

Computer Augmented Reality in der technischen Instandhaltung

Evaluation eines alternativen CAR-basierten Informations- und Dokumentationssystems

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. phil.)

Dipl.-Psych. Nadine Liebs

Eingereicht bei der

Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam

2007

Gutachter: Prof. Dr. Heinz-Jürgen Rothe
Prof. a.D. Dr.-Ing. Peter F. Elzer

Tag der mündlichen Prüfung: 22. April 2008

Für meine Eltern

Dieses Werk ist unter einem Creative Commons Lizenzvertrag lizenziert:
Namensnennung - Keine kommerzielle Nutzung - Weitergabe unter gleichen
Bedingungen 2.0 Deutschland

Um die Lizenz anzusehen, gehen Sie bitte zu:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/de/>

Elektronisch veröffentlicht auf dem
Publikationsserver der Universität Potsdam:
<http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2008/1982/>

urn:nbn:de:kobv:517-opus-19826

[<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:517-opus-19826>]

Dank

Am Ende seiner Dissertation Danke zu sagen und sich dabei zurückzuerinnern, wie viel Unterstützung und Ermutigung man in dieser nicht immer einfachen Zeit erhalten hat, ist ein schöner und besonderer Moment...

Herrn Prof. Dr. Heinz-Jürgen Rothe gilt an erster Stelle mein herzlicher Dank. Durch ihn bot sich mir die Gelegenheit, mich mit einem sehr spannenden Themengebiet zu befassen. Unsere Zusammenarbeit und seine fachliche und wissenschaftliche Begleitung habe ich sehr geschätzt.

Ermöglicht und stets unterstützt hat diese Arbeit ebenso Herr Prof. Dr.-Ing. Peter F. Elzer. Auch Ihm möchte ich meinen Dank dafür aussprechen. Es war sehr spannend, mit Ihnen die ingenieurwissenschaftliche und psychologische Sichtweise austauschen und zusammenbringen zu können.

Am Institut für Prozess- und Produktionsleittechnik der TU Clausthal habe ich mit einem tollen Team in einer sehr angenehmen Atmosphäre zusammenarbeiten können, was viel Spaß gemacht hat und mich sehr gerne an die Zeit in Clausthal zurückdenken lässt:

Vesna Nikolić danke ich ganz herzlich für Ihre uneingeschränkte Unterstützung. Nicht nur in fachlicher Hinsicht war sie mir immer eine sehr gute Gesprächspartnerin. An ihren Erfahrungen teilzuhaben und immer wieder Ermutigung zu erfahren war eine große Hilfe.

Ein ganz besonderes Dankeschön möchte ich auch Christian Vetter aussprechen. Sein großes Engagement, seine Ideen und seine Tatkraft haben diese Arbeit in vielen Dingen vorangebracht. Sein Rat, auch über fachliche Dinge hinausgehend, war sehr wertvoll. Vielen Dank!

Ein stets offenes Ohr insbesondere für technische Probleme und v.a. deren Lösungen habe ich zudem bei Karl-Heinz Sauer mann gefunden. Marion Bollmann war bei allen organisatorischen Fragen immer eine hilfreiche Ansprechpartnerin und hat mir z.B. bei Literaturrecherchen vieles erleichtert.

Als Freunde haben Katrin, Dennis und Iris nicht selten die Tiefen, die wohl jede Doktorarbeit hat, tapfer miterlebt und sich mit mir über die Erfolge gefreut. Dankeschön, dass Ihr für mich da wart und diese Erfahrungen mit mir geteilt habt!

Nadine Liebs

Zusammenfassung

Die Technologie der Computer Erweiterten Realität (engl.: Computer Augmented Reality, CAR) ermöglicht die Anreicherung der Sinneswahrnehmung des Menschen mit computergenerierten Informationen. Diese situationsangepassten Informationen unterstützen den Benutzer bei der Ausführung seiner Handlungen in der Realität. Durch den Einsatz dieser Technologie im industriellen Bereich wird eine Steigerung der Qualität und Effizienz von Industrieprozessen erwartet.

Die vorliegende Arbeit untersucht den CAR-Einsatz zur Unterstützung von Tätigkeiten im Bereich technischer Instandhaltung. Am Institut für Prozess- und Produktionsleittechnik der Technischen Universität Clausthal wurde der Prototyp eines CAR-basierten Informations- und Dokumentationssystems für die Instandhaltung entwickelt. Er stellt eine alternative, praxistaugliche und kostengünstige Systemlösung dar, verglichen mit traditionellen CAR-Systemen, deren industrieller Einsatz durch technische, ergonomische und kostenbedingte Probleme nach wie vor erschwert wird.

In einer Reihe von Benutzertests wurde die Gebrauchstauglichkeit dieses Prototyps zur Unterstützung von Instandhaltungstätigkeiten durch die Bereitstellung CAR-basierter Bedienungsanleitungen evaluiert. Des Weiteren wurde der Einfluss der speziellen interaktiven Eigenschaften des virtuell erweiterten Umgebungsbildes dieses Prototyps auf die räumliche Orientierung des Benutzers in einer größeren, unbekannteren Umgebung untersucht.

