachtet haben (Item Exp-S3) und ob sie die Möglichkeit, mit dem Blick auf Puzzle-Teile zu zeigen, für intuitiv halten (Item Exp-S4).

5.7. Nachträgliche Analysen

Bereits während der Versuchsdurchführung und bei der anschließenden Sichtung der Videodaten ließ sich beobachten, dass einige Probanden die zur Verfügung stehenden Modalitäten nicht aktiv nutzten. Dies zeichnete sich in der Mouse-Bedingung darin aus, dass die Mouse vereinzelt zu Anfang der ersten Trials nicht benutzt wurde oder während der verbalen Erklärungen in einer Ruheposition verharrete. Insbesondere in der SVS-Bedingung, in der bei beiden Interaktionspartnern permanent das Eye Tracking aktiv war und dem jeweils anderen die gemessene Augenbewegung visualisiert wurde, war zu beobachten, dass auf die Markierungen nur selten in verbalen Ortsangaben Bezug genommen wurde.

Mit verbalen Äußerungen bezüglich der Ortsangaben ist gemeint, dass bei den Experten während der Bedingungen Sprachmuster zu beobachten waren, die beispielsweise folgendermaßen lauteten: „Nimm mal das Dreieck. Nein, nicht das, das andere. Ach so nein, ich meine das kleinere Dreieck da links.“ Ein sehr viel einfacher Dialog hätte in dieser Situation lauten können: „Nimm mal das Dreieck, das ich gerade anschau/e/auf das ich gerade mit der Mouse zeige.“

5.7.1. Methodik der nachträglichen Analyse

Um diesen Eindruck zu überprüfen, wurde mit Fokus auf die SVS-Bedingung eine Auszählung dieser Ereignisse vorgenommen. Das Auszählen soll dabei als Richtwert dafür dienen, ob die Experten die Technik überhaupt genutzt haben. Da die gewonnenen Ergebnisse nicht auf den bereits in Abschnitt 4.2.3 auf Seite 73 formulierten Hypothesen basieren und erst nachträglich aus den Daten gewonnen wurden, wird das Vorgehen nicht in Kapitel 4 ab Seite 63 erwähnt.

In der SVS-Bedingung und in der Mouse-Bedingung werden jene Wortgruppen ausgezählt, die explizit oder implizit nahelegen, dass Blickbewegungen bzw. Mouse-Bewegungen genutzt wurden, um ein Objekt oder Ort zu referenzieren. Ein Beispiel für eine explizite Aussage wäre eine gleichzeitige Erwähnung und Nutzung der Modalität, also wenn der Experte beispielsweise sagt: „Nimm das Puzzle-Teil, das ich gerade angucke/auf das ich gerade zeige.“

Mit impliziten Verweisen sind Äußerungen gemeint, in denen durch die Betonung deutlich wird, dass exakt der Ort gemeint ist, der gerade im Fokus der visuellen Aufmerksamkeit liegt bzw. auf den der Mouse-Zeiger gerade zeigt. In diesem Fall erfolgt kein Bezug zur Modalität. Es wird nicht gezählt, wenn der Experte beispielsweise äußert: „Leg das Quadrat dorthin.“ und sich gleichzeitig aus dem Kontext ergibt, welche Stelle gemeint ist. Es wird jedoch gezählt, falls eine Betonung auf dem Ortsadverb „dorthin“ liegt, wie in der Äußerung „Leg das Quadrat *dorthin*.“ In diesem Fall lässt sich darauf schließen, dass mit der Äußerung implizit der Blickort gemeint ist. Es wird ebenfalls ein impliziter Verweis gezählt, wenn in der Mouse-Bedingung eine derartige Äußerung durch eine Mouse-Geste begleitet wird. In diesen Fällen lässt sich darauf schließen, dass mit der Äußerung der angezeigte Ort gemeint ist.

5.7.2. Ergebnisse der nachträglichen Analyse

In der SVS-Bedingung ließen zwei Gruppen deutlich identifizieren. Bei der Mehrheit der Experten ließen sich während des gesamten Versuchs nur null bis fünf Momente der Nutzung der Technik zählen. Bei vier von 18 Experten waren es jedoch 15 und mehr Gelegenheiten, in denen sie die Technik meist explizit benutzten.

In der Mouse-Bedingung wurde schon bei der Sichtung weniger Fälle deutlich, dass implizite Äußerungen sehr häufig mit Mouse-Gesten einhergehen. Meistens setzten die Experten kreisende Mouse-Bewegungen ein, um auf Puzzle-Teile oder Orte hinzuweisen. Zu Puzzle-Teil-Kanten wurden meistens parallele Bewegungen entlang derjenigen Kante ausgeübt, die an ein Teil angelegt oder an die ein Teil angelegt werden sollte. Explizite Verweise waren sehr selten. In wenigen Fällen konnte beobachtet werden, dass die Mouse meist zu Anfang eines Trials nicht benutzt wurde und erst dann zum Einsatz kam, wenn der Experte feststellte, dass die Hilfestellung gerade nicht vom Novizen inhaltlich verstanden wurde. Es wurde allerdings auch beobachtet, dass Experten Mouse-Gesten

5.7. Nachträgliche Analysen

ohne implizite Verweise verwendeten. Die Äußerungen wurden unterbrochen und durch eine Mouse-Geste fortgesetzt.

6. Diskussion

6.1. Lösungszeiten der Tangram-Aufgaben

Entgegen den Hypothesen 1a) und 1b) zeigen sich keine Unterschiede in den Lösungszeiten durch die drei getesteten Unterstützungsformen. Auch in dem sehr ähnlichen Experiment von Bauer et al. (1999) konnten sich in einem Fernunterstützungsszenario keine signifikanten Vorteile identifizieren lassen, wenn der Experte die Möglichkeit hat, dem Novizen mit einem „*reality-augmenting telepointer*“ Hinweise zu geben. Die anschließend von Bauer et al. durchgeführte Analyse der verbalen Kommunikation zeigte, dass die Experten sprachliche Hinweise zu Ortsangaben reduzierten, wenn sie von einem technischen Hilfsmittel, beispielsweise von der Möglichkeit auf Objekte über eine HMD zu zeigen, zur Erfüllung dieser Aufgabe verstärkt Gebrauch machten. Die Autoren führten das Ergebnis, dass die Lösungszeiten unter Verwendung des „*reality-augmenting telepointer*“ nicht schneller als in der Nur-Sprache-Bedingung waren, auf eine nicht ausreichende Datenlage zurück, also eine zu große Varianz bei zu geringer Versuchspersonenzahl. Somit liegt der Schluss nahe, dass auch in diesem Experiment fehlende Unterschiede in den Lösungszeiten auf die große Varianz in einer freien dyadischen Interaktion zurückzuführen sind.

Eine umfassende Analyse der verbalen Kommunikation führten auch Fussell, Setlock et al. (2003) bei einer Fernunterstützungsaufgabe durch. Auch in dieser Studie verhinderte die große Varianz der Lösungszeit, dass sich die Bedingungen mit erweiterten Möglichkeiten zur Kommunikation (u. a. eine kopfgetragene Szenenkamera mit Eye Tracker) von denen mit nur Sprachunterstützung signifikant unterschieden.

Ein weiterer Grund für fehlende Unterschiede zwischen den Gruppen könnte die einfache Möglichkeit zur Benennung der einzelnen Puzzle-Teile des Tangram-Spiels sein. Jedes Teil lässt sich leicht anhand der geometrischen Form identifizieren und benennen. Birnholtz et al. (2010) nehmen an, dass Fernunterstützung mit Videoübertragung sich vor allem beim Arbeiten mit schwer zu benennenden Objekten vorteilhaft auswirkt. Unter solchen Bedingungen sollte sich die Möglichkeit, auf Objekte zeigen zu können, stärker vorteilhaft auswirken. In diesem Fall ist es anstelle einer aufwendigen Erklärung die leichteste Variante, mit dem gegebenen Hilfsmittel zu referenzieren, indem der Unterstützer darauf zeigt. Sofern eine sprachlich naheliegende Bezeichnung auch eindeutig ist, benutzen Probanden intuitiv eher die Sprache. Sie erreichen durch die Möglichkeit, auf das Objekt zeigen zu können, keinen Geschwindigkeitsvorteil.

In dem Zusammenhang mit der Benennung der Puzzle-Teile stehen auch die Phasen

6. Diskussion

der visuellen Suche. So ergeben sich beim Tangram-Puzzle nur sehr kurze Suchphasen, in denen die Markierung durch Mouse oder per Blick von Vorteil sein könnte. Während im Experiment von Brennan et al. (2008) die Aufgabe ausschließlich aus der Suche und Identifikation eines bestimmten Buchstabens (Q) bestand, besteht die Interaktion mit dem Tangram nur in zwei Phasen aus einer Suche. Nach der Hilfestellung durch den Experten sucht der Novize das erwähnte Puzzle-Teil, dann wird die Zielposition aufgesucht. Zwischen oder im Anschluss an die Phasen erfolgt das Bewegen des Teils (2D-Translation) und abschließend folgt das Ausrichten (1D-Rotation) des Teils. Durch die einfache Benennung der Puzzle-Teile beschränkt sich die längere Suchphase auf das Aufsuchen der Zielposition. Aber auch diese lässt sich relativ einfach durch eine Anweisung wie „rechts vom Quadrat“ umsetzen. Daher wurde bei der Sichtung der Videodaten auch beobachtet, dass die längste Zeit beim Zusammensetzen des Puzzles auf das Ausrichten, also das Rotieren um einen bestimmten Winkel, fiel. In dieser Phase ist die Visualisierung des Fokus der visuellen Aufmerksamkeit einer Mouse-Eingabe unterlegen, die es dazu noch erlaubt, Rotationsbewegungen durch Gesten zu übermitteln.

Ein Grund für die Gleichheit der Lösungszeiten könnte auch darin bestehen, dass die Probanden mehr Übungszeit für den Umgang mit dem System gebraucht hätten. Als Folge der Eindrücke aus den Vorstudien wurde in der Tangram-Studie an mehreren Stellen im Versuchsablauf darauf geachtet, den Probanden die Systemfunktionen nahezubringen. In der Studie von Velichkovsky (1995) wurde zudem den Experten die Möglichkeit gegeben, die Puzzle-Aufgaben einzuüben. Damit waren sie für die Unterstützung des Novizen durch Training vorbereitet. Außerdem wurden sie bei mehreren Novizen als Experten eingesetzt, so dass sie sowohl Erfahrung in der Anleitung eines Novizen als auch in der Benutzung der Eingabemodalitäten sammeln konnten. Die Entscheidung, dass jeder Novize im Versuchsverlauf direkt im Anschluss zum Experten wird, könnte also einen Grund für mangelndes Funktionsverständnis liefern.

Einen Indikator für möglicherweise mangelndes Funktionsverständnis liefern die Beobachtungen der Versuchsleiter und die Sichtung der Video- und Audiomitschnitte. Aus den Analysen der verbalen Kommunikation geht hervor, dass viele Probanden die Modalität nicht explizit referenzierten. Es besteht also die Möglichkeit, dass in diesen Fällen die Modalität als Eingabe- bzw. Zeige-Option nicht verwendet wurde. Möglicherweise hat sich die mehrstufige Einführung in das SVS samt Übungsaufgabe aber auch positiv auf das Systemverständnis ausgewirkt. Denn der gleiche Indikator lässt sich auch für die Argumentation nutzen, dass das System bezüglich der Eye Tracking Funktionalität voll verstanden und intuitiv genutzt wurde, ohne dass die Probanden darüber nachdachten, explizit auf die Modalität zu referenzieren. Bei der Sichtung der Videoaufnahmen mit Einblendung der Blickmarkierungen des Novizen und Experten ist zu beobachten, dass deren Markierungen, zumindest dem Augenschein nach, meist dem Verlauf des Dialogs folgen. In dem Moment, in dem der Novize verstanden hat, welches Objekt der Experte meint, springt der Blickpunkt auf das Objekt, das gleichzeitig durch eine Äußerung benannt wird. Die Tatsache, dass ein Objekt, nach dem als nächstes gegriffen wird, vorher

betrachtet wird, lässt sich als trivial bezeichnen. Ausgenommen sind in der Situation nur Handgriffe, bei denen der Greifende bereits den Ort kennt und daher kein Blick auf das Objekt erfolgen muss.

Die gegenseitige Darstellung der visuellen Aufmerksamkeit könnte für die Akteure aber auch eine redundante Bestätigung ihrer Äußerungen bedeuten. Dieser Vorteil käme insbesondere in Situationen zum Tragen, in denen die auditive Verständigung erschwert ist, sei es durch Umgebungsgeräusche oder durch kommunikative Verständigungsschwierigkeiten.

Für eine sicherere Aufklärung des Systemverständnisses könnte in späteren Studien die Anzahl der Ereignisse ausgezählt werden, in denen ein Objekt nach Anweisung des Experten durch die Reaktion der Augenbewegung des Novizen falsch identifiziert wurde, wenn der Experte das Objekt nicht explizit zuvor verbal erwähnt hat. Eine hohe Anzahl an falschen Identifizierungen würde dafür sprechen, dass der Novize nicht auf die Markierung des Experten geachtet hat bzw. umgekehrt eine hohe Anzahl an richtigen Identifizierungen für die Nutzung der Markierung.

6.2. Mosaik-Test-Daten

Mit der Bestätigung der Hypothese 2c) zeigt sich, dass sowohl die Performanz des Novizen als auch die Performanz des Experten im Mosaik-Test mit der Lösungszeit im Tangram korrelierten. Daraus lässt sich schließen, dass die Fähigkeiten im visuell-räumlichen Bereich sowohl in der Rolle des Novizen, als auch in der Rolle des Experten für die Lösung der Tangram-Aufgabe relevant sind. Die Fähigkeiten sind folglich einerseits beim Erklären und Anleiten in den Tangram-Aufgaben, andererseits auch beim Verstehen und Umsetzen der Anweisungen notwendig. Damit könnte die Erhebung des Mosaik-Tests weiteren Studien erneut als Kovariate dienen.

6.3. Fragebogendaten

Die Auswertung des Fragebogens ergab entgegen den Hypothesen beinahe in keinem Item signifikante Unterschiede. Die einzige Ausnahme bildet der für Hypothese 3a) zusammengesetzte Wert „Aktive Teilnahme des Novizen“. In diesem Wert schätzten die Novizen entgegen der Hypothese ihre aktive Teilnahme am Lösungsprozess in der Voice- und Mouse-Bedingung als geringer ein als in der SVS-Bedingung. In der Hypothese wurde jedoch angenommen, dass die Voice-Bedingung auf Grund der fehlenden visuell-räumlichen Hilfestellung durch den Experten, einen höheren Anteil am Lösungsprozess erfordert. Für die nachfolgende Interpretation wird das Resultat des LSD-Tests gewählt und nicht das des konservativeren Bonferroni-Post-Hoc-Tests.

Es besteht die Möglichkeit, dass sich die Experten in den Bedingungen Voice und Mouse besser mitteilen konnten und die Novizen deshalb ihren Anteil am Lösungsprozess

6. Diskussion

geringer einschätzten. Diese Interpretation bedeutet für die SVS-Bedingung, in der Eye Tracking genutzt wurde, dass die Visualisierung der Augenbewegung im direkten Vergleich sich eher störend auf den Lösungsprozess ausgewirkt hat und somit die Novizen verstärkt mitwirken mussten. Möglicherweise wirkt die reine Darstellung der Augenbewegung des Experten störender, da dort auch Bewegungen erfasst werden, die sich nicht immer auf die Fixation eines Puzzle-Teils beziehen. Die häufigen Blicke der Experten auf die halb-durchlässig eingeblendete Lösung rechts oben im Bildschirm hat möglicherweise den Novizen eher abgelenkt und schnell zu der Meinung geführt, dass die im HMD eingeblendete Markierung häufig nicht zum aktuellen Lösungsschritt beiträgt. Im Vergleich zu Situationen mit explizitem Einsatz der Augenbewegung, also dem gezielten Fixieren von Objekten und dem aktiven Referenzieren, haben die Augenbewegungen möglicherweise unkontrolliert gewirkt. Im Vergleich dazu erscheint eine Mouse-Bewegung eher kontrolliert. Wird eine Mouse nicht bewegt und folglich auch nicht eingesetzt, verbleibt nur ein ruhender Punkt im HMD. In einer rein verbalen Unterstützung kommt es in diesem Zusammenhang weder zu Vor- noch Nachteilen. Neben dieser Interpretation wäre außerdem denkbar, dass sich die längere Kalibrierungszeit vor dem Versuch negativ auf die Konzentration der Novizen ausgewirkt haben könnte und dazu geführt hat, dass sie den Impuls verspürten, mehr Eigenleistung in den Problemlöseprozess einbringen zu müssen. Es ist jedoch auch zu beachten, dass die Probanden im Mittel der Aussage zur aktiven Teilnahme in der SVS-Bedingung weder zugestimmt noch diese abgelehnt haben.