Die Ergebnisse sprechen deutlich für die Eignung des Systems. Neben zeitlichen Einsparungen sind insbesondere reduzierte Fehlerzahlen und eine erleichterte räumliche Orientierung in größeren, komplex aufgebauten sowie in nicht oder wenig bekannten Umgebungen zu nennen. Durch die Möglichkeit, Objekte einer Anlage eindeutig zu identifizieren, wird letztlich die Arbeitssicherheit erhöht.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Fragestellung.....	1
1.2	Gliederung der Arbeit.....	2
2.	Instandhaltung	4
2.1.	Begriffsbestimmung und Bedeutung der Instandhaltung.....	4
2.2.	Gefahrenpotential bei der Instandhaltung.....	4
2.3.	Instandhaltungsdokumentation.....	6
3.	Computer Augmented Reality (CAR)	8
3.1.	Begriffsbestimmung.....	8
3.2.	Aufbau von CAR-Systemen.....	9
3.2.1.	Tracking-Systeme.....	9
3.2.2.	Tragbare Rechner.....	10
3.2.3.	Anzeigeegeräte.....	10
3.3.	Anwendungsbereiche.....	12
4.	CAR in der Instandhaltung	13
4.1.	Anforderungen an CAR-Systeme in der Instandhaltung.....	14
4.2.	Probleme beim Einsatz von CAR-Systemen in der Instandhaltung.....	15
4.2.1.	Technische und ergonomische Hardware-Probleme.....	15
4.2.2.	Probleme der Mensch-CAR-Interaktion.....	17
4.2.3.	Probleme des Informationsflusses.....	18
4.2.4.	Kosten.....	18
4.3.	Bisherige Ergebnisse zum Einsatz von CAR im industriellen Bereich.....	19
5.	CARIHBA als Prototyp eines monitorbasierten CAR-Systems	25
5.1.	Hardware- und Softwarekomponenten.....	25
5.2.	Benutzungsoberflächen.....	28
5.2.1.	Übersichtsmodus.....	28
5.2.2.	Szenariomodus.....	29
5.3.	Unterstützung der räumlichen Orientierung durch Kamerafahrt und Immersionseffekt.....	30
5.3.1.	Kamerafahrt.....	30
5.3.2.	Teilweiser Immersionseffekt.....	31
5.4.	Bisherige Benutzertests und deren Ergebnisse.....	32
5.4.1.	Instruktionsarten.....	33
5.4.2.	Versuchsaufgaben.....	34
5.4.3.	Stichprobe.....	34
5.4.4.	Hypothesen.....	35
5.4.5.	Ergebnisse.....	35
5.4.6.	Fazit.....	37
5.5.	Schlussfolgerungen für weitere Benutzertests.....	38
5.5.1.	Optimierungsmöglichkeiten der bisherigen Benutzertests.....	38
5.5.2.	Implikationen für in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Benutzertests.....	40

6. Benutzertests zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit und Effizienz von CARIHBA	44
6.1. Methodisches Vorgehen	44
6.1.1. Versuchsaufgaben	44
6.1.2. Stichprobe	45
6.1.3. Untersuchungsablauf	46
6.1.4. Kriterien für die Messung der kognitiven Zeit	51
6.2. Hypothesen	56
6.3. Ergebnisse	57
6.3.1. Kognitive Zeit	57
6.3.2. Fehler	61
6.3.3. Blickwechsel	64
6.3.4. Benotung der Hilfsmittel	67
6.3.5. Einfluss technischer Vorerfahrung und räumlicher Vorstellungskraft	68
6.4. Zusammenfassung und Diskussion	70
7. Grundlagenversuch zur Unterstützung der räumlichen Orientierung durch CARIHBA	74
7.1. Untersuchungsgegenstand	74
7.2. Methodisches Vorgehen	78
7.2.1. Stichprobe	78
7.2.2. Gestaltung der Versuchsumgebung	78
7.2.3. Versuchsdesign	84
7.3. Hypothesen	90
7.3.1. Fehler	90
7.3.2. Bearbeitungszeit	91
7.4. Ergebnisse	92
7.4.1. Fehler	92
7.4.2. Bearbeitungszeit	97
7.4.3. Subjektives Urteil hinsichtlich Schwierigkeit und Sicherheit	99
7.5. Zusammenfassung und Diskussion	101
8. Zusammenfassung, Fazit und Ausblick	104
Literatur	108
Anhang	112

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Definition Instandhaltung	4
Abb. 2.2: Besondere Gefährdung des Instandhaltungspersonals (nach Hartung, 1989).....	5
Abb. 2.3: Inhalte technischer Dokumentation (nach Pötter, 1994).....	6
Abb. 3.1: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (nach Milgram & Kishino, 1994).....	8
Abb. 3.2: Aufbau von CAR-Systemen (nach Alt, 2003).....	9
Abb. 3.3: Klassen von See-Through-HMDs (nach Alt, 2003)	11
Abb. 5.1: Schematischer Hardware-Aufbau von CARIHBA	25
Abb. 5.2: Hardware-Aufbau von CARIHBA in der Praxis	26
Abb. 5.3: Software-Aufbau von CARIHBA.....	26
Abb. 5.4: Augmentierung des Live-Videos	27
Abb. 5.5: Übersichtsmodus von CARIHBA.....	28
Abb. 5.6: Szenariomodus von CARIHBA.....	29
Abb. 5.7: Teilweiser Immersionseffekt bei CARIHBA	32
Abb. 5.8: Vergleichene Hilfsmittel bei Nikolić (2006)	33
Abb. 6.1: Adiro-Anlage und VT-Anlage	44
Abb. 6.2: Beispielaufgabe Schlauchfigurentest (aus Stumpf & Fay, 1983)	46
Abb. 6.3: Demontage-Objekte in der Trainingsbedingung.....	48
Abb. 6.4: Schema für die Benotung der Hilfsmittel	50
Abb. 6.5: Bildkanäle für die simultane Videoauswertung.....	50
Abb. 6.6: Teiltätigkeiten mit vorwiegend kognitivem oder manuellem Anteil.....	52
Abb. 6.7: Sukzessive Erfassung kognitiver Zeitanteile	58
Abb. 6.8: CT 1 in Abhängigkeit vom Hilfsmittel	58
Abb. 6.9: CT 1 in Abhängigkeit von Szenario und Hilfsmittel	59
Abb. 6.10: CT 2 in Abhängigkeit vom Hilfsmittel	59
Abb. 6.11: CT 2 in Abhängigkeit von Szenario und Hilfsmittel	60
Abb. 6.12: Auftretenshäufigkeit unbemerkter räumlicher Fehler und Fehler mit Schadenspotential in Abhängigkeit vom Hilfsmittel	64
Abb. 6.13: Blickwechsel in den einzelnen Kategorien nach Szenario und Hilfsmittel	66
Abb. 6.14: Gesamtnoten für die Hilfsmittel	67
Abb. 6.15: Benotung der Hilfsmittel in Abhängigkeit vom Szenario.....	67
Abb. 6.16: Kognitive Zeit nach räumlichem Vorstellungsvermögen und Hilfsmittel.....	67
Abb. 7.1: Anordnung und Maße der Versuchsaufbauten	80
Abb. 7.2: Reale Anordnung der Versuchsaufbauten	80
Abb. 7.3: Kamera-Fixationspunkt und Bodenmarkierung	80
Abb. 7.4: Verwendete grafische Elemente	81
Abb. 7.5: Beispiel für die Spiegelung einzelner Baugruppen.....	82
Abb. 7.6: Beispiel einer leicht und einer schwierig zu identifizierenden Baugruppe.....	82
Abb. 7.7: Benutzungsoberfläche der Anleitungen.....	83
Abb. 7.8: Anleitungsarten im Versuchsteil Groborientierung.....	85
Abb. 7.9: Anleitungsarten im Versuchsteil Feinorientierung	86
Abb. 7.10: Versuchsperson beim Ausführen der Versuchsaufgaben	88
Abb. 7.11: Teilweiser Immersionseffekt beim Ausführen der Versuchsaufgaben	88
Abb. 7.12: Barcodes bei Grob- und Feinorientierung	88
Abb. 7.13: Interaktion Anleitungsart und räumlicher Vorstellungskraft bei der Groborientierung	94
Abb. 7.14: Interaktion Anleitungsart und räumlicher Vorstellungskraft bei der Feinorientierung	95
Abb. 7.15: Fehlerzahl Feinorientierung: Interaktion Anleitungsart und Aufgabenschwierigkeit	96
Abb. 7.16: Fehlerzahl nach Hilfsmittel, räumlicher Vorstellungskraft und Aufgabenschwierigkeit bei der Groborientierung.....	97
Abb. 7.17: Fehlerzahl nach Hilfsmittel, räumlicher Vorstellungskraft und Aufgabenschwierigkeit bei der Feinorientierung	97
Abb. 7.18: Groborientierung: Bearbeitungszeit nach Hilfsmittel und Aufgabenschwierigkeit.....	98
Abb. 7.19: Feinorientierung: Bearbeitungszeit nach Hilfsmittel und Aufgabenschwierigkeit.....	99
Abb. 7.20: Subjektives Schwierigkeitsurteil bei der Groborientierung.....	100

Abb. 7.21: Subjektives Schwierigkeitsurteil bei der Feinorientierung.....	100
Abb. 7.22: Sicherheitsurteil der Probanden bei Foto- und Kameraunterstützung.....	100
Abb. 7.23: Algorithmus zur Unterscheidung verschiedener Arten intendierten Verhaltens nach Reason (1992).....	102