Die Antworten des Fragebogens geben auch Aufschluss darüber, ob die Probanden ihrer Einschätzung nach auf die Visualisierungen im HMD geachtet haben. So stimmten die Novizen eher zu, auf Mouse- und Augenbewegung des Experten geachtet zu haben, da die Experten ihrer Einschätzung nach auch von den Möglichkeiten gebraucht gemacht hatten. Das Verfolgen der visualisierten Markierung im HMD beurteilten die Novizen ebenso als eher nicht schwierig. Die Experten gaben an, dass die Eingabemodalitäten Mouse und Blick eher gut funktioniert hatten, jedoch nur die Mouse-Eingabe als eher intuitiv einschätzten. Viele Probanden in der Rolle des Experten äußerten nach dem Versuch, dass sie gerne mit dem Finger auf die Puzzle-Teile gezeigt hätten. Hier bietet ein Touchscreen vielleicht die bessere Alternative zur Mouse. Dass die Augenbewegung nicht als intuitive Eingabemodalität wahrgenommen wurde, könnte damit zusammenhängen, dass das aktive *Zeigen* Hauptaufgabe des Versuchs war und die Augenbewegung für diese Umsetzung kontrolliert werden muss. Damit wäre sie nicht mehr natürlich, das bewusste Zeigen mit den Augen auch nicht so intuitiv wie im Vergleich zum Zeigen mit einem Finger.

Keine gerichtete Beurteilung gaben die Probanden als Experten hinsichtlich der visualisierten Augenbewegungen des Novizen an (weder bei „hilfreich“ noch bei „beachtet“). Hier stellt sich die Frage, ob auf der Seite des Novizen ein Eye Tracking System überhaupt sinnvoll ist. Während der Tangram-Versuche konnte beobachtet werden, dass die Interaktion sehr einseitig gerichtet ablief. Auf Expertenseite stellte sich sehr schnell ein Monolog ein, der nur selten durch den Novizen unterbrochen wurde. Die gemeinsame Interaktion

mündete meist in einseitige Anweisungen darüber, wie beim Lösen der Aufgaben vorzugehen ist. Daher könnte es in zukünftigen Studien interessant für die Bewertung des SVS sein, Paradigmen zu wählen, zu dessen Bearbeitung unterschiedliche Kompetenzen erforderlich sind, also Experte und Novize eine symmetrische Kompetenzverteilung aufweisen. In einem derartigen Szenario ließe sich auch die stärkere Etablierung eines gemeinsamen Ziels als ein Kennzeichnen von Kollaboration umsetzen (vgl. Dillenbourg, 1999).

Der Tragekomfort wurde tendenziell als weder unangenehm noch besonders gut eingeschätzt. Im Vergleich zu den Vorstudien wird damit gezeigt, dass die Veränderungen der Gewichtsverteilung und das Abhängen der Kabel von der Zimmerdecke eine Entlastung bewirkt haben könnten. Die relativ statische Position des Novizen mag auch dazu geführt haben, dass das Bild von den Experten als eher nicht verwackelt beurteilt wurde bzw. das Bild die Unterstützungsleistung eher nicht beeinträchtigt hat.

Die Angaben der Probanden im Fragebogen sind jedoch mit einer gewissen Skepsis zu betrachten. Es muss zur Ausarbeitung des Fragebogens im Nachhinein eingeräumt werden, dass die Verwendung einer fünfstufigen Likert-Skala bei fast allen Items nicht optimal war. Dies gilt insbesondere für Items wie „Ich habe eigentlich nicht auf den Mauszeiger des Experten geachtet.“ Es ist zu beobachten, dass die Probanden tendenziell, möglicherweise durch einen sozialen Bias, die Fragen eher zur Mitte hin beantworteten. Direkt nach dem Versuch zuzugeben, dass die Technik nicht genutzt wurde, war den Probanden eventuell unangenehm. Ein dichotomes Item im Sinne einer „Ja/Nein“-Antwort hätte womöglich zu deutlicheren Ergebnissen geführt, da der Proband gezwungen gewesen wäre sich zu entscheiden, ob er die Technik wirklich genutzt hat.

6.4. Bedarf an Fernunterstützung

6.4.1. Umfrage auf der Hannover Messe 2009

Um sowohl einen Einblick in die aktuell in der Industrie verwendeten Fernunterstützungstechniken zu erhalten, als auch um den generellen Bedarf an Fernunterstützungssystemen einschätzen zu können, wurde auf der Hannover Messe 2009 eine Befragung unter Fachbesuchern durchgeführt. Dabei wurden Mitarbeiter von 18 Unternehmen (z. B. Siemens, Eurocopter, ICH Merwede, Danisco) aus unterschiedlichen Hochtechnologiebranchen unter anderem danach gefragt, welche Formen der Fernunterstützung sie ihren Kunden derzeit anbieten bzw. vom Hersteller ihrer Maschinen in Anspruch nehmen.

Die Befragung ergab, dass die Mehrheit der Unternehmen Telefonsupport anbietet bzw. in Anspruch nimmt (17; 94 %) oder in Problemfällen, die nicht vom Personal vor Ort gelöst werden können, einen oder mehrere Techniker entsendet bzw. anfordert (11; 61 %). Nur ein kleiner Teil der befragten Firmen nutzt erweiterte Kommunikationstechnologien wie das Versenden von Fotos per E-Mail oder internetbasierten Fernzugriff auf Maschinenparameter zur Fernunterstützung. Mehrere Unternehmen gaben an, dass die

6. Diskussion

eigenen Service-Techniker teilweise sehr weite Reisen zur Durchführung von Reparaturen unternehmen müssen, obwohl hochqualifiziertes Personal vor Ort zur Verfügung steht und durch die Ausfallzeiten der Maschine hohe Kosten entstehen. Der Grund liegt den Antworten der Befragten zufolge in der Beschaffenheit der Probleme, die gelöst werden müssen. Diese seien so spezifisch, dass auch technisch hochqualifiziertes Personal jahrelange Erfahrung brauche, um für die große Bandbreite der Probleme Lösungswege zu erlernen und anwenden zu können. Ein Unterstützungssystem, das den Experten des Herstellers und den Mitarbeitern vor Ort in mehreren Modalitäten (z. B. visuell und auditiv) kommunizieren lässt, könnte bei Problemen, welche alleine durch Expertise und Anleitung lösbar sind, in erheblichem Maße Kosten sparen.

Die Fachbesucher wurden gefragt, ob ein solches Unterstützungssystem mit geteiltem Sichtbereich, also zum Beispiel durch eine am Helm des Mitarbeiters befestigte Kamera, die ein Videobild an den Experten des Herstellers übermittelte, während beide über ein Headset kommunizierten, einen Vorteil für ihren Kundensupport bieten könnte. Die Mehrheit der Befragten (16; 89 %) gab an, ein solches Unterstützungssystem könnte in vielen Fällen die Reise eines Technikers ersetzen.

Vorstellbar wäre eine Art Problemkontinuum, in welches Situationen eingeordnet werden können, in denen Mitarbeiter auf der Kundenseite Unterstützung brauchen. Das eine Extrem des Kontinuums enthielte vergleichsweise einfache Probleme, die mit Kommunikationsmitteln wie E-Mail und Telefonsupport gelöst werden könnten. Das andere Extrem bildeten dabei sehr komplexe Probleme, welche nur durch Anreise eines Service-Technikers oder -Teams behebbar wären. Zwischen diesen Extremen befände sich ein Spektrum von Situationen, in denen ein Techniker des Kunden vor Ort durch Nutzung eines multimodalen Fernunterstützungssystems bei der Problemlösung angeleitet werden könnte. Mehrere Interviewpartner bestätigten im Gespräch, dass es einen solchen Problembereich von mittlerer Schwierigkeit im Arbeitsalltag gäbe, der jedoch derzeit noch durch die Reise eines Service-Technikers abgedeckt würde. Der Einsatz eines Fernunterstützungssystems innerhalb dieses Bereichs würde es Service-Technikern ermöglichen, den Arbeiter vor Ort beispielsweise vom Standort der Herstellers aus zu unterstützen und eine Reise zum Kunden zu vermeiden.

Speziell im Luft- und Seeverkehr, aber auch in anderen Bereichen mit mobil eingesetzter Technik, kommt der Kompetenz eines entfernten Experten besondere Bedeutung zu. Die Mitarbeiter eines Herstellers von Drehflüglern beispielsweise gaben an, dass Ausfälle ihrer Produkte für die Kunden sehr kostspielig seien und der Support dadurch eine bedeutende Rolle für den Kundennutzen spiele. Als Fernunterstützung werde dabei nur Telefonsupport angeboten. Häufig müssten, trotz des teilweise hochqualifizierten Personals vor Ort, bei Störfällen eigene Mitarbeiter (z. B. Mechaniker) zum Kunden geschickt werden.

Obwohl nur Mitarbeiter weniger Unternehmen befragt wurden, lässt sich ableiten, dass es einen prinzipiellen Bedarf in der Industrie für Fernunterstützungssysteme gibt, und dass der Service bei vielen Unternehmen im industriellen Bereich die technischen

Möglichkeiten nicht ausreicht. Die Notwendigkeit zur Entwicklung spezieller Unterstützungssysteme bestätigen auch Beu, Hassenzahl, Quaet-Faslem und Burmester (2001, S. 9) durch Aussagen von Technikern, die angaben, bis zu 50 % der Zeit bei Servicetätigkeiten an komplexen verfahrenstechnischen Anlagen mit dem Finden und Identifizieren der richtigen Komponenten aufzuwenden. Aber auch Kraut, Fussell et al. (2003) und Biehl, Prater und McIntyre (2004) sprechen von zunehmendem Bedarf an (AR-basierten) Fernunterstützungssystemen in der Industrie.

6.4.2. Praxiseinsatz in der Luftfahrtindustrie

Die Airbus Operations GmbH ermöglichte einen praxisnahen Einsatz des SVS bei einer nach Angaben von Mitarbeitern nicht trivialen, für ungeübte Techniker möglicherweise sogar komplizierteren Aufgabe. Dabei sollten Passagiersitze einer Sitzreihe aus- und wieder eingebaut werden. Spezielles Werkzeug ist für diese Aufgabe nicht nötig, jedoch das Gerätewissen, an welchen Stellen und in welcher Reihenfolge beim Ausbau anzusetzen ist. Zudem ist die Aufgabe sehr dynamisch; die Arbeitsposition muss häufig gewechselt und die Montageverbindungen müssen unter dem Sitz erst gesucht werden. Zwei Ingenieure, die zwar mit der Technik allgemein vertraut waren, die Aufgabe jedoch noch nie selbst durchgeführt hatten, wurden von einem erfahrenen Techniker angeleitet. Die Aufgabe wurde mit Mouse- und Blickunterstützung erfolgreich durchgeführt. Neben Kritik an den bekannten Einschränkungen der mobilen Einheit des SVS gab der Unterstützte an, dass die Visualisierung im HMD bei den Suchprozessen als Ergänzung zu den verbalen Erläuterungen sehr hilfreich gewesen wäre, jedoch nur einen geringen Vorteil während der Handlungsphasen gebracht hätte. Das Wissen darüber, dass ein Experte während der Aufgabe „über die Schulter schaut“, resultierte in einem Gefühl der Sicherheit.

Der Unterstützende gab an, dass sowohl die Mouse-Eingabe als auch die Eingabe durch aktiven Einsatz der Augenbewegung überraschend gut funktioniert hätte. Während sich mit der Mouse-Eingabe leicht Gesten übermitteln ließen, wäre die Blickbewegung gerade beim sich häufig bewegenden Kamerabild von Vorteil gewesen, um auf ein bestimmtes Objekt zu deuten. Der Unterstützende räumte ein, dass er zum Test der Eingabe durch Augenbewegungen bewusst Objekte fixiert und häufig explizit referenziert hätte. Es wurde allerdings auch bemerkt, dass das aktive „Anstarren“ als nicht natürlich empfunden wurde. Die Präzision des Systems wäre ausreichend für die Aufgabenerfüllung gewesen.

Die Eindrücke bezüglich des bewegten Videobilds lassen sich auch durch die Studie von Bauer et al. (1999) bestätigen, in der die Autoren feststellten, dass es sich schlecht in einem bewegten Bild auf Objekte zeigen lässt. Daher konnte der Experte ein Standbild auslösen, das dem entfernten Arbeiter im HMD dargestellt wurde.

Im Anschluss berichteten Teilnehmer und Beobachter des Unterstützungsszenarios, dass sie häufig mit alltäglichen Problemen konfrontiert würden, die eine Unterstützung von Technikern der Fluggesellschaften erforderten. Dies beträfe nicht nur die Einführung neuer Modelle von Verkehrsflugzeugen wie den A380. Häufig wären Handbücher

zu Komponenten noch nicht vollständig ausgeliefert oder bei der Fluggesellschaft noch nicht in der aktuellen Version vorhanden, so dass es immer wieder zu Rückfragen bis an den Hersteller käme. Einige Fluggesellschaften wie Lufthansa würden einen großen Aufwand betreiben, eigene Benutzungs- und Reparaturanleitungen zu erstellen, da die Angaben des Herstellers nur die gesetzlichen Mindestauflagen erfüllten.

Damit wird der durch die Herstellerbefragung gewonnene Eindruck auch in einem direkten Praxiseinsatz bestätigt, dass Fernunterstützungssysteme wie das vorgestellte SVS eine Lösung für einen Bereich alltäglicher Probleme in der Industrie darstellen könnten.

6.5. Ausblick

Die vorgestellte Arbeit kann nur den ersten Schritt einer Evaluation des Shared-Vision-Systems darstellen. Es wurde erreicht, ein System mit hinreichender Genauigkeit für die Unterstützung manueller zweidimensionaler Aufgaben mit multimodaler Unterstützung durch eine Mouse-Eingabe und durch Registrierung der Augenbewegung umzusetzen. Anhand der in der Diskussion aufgeführten Kritik am Versuchsdesign bietet es sich bei späteren Studien an, das Versuchsdesign zu variieren. Es sollte erwogen werden, mit den Funktionen des Systems vertraute Probanden sowohl auf Novizen- wie auch Expertenseite einzusetzen. Es könnte darüber hinaus einen Vorteil darstellen, wenn Probanden für die Rolle des Experten trainiert sind. Ein Paradigma, das komplexere Formen bietet, die damit schwerer mit Worten beschreibbar sind und ein Szenario, das eine dynamischere Kopf- bzw. Körperbewegung beinhaltet, sowie die Umsetzung von kommunikativen Verständigungsschwierigkeiten, könnte die Vorteile des Systems möglicherweise stärker zum Vorschein bringen.

In zukünftigen Studien könnte es von Interesse sein, eine fundierte Sprachanalyse durchzuführen. In Durchgängen mit Full Gaze Awareness oder nur Sprache ist die Aufzeichnung von Video-, Sprach- und Augenbewegungsdaten möglich. In einer Versuchsbedingung mit Mouse-Unterstützung werden statt Augenbewegungen Mouse-Bewegungen aufgezeichnet; aber mit einem abschätzbaren programmiertechnischen Aufwand lässt sich die Aufzeichnung der Augenbewegungen ergänzen. Dadurch wäre es möglich, nach dem Vorbild der erwähnten Arbeiten den Dialog zwischen Novize und Experte auf Unterschiede zwischen den Bedingungen hin zu analysieren.

Interessant, neben der Auswertung der verbalen Kommunikation, ist mit Sicherheit auch eine detailliertere Analyse des in dieser Studie verwendeten Novize-wird-Experte Designs. Es stellt sich die Frage, ob ein Novize, der eine gute Performanz gezeigt hat, diese auch als Experte zeigt. Umgekehrt ist interessant, welchen Einfluss ein Experte, der eine sehr gute Performanz als Unterstützer geleistet hat, auf den unterstützten Novizen als nachfolgenden Experten hatte.

Es muss jedoch angesichts der Ergebnisse attestiert werden, dass Verbesserungspo-

tenzial bei der technischen Umsetzung des Systems vorhanden ist. Einen umfangreichen Überblick bezüglich geeigneter Methoden zur Kalibrierung der Szenenkamera und zur Korrektur von Linsenverzerrungen liefert u. a. Suthau (2006). Dennoch hat die erzielte Genauigkeit in dem getesteten Tangram-Paradigma gerade noch ausgereicht.

Möglicherweise ist ein genaues Zeigen auf Objekte mit Mouse oder durch Registrierung der Augenbewegung nicht erforderlich. Es wären Varianten denkbar, in denen einem Lichtkegel einer Taschenlampe gleich mit einem größeren Kreisradius Bereiche aufgehellt werden. Ein Fadenkreuz, wie es in dieser Studie verwendet wurde, suggeriert auch eine gewisse Präzision, die vom Anwendungsfall abhängig vielleicht nicht nötig ist. Stattdessen nähme der Unterstützte den größeren, aufgehellten Bereich besser und schneller wahr als ein präzises Fadenkreuz. In einer Folgestudie könnten sich zu diesem Zweck optimale Visualisierungsstrategien auch für die Seite des Experten untersuchen lassen.