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Tödliche Arbeitsunfälle in Prozent nach der zum Unfall führenden Tätigkeit	5
Tab. 3.1: Vergleich der HMD-Arten (nach Wiedenmaier et al., 2003).....	11
Tab. 5.1: Aufteilung der Gruppen auf Hilfsmittel und Versuchsaufgaben.....	35
Tab. 5.2: Mittelwerte und Standardabweichungen der kognitiven Zeiten.....	36
Tab. 5.3: Verteilung der Fehler auf die Hilfsmittel	36
Tab. 6.1: Übersicht über die Versuchsaufgaben.....	45
Tab. 6.2: Verteilung der Probanden auf die Versuchsbedingungen.....	46
Tab. 6.3: Randomisierung der Versuchsbedingungen.....	49
Tab. 6.4: Kognitive und manuelle Tätigkeitsanteile nach Neumann & Majoros (1998)	51
Tab. 6.5: Kognitive und nicht kognitive Zeitanteile nach Nikolić (2006).....	52
Tab. 6.6: Mittelwerte und Standardabweichung der vier CT-Kriterien	57
Tab. 6.7: Mittelwerte und Standardabweichungen für CT 1 nach Szenario.....	58
Tab. 6.8: Mittelwerte und Standardabweichungen für CT 2 nach Szenario.....	60
Tab. 6.9: Fehlerarten bei der Bearbeitung der Instandhaltungsaufgaben	61
Tab. 6.10: Fehlerarten und Auftretenshäufigkeit nach Hilfsmittel.....	62
Tab. 6.11: Auftretenshäufigkeit räumlicher Fehler nach Hilfsmittel und Szenario	63
Tab. 6.12: Mittelwerte und Standardabweichungen nach Blickwechsel-Kategorie.....	65
Tab. 6.13: Mittelwerte und Standardabweichungen der kognitiven Zeit nach technischer Vorerfahrung und Hilfsmittel	68
Tab. 6.14: Mittelwerte und Standardabweichungen der kognitiven Zeit nach räumlicher Vorstellungskraft und Hilfsmittel.....	69
Tab. 6.15: Fehlerzahl und Fehlerrate nach räumlicher Vorstellungskraft	70
Tab. 7.1: Leistung der Teilnehmer im Test zum räumlichen Vorstellungsvermögen	78
Tab. 7.2: Umgesetzte Versuchsbedingungen	87
Tab. 7.3: Verteilung der Versuchspersonen auf die Anleitungsarten und -versionen	88
Tab. 7.4: Fehlerzahl bei Grob- und Feinorientierung nach Anleitungsart.....	92
Tab. 7.5: Fehlerzahl bei Grob- und Feinorientierung nach räumlichem Vorstellungsvermögen.....	93
Tab. 7.6: Fehlerzahlen nach Aufgabenschwierigkeit und Anleitungsart.....	95
Tab. 7.7: Groborientierung: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bearbeitungszeiten	98
Tab. 7.8: Feinorientierung: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bearbeitungszeiten.....	99

1 Einleitung

1.1 Fragestellung

Die Technologie der Computer Erweiterten Realität (engl.: Computer Augmented Reality, CAR) ermöglicht, die Sinneswahrnehmung der realen Umgebung des Menschen mit computergenerierten Informationen anzureichern. Sie besitzt ein breites Anwendungsspektrum. Unter anderem wird ihr industrieller Einsatz, etwa zur Steigerung der Qualität und Effizienz von Produktionsprozessen, untersucht.

Arbeitsprozesse in der technischen Instandhaltung stellen einen weiteren Anwendungsbereich dar, der für eine Unterstützung durch die CAR-Technologie geeignet scheint (z.B. Elzer et al., 1999c). Instandhaltungstätigkeiten gehen oftmals mit einem hohen Gefahrenpotential einher (Hartung, 1989). Arbeiten unter Zeitdruck, an laufenden Maschinen oder bei ausgeschalteten Schutzeinrichtungen sind nur einige Gründe dafür. Um der Vielfalt der Instandhaltungsaufgaben und der ständigen technischen Weiterentwicklung von Anlagen und Geräten gerecht zu werden, ist eine hohe fachliche Qualifikation des Personals oftmals nicht ausreichend. Deshalb kommt der Instandhaltungsdokumentation eine zentrale Bedeutung zu. In der Praxis erfüllen viele Dokumentationen die an sie gestellten Anforderungen zur Unterstützung der Instandhaltungsarbeit jedoch nicht. Eine CAR-basierte Arbeitsunterstützung, die den Instandhalter während der Aufgabenausführung mit den in der konkreten Situation benötigten Informationen, Sicherheitswarnungen etc. versorgt, könnte dazu beitragen, das Dokumentationsproblem in der Instandhaltung zu lösen. Dadurch ließe sich auch die Qualität und Sicherheit von Wartungs-, Reparatur- und Instandsetzungsaufgaben erhöhen.

Die zahlreichen zumeist prototypischen CAR-Anwendungen, die in den vergangenen Jahren entwickelt wurden, sind oftmals mit verschiedenen technischen, ergonomischen und kostenbedingten Problemen der eingesetzten Hardware verbunden. Dies betrifft insbesondere die typischerweise verwendeten kopfgebundenen Anzeigeräte (Head Mounted Displays), Tracking-Systeme zur Positionsbestimmung und tragbare Rechner. Ein kommerzieller Einsatz im industriellen Umfeld wird dadurch erschwert. So belegen auch die Ergebnisse vorliegender experimenteller Studien zwar i.d.R. den Vorteil CAR-basierter Arbeitsanweisungen oder Bedienungsanleitungen gegenüber den traditionell eingesetzten Papiermanualen. Im Vergleich zu Computer Assisted Instructions, z.B. monitorbasierten Anleitungen, lassen sich jedoch oftmals keine Effekte nachweisen, die den Einsatz der technisch und finanziell aufwändigen CAR-Systeme rechtfertigen.

Am Institut für Prozess- und Produktionsleittechnik (IPP) der Technischen Universität Clausthal wurden in langjähriger Forschungsarbeit verschiedene Projekte auf dem Gebiet der CAR-Technologie speziell auch unter dem Aspekt eines Einsatzes in der technischen Instandhaltung realisiert. Dabei lag ein Schwerpunkt darauf, den o.g. technischen, ergonomischen und kostenbedingten Problemen zu begegnen. So wurde von Behnke (2005) ein Hybridverfahren zur Positions- und Orientierungsbestimmung entwickelt, das die Defizite einzelner Tracking-Systeme kompensiert und dadurch für eine Wartungsanwendung in industriellen Umgebungen geeignet ist. Nikolić (2006) entwarf und realisierte ein alternatives CAR-System, das monitorbasiert ist und insgesamt eine gebrauchstaugliche und kostengünstige Systemlösung darstellt, die direkt in der Praxis eingesetzt werden kann. Es wurde speziell als Hilfsmittel für die Instandhaltung konzipiert, um hier eine hohe Sicherheit bei der Aufgabenausführung zu ge-

währleisten. Der Prototyp trägt den Namen CARIHBA als Abkürzung für **C**omputer **A**ugmented **R**eality für **I**nstandhaltungs- und **B**edienungsanleitungen.

CARIHBA wurde nach der Methode des experimentellen Prototyping entworfen und durchlief bereits zwei Prototyping-Phasen vor Beginn dieser Arbeit. Dabei fand eine erste Erprobung unter Ergonomie- und Effizienzkriterien in Form von Benutzertests statt. Ermittelt wurden Zeiten und Fehler bei der Bearbeitung verschiedener Instandhaltungsaufgaben, die entweder durch CARIHBA oder durch drei weitere, herkömmliche Bedienungsanleitungen unterstützt wurden. Die Ergebnisse sprechen insgesamt für die Brauchbarkeit von CARIHBA. Es konnten signifikante Zeiteinsparungen und geringere Fehlerraten im Vergleich zu einem Papiermanual festgestellt werden. Der aufgrund der interaktiven Eigenschaften des virtuell angereicherten CARIHBA-Live-Videos erwartete Vorteil gegenüber einer benutzergerecht gestalteten, multimedialen Fotoanleitung deutete sich bereits an. Es gibt aber die begründete Annahme, dass dieser Vorteil aufgrund der interaktiven Merkmale von CARIHBA deutlicher sein sollte, als bisher zu beobachten war.

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit bestand deshalb darin, die Entwicklung von CARIHBA fortzusetzen und die in den von Nikolić durchgeführten Benutzertests gewonnenen Erkenntnisse zur Optimierung des Systems umzusetzen. Danach sollte in einer weiteren Evaluationsphase die Gebrauchstauglichkeit von CARIHBA im Vergleich zur multimedialen Foto-Anleitung genauer untersucht werden. Die zu diesem Zwecke geplanten Benutzerexperimente sollten das von Nikolić angelegte Versuchsdesign unter methodenpsychologischer Sicht verbessern und ergänzen.

Die Ergebnisse der Evaluation durch Nikolić verdeutlichten, dass durch die bereits angesprochene Interaktivität des Live-Videos von CARIHBA die räumliche Orientierung der Benutzer erleichtert und deren Sicherheitsgefühl erhöht wird. In der Unterstützung der räumlichen Orientierung kann ein Vorteil gegenüber HMD-basierten CAR-Systemen gesehen werden, die in diesem Punkt weniger gut geeignet sind, insbesondere wenn es um die Orientierung in größeren, unbekanntem Umgebungen geht. Konkret bestehen die interaktiven Merkmale in der Möglichkeit, die Fahrt der im Raum befestigten Kamera, die das Live-Video erzeugt, auf dem Monitor zu verfolgen, was die Groborientierung in der Umgebung erleichtert. Zum anderen erlebt der Benutzer teilweise ein Gefühl des Eintauchens (Immersion), indem er sich selbst bzw. seine Hand im Monitorbild sieht, was die Feinorientierung erleichtert. In einer zweiten Versuchsreihe sollten diese beiden CARIHBA-Eigenschaften in ihrem Einfluss auf die Grob- und Feinorientierung in einer unbekanntem Umgebung näher untersucht werden.

1.2 Gliederung der Arbeit

Kapitel 2 bietet zunächst eine Einführung in das Umfeld der technischen Instandhaltung und zeigt bestehende Probleme auf.

Kapitel 3 befasst sich mit der Computer Augmented Reality. Definition, Aufbau von CAR-Systemen und Anwendungsbereiche werden vorgestellt.

Im 4. Kapitel wird verdeutlicht, über welche Potentiale der Einsatz der CAR-Technologie in der Instandhaltung verfügen könnte. Anforderungen an CAR-Systeme in diesem Bereich werden aufgeführt und Probleme geschildert, die bei einer CAR-Unterstützung in der Instandhal-

tung auftreten können. Darüber hinaus erfolgt eine Vorstellung und Diskussion bisheriger Ergebnisse zum industriellen CAR-Einsatz.

Das 5. Kapitel stellt den CARIHBA-Prototyp vor. Es beschreibt seinen Aufbau, die Gestaltung der Benutzungsoberflächen und geht näher auf die Interaktivität des Live-Videos ein. Ausführlich werden das methodische Vorgehen und die Ergebnisse der früheren Evaluationsphase geschildert. Optimierungsvorschläge und Schlussfolgerungen für die in der vorliegenden Arbeit durchzuführende Evaluation werden abgeleitet.