Eine weiteres Feld zur Analyse bietet die Registrierung der Augenbewegungen. Es ließe sich analysieren, ob nur lange Fixationen oder auch kurze Fixationen von dem jeweils anderen wahrgenommen wurden. Zur positiven Bewertung der SVS-Bedingung könnte eine Analyse beitragen, in der verglichen wird, ob Novizen in der SVS-Bedingung schneller Objekte korrekt identifizieren als in der Mouse- oder Voice-Bedingung. Beim Einsatz von Eye Tracking muss aber auch berücksichtigt werden, dass bei der Interpretation der Blickbewegungsdaten noch nicht auf das Verständnis des Betrachters geschlossen werden kann. Nicht zuletzt bietet ein System mit Full Gaze Awareness auch die Möglichkeit, als Trainingssystem zu dienen, in denen die Visualisierung der Augenbewegungen ein für die Ausbildung zur Sichtprüfung von Komponenten hilfreiches Muster liefern könnte (Sadasivan, Nalanagula, Greenstein, Gramopadhye & Duchowski, 2004).

Der Frage, wie Fernunterstützungssysteme der Zukunft gestaltet sein könnten, haben sich Studierende des Semesterprojekts *Produkt-Design*¹ unter der Leitung von Prof. Zwick und Prof. Staubach an der *Weißensee Kunsthochschule Berlin* angenommen. In Zusammenarbeit entstanden Designentwürfe für die mobile Einheit des SVS, die sich nicht nur auf den industriellen Anwendungsbereich beschränkten. Studierende ließen sich auch für Anwendungsbereiche inspirieren, die bis hin zu neuen Dienstleistungen für Baumarktkunden reichten, die Hilfe beim Zusammenbau, der Verbindung von Komponenten oder der Benutzung von Werkzeugen benötigten. Für die Entwürfe sollten die technischen Anforderungen bedacht werden; zukünftige technologische Neuerungen wie großflächige HMD oder eine kompakte Stromversorgung wurden als vorhanden angenommen. Einige dieser Entwürfe sind hier abgebildet.

Abbildung 6.1 zeigt eine Lösung für ein Fernunterstützungssystem zur Wartung und Reparatur von Baumaschinen. Abbildung 6.2 auf der nächsten Seite zeigt einen Entwurf für Industriekletterer, die zwar professionell ausgebildet in der Disziplin Klettern sind, sich jedoch für die Diagnose und Reparatur beispielsweise von Windrädern Spezialwissen aneignen müssen.

¹<http://www.kh-berlin.de/index.php5?projectID=528&Action=showProject>

6. Diskussion



Abbildung 6.1.:
Entwurf eines Helms für Mechaniker von
Baumaschinen (von B. Carr).



Abbildung 6.2.:
Entwurf einen Kletterhelms mit SVS-
Funktionalität (von F. Blauert).



Abbildung 6.3.:
Entwurf eines SVS zur Integration in
SOS-Notrufsaulen (von K. Scheidt).



Abbildung 6.4.:
Entwurf eines SVS zur Unterstützung
von Medizinern in dünnbesiedelten Ge-
bieten (von E.I. Dechamps und R. Lau-
er).

Um eventuelle Hemmungen beim Leisten Erster Hilfe abzubauen, entstand die Idee, Notrufsäulen mit einem SVS auszustatten (siehe Abbildung 6.3), so dass Ersthelfer mit dem sicheren Gefühl handeln können, dass ein Experte „über die Schulter schaut“. Der letzte vorgestellte Entwurf in Abbildung 6.4 beruht auf der Idee, medizinisches Personal in dünnbesiedelten Gegenden weitab von Kliniken mit einem Unterstützungssystem auszustatten, um beispielsweise zusammen mit Spezialisten entscheiden zu können, ob ein Patient für eine bessere medizinische Betreuung und Behandlung verlegt werden sollte.

Bei der Frage nach der Gestaltung zukünftiger Fernunterstützungssysteme muss an dieser Stelle auch kritisch danach gefragt werden, wohin Unterstützungssysteme führen. Timpe (1998, S. 12 ff.) erinnert daran, dass „der Einsatz eines Hilfesystems am speziellen Arbeitsplatz sowohl die Aufgabe als auch den Arbeitsplatz verändert, damit also auch die Rolle des Menschen im System“. Vor der Entwicklung und dem Einsatz von Unterstützungssystemen sollte stets eine differenzierte Analyse der zu unterstützenden Arbeitsaufgaben erfolgen, wobei zu berücksichtigen ist, dass sich eine derartige Analyse sehr aufwendig gestaltet und ein interdisziplinäres Vorgehen erfordert. Die Konsequenzen des Einsatzes eines Unterstützungssystems müssen prospektiv abgeschätzt werden.

Bei dem Einsatz eines videobasierten Fernunterstützungssystems muss daher vorher beantwortet werden, inwiefern der Unterstützte zum reinen Handlanger oder gar zum Werkzeug eines unterstützenden Experten wird. Es ist zur klären, wer die Verantwortung für die angeleiteten Handlungen in der Kollaboration trägt und wer die Haftung für Folgen von Fehlhandlungen übernimmt. Der Experte muss sich stets bewusst sein, dass er nur einen Ausschnitt aus der Umgebung wahrnimmt und parallel zur Unterstützungshandlung Prozesse mit negativen Auswirkungen ablaufen können, die bei seiner Anwesenheit möglicherweise leicht hätten bemerkt werden können.

6.6. Fazit

Dass ein Bedarf an Fernunterstützungssystemen in der Industrie vorhanden ist, wurde mit mehreren Beispielen in dieser Arbeit belegt. Mit der Theorie der hybriden Leistungsbündel ergibt sich die Gelegenheit, für zukünftige Fertigungsmaschinen bereits in der frühen Planungs- und Entwicklungsphase den Aspekt der Fernunterstützung mit als Geschäftsmodell und Schnittstellendesign beeinflussende Komponente aufzugreifen. In dieser Arbeit wird darauf hingewiesen, dass die Anforderungen an die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen in HLB nicht anders von der Gestaltung anderer technischer Systeme sind, aber dass bestimmte Aspekte wie der Zugriffsschutz auf die Maschinenkonfiguration eine besondere Aufmerksamkeit der Planer und Entwickler erfordern.

Es wurde deutlich gemacht, dass die heterogene Nutzerlandschaft in hybriden Leistungsbündeln den Einsatz von Systemen zur Fernunterstützung erfordert, da in den flexibel ausgelegten Geschäftsmodellen das über die Zeit aufgebaute Handlungs- und

6. Diskussion

Gerätewissen der Benutzer sich nicht sofort an die Anforderungen eines neuen Geschäftsmodells anpassen können wird. Wenn Hersteller „spontan“ neue Märkte unter Nutzung ihnen unbekannter Technologie erschließen möchten, sind Konzepte zur Unterstützung der Benutzer dieser Technologien erforderlich. Der Aufbau von wissensbasierten Unterstützungssystemen ist aufwendig und wenig für nicht standardisierte Problemlösungen geeignet. Zudem ist es nicht möglich, das Wissen von Experten in einem Wissenskörper vollständig abzubilden.

Als „Idee des Tages“ tituliert das Handelsblatt am 4. Juli 2011 die Entwicklung eines Prototypen des Fraunhofer Instituts FKIE in Wachtberg (Handelsblatt, 2011). Das System ermöglicht qualitativ hochwertige video- und AR-basierte Fernunterstützung selbst bei niedrigen Bandbreiten wie der des Mobilfunknetzes. Das bereits auf dem Markt verfügbare System MAVUS² und nationale und internationale Forschungsprojekte wie AR-MAR (Henderson & Feiner, 2011), AVILUS³, SiWear⁴, ManuVAR⁵, wearIT@work⁶, die sich der optimalen Gestaltung von Augmented Reality Systemen und tragbarer Technologie widmen, zeigen den hochaktuellen Stellenwert der Forschung. Die Entwicklung des in dieser Arbeit vorgestellten Shared-Vision-Systems bringt dabei einen neuen Aspekt ein, der in der Forschung zu kollaborativer Arbeit und kollaborativem Problemlösen längst Einzug erhalten hat: es ist gelungen, das Konzept der Full Gaze Awareness auf beiden Seiten der Akteure als eine *Mutual Full Gaze Awareness* umzusetzen und deren Auswirkung auf die Kollaboration mit wissenschaftlichen Methoden zu untersuchen. Die Arbeit kann damit als Grundlage für zukünftige Forschungsprojekte dienen, die sich dem Thema der Fernunterstützung durch Full Gaze Awareness widmen.

²<http://www.mavus.info/>

³<http://www.avilus.de/>

⁴<http://www.siwear.de/>

⁵<http://www.manuvar.eu/>

⁶<http://www.wearitatwork.com/>

Literaturverzeichnis

- Argyle, M., Lefebvre, L. & Cook, M. (1974). The meaning of five patterns of gaze. *European Journal of Social Psychology*, 4(2), 125–136.
- Azuma, R. T. (1997 August). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385.
- Azuma, R. T., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. & MacIntyre, B. (2001 November). Recent advances in augmented reality. *IEEE Comput. Graph. Appl.* 21, 34–47.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779.
- Barron, B. (2000). Achieving coordination in collaborative problem-solving groups. *Journal of the Learning Sciences*, 9(4), 403–436.
- Bauer, M., Kortuem, G. & Segall, Z. (1999). “where are you pointing at?” a study of remote collaboration in a wearable videoconference system. In *Proceedings of the 3rd ieee international symposium on wearable computers* (S. 151–). ISWC ’99. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society. Zugriff am 18. Dezember 2010, unter <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=519309.856501>
- Bertholet, M. & Spada, H. (2005). Cognitive analysis of a remote collaborative problem-solving task and experimental validation of the resulting demand model. In K. Opwis & I.-K. Penner (Hrsg.), *Proceedings of the german cognitive science conference 2005*.
- Beu, A., Hassenzahl, M., Quaet-Faslem, P. & Burmester, M. (2001 Juli). Benutzerzentrierte Gestaltung eines mobilen Service- und Wartungssystems unter Verwendung von AR-Technologie. *MMI-Interaktiv*, Nr. 5, 1–16. Zugriff am 18. Dezember 2010, unter <http://www.mmi-interaktiv.de/uploads/media/beu.pdf>
- Biehl, M., Prater, E. & McIntyre, J. R. (2004 November). Remote repair, diagnostics, and maintenance. *Commun. ACM*, 47, 100–106.
- Billinghurst, M. & Kato, H. (1999). Real world teleconferencing. In *Chi ’99 extended abstracts on human factors in computing systems* (S. 194–195). CHI ’99. New York, NY, USA: ACM.
- Billinghurst, M., Weghorst, S. & Furness, T. (1996). Shared space: an augmented reality approach for computer supported collaborative work. In *Extended abstract in proceedings of collaborative virtual environments*. CVE ’96. Nottingham, UK.
- Billinghurst, M., Weghorst, S. & Furness, T. (1998). Shared space: an augmented reality approach for computer supported collaborative work. *Virtual Reality*, 3, 25–36.

- Birnholtz, J., Ranjan, A. & Balakrishnan, R. (2010). Providing dynamic visual information for collaborative tasks: experiments with automatic camera control. *Human-Computer Interaction*, 25(3), 261–287.
- Brennan, S. E., Chen, X., Dickinson, C. A., Neider, M. B. & Zelinsky, G. J. (2008). Coordinating cognition: the costs and benefits of shared gaze during collaborative search. *Cognition*, 106(3), 1465–1477.
- Bubb, H. (1993). Ergonomie. In H. Schmidtke (Hrsg.), (3. Aufl., Kap. 5.3 Systemergonomische Gestaltung, S. 390–420). München: Carl Hanser Verlag.
- Clarke, A. C. (1993). SPIEGEL-Interview mit Science-fiction-Autor Arthur C. Clarke über die Zukunft der Informationsgesellschaft vom 22.02. Zugriff am 7. August 2011, unter <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-13681640.html>
- Clark, H. H. & Marshall, C. E. (1981). Elements of discourse understanding. In A. K. Joshi, B. L. Webber & I. A. Sag (Hrsg.), (Kap. Definite reference and mutual knowledge, S. 10–63). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Degen, W. & Profke, L. (1976). *Grundlagen der affinen und euklidischen Geometrie*. Stuttgart: Teubner.
- Dillenbourg, P. (1999). Collaborative-learning: cognitive and computational approaches. In P. Dillenbourg (Hrsg.), (Kap. What do you mean by ‘collaborative learning’?, S. 1–19). Oxford: Elsevier.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (1. Aufl.). Kohlhammer-Standards Psychologie: Teilgebiet Denkpsychologie. Stuttgart: Kohlhammer.
- Dzida, W. (1983). Das IFIP-Modell für Benutzerschnittstellen. *Office Management*, 31, 6–8.
- Engel, J. (1996). *Entwicklung eines wissensbasierten Informationssystems zur Unterstützung der Störungsdiagnose*. Fortschritt-Berichte VDI. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Fellner, D. W. (1992). *Computergrafik* (2. Aufl.). Reihe Informatik. Mannheim: BI-Wiss.-Verl.
- Foltz, C., Killich, S. & Wolf, M. (2000 November). K3 user guide. Zugriff am 3. Mai 2011, unter http://www.iaw.rwth-aachen.de/download/produkte/k3_user_guide-2000-11-21.pdf
- Fussell, S. R., Kraut, R. E. & Siegel, J. (2000). Coordination of communication: effects of shared visual context on collaborative work. In *Proceedings of the 2000 acm conference on computer supported cooperative work* (S. 21–30). CSCW ’00. New York, NY, USA: ACM.
- Fussell, S. R., Setlock, L. D. & Kraut, R. E. (2003). Effects of head-mounted and scene-oriented video systems on remote collaboration on physical tasks. In *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems* (S. 513–520). CHI ’03. New York, NY, USA: ACM.
- Gale, C. (1998). The effects of gaze awareness on dialogue in a video-based collaborative manipulative task. In *Chi 98 conference summary on human factors in computing systems* (S. 345–346). CHI ’98. New York, NY, USA: ACM.

- Gaßner, K. (1996). Ein Entscheidungshilfesystem zur Störungsdiagnose. In D. Gude, A. Seeber & B. Zimolong (Hrsg.), *Maschinenführer in der flexiblen Fertigung* (388, S. 142–153). Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Gegusch, R., Geisert, C., Hoege, B., Stelzer, C., Roetting, M., Seliger, G. & Uhlmann, E. (2009 April). Multimodal user support in ips2 business model. In R. Roy & E. Shehab (Hrsg.), *Proceedings of the 1. cirp ips2 conference* (S. 125–131). UK: Cranfield University.
- Geisert, C., Stelzer, C. & Uhlmann, E. (2007). Hybride Leistungsbündel für die Mikroproduktion. *wt Werkstattstechnik online*, 97(3), 126–129. Zugriff am 5. Mai 2011, unter [http://www.werkstattstechnik.de/wt/article.php?data\[article_id\]=34570](http://www.werkstattstechnik.de/wt/article.php?data[article_id]=34570)
- Göbel, M. (1999). Blickbewegungsregistrierung bei der Gestaltung von Fahrerarbeitsplätzen des ÖPNV. In M. Röttig & K. Seifert (Hrsg.), *Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik* (Bd. 8, S. 118–132). ZMMS Spektrum. Sinzheim: Pro Universitate Verlag.
- Hacker, W. (1986). *Arbeitspsychologie: psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Schriften zur Arbeitspsychologie. Bern: Huber.
- Hacker, W. (2005). *Allgemeine Arbeitspsychologie: psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit* (2. Aufl.). Schriften zur Arbeitspsychologie. Bern: Huber.
- Hancock, J. T. & Dunham, P. J. (2001). Language use in computer-mediated communication: the role of coordination devices. *Discourse Processes*, 31(1), 91–110.
- Handelsblatt. (2011). Expertenhilfe für defekte Industriemaschinen aus der Ferne. *Handelsblatt*, 5.
- Hansen, M. & Spada, H. (2010). Supporting remote collaborative problem-solving. *Applied Cognitive Psychology*, 24(9), 1297–1323.
- Hauß, Y. & Timpe, K.-P. (2002 Februar). Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (2. Aufl., Kap. 2, S. 41–62). Düsseldorf: Symposion Publishing.
- Hedicke, V. (2002). Multimodalität in Mensch-Maschine-Schnittstellen. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (2. Aufl., Kap. 7, S. 203–232). Düsseldorf: Symposion Publishing.
- Henderson, S. & Feiner, S. (2011). Augmented reality for maintenance and repair (armar). Zugriff am 22. August 2011, unter <http://graphics.cs.columbia.edu/projects/armar/index.htm>
- Höge, B., Schmuntzsich, U. & Röttig, M. (2011). Multimodale Nutzerinterfaces in hybriden Leistungsbündeln. In H. Meier & E. Uhlmann (Hrsg.), *Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen - Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel*. (in Vorbereitung). Berlin: Springer.