In Kapitel 6 geht es dann um die Benutzertests zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit und Effizienz von CARIHBA, die nach der Modifizierung des methodischen Vorgehens und der Umsetzung der Optimierungsvorschläge für die Benutzungsoberflächen des Systems durchgeführt wurden.

In Kapitel 7 schließt sich die Vorstellung der Planung, Durchführung und Auswertung der Versuche zur Unterstützung der räumlichen Orientierung durch CARIHBA an.

Das 8. Kapitel zieht nach einer Zusammenfassung der Befunde dieser Arbeit ein Fazit und gibt einen Ausblick auf mögliche weitere Fragestellungen.

2. Instandhaltung

2.1. Begriffsbestimmung und Bedeutung der Instandhaltung

DIN 31 051 definiert Instandhaltung als „Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes von technischen Mitteln eines Systems“. Sie setzt sich aus Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten zusammen (siehe *Abb. 2.1*).

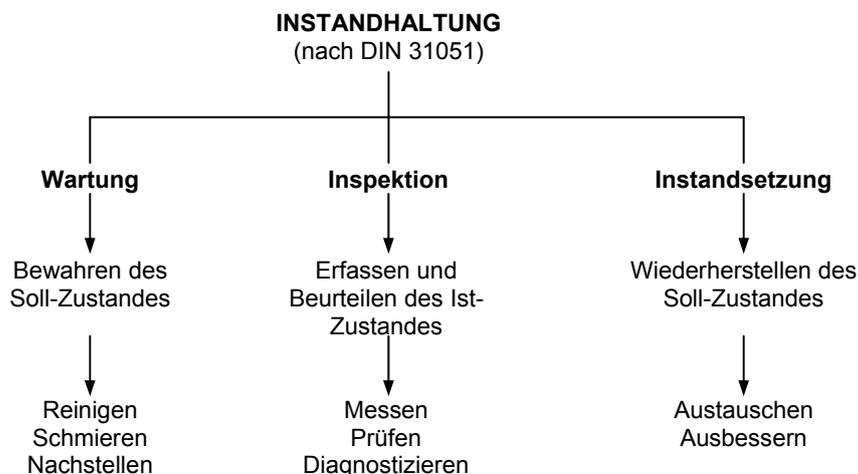


Abb. 2.1: Definition Instandhaltung

Ziel einer effizienten Instandhaltung ist es, die Produktivität durch eine hohe Maschinenverfügbarkeit zu steigern und gleichzeitig die Betriebskosten zu minimieren. Neben Sach- sollen auch Personenschäden vermieden werden (Rötzel, 2005). Durch die immer größer werdende Abhängigkeit von technischen Systemen wächst die Bedeutung des Kostenfaktors Instandhaltung. Dennoch ist es möglich, durch eine geplante Instandhaltungsstrategie Produktionssteigerungen sowie Sicherheitsverbesserungen zu erzielen und somit dem anhaltenden Kostendruck und dem Wettbewerb standzuhalten.

2.2. Gefahrenpotential bei der Instandhaltung

Speziell der Instandsetzungsbereich ist aufgrund seiner Unvorhersehbarkeit und plötzlich auftretender Störungssituationen durch eine mangelnde Planbarkeit gekennzeichnet. Technische Notfälle gehen meist mit einem starken Zeitdruck einher und stellen eine Stresssituation für den Instandhalter dar. Zudem findet die Tätigkeit oft unter schwierigen und unergonomischen Arbeitsbedingungen statt (z.B. Lärm, Hitze, Enge). Auch aufgrund dieser Tätigkeitsmerkmale ist das Gefahrenpotential bei Instandhaltungsarbeiten hoch (siehe *Abb.2.2*). So ereignet sich ca. 1/5 der tödlichen Arbeitsunfälle bei der Instandhaltung (siehe *Tab. 2.1*).

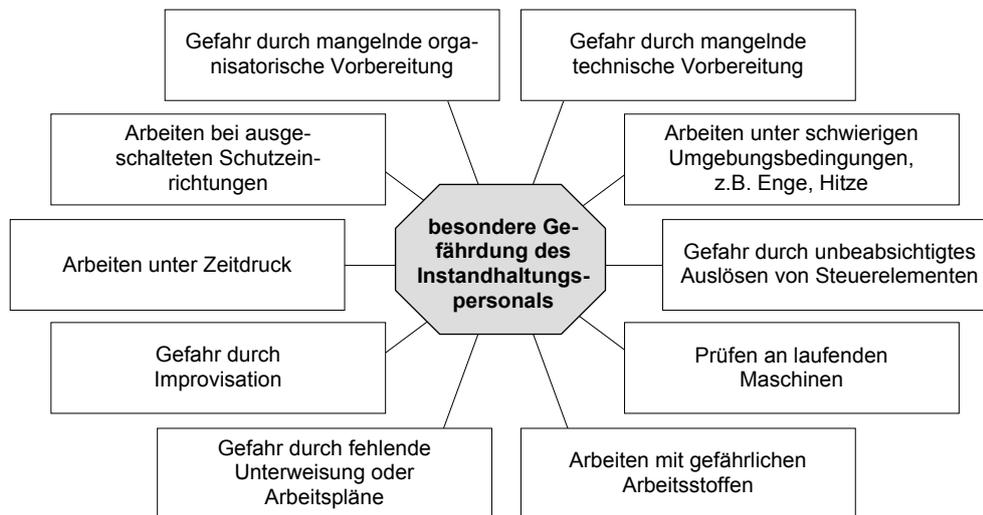


Abb. 2.2: Besondere Gefährdung des Instandhaltungspersonals (nach Hartung, 1989)

zum Unfall führende Tätigkeit	2001	2002	2003	2004	2005
Transport und Verkehr	35,8	35,5	38,8	34,1	40,1
Instandhaltung	20,2	23,8	29,5	23,1	23,5
Gewinnung/Herstellung auf Wegen im Betrieb	18,5	16,6	13,8	15,7	19,9
Einrichtung	7,3	7,5	5,1	5,7	5,9
Kontrolle	3,5	3,6	1,6	4,4	1,8
Demontage	4,1	4,5	4,5	6,4	4,4
sonstige	7,0	6,9	4,2	9,7	4,0
sonstige	3,5	1,5	2,6	1,0	0,4
Gesamt	100	100	100	100	100
Unfälle absolut	341	332	312	299	272

Quelle: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA, 2007)
Datenbank „Tödliche Unfälle“

Tab. 2.1: Tödliche Arbeitsunfälle in Prozent nach der zum Unfall führenden Tätigkeit

Eines der Gefahrenpotentiale im Instandhaltungsbereich ist die fehlende Unterweisung bzw. das unzureichende Qualifizierungsniveau des Instandhaltungspersonals. Der Einsatz geschulten Personals ist wesentlich für die sichere und fachgerechte Durchführung der Instandhaltungstätigkeiten. Die Einteilung der Personalgruppen von Rötzel (2005) macht deutlich, dass jedoch nicht nur Spezialisten eingesetzt werden. Rötzel unterscheidet:

- **Anweisungsbedürftige** (keine fachliche Ausbildung),
- **Sachkundige** (angelernte Mitarbeiter mit langjähriger Erfahrung),
- **Fachkundige** (Mitarbeiter mit theoretischen und praktischen Fertigkeiten),
- **Kundige** (Mitarbeiter mit umfangreichem übergreifendem Wissen und Erfahrung).

2.3. Instandhaltungsdokumentation

Selbst eine hohe fachliche Qualifikation des eingesetzten Personals und dessen stetige Fortbildung reichen oftmals nicht aus, um der Vielfalt der Instandhaltungsaufgaben und der Verschiedenartigkeit und ständig fortschreitenden Entwicklung der Anlagen und Geräte sowie den im Einzelfall zu beachtenden Vorschriften gerecht zu werden. Deshalb ist der Instandhaltungsdokumentation zur Unterstützung des Instandhalters eine zentrale Bedeutung beizumessen. Diese beschreibt den Aufbau und die Funktion der Gesamtanlage mit ihren einzelnen Komponenten, enthält Angaben über Leistungs- oder Betriebsmitteldaten, gibt Instandhaltungsintervalle vor etc. Bei Pötter (1994) findet sich eine Übersicht über Gesetze, Normen und Vorschriften für die Erstellung technischer Dokumentationen. Instandhaltungsanleitungen bilden einen Teil dieser technischen Dokumentation (siehe *Abb. 2.3*).

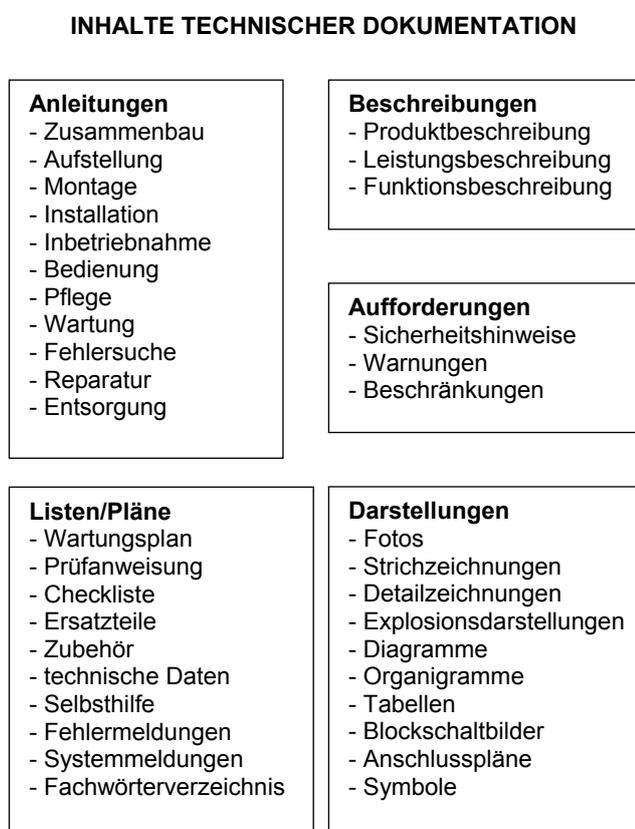


Abb. 2.3: Inhalte technischer Dokumentation (nach Pötter, 1994)

Eine Instandhaltungsanleitung soll alle Maßnahmen beschreiben, um Wartung, Inspektion und Instandhaltung frist- und sachgerecht durchzuführen (DIN 31 052). Sie geht also über eine bloße Gerätebeschreibung hinaus und stellt das nötige prozedurale Wissen bereit, um die jeweiligen Instandhaltungsaufgaben zu lösen. Eine solche handlungsorientierte Anleitung macht den Handlungsablauf nachvollziehbar, indem sie Aufgaben in Teilaufgaben zergliedert und die Handlungen beschreibt, die zur Lösung dieser Teilaufgaben führen (Kösler, 1992). Für die Erstellung dieser sog. Szenarien (Engl.: step-by-step instructions) ist die Instandhaltungsarbeitsplanung (IAP) zuständig, die neben der Instandhaltungsplanung und -steuerung (IPS) sowie der Instandhaltungsanalyse zur Arbeitsvorbereitung gehört (Hackstein, 1987).