- Ishii, H. (1999). Integration of shared workspace and interpersonal space for remote collaboration. In M. Beaudouin-Lafon (Hrsg.), *Trends in software - computer supported cooperative work* (Bd. 7, S. 83–101). Chichester: John Wiley & Sons.
- Ishii, H. & Kobayashi, M. (1992). Clearboard: a seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact. In *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems* (S. 525–532). CHI '92. New York, NY, USA: ACM.
- Ishii, H., Kobayashi, M. & Grudin, J. (1993 Oktober). Integration of interpersonal space and shared workspace: clearboard design and experiments. *ACM Trans. Inf. Syst.* 11, 349–375.
- Ishii, H. & Miyake, N. (1991 Dezember). Toward an open shared workspace: computer and video fusion approach of teamworkstation. *Commun. ACM*, 34, 37–50.
- Johannsen, G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin: Springer-Verlag.
- Konradt, U. (1992). *Analyse von Strategien bei der Störungsdiagnose in der flexibel automatisierten Fertigung*. Bochum: Univ.-Verl. Brockmeyer.
- Konradt, U. & Zimolong, B. (1994). Diagnose-Informationssystem. *Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung*, 89, 244–246.
- Kraiss, K.-F. (1993). Ergonomie. In H. Schmidtke (Hrsg.), (3. Aufl., Kap. 5.5 Mensch-Maschine Dialog, S. 446–458). München: Carl Hanser Verlag.
- Kraut, R. E., Fussell, S. R. & Siegel, J. (2003 Juni). Visual information as a conversational resource in collaborative physical tasks. *Human-Computer Interaction*, 18, 13–49.
- Kraut, R. E., Miller, M. D. & Siegel, J. (1996). Collaboration in performance of physical tasks: effects on outcomes and communication. In *Proceedings of the 1996 acm conference on computer supported cooperative work* (S. 57–66). CSCW '96. New York, NY, USA: ACM.
- Krueger, R. A. (1989). *Focus groups: a practical guide for applied research*. Newbury Park, Calif.: Sage.
- Liteye Systems. (2009). LE 750A/700A Rugged HMD. Zugriff am 7. November 2011, unter <http://www.liteye.com/images/Docs/Products/LE750A.pdf>
- Liu, J. & Pastoor, S. (1999). Augenmaus & Co - Entwicklung einer neuartigen Anwenderschnittstelle für Multimedia-Computer. In M. Rötting & K. Seifert (Hrsg.), *Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik* (Bd. 8, S. 56–70). ZMMS Spektrum. Sinzheim: Pro Universitate Verlag.
- Mayhew, D. J. (1999). *The usability engineering lifecycle: a practitioner's handbook for user interface design*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Mayhew, D. J. (2011). The usability engineering lifecycle. Zugriff am 3. Mai 2011, unter <http://www.isrc.umbc.edu/HCIHandbook/figures/47-01.jpg>
- Meier, H. & Uhlmann, E. (2011). Hybride Leistungsbündel - Ein neues Produktverständnis. In H. Meier & E. Uhlmann (Hrsg.), *Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen - Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel* (S. 1–). (in Vorbereitung). Berlin/Heidelberg: Springer.

- Meier, H., Uhlmann, E. & Kortmann, D. (2005). Hybride Leistungsbündel - Nutzenorientiertes Produktverständnis durch interferierende Sach- und Dienstleistungen. *wt Werkstattstechnik online*, 95(7/8), 528–532. Zugriff am 4. Mai 2011, unter [http://www.werkstattstechnik.de/wt/article.php?data\[article_id\]=2367](http://www.werkstattstechnik.de/wt/article.php?data[article_id]=2367)
- Mertens, P. (1990). Expertensysteme: Teuer ist vor allem die Pflege. *Computerwoche*, 24, 16–. Zugriff am 14. Juni 2011, unter <http://www.computerwoche.de/heftarchiv/1990/24/1146289/#>
- Mervis, C. B., Robinson, B. F. & Pani, J. R. (1999 November). Visuospatial construction. *American Journal of Human Genetics*, 65(5), 1222–1229.
- Milgram, P. & Kishino, F. (1994 Dezember). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans. on Information and Systems (Special Issue on Networked Reality)*, E77-D(12), 1321–1329. Zugriff am 17. Februar 2011, unter http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html
- Möller, J. & Müller-Kalthoff, T. (2000). Lernen mit Hypertext: Effekte von Navigationshilfen und Vorwissen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14(2–3), 116–123.
- Neumann, U. & Majoros, A. (1998). Cognitive, performance, and systems issues for augmented reality applications in manufacturing and maintenance. In *Proceedings of the virtual reality annual international symposium* (S. 4–11). VRAIS '98. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.
- Olson, G. M. & Olson, J. S. (2000 September). Distance matters. *Human-Computer Interaction*, 15, 139–178.
- Oviatt, S. (2007). Multimodal interfaces. In A. Sears & J. A. Jacko (Hrsg.), *Handbook of human-computer interaction (second edition)* (Kap. 21, S. 413–432). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Oviatt, S., Bernard, J. & Levow, G.-A. (1998). Linguistic adaptations during spoken and multimodal error resolution. *Language and Speech*, 41(3–4), 419–442.
- Parrot. (2011). Ar.drone - the flying video game. Zugriff am 9. August 2011, unter <http://ardrone.parrot.com/parrot-ar-drone/de/>
- Rasmussen, J. (1983 Mai). Skills, rules and knowledge; signals, sign and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13(3), 257–266.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering*. North-Holland series in system science and engineering. New York: North-Holland.
- Riddle, D. R., Murphy, R. R. & Burke, J. L. (2005). Robot-assisted medical reachback: using shared visual information. In *Ieee international workshop on robot and human interactive communication (roman 2005)* (S. 635–642).
- Roschelle, J. & Teasley, S. D. (1995). The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In C. O'Malley (Hrsg.), *Computer supported collaborative*

- learning* (Bd. 128, S. 69–97). NATO ASI Series F: Computer and Systems Sciences. Berlin: Springer-Verlag.
- Rötting, M. (1999a). Methoden zur Registrierung von Augenbewegungen. In M. Rötting & K. Seifert (Hrsg.), *Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik* (Bd. 8, S. 19–34). ZMMS Spektrum. Sinzheim: Pro Universitate Verlag.
- Rötting, M. (1999b). Typen und Parameter von Augenbewegungen. In M. Rötting & K. Seifert (Hrsg.), *Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik* (Bd. 8, S. 1–18). ZMMS Spektrum. Sinzheim: Pro Universitate Verlag.
- Rötting, M. & Höge, B. (2008 Juli). Analysis of specific requirements for the human-machine interface in industrial product-service-systems. In W. Karwowski & G. Salvendy (Hrsg.), *2nd international conference on applied human factors and ergonomics*. CD-ROM.
- Rummel, N., Spada, H. & Hauser, S. (2006). Learning to collaborate in a computer-mediated setting: observing a model beats learning from being scripted. In *Proceedings of the 7th international conference on learning sciences* (S. 634–640). ICLS '06. Bloomington, Indiana, US: International Society of the Learning Sciences. Zugriff am 21. Dezember 2010, unter <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=150034.1150126>
- Sadasivan, S., Greenstein, J. S., Gramopadhye, A. K. & Duchowski, A. T. (2005). Use of eye movements as feedforward training for a synthetic aircraft inspection task. In *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems* (S. 141–149). CHI '05. New York, NY, USA: ACM.
- Sadasivan, S., Vembar, D., Washburn, C. & Gramopadhye, A. K. (2007). Evaluation of interaction devices for projector based virtual reality aircraft inspection training environments. In *Proceedings of the 2nd international conference on virtual reality* (S. 533–542). ICVR'07. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. Zugriff am 18. Dezember 2010, unter <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1770090.1770151>
- Sadasivan, S., Nalanagula, D., Greenstein, J., Gramopadhye, A. & Duchowski, A. (2004). Training novice inspectors to adopt an expert's search strategy. In *Proceedings of iie annual conference, houston, tx*. Zugriff am 20. Dezember 2010, unter http://www.iienet2.org/uploadedfiles/IIE/Technical_Resources/Archives/36.pdf
- Schmalstieg, D., Fuhrmann, A., Hesina, G., Szalavári, Z., Encarnaçäo, L. M., Gervautz, M. & Purgathofer, W. (2002 Februar). The studierstube augmented reality project. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 11, 33–54.
- Schmalstieg, D., Fuhrmann, A., Szalavári, Z. & Gervautz, M. (1996). Studierstube - collaborative augmented reality. In *Proceedings collaborative virtual environments. CVE '96*. Nottingham, UK.
- SensoMotoric Instruments. (2011a). iView HED. Zugriff am 9. August 2011, unter <http://www.smivision.com/en/gaze-and-eye-tracking-systems/products/iview-x-hed.html>

- SensoMotoric Instruments. (2011b). iView RED / RED250 / RED500. Zugriff am 9. August 2011, unter <http://www.smivision.com/en/gaze-and-eye-tracking-systems/products/red-red250-red-500.html>
- SFB 187. (1994). *Mitteilungen für den Maschinenbau (Bd. Ausgabe 7)*. Bochum: Sonderforschungsbereich 187 an der Ruhr-Universität-Bochum.
- Shah, A. & Frith, U. (1993 November). Why do autistic individuals show superior performance on the block design task? *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 34(8), 1351–1364.
- Smith, W. S., Frazier, N. I., Ward, S. & Webb, M. (1983). Early adolescent girls' and boys' learning of a spatial visualization skill—replications. *Science Education*, 67, 239–243.
- Suthau, T. (2006 Juni). *Augmented Reality - Positionsgenaue Einblendung räumlicher Informationen in einem See Through Head Mounted Display für die Medizin am Beispiel der Leberchirurgie*. (Diss., Technische Universität Berlin).
- Tang, J. C. & Minneman, S. L. (1991 April). Videodraw: a video interface for collaborative drawing. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 9(2), 170–184.
- Tewes, U. (Hrsg.). (1994). *HAWIE-R Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene, Revision 1991; Handbuch und Testanweisung* (2. Aufl.). Göttingen: Huber.
- Timpe, K.-P. (1998). Unterstützungssysteme als interdisziplinäre Herausforderung. In H.-P. Willumeit & H. Kolrep (Hrsg.), *Wohin führen Unterstützungssysteme? Entscheidungshilfe und Assistenz in Mensch-Maschine-Systemen* (Bd. 5, S. 1–20). ZMMS Spektrum. Sinzheim: Pro-Universitate.
- Timpe, K.-P. & Kolrep, H. (2002 Februar). Das Mensch-Maschine-System als interdisziplinärer Gegenstand. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (2. Aufl., Kap. 1, S. 9–40). Düsseldorf: Symposium Publishing.
- Timpe, K.-P., Rothe, H.-J. & Seifert, R. (1994). Wissenspsychologische Beiträge zur Entwicklung von Unterstützungssystemen für die Störungsdiagnose. In B. Bergmann & P. Richter (Hrsg.), *Die Handlungsregulationstheorie – Von der Praxis einer Theorie* (S. 33–55). Göttingen: Hogrefe-Verlag.
- Trösterer, S. & Dzaack, J. (2009). Multimodal gaze-based interaction. In *Proceedings of the 5th conference on communication by gaze interaction - cogain 2009* (S. 85–88).
- Unema, P. (1999). Blickbewegungen und mentale Anstrengung. In M. Rötting & K. Seifert (Hrsg.), *Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik* (Bd. 8, S. 35–43). ZMMS Spektrum. Sinzheim: Pro Universitate Verlag.
- Unz, D. (2000). *Lernen mit Hypertext - Informationssuche und Navigation*. Internationale Hochschulschriften. Münster: Waxmann.
- Velichkovsky, B. (1995). Communicating attention: gaze position transfer in cooperative problem solving. *Pragmatics & Cognition*, 3(2), 199–223.

- Vertegaal, R. (1999). The gaze groupware system: mediating joint attention in multiparty communication and collaboration. In *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems: the chi is the limit* (S. 294–301). CHI '99. New York, NY, USA: ACM.
- Wexelblat, A. (1993). The reality of cooperation: virtual reality and cscw. In A. Wexelblat (Hrsg.), *Virtual reality: applications and explorations* (S. 23–44). Boston: Academic Publishers.
- Wickens, C. D., Lee, J., Liu, Y. D. & Gordon-Becker, S. (2003). *Introduction to human factors engineering (2nd edition)*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc.

A. Anleitung zum Betrieb des Shared-Vision-Systems

A.1. Experten-Arbeitsplatz

Allgemeine Vorbereitungen

1. Rechner hochfahren.
2. Auf **Start** → **Abmelden** klicken und als **TR29** anmelden.
3. Auf dem Desktop befindet sich ein Ordner namens **Shared Vision Experiment**. In diesem finden sich unter anderem Verknüpfungen zu allen benötigten Programmen.

Anwendung iView X

Wenn kein Eyetracking des Experten benötigt wird, so können die folgenden Schritte übersprungen werden, iView X muss allerdings trotzdem gestartet werden!

1. Programm **WinCAL** starten und auf **Enable** klicken (benötigt für Eyetracker-Kalibrierung im Vollbildmodus).
2. Programm iView X starten.
3. Überprüfen, ob der Illumination-Controller (kleine schwarze Box) eingeschaltet ist. Zwei rote Lampen (Infrarot LED) an der Leiste unten am Bildschirm müssen aufleuchten bzw. flackern.
4. Den Anweisungen zur Positionierung des Kopfes folgen (sitzt man zu nah, zu weit weg etc. erscheinen entsprechende Pfeile).
5. Starten der Kalibrierung (auf **Calibration** → **Start** klicken oder **F5** drücken).
6. Der Bildschirm sollte jetzt komplett weiß sein, bis auf einen schwarzen Punkt in der Mitte. Auf den Punkt schauen, dann **Leertaste** drücken und immer dem Punkt hinterher schauen.

A. Anleitung Shared-Vision-System

Anwendung Linphone

Wenn keine Sprechverbindung von Experte und Novize benötigt wird, können die folgenden Schritte übersprungen werden.

1. Programm Linphone starten.
2. <sip:toto@192.168.9.41> anrufen, oder auf Anruf warten und abheben.

Anwendung VirtualDub

Wenn keine Audio- und Videoaufzeichnung benötigt wird, so können die folgenden Schritte übersprungen werden.

1. Wenn beim Novizen auch eine Audio-Aufnahme gemacht wird: Doppelklick auf die Uhrzeit (rechts unten), Reiter **Internetzeit**, auf **Jetzt aktualisieren** klicken.
2. Programm VirtualDub starten.
3. Auf **File → Capture AVI** klicken.
4. Optional: Auf **Video → No Display** klicken (deaktiviert störenden *Unendlicher Tunnel*-Effekt)
5. Auf **File → Set Capture File** klicken
6. Namen eingeben und auf **Save** klicken. Alle Videos werden mit dem Dateinamen **<Name><Aufnahmenummer>.avi** abgespeichert.
7. Zur Shared-Vision-Applikation wechseln bzw. diese starten.
8. **Wichtig:** VirtualDub darf nicht minimiert werden! Andernfalls empfängt VirtualDub später keine Kommandos zum Starten und Stoppen der Aufzeichnung.

Der Start bzw. Stopp eines Trials im Shared-Vision-Programm wird später die Aufnahmefunktion von VirtualDub steuern (per Hotkey). Wenn keine Trials durchgeführt werden, aber dennoch eine Aufnahme gewünscht ist, so muss diese manuell in VirtualDub gestartet werden.

Anwendung Shared-Vision-Server

1. **svf server.bat** starten.
2. Es erscheinen zwei Textausgabe-Fenster. In einem müsste **Starting Server...** zu lesen sein. Wenn nicht, Server beenden und nochmal starten.

3. **Auf Start des Clients warten.** Am Novizen-Arbeitsplatz muss jetzt durch einen zweiten Versuchsleiter die Client-Anwendung gestartet werden oder der Experten-Arbeitsplatz muss nun verlassen werden.
4. **Nach Starten des Clients** erscheint ein Fenster mit dem Videobild der Kamera (**Shared Vision - Visualization**).
5. Optional in den Vollbildmodus schalten (**[Alt]+[Enter]** drücken). Das Bild wird dadurch vergrößert und unscharf, aber die Eyetracking-Daten des Experten werden präziser.
6. Wenn Versuche mit Logs der Versuchsdauer und gegebenenfalls Videos der einzelnen Versuche benötigt werden:
 - a) **[E]** zum Editieren drücken und Versuchspersonennummer in die Eingabemaske eingeben.
 - b) Mit **[1]** bis **[9]** einen Trial und das zugehörige Bild aktivieren.
 - c) Mit **[Enter]** den Trial starten (Bildschirm blinkt grün auf) bzw. stoppen (Bildschirm blinkt rot auf).

Bedienhinweise

Shared-Vision-Applikationen

Mit einem Rechtsklick in das Darstellungsfenster können diverse zusätzliche Optionen, z.B. zur Steuerung des Cursors, zum Filtern von Koordinaten und zur Darstellung ausgewählt werden. Entsprechende Hotkeys stehen in Klammern bei den Menüeinträgen.

A. Anleitung Shared-Vision-System

Einstellungen

WinCAL

Port: Ethernet

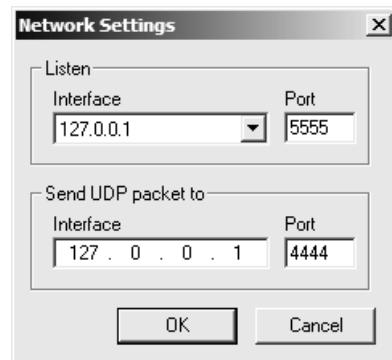


Abbildung A.1.: WinCAL → Setup

iView X

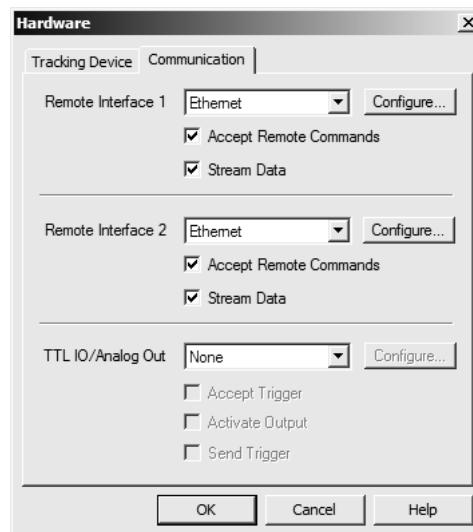


Abbildung A.2.: iView X → Setup → Hardware → Communication

A.1. Experten-Arbeitsplatz

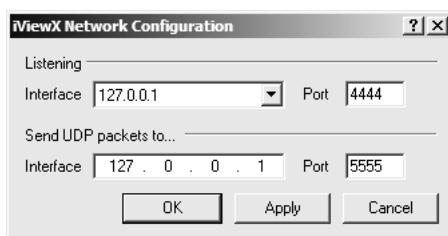


Abbildung A.3.:
Remote Interface 1 → Configure

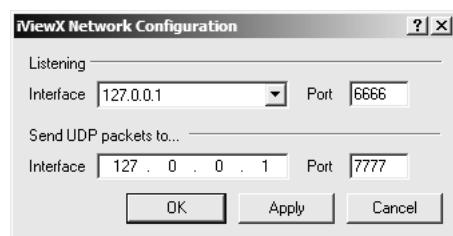


Abbildung A.4.:
Remote Interface 2 → Configure

VirtualDub

Einstellungen im Capture-Mode (File → Capture AVI):

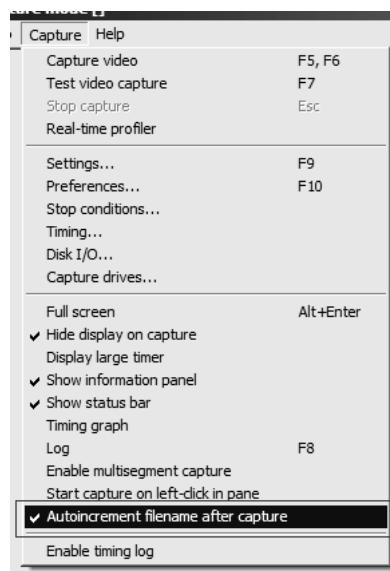


Abbildung A.5.: VirtualDub → Capture

A. Anleitung Shared-Vision-System

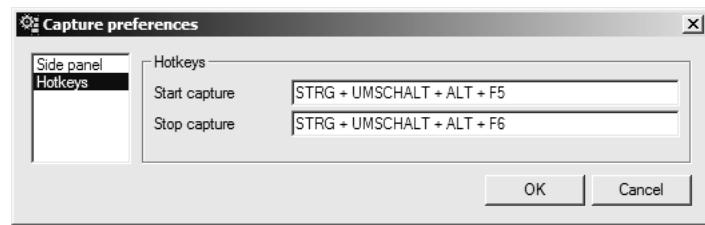


Abbildung A.6.: VirtualDub → Capture → Preferences

A.2. Novizen-Arbeitsplatz

Allgemeine Vorbereitungen

1. Laptop hochfahren.
2. Einloggen ohne Passwort.
3. Zur Ansteuerung des HMD ist eine Bildschirmauflösung von 800 mal 600 Bildpunkten erforderlich. Überprüfen durch: auf Desktop-Hintergrund rechtsklicken, auf **Eigenschaften** klicken, Reiter **Einstellungen** und gegebenenfalls entsprechend setzen.
4. Überprüfen, ob im HMD ein Bild zu sehen ist. Falls nicht, VGA-Kabelverbindung zum Laptop überprüfen und gegebenenfalls per Tastenkombination oder im vorigen Menü Bildschirm-Klon-Modus aktivieren.
5. Wenn Audio-Aufnahmen gemacht werden und diese später mit denen vom Experten-Arbeitsplatz synchronisiert werden müssen: Doppelklick auf die Uhrzeit (rechts unten), Reiter **Internetzeit**, auf **Jetzt aktualisieren** klicken.
6. Auf dem Desktop befindet sich ein Ordner namens **Shared Vision Experiment**. In diesem finden sich unter anderem Verknüpfungen zu allen benötigten Programmen.

Anwendung iView X

Wenn keine Eye Tracking Daten des Novizen benötigt werden, kann der folgende Abschnitt zur Kalibrierung übersprungen werden. Die übrigen Schritte müssen dennoch durchgeführt werden.

Vorbereitung

1. Software iView X starten.
2. Auf **Setup → Hardware** klicken
3. Reiter **Tracking Device** auswählen.
 - a) Im Fenster **Video Grabber** Option **USB Eye Cam** auswählen.
 - b) Im Fenster **Stimulus Capture** Option **USB Scene Cam** auswählen.
 - c) Auf **OK** klicken.
4. Das Bild der Szenenkamera sollte jetzt zu sehen sein.

A. Anleitung Shared-Vision-System

5. Das Bild der Augenkamera wird nach einem Klick auf `click to enable live video` sichtbar. Falls nicht, die USB-Kabel der Kameras abziehen, erneut einstecken und Schritt 3 wiederholen.
6. Dem Novizen das Kopfband aufsetzen und die Szenenkamera so ausrichten, dass sie möglichst gerade nach vorne zeigt. **Vorsicht** mit dem halb-durchlässigen Spiegel. Dieser kann leicht abbrechen, wenn man dagegen stößt.

Kalibrierung

1. Sicherstellen, dass der Spiegel der Augenkamera eingesteckt ist.
2. Die Augenkamera so ausrichten, dass das Auge im Videobild gut zu erkennen ist. Hierzu muss die Kamera zunächst durch Drehen des Rädchen oben an der Verbindung zur Querstange gelöst und nach dem Ausrichten wieder fixiert werden.
3. Den `Pupil Threshold` so einstellen, dass die dunkle Pupille bei verschiedenen Augenstellungen gut erkannt wird (weißes Fadenkreuz).
4. Den `CR Threshold` so einstellen, dass der helle Corneareflex bei verschiedenen Augenstellungen gut erkannt wird (schwarzes Fadenkreuz).
5. Sicherstellen, dass das Fenster der Szenenkamera maximiert ist und den verfügbaren Platz ausnutzt, ohne dass etwas vom Bild abgeschnitten ist. Durch einen Doppelklick auf den oberen Rahmen des Fensters kann man dieses maximiert bzw. dessen vorherige Größe wiederhergestellt werden.
6. Eye Tracking Kalibrierung starten (`Calibration → Start` oder `F5`). Der Novize sollte sich jetzt möglichst nicht mehr bewegen.
7. Kalibrierung durchführen. Wenn die Kalibrierung aus irgendeinem Grund nicht funktioniert, kann sie mit `Calibration → Stop` gestoppt werden. Vor der nächsten Kalibrierung ist in der Regel ein Klick auf `Setup → Calibration → Reset Calibration Points` nötig.
 - a) Variante mit Laserpointer
 - i. Im iView X erscheinen nacheinander verschiedene Punkte im Kamerabild.
 - ii. Ein Assistent zeigt mit einem Laserpointer jeweils auf diesen Punkt, d.h. er leuchtet so in die Umgebung, dass im Kamerabild das eingeblendete Fadenkreuz und der Laserpointerpunkt übereinstimmen.
 - iii. Wenn der Novize auf den Laserpointer-Punkt schaut, drückt der Assistent die `Leertaste`. Jetzt sollte der nächste Punkt erscheinen. Wenn nicht, mehrfach probieren und gegebenenfalls das Bild der Augenkamera überprüfen.

- b) Variante mit Kalibriermatrix (wie Abbildung C.1 auf Seite 142)
- i. Der Novize schaut auf eine Kalibriermatrix.
 - ii. In iView X erscheinen nacheinander verschiedene Punkte im Kamerabild.
 - iii. Der Assistent verschiebt diesen Punkt jeweils so, dass er im Kamerabild exakt auf dem nächstgelegenen Punkt der Kalibriermatrix liegt.
 - iv. Der Assistent sagt an, auf welchen Punkt der Novize schauen soll („links oben“, „links Mitte“, „Mitte“ etc.).
 - v. Wenn Assistent sicher ist, dass der Novize in diesem Moment auf den Punkt schaut, drückt er die **Leertaste**. Jetzt sollte der nächste Punkt erscheinen. Falls nicht, mehrfach probieren und gegebenenfalls das Bild der Augenkamera überprüfen (Auge wird beispielweise nicht mehr erkannt). Die Punkte dürfen nicht zu weit von der Position des Erscheinens verschoben werden. Es muss eine passende 3 mal 3-Punkte-Matrix verwendet werden (für eine 9-Point-Calibration with Corner-Correction mit höchster Präzision).

8. **Wichtig:** Kalibrierung abspeichern (**File → Save Calibration**)!

Deaktivieren der Szenenkamera

1. Erneut auf **Setup → Hardware** klicken, Reiter **Tracking Device** auswählen.
 - a) Im Fenster **Stimulus Capture Option Bitmap** auswählen. Dies gibt die Kamera für die Shared-Vision-Applikation frei.
 - b) Auf **OK** klicken.
2. Gegebenenfalls die gespeicherte Kalibrierung laden. Sie ist durch Schritt 1 verloren gegangen.

Anwendung Linphone

Wenn keine Sprechverbindung von Experte und Novize benötigt wird, können die folgenden Schritte übersprungen werden.

1. Programm Linphone starten.
2. `<sip:server@192.168.9.42>` anrufen, oder auf Anruf warten und abheben.

Anwendung Shared-Vision-Client

1. `svf client.bat` starten.
2. Nachdem die Verbindung zum Server erfolgreich aufgebaut worden ist, erscheint ein schwarzes Ausgabefenster (**Shared Vision - Visualization**). Falls nicht, Server-Applikation und Netzwerkverbindung, sowie angeschlossene Hardware überprüfen. Der Server muss unbedingt vor dem Client gestartet werden.
3. In den Vollbildmodus schalten (**Alt**+**Enter** drücken).
4. In den HMD-Kalibrierungsmodus schalten (**K** drücken). Jetzt ist das Kamerabild zu sehen. Der Novize sollte seine Umgebung mit dem rechten Auge doppelt sehen, einmal die Realität durch das HMD hindurch und einmal das Bild der Kamera im HMD.
5. Das HMD beim Novizen so ausrichten, dass es mittig und nicht zu weit entfernt vom Auge ist. Hierzu muss der Verbindungsarm des HMD zunächst durch Drehen am Rädchen gelöst und nach dem Ausrichten wieder fixiert werden.
6. Der Novize beginnt nun mit der Kalibrierung des HMD. Hierbei sollte er seinen Kopf möglichst nicht bewegen. Idealerweise wird der Kopf mit einer Kinnstütze oder ähnlichem fixiert.
7. Der Novize benötigt nun eine Mouse, die mit dem Computer des Shared-Vision-Clients verbunden ist.
8. Für mindestens 3 verschiedene Objekte durchführen (je mehr desto besser): Der Novize sucht sich ein gut erkennbares Objekt (z. B. einen Punkt auf einer Kalibriermatrix), das er sowohl auf dem Videobild im HMD als auch in der Realität durch das HMD hindurch sehen kann. Dann klickt er zunächst auf das Objekt im Kamerabild. Es erscheint ein grünes Fadenkreuz an der entsprechenden Stelle. Anschließend klickt er dort hin, wo er das Objekt durch das HMD hindurch in der Realität sieht. Es erscheint ein violettes Fadenkreuz und ein Pfeil, der die beiden Punkte verbindet.
9. Hinweise zur Steuerung während der Kalibrierung:
 - Wurde bereits der erste Punkt eines Punktpaares gesetzt und das System erwartet gerade das Setzen des zweiten Punktes, so kann dieser erste Punkt durch Drücken von **Entf** oder **Backspace** gelöscht werden.
 - Punkte können mit **Shift**+Linksklick oder mit einem Klick mit der mittleren Mouse-Taste **Scrollrad** selektiert werden.

- Selektierte Punkte werden durch Mouse-Bewegung *verschoben* und können durch einen erneuten Klick abgelegt und deselektiert werden.
 - Ein selektierter Punkt kann durch Drücken von **[Entf]** oder **[Backspace]** gelöscht werden.
10. **[Leertaste]** drücken. Nun wird das Kamerabild kalibriert dargestellt. Das Kamerabild im HMD und die Realität dahinter sollten sich möglichst gut überdecken. Falls nicht, erneut **[Leertaste]** drücken und Punkte bearbeiten, oder **[R]** für einen Reset drücken und Kalibrierung noch einmal durchführen.
11. Kalibrierung mit **[K]** beenden. Nun sollte das Fenster wieder schwarz sein.

Anwendung No23 Recorder

Wenn keine Audio-Aufnahmen am Novizen-Arbeitsplatz gemacht werden, so können die folgenden Schritte übersprungen werden.

1. Programm No23 Recorder starten.
2. Ein passendes Zielverzeichnis wählen. Es muss genug Speicherplatz auf dem entsprechenden Laufwerk vorhanden sein.
3. Auf **Record** klicken.
4. Nach dem Ende der Versuche auf **Stop** klicken.

Bedienhinweise

Shared-Vision-Applikationen

Mit einem Rechtsklick in das Darstellungsfenster können diverse zusätzliche Optionen, z. B. zur Steuerung des Cursors, zum Filtern von Koordinaten und zur Darstellung ausgewählt werden. Entsprechende Hotkeys stehen in Klammern bei den Menüeinträgen.

A. Anleitung Shared-Vision-System

Einstellungen

iView X

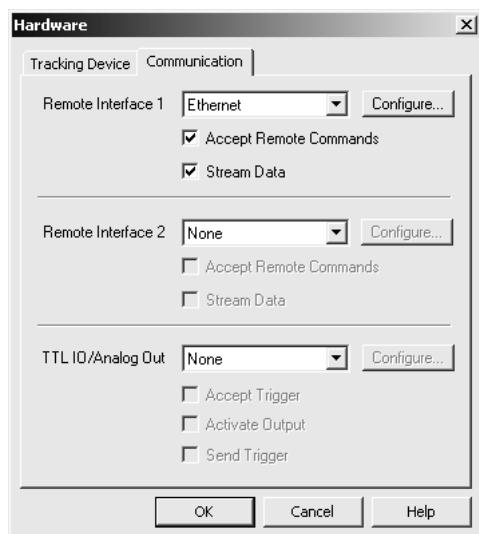


Abbildung A.7.:
iView X → Setup → Hardware → Communication

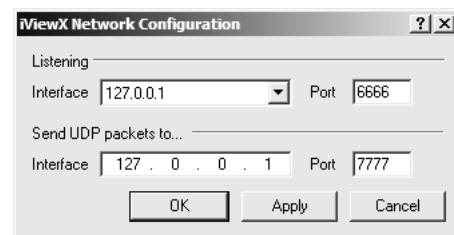


Abbildung A.8.:
Remote Interface 1 → Configure

B. Hard- und Software

Tabelle B.1.: Hardwarekomponenten

Typ	Novize	Experte
PC System	Dell Vostro 1310	Shuttle XPC SP35P2 Pro
RAM	3 GB	2 GB
Display	integriert (33,78 cm)	Samsung 940B (48,26 cm)
HMD	Liteye 750A-S	–
CPU	Intel Core 2 Duo T8300 2,4 GHz	Intel Core 2 Quad Q6600 2,4 GHz
GPU	NVidia 8400M GS	NVidia 8500 GT
LAN	GBit	GBit
iView X	HED 4.1	RED 4.1 & ICR 4.2
Headset	Logitech PC120	Logitech PC120
Mischpult	–	Behringer Xenyx 1002 FX
Sprechfunkgerät	DeTeWe Outdoor 8000	DeTeWe Outdoor 8000
sonstiges	Sennheiser eW100 G2 Funkmikrofon & Sender	Sennheiser eW100 G2 Empfänger

Tabelle B.2.: Softwarekomponenten

Programm	Novize	Experte
Betriebssystem	MS Windows XP Pro	MS Windows XP Pro
Eye Tracking	iView X 2.00 build 14	iView X 2.4 build 42
Videorecording	–	VirtualDub 1.9.8
Audiorecording	No23 Recorder	VirtualDub 1.9.8
SV Framework	Client	Server
Telefoniesoftware	Linphone 3.2.0	Linphone 3.2.0

C. Blickbewegungsmessung

- 9-Punkt iView X HED Kalibrierung: Randkreise & Mittelpunkt
- HMD-Kalibrierung: farbige Kreise & Mittelpunkt
- Kameraseitenverhältnis: $752 : 48 = 1,567$
- gewähltes Seitenverhältnis: $90 : 60 = 1,5$
- Mittelpunktabstand horizontal: 90 mm
- Mittelpunktabstand vertikal: 60 mm

Tabelle C.1.: Kreisdurchmesser der Kalibrierungsmatrix

Kreis	Radius r [mm]
Mittelpunkt	0,500
Innerer weißer	4,142
Innerer schwarzer	5,142
Äußerer weißer	8,284
Äußerer schwarzer	9,784

C. Blickbewegungsmessung

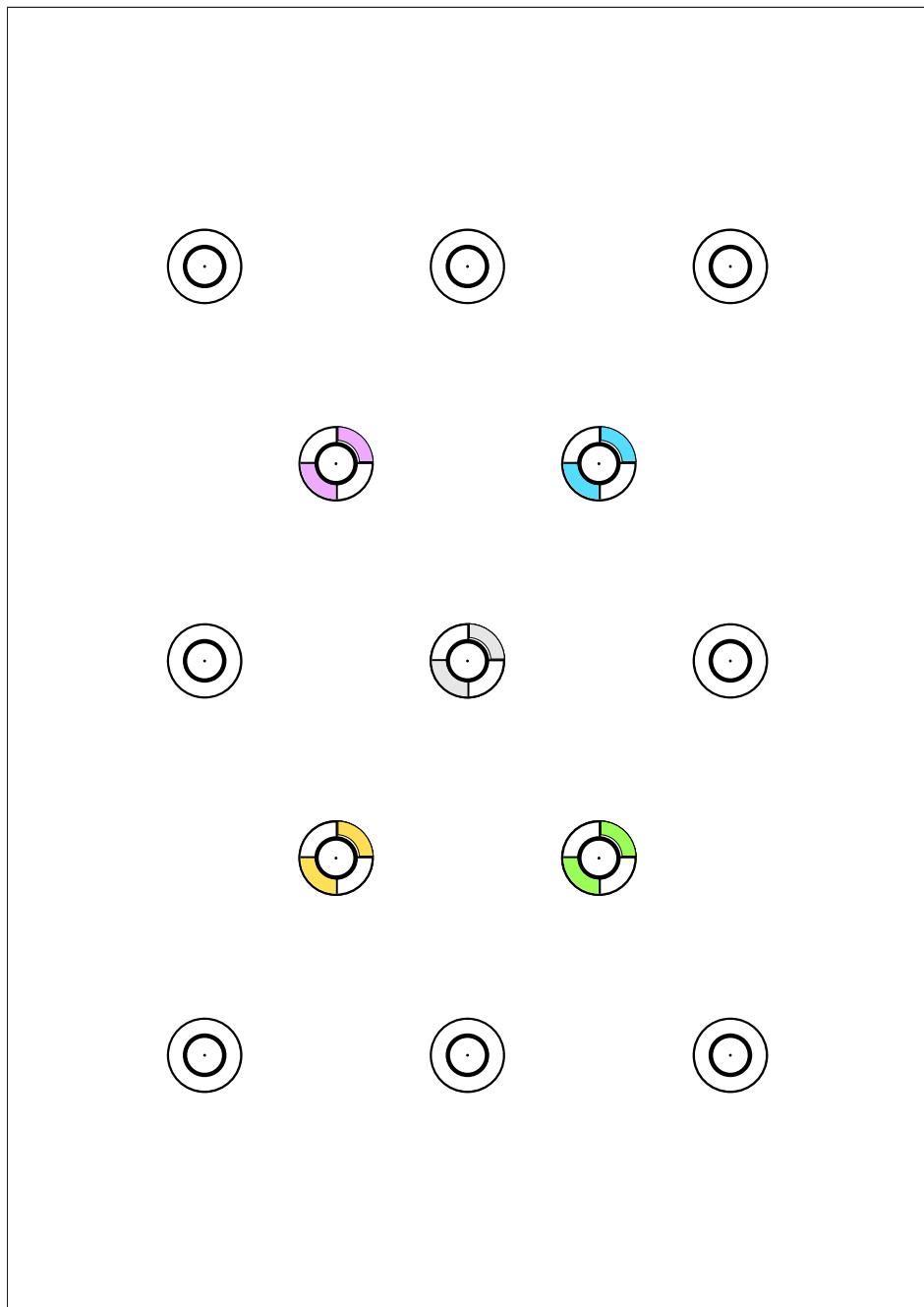


Abbildung C.1.: Kalibriermatrix für DIN A4-Ausdruck skaliert auf 60 %

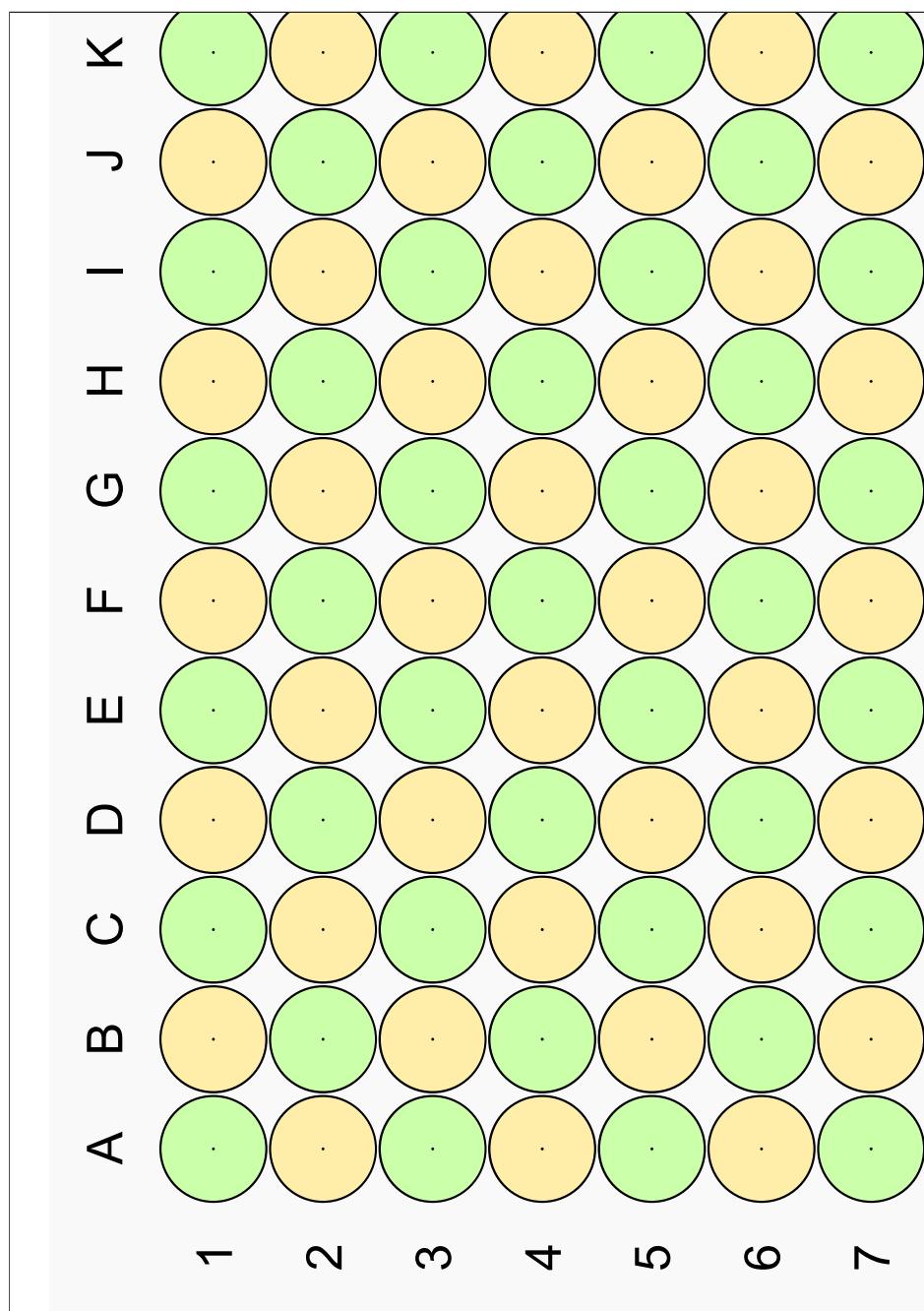


Abbildung C.2.: Prüfmatrix für DIN A4-Ausdruck skaliert auf 60 %

D. Daten der Tangram-Studie

\bar{x} gibt den arithmetischen Mittelwert, \tilde{x} den Median und s die Standardabweichung der entsprechenden Messgröße für die jeweilige Stichprobe bzw. Gruppe (Spalte *Mittel* in Tabelle D.2 auf Seite 147) an.

D. Daten der Tangram-Studie

Tabelle D.1.: Alterszusammensetzung und Werte des HAWIE Mosaik-Tests

	Gruppe	Alter	HAWIE	
			Novize	Experte
VOICE	N	18	18	18
	\bar{x}	26,72	42,56	42,28
	\tilde{x}	24,50	42,50	42,00
	s	6,22	6,77	6,72
	Min	20	26	26
	Max	45	51	51
	Σ	481	766	761
MOUSE	N	18	18	18
	\bar{x}	25,50	43,67	44,78
	\tilde{x}	25,50	46,00	46,00
	s	2,64	6,52	6,51
	Min	21	30	30
	Max	32	51	51
	Σ	459	786	806
SVS	N	18	18	18
	\bar{x}	23,78	43,72	44,00
	\tilde{x}	24,00	43,50	43,50
	s	3,42	5,14	4,16
	Min	19	31	37
	Max	30	51	51
	Σ	428	787	792
Gesamt	N	54	54	54
	\bar{x}	25,33	43,31	43,69
	\tilde{x}	25,00	44,00	44,00
	s	4,46	6,09	5,90
	Min	19	26	26
	Max	45	51	51
	Σ	1368	2339	2359

Tabelle D.2.: Mittlere Lösungszeiten (LZ) in [s]

Gruppe	Mittlere Lösungszeiten (LZ) in [s]								
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	Trial 6	Trial 7	Trial 8	Mittel
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
\overline{LZ}	94,61	83,72	70,83	71,50	73,06	82,28	48,67	64,94	73,70
\widetilde{LZ}	89,00	82,50	68,00	67,00	68,00	68,00	45,00	65,00	73,88
s	28,50	18,15	27,11	31,15	27,92	27,87	18,92	19,12	16,79
VOICE	Min	49	54	32	35	38	49	25	43,25
	Max	172	117	125	181	142	144	100	100,25
	Σ	1703	1507	1275	1287	1315	1481	876	1326,63
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
\overline{LZ}	104,11	92,33	66,61	58,06	67,94	65,56	40,17	60,00	69,35
\widetilde{LZ}	96,50	78,00	67,50	56,00	64,00	59,00	37,00	58,00	66,94
s	40,08	56,40	21,36	12,27	27,41	23,08	15,96	16,41	20,22
MOUSE	Min	54	37	31	32	30	37	22	37
	Max	209	248	109	81	137	136	87	98
	Σ	1874	1662	1199	1045	1223	1180	723	1080
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
\overline{LZ}	98,83	92,11	73,00	65,00	78,56	80,33	49,61	71,17	76,08
\widetilde{LZ}	92,50	86,50	66,00	64,00	73,00	72,50	40,50	74,50	78,00
s	29,82	28,57	33,96	15,71	33,78	25,01	39,33	21,70	15,12
SAS	Min	60	53	40	41	42	56	25	44
	Max	164	141	166	98	193	152	200	117
	Σ	1779	1658	1314	1170	1414	1446	893	1281
N	54	54	54	54	54	54	54	54	54
\overline{LZ}	99,19	89,39	70,15	64,85	73,19	76,06	46,15	65,37	73,04
\widetilde{LZ}	93,50	82,50	67,00	62,00	69,00	67,50	40,00	62,00	73,69
s	32,81	37,47	27,55	21,67	29,60	26,03	26,67	19,39	17,40
Gesamt	Min	49	37	31	32	30	37	19	25
	Max	209	248	166	181	193	152	200	117
	Σ	5356	4827	3788	3502	3952	4107	2492	3530
									3944,25

E. Daten zum post-experimentellen Fragebogen

\bar{x} gibt den arithmetischen Mittelwert, \tilde{x} den Median und s die Standardabweichung der entsprechenden Messgröße für die jeweilige Stichprobe an.

E.1. Wahrnehmung der Aufgabenschwierigkeit

E. Daten zum post-experimentellen Fragebogen

Tabelle E.1.: Daten zur subjektiven Wahrnehmung der Schwierigkeit der Tangram-Aufgaben bezogen auf eine Skala von „sehr leicht“ (1) bis „sehr schwer“ (5).

Gruppe		Aufgabe (Trial)							
		Nov-T1	Nov-T2	Nov-T3	Nov-T4	Nov-T5	Nov-T6	Nov-T7	Nov-T8
VOICE	N	18	18	18	18	18	18	18	18
	\bar{x}	3,06	3,17	2,50	3,50	3,33	3,06	2,33	3,39
	\tilde{x}	3	3	2,5	3	3	3	2	3
	s	0,73	0,71	0,86	0,92	0,97	0,64	0,77	0,98
	Min	2	2	1	2	1	2	1	2
	Max	4	4	4	5	5	4	4	5
	Σ	55	57	45	63	60	55	42	61
MOUSE	N	18	18	18	18	18	18	18	18
	\bar{x}	3,06	2,94	3,33	3,33	3,67	2,94	2,39	3,33
	\tilde{x}	3	3	3,5	3	4	3	2	3
	s	0,87	0,80	1,09	1,03	0,91	0,73	1,15	1,03
	Min	2	2	1	2	2	2	1	2
	Max	5	4	5	5	5	4	5	5
	Σ	55	53	60	60	66	53	43	60
SVS	N	18	18	18	18	18	18	18	18
	\bar{x}	3,22	3,00	2,78	3,39	3,50	3,39	2,33	3,06
	\tilde{x}	3	3	3	3,5	3,5	3,5	2	3
	s	1,06	0,77	1,35	0,70	0,86	0,70	1,28	0,87
	Min	2	2	1	2	2	2	1	1
	Max	5	4	5	4	5	4	5	5
	Σ	58	54	50	61	63	61	42	55
Gesamt	N	54	54	54	54	54	54	54	54
	\bar{x}	3,11	3,04	2,87	3,41	3,50	3,13	2,35	3,26
	\tilde{x}	3	3	3	3	4	3	2	3
	s	0,88	0,75	1,15	0,88	0,91	0,70	1,07	0,96
	Min	2	2	1	2	1	2	1	1
	Max	5	4	5	5	5	4	5	5
	Σ	168	164	155	184	189	169	127	176

E.2. Allgemeine Items des Novizen

Tabelle E.2.: Items zur subjektiven Wahrnehmung des SVS für alle Novizen.

- Nov-A1 Das Gewicht des Shared-Vision Systems stellt beim Tragen eine Belastung dar.
 - Nov-A2 Das Tragen des Shared-Vision Systems drückt unangenehm am Kopf.
 - Nov-A3 Das Shared-Vision System schränkt mich beim Arbeiten ein.
 - Nov-A4 Ich hätte die Tangram-Aufgaben größtenteils auch ohne Hilfe lösen können.
 - Nov-A5 Ich habe im Lösungsprozess aktiv mitgedacht.
 - Nov-A6 Ich habe die Anweisungen lediglich ausgeführt ohne zu überprüfen, ob sie zum Ziel führen.
-

E. Daten zum post-experimentellen Fragebogen

Tabelle E.3.: Daten der Novizen zur subjektiven Wahrnehmung des SVS bezogen auf eine Likert-Skala von „Trifft gar nicht zu“ (1) bis „Trifft voll zu“ (5).

Gruppe	Item					
	Nov-A1	Nov-A2	Nov-A3	Nov-A4	Nov-A5	Nov-A6
VOICE	N	18	18	18	18	18
	\bar{x}	2,44	2,28	2,39	2,83	3,00
	\tilde{x}	2	2,5	2,5	3	3,5
	s	0,86	0,96	0,98	1,25	1,09
	Min	1	1	1	1	1
	Max	4	4	4	5	5
	Σ	44	41	43	51	54
MOUSE	N	18	18	18	18	18
	\bar{x}	3,11	2,78	3,11	2,50	2,67
	\tilde{x}	3	3	3	2,5	2,5
	s	1,02	1,17	0,96	0,99	1,09
	Min	1	1	2	1	1
	Max	5	5	5	4	5
	Σ	56	50	56	45	48
SVS	N	18	18	18	18	18
	\bar{x}	3,00	2,94	2,56	2,78	3,50
	\tilde{x}	3	3	2	3	3,5
	s	1,09	1,39	1,15	1,06	1,15
	Min	2	1	1	1	1
	Max	5	5	5	5	5
	Σ	54	53	46	50	63
Gesamt	N	54	54	54	54	54
	\bar{x}	2,85	2,67	2,69	2,70	3,06
	\tilde{x}	3	3	3	3	3
	s	1,02	1,20	1,06	1,09	1,14
	Min	1	1	1	1	1
	Max	5	5	5	5	5
	Σ	154	144	145	146	165
167						

E.3. Spezifische Items des Novizen

Tabelle E.4.: Items zur subjektiven Wahrnehmung des SVS für Novizen der VOICE-Gruppe.

-
- | | |
|--------|--|
| Nov-V1 | Es war schwierig, den sprachlichen Anweisungen des Experten zu folgen. |
| Nov-V2 | Ich wusste sofort auf welches Objekt sich die sprachlichen Anweisungen des Experten bezogen. |
-

Tabelle E.5.: Daten der VOICE-Novizen zur subjektiven Wahrnehmung bezogen auf eine Likert-Skala von „Trifft gar nicht zu“ (1) bis „Trifft voll zu“ (5).

	Gruppe	Item	
		Nov-V1	Nov-V2
VOICE	N	18	18
	\bar{x}	1,89	3,83
	\tilde{x}	2	5
	s	0,68	1,54
	Min	1	1
	Max	3	5
	Σ	34	69

E. Daten zum post-experimentellen Fragebogen

Tabelle E.6.: Items zur subjektiven Wahrnehmung des SVS für Novizen der MOUSE-Gruppe.

Nov-M1	Es war schwierig, den Mausbewegungen des Experten zu folgen.
Nov-M2	Es war anstrengend, den sprachlichen Anweisungen des Experten zu folgen.
Nov-M3	Ich wusste sofort auf welches Objekt sich die Anweisungen des Experten bezogen.
Nov-M4	Ich hatte das Gefühl, dass der Experte den Mauszeiger nicht genutzt hat um mir zu zeigen, welches Objekt ich nehmen soll.
Nov-M5	Ich habe eigentlich nicht auf den Mauszeiger des Experten geachtet.

Tabelle E.7.: Daten der MOUSE-Novizen zur subjektiven Wahrnehmung des SVS bezogen auf eine Likert-Skala von „Trifft gar nicht zu“ (1) bis „Trifft voll zu“ (5).

Gruppe	Item				
	Nov-M1	Nov-M2	Nov-M3	Nov-M4	Nov-M5
MOUSE	N	18	18	18	18
	\bar{x}	1,72	1,67	4,06	2,11
	\tilde{x}	1	2	4	2,5
	s	1,07	0,69	1,06	1,08
	Min	1	1	1	1
	Max	5	3	5	4
	Σ	31	30	73	38
					36

E.3. Spezifische Items des Novizen

Tabelle E.8.: Items zur subjektiven Wahrnehmung des SVS für Novizen der SVS-Gruppe.

-
- | | |
|--------|---|
| Nov-S1 | Es war schwierig, den Blickbewegungen des Experten zu folgen. |
| Nov-S2 | Ich wusste sofort auf welches Objekt sich die Anweisungen des Experten bezogen. |
| Nov-S3 | Es war anstrengend, den sprachlichen Anweisungen des Experten zu folgen. |
| Nov-S4 | Ich hatte das Gefühl, dass der Experte seinen Blick nicht genutzt hat um mir zu zeigen, welches Objekt ich nehmen soll. |
| Nov-S5 | Ich habe eigentlich nicht auf den Blickpunkt des Experten geachtet. |
| Nov-S6 | Ich hatte das Gefühl, dass der Experte auf meinen Blick geachtet hat um zu wissen, welche Objekte ich angucke. |
-

Tabelle E.9.: Daten der SVS-Novizen zur subjektiven Wahrnehmung des SVS bezogen auf eine Likert-Skala von „Trifft gar nicht zu“ (1) bis „Trifft voll zu“ (5).

Gruppe	Item					
	Nov-S1	Nov-S2	Nov-S3	Nov-S4	Nov-S5	Nov-S6
SVS	N	18	18	18	18	18
	\bar{x}	1,78	4,61	1,83	2,33	2,44
	\tilde{x}	2	5	2	2	3,5
	s	0,73	0,61	0,99	1,03	0,98
	Min	1	3	1	1	1
	Max	3	5	5	5	5
	Σ	32	83	33	42	44
						60

E.4. Allgemeine Items des Experten

Tabelle E.10.: Items zur subjektiven Wahrnehmung des SVS für alle Experten.

- | | |
|--------|--|
| Exp-A1 | Die Bildübertragung war sehr verwackelt und erschwerte das Arbeiten. |
| Exp-A2 | Der Novize konnte meinen Angaben gut folgen. |
| Exp-A3 | Der Novize hatte Schwierigkeiten, meine Anweisungen inhaltlich zu verstehen. |
| Exp-A4 | Ich konnte gut verstehen, worauf sich Rückfragen des Novizen bezogen. |
| Exp-A5 | Ich hatte den Eindruck, der Novize wusste sofort auf welches Bauteil sich meine Anweisungen bezogen. |
-

E.4. Allgemeine Items des Experten

Tabelle E.11.: Daten der Experten zur subjektiven Wahrnehmung des SVS bezogen auf eine Likert-Skala von „Trifft gar nicht zu“ (1) bis „Trifft voll zu“ (5).

	Gruppe	Item				
		Exp-A1	Exp-A2	Exp-A3	Exp-A4	Exp-A5
VOICE	N	18	18	18	18	18
	\bar{x}	2,28	3,89	2,28	3,67	4,39
	\tilde{x}	2	4	2	4	5
	s	1,18	0,90	1,02	1,24	0,92
	Min	1	2	1	1	2
	Max	4	5	4	5	5
	Σ	41	70	41	66	79
MOUSE	N	18	18	18	18	18
	\bar{x}	1,89	4,17	2,00	3,50	4,17
	\tilde{x}	2	4	2	3,5	4
	s	0,32	0,71	0,59	1,04	0,99
	Min	1	2	1	1	1
	Max	2	5	3	5	5
	Σ	34	75	36	63	75
SVS	N	18	18	18	18	18
	\bar{x}	2,06	4,44	1,83	3,83	4,28
	\tilde{x}	2	5	2	4	4,5
	s	0,94	0,78	0,86	0,92	0,90
	Min	1	2	1	2	2
	Max	4	5	4	5	5
	Σ	37	80	33	69	77
Gesamt	N	54	54	54	54	54
	\bar{x}	2,07	4,17	2,04	3,67	4,28
	\tilde{x}	2	4	2	4	4,5
	s	0,89	0,82	0,85	1,06	0,92
	Min	1	2	1	1	1
	Max	4	5	4	5	5
	Σ	112	225	110	198	231

E. Daten zum post-experimentellen Fragebogen

E.5. Spezifische Items des Experten

Tabelle E.12.: Items zur subjektiven Wahrnehmung des SVS für Experten der VOICE-Gruppe.

-
- Exp-V1 Novizen mündliche Instruktion zu übermitteln war, hat gut funktioniert.
Exp-V2 Ein Eingabegerät, wie z.B. eine Maus, hätte mir das Arbeiten mit dem Novizen erleichtert.
-

Tabelle E.13.: Daten der VOICE-Expertinnen zur subjektiven Wahrnehmung des SVS bezogen auf eine Likert-Skala von „Trifft gar nicht zu“ (1) bis „Trifft voll zu“ (5).

Gruppe	Item		
	Exp-V1	Exp-V2	
VOICE	N	18	15
	\bar{x}	4,22	3,13
	\tilde{x}	4	4
	s	0,81	1,51
	Min	3	1
	Max	5	5
	Σ	76	47

E.5. Spezifische Items des Experten

Tabelle E.14.: Items zur subjektiven Wahrnehmung des SVS für Experten der MOUSE-Gruppe.

Exp-M1 Dem Novizen Instruktionen mit der Maus zu übermitteln, hat gut funktioniert.

Exp-M2 Ich fand es intuitiv, mit meiner Mouse auf Puzzleteile zu zeigen.

Tabelle E.15.: Daten der MOUSE-Experten zur subjektiven Wahrnehmung des SVS bezogen auf eine Likert-Skala von „Trifft gar nicht zu“ (1) bis „Trifft voll zu“ (5).

	Gruppe	Item	
		Exp-M1	Exp-M2
MOUSE	N	18	18
	\bar{x}	4,22	3,94
	\tilde{x}	4	5
	s	1,00	1,43
	Min	1	1
	Max	5	5
	Σ	76	71

E. Daten zum post-experimentellen Fragebogen

Tabelle E.16.: Items zur subjektiven Wahrnehmung des SVS für Experten der SVS-Gruppe.

-
- | | |
|--------|---|
| Exp-S1 | Dem Novizen Instruktion mit den Blickbewegungen zu übermitteln, hat gut funktioniert. |
| Exp-S2 | Die im Videobild dargestellte Blickposition des Novizen war hilfreich. |
| Exp-S3 | Ich habe auf die Blickposition des Novizen kaum geachtet. |
| Exp-S4 | Ich fand es intuitiv, mit meinen Blick auf Puzzleteile zu zeigen. |
-

Tabelle E.17.: Daten der SVS-Expertinnen zur subjektiven Wahrnehmung des SVS bezogen auf eine Likert-Skala von „Trifft gar nicht zu“ (1) bis „Trifft voll zu“ (5).

Gruppe	Item			
	Exp-S1	Exp-S2	Exp-S3	Exp-S4
SVS	N	18	18	18
	\bar{x}	4,06	3,28	2,89
	\tilde{x}	4	3,5	3
	s	0,80	1,07	1,08
	Min	2	1	1
	Max	5	5	5
	Σ	73	59	52
				62

F. Versuchsinstruktionen

1

Instruktion

Im folgenden Experiment haben Sie die Aufgabe, 8 Tangram-Puzzles zu lösen. Tangram ist ein altes chinesisches Legespiel, bei dem aus geometrischen Grundformen eine Figur zu legen ist.

Das Experiment ist in drei Teile gegliedert.

Zuerst bearbeiten Sie einen Fragebogen zu allgemeinen Angaben und anschließend lösen Sie eine Aufgabe, die Ihr räumliches und geometrisches Vorstellungsvermögen misst.

Im zweiten Teil des Experiments bekommen Sie nacheinander Aufgaben in Form von Silhouetten vorgegeben und sollen diese mit den Tangram-Puzzleteilen nachbauen. Es sind immer alle Puzzleteile in einem Bild verbaut. Es werden weder zusätzliche Teile benötigt, noch bleiben Teile übrig. Die Puzzleteile sind dabei mit Magneten versehen, damit sie an der Tafel haften. Achten Sie beim Puzzeln darauf, die Puzzleteile nur zu verschieben und nicht von der Tafel abzunehmen, da sie sonst herunterfallen könnten. **Versuchen Sie die Aufgaben so schnell wie möglich zu lösen.** Während des Puzzelns sind Sie mit einem Experten verbunden, der die Lösung des Puzzles kennt. Somit kann Ihnen der Experte durch Hinweise im Lösungsprozess behilflich sein. Anschließend beantworten Sie einen Fragebogen über Ihre Eindrücke zum zweiten Versuchsteil.

Im dritten Teil des Versuchs sind Sie der Experte, der einem neuen Probanden beim Lösen der Puzzleaufgaben behilflich ist. Abschließend beantworten Sie einen Fragebogen über ihre Eindrücke zum dritten Versuchsteil.

Die Gesamtdauer aller Teilversuche wird 2 Stunden nicht übersteigen. Bitte schalten Sie für diesen Zeitraum **jetzt** ihr Mobiltelefon aus!

Abbildung F.1.: Versuchsinstruktion Seite 1

F. Versuchsinstruktionen

2

Einverständniserklärung

Mit meiner folgenden Unterschrift bestätige ich, dass ich über den Sinn und die Durchführung der Untersuchung informiert wurde und damit einverstanden bin, an dem Versuch teilzunehmen. Ich kann jeder Zeit den Versuch ohne Angabe von Gründen abbrechen. Ich gebe hiermit mein Einverständnis zur elektronischen Speicherung, Videoaufzeichnung und der anonymisierten Weiterverarbeitung meiner Daten. Nachdem ich an allen Teilversuchen teilgenommen habe, werde ich mit 5 EUR je angebrochene halbe Stunde für meinen Aufwand entschädigt.

Name

Vorname

Ort, Datum

Unterschrift

Die folgende Angabe ist freiwillig:

Hiermit erkläre ich mich mit der Nutzung von Bildmaterial, das meine Person abbildet, durch die TU-Berlin einverstanden. Das Material darf zur Projektdokumentation, für wissenschaftliche Veröffentlichungen und zur Präsentation auf Konferenzen verwendet werden.

Ort, Datum

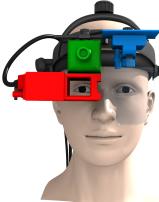
Unterschrift

Abbildung F.2.: Versuchsinstrukktion Seite 2

G. Systembeschreibungen

Voice 1

Anleitung „Shared-Vision-System“
(Voice Bedingung)



Shared-Vision-System

Das Shared-Vision-System ist dafür konzipiert, dass ein Novize und ein Experte besser bei der gemeinsamen Lösung eines Problems kommunizieren können. Wenn z.B. an einer komplexen Maschine ein Fehler auftritt, den ein Techniker vor Ort (Novize) nicht lösen kann, braucht er unter Umständen die Hilfe eines Experten der Firma des Herstellers.

Damit dieser Experte den Novizen anleiten kann, ist bei vielen anspruchsvoller Problemen eine reine Telefonverbindung nicht ausreichend.

Das Shared-Vision-System überträgt dazu Informationen auf verschiedene Arten.

Bitte die folgenden Erklärungen lesen und parallel dazu das Video zum Verständnis der Zusammenhänge betrachten.

Die im Bild sichtbar eingeblendeten grafischen Elemente (z.B. die roten Kreuze oder der gestrichelte Rahmen) sind in diesem Zusammenhang nicht von Bedeutung, da sie für eine andere Versuchsbedingung gelten.

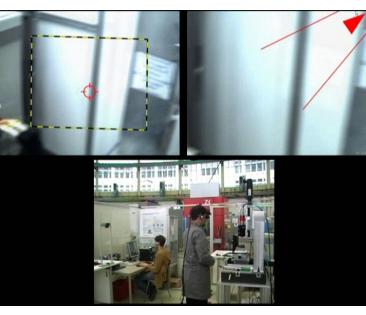


Abbildung G.1.: Systembeschreibung VOICE Seite 1

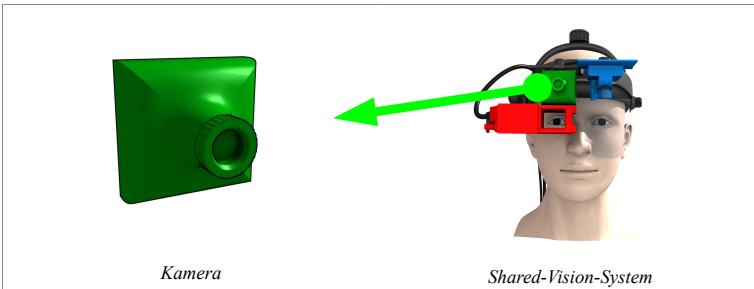
G. Systembeschreibungen

Voice

2

Der Novize (im Video: Rechts, an der Maschine arbeitend) trägt ein Kopfband an dem ein Head-Mounted-Display (HMD), eine Kamera und ein Eyetracker befestigt sind. Das HMD und der Eyetracker kommen in einer anderen Versuchsbedingung zum Einsatz und sind ebenfalls nicht von Bedeutung für diesen Versuch.

Die Kamera filmt den Arbeitsbereich des Novizen und überträgt dieses Bild auf den Monitor des Experten (im Video: links oben). Hier kann der Experte sehen, woran der Novize gerade arbeitet, bzw. was dieser gerade tut.

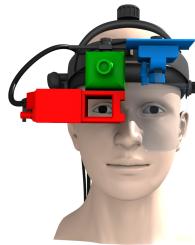


Damit der Novize mit dem Experten verbal kommunizieren kann, tragen sowohl der Novize als auch der Experte ein Headset.

Abbildung G.2.: Systembeschreibung VOICE Seite 2

Anleitung „Shared-Vision-System“

(*Mouse Bedingung*)



Shared-Vision-System

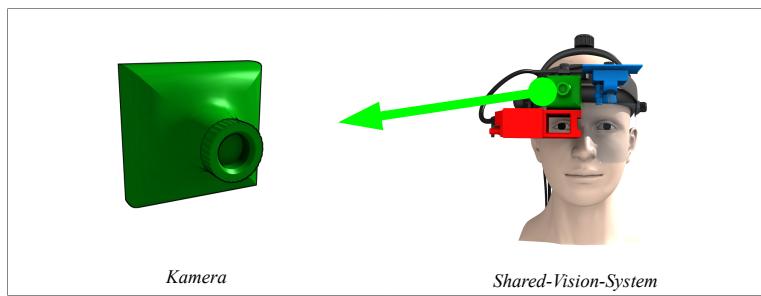
Das Shared-Vision-System ist dafür konzipiert, dass ein Novize und ein Experte besser bei der gemeinsamen Lösung eines Problems kommunizieren können. Wenn z.B. an einer komplexen Maschine ein Fehler auftritt, den ein Techniker vor Ort (Novize) nicht lösen kann, braucht er unter Umständen die Hilfe eines Experten der Firma des Herstellers.

Damit dieser Experte den Novizen anleiten kann, ist bei vielen anspruchsvolleren Problemen eine reine Telefonverbindung nicht ausreichend.

Das Shared-Vision-System überträgt dazu Informationen auf verschiedene Arten.

Bitte die folgenden Erklärungen lesen und parallel dazu das Video zum Verständnis der Zusammenhänge betrachten.

Der Novize (im Video: rechts, an der Maschine arbeitend) trägt ein Kopfband an dem ein Head-Mounted-Display (HMD), eine Kamera und ein Eyetracker befestigt sind. Die Kamera filmt den Arbeitsbereich des Novizen und überträgt dieses Bild auf den Monitor des Experten (im Video: links oben). Hier kann der Experte sehen, woran der Novize gerade arbeitet, bzw. was dieser gerade tut.



Shared-Vision-System

Abbildung G.3.: Systembeschreibung MOUSE Seite 1

G. Systembeschreibungen

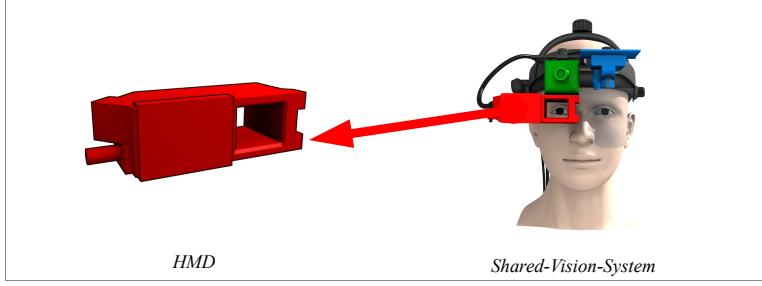
Mouse	2
<p>Zugleich ist an dem Rechner des Experten eine Maus angeschlossen. Mit dieser Maus kann der Experte dem Novizen Informationen übermitteln, da die Bewegungen des Mauszeigers dem Novizen, durch ein rotes Kreuz dargestellt, direkt in dessen Head-Mounted-Display (HMD) eingeblendet werden.</p> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"><p><i>HMD</i> <i>Shared-Vision-System</i></p></div> <p>Durch das HMD (im Video: oberes rechtes Bild) sieht der Novize ein transparentes Display, auf dem ein roter Kreis dargestellt wird. Dieser Kreis zeigt also den Ort an, den der Experte in der Umgebung des Novizen mit der Maus zeigt. So kann der Experte dem Novizen Objekte zeigen, indem er den Mauszeiger darauf bewegt.</p> <p>Zu beachten ist hierbei, dass der durch das HMD sichtbare Bereich kleiner ist, als der von der Kamera gefilmte Bereich. Der Teilbereich des Kamerabildes, den der Novize im HMD sehen kann wird auf dem Monitor des Experten durch eine gelb-schwarz gestrichelte Linie gekennzeichnet (im Video: oberes linkes Bild). Dabei muss sowohl der Experte als auch der Novize beachten, dass das Objekt, welches der Experte mit der Maus zeigen will, innerhalb dieses Bereiches liegt, da er sonst nicht im HMD dargestellt werden kann.</p> <p>Wenn der Mauszeiger des Experten außerhalb dieses Bereiches verweilt, erscheint ein roter Pfeil im HMD des Novizen, der in dessen Richtung zeigt. So kann der Novize sehen wohin er den Kopf drehen muss, um den Ort im HMD zu sehen, den der Experte gerade markiert. Zugleich kann diese Funktion dazu dienen dem Novizen zu zeigen, in welcher Richtung das nächste Objekt liegt.</p> <p>Damit der Novize mit dem Experten verbal kommunizieren kann, tragen sowohl der Novize als auch der Experte ein Headset.</p>	

Abbildung G.4.: Systembeschreibung MOUSE Seite 2

Mouse

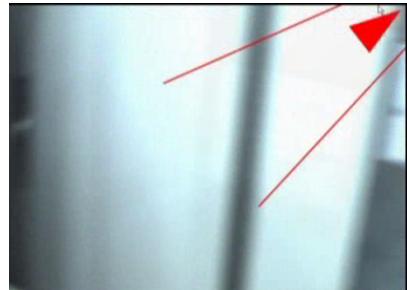
3

Verständnisfragen
(Zutreffendes bitte ankreuzen)

1. Was wird in dem Head-Mounted-Display dargestellt?

der Blick des Experten die Blicke beider Personen der Mauszeiger des Experten

2.



HMD-Perspektive

Der dargestellte Pfeil verweist auf den

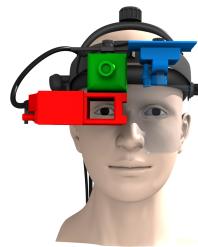
Blickort des Novizen den Mauszeiger des Experten

Als nächstes wird eine kurze Übung für das Verständnis des Systems durchgeführt, danach fangen die Versuchsdurchgänge an.

Abbildung G.5.: Systembeschreibung MOUSE Seite 3

SVS 1

Anleitung „Shared-Vision-System“
(SVS Bedingung)



Shared-Vision-System

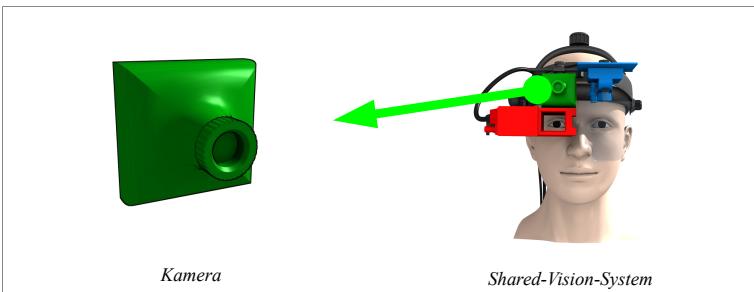
Das Shared-Vision-System ist dafür konzipiert, dass ein Novize und ein Experte besser bei der gemeinsamen Lösung eines Problems kommunizieren können. Wenn z.B. an einer komplexen Maschine ein Fehler auftritt, den ein Techniker vor Ort (Novize) nicht lösen kann, braucht er unter Umständen die Hilfe eines Experten der Firma des Herstellers.

Damit dieser Experte den Novizen anleiten kann, ist bei vielen anspruchsvolleren Problemen eine reine Telefonverbindung nicht ausreichend.

Das Shared-Vision-System überträgt dazu Informationen auf verschiedene Arten.

Bitte die folgenden Erklärungen lesen und parallel dazu das Video zum Verständnis der Zusammenhänge betrachten.

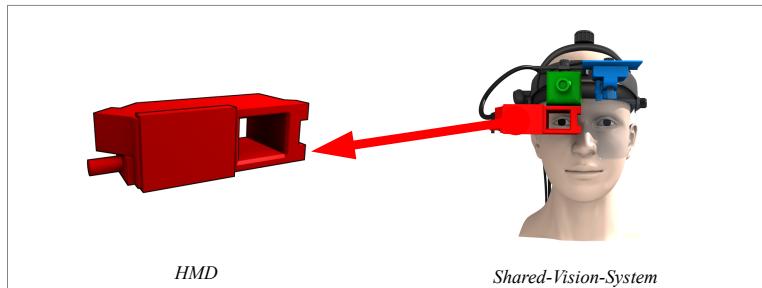
Der Novize (im Video: rechts, an der Maschine arbeitend) trägt ein Kopfband an dem ein Head-Mounted-Display (HMD), eine Kamera und ein Eyetracker befestigt sind. Die Kamera filmt den Arbeitsbereich des Novizen und überträgt dieses Bild auf den Monitor des Experten (im Video: links oben). Hier kann der Experte sehen, woran der Novize gerade arbeitet, bzw. was dieser gerade tut.



Kamera Shared-Vision-System

Abbildung G.6.: Systembeschreibung SVS Seite 1

Zugleich ist unter dem Monitor des Experten ein Eyetracker angebracht, der die Blickbewegungen des Experten misst. Es wird erfasst, wo der Experte auf seinem Monitor gerade hinschaut. Diese Information wird dem Novizen direkt in dessen HMD eingeblendet.



Durch das HMD (im Video: oberes rechtes Bild) sieht der Novize ein transparentes Display, auf dem ein roter Kreis dargestellt wird. Dieser Kreis zeigt den Ort an, den der Experte in der Umgebung des Novizien anguckt. So kann der Experte dem Novizen Objekte zeigen, indem er sie mit seinem Blick fixiert.

Zu beachten ist hierbei, dass der durch das HMD sichtbare Bereich kleiner ist, als der von der Kamera gefilmte Bereich. Der Teilbereich des Kamerabildes, den der Novize im HMD sehen kann wird auf dem Monitor des Experten durch eine gelb-schwarz gestrichelte Linie gekennzeichnet (im Video: oberes linkes Bild). Dabei muss sowohl der Experte als auch der Novize beachten, dass das Objekt, welches der Experte mit dem Blick fixieren will, innerhalb dieses Bereiches liegt, da der Blickpunkt sonst nicht im HMD dargestellt werden kann.

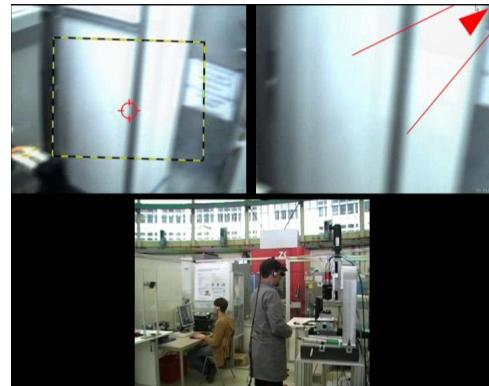
Wenn der Blick des Experten außerhalb dieses Bereiches verweilt, erscheint ein roter Pfeil im HMD des Novizen, der in die Richtung des Blickes zeigt. So kann der Novize sehen wohin er den Kopf drehen muss, um den Ort im HMD zu sehen, den der Experte gerade betrachtet. Zugleich kann diese Funktion dazu dienen dem Novizen zu zeigen, in welcher Richtung das nächste Objekt liegt.

Abbildung G.7.: Systembeschreibung SVS Seite 2

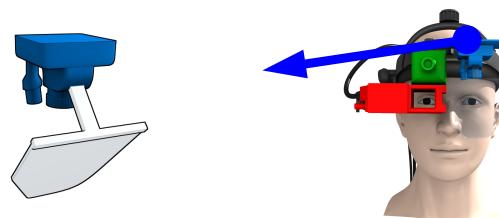
G. Systembeschreibungen

SVS

3



Außerdem befindet sich am Shared-Vision-System ein weiterer Eyetracker, welcher aus einer kleinen Infrarotkamera und einem Spiegel vor dem Auge des Novizen besteht.



Durch diesen Eyetracker wird gemessen, welche Objekte der Novize in seiner Umgebung anguckt. Diese Information wird dann durch einen roten Kreis auf dem Monitor des Experten dargestellt (im Video: Links oben). Dadurch sieht der Experte auf seinem Bildschirm, wo der Novize gerade hinguckt.

Der eigene Blick ist dabei für beide Akteure nicht sichtbar, da Untersuchungen in der Vergangenheit gezeigt haben, dass es unangenehm und irritierend ist, den eigenen Blickpunkt zu sehen.

Damit der Novize mit dem Experten verbal kommunizieren kann, tragen sowohl der Novize als auch der Experte ein Headset.

Abbildung G.8.: Systembeschreibung SVS Seite 3

Verständnisfragen
(Zutreffendes bitte ankreuzen)

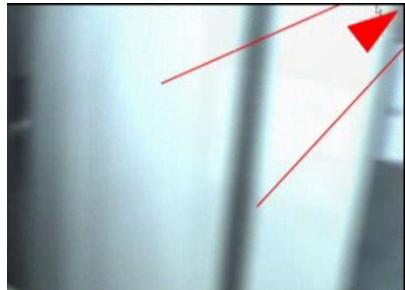
1. Was wird in dem Head-Mounted-Display dargestellt?

- der Blick des Experten die Blicke beider Personen der Mauszeiger des Experten

2. Welche Informationen bekommt der Experte auf seinem Monitor dargestellt?

- den Blick des Novizen die Blicke beider Personen den Blick des Experten

3.



HMD-Perspektive

Der dargestellte Pfeil verweist auf den

- Blickort des Novizen den Mauszeiger des Experten

Als nächstes wird eine kurze Übung für das Verständnis des Systems durchgeführt, danach fangen die Versuchsdurchgänge an.

Abbildung G.9.: Systembeschreibung SVS Seite 4

H. Übungsaufgabe

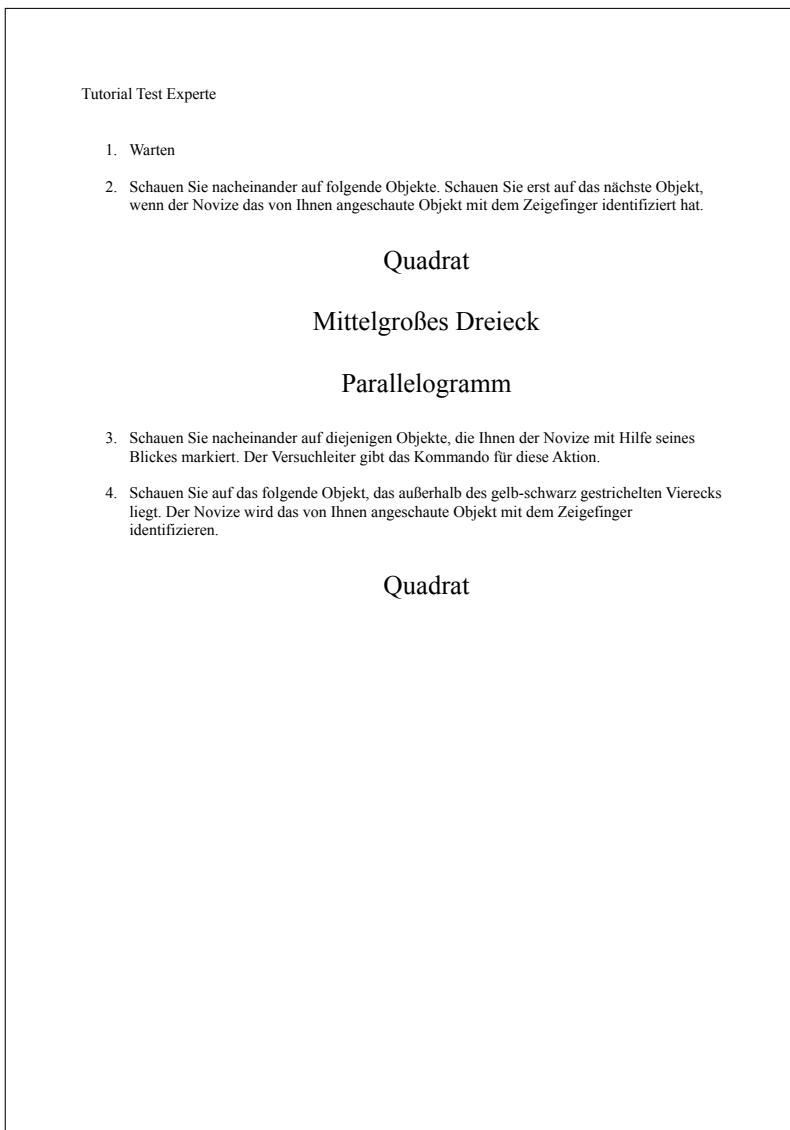


Abbildung H.1.: Übungsaufgabe

I. Ergebnis-Diagramme

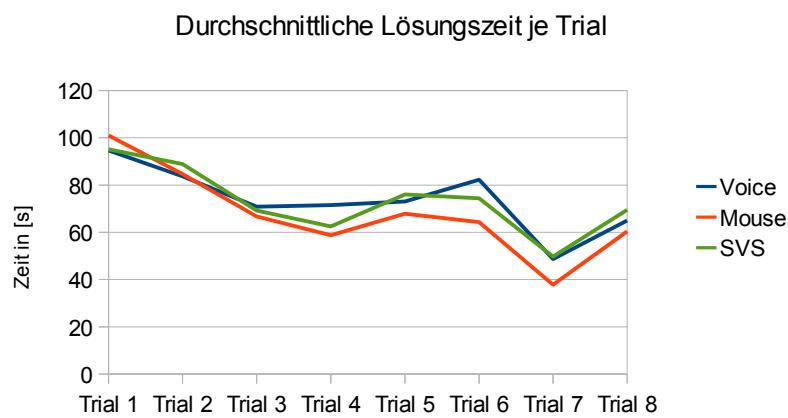


Abbildung I.1.: Mittlere Lösungszeiten aller VPn je Trial

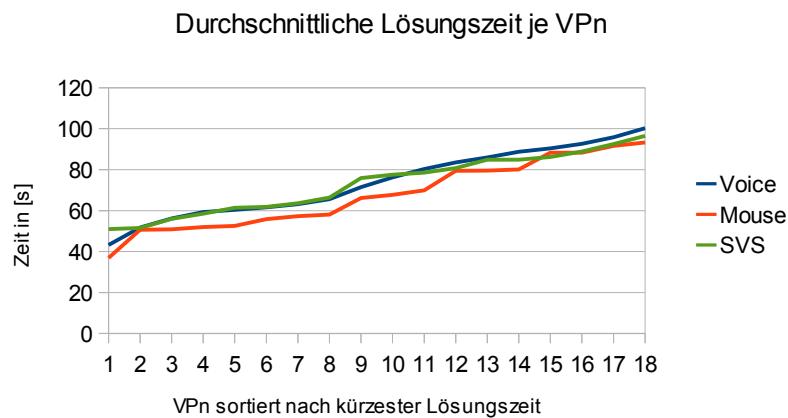


Abbildung I.2.: Mittlere Lösungszeiten aller Trials je VPn