Übergeordnetes Ziel ist es einerseits, durch anforderungsgerechte Anleitungen die Effizienz der Instandhaltung zu erhöhen und damit Aufwand und Kosten zu reduzieren. Zudem sollen durch vorgabegerechtes Handeln der Instandhalter Fehlhandlungen und Störungen vermieden und somit auch die Arbeitssicherheit gewährleistet werden.

Die Eigenschaften der menschlichen Wahrnehmung und der Informationsverarbeitung müssen bei der Gestaltung der Anleitungen berücksichtigt werden. Dazu gehören z.B. die Erkenntnisse über die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses genauso wie das Wissen darüber, wie Informationen im Langzeitgedächtnis organisiert und gespeichert werden. Dementsprechend muss die Größe der Informationseinheiten gestaltet und die Anleitung hierarchisch strukturiert werden, um benötigte Informationen schnell auffinden zu können. Hinsichtlich der visuellen Wahrnehmung und der Gestaltung von Zeichnungen oder Bildern sind u.a. die Galtsgesetze zu berücksichtigen. Die Inhalte der Anleitung müssen auf die Zielgruppe angepasst und in jedem Fall leicht verständlich sein.

In der Praxis erfüllen viele Dokumentationen diese Anforderungen nicht. Sie sind z.B. nicht handlungsorientiert, erfüllen also die Informationsbedürfnisse der Instandhalter nicht. Sie sind oft unstrukturiert oder nicht nach der Logik und Erfahrung des Instandhalters organisiert, verwenden eine herstellerepezifische Symbolik und ein uneinheitliches Vokabular oder sind unvollständig bzw. nicht aktualisiert. In Anlehnung an Behnke (2005) lassen sich weitere Faktoren aufzählen, die die Arbeit mit Instandhaltungsanleitungen zusätzlich behindern können:

- Vergessen von Sachverhalten, die der Anleitung entnommen wurden, insbesondere bei vielen zu erinnernden Informationen,
- umständliche Handhabung gedruckter Unterlagen,
- Spielräume bei der Interpretation technischer Unterlagen,
- optische Unzugänglichkeit abgebildeter Bauteile in der Realität, wenn diese von anderen Bauteilen verdeckt werden,
- in der Anleitung nicht verzeichnete Bestandteile der Anlage und des Aggregats,
- Blickwechsel zwischen Dokumentation und dem zu betrachtenden Aggregat,
- unzureichende Vertrautheit mit dem zu wartenden Aggregat.

Als Resultat erschweren es all diese Faktoren, dass der Instandhalter seine Aufgaben qualitätsgerecht erfüllt. Die Ausführungszeiten werden verlängert, was letztlich die Instandhaltungskosten (bzw. die Kosten für das einzusetzende Personal) erhöht. Die Fehlerrate und somit die Arbeitssicherheit werden reduziert. Demzufolge ist verstärkt nach Lösungen zu suchen, das Dokumentationsproblem in der Instandhaltung zu lösen.

In den letzten Jahren wird zunehmend die Technologie der Computer Augmented Reality als Lösungsmöglichkeit in Betracht gezogen, um die herkömmlichen Papierunterlagen zu ersetzen. Der Instandhalter wird dabei durch ins Sichtfeld eingeblendete virtuelle Informationen, die der Situation angepasst und leicht verständlich sind, unterstützt. Diese Technologie wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

3. Computer Augmented Reality (CAR)

3.1. Begriffsbestimmung

Der Begriff Computer Augmented Reality (augmented = „erweitert“) lässt sich allgemein als eine Anreicherung bzw. Erweiterung der realen Umgebung mit virtuellen Informationen definieren (Milgram et al., 1994). Die Definition schließt beliebige menschliche Sinnessysteme ein. Meist wird die CAR-Technologie jedoch auf die Ergänzung der visuellen Wahrnehmung bezogen und in diesem Zusammenhang auf die Verwendung am Kopf zu tragender Anzeigeräte, sog. Head-Mounted-Displays (HMD). Azuma (1997, 2001) definiert den CAR-Begriff ohne Beschränkung auf die Verwendung spezieller Geräte und spricht von einer Technologie, die dreidimensionale virtuelle Objekte in Echtzeit in eine dreidimensionale Umgebung integriert.

In der vorliegenden Arbeit wird in Anlehnung an die Definition von Nikolić (2006) folgende CAR-Definition zugrunde gelegt: CAR ist eine Technologie, bei der der Benutzer rechnergenerierte visuelle Informationen gemeinsam mit der realen Umgebung wahrnimmt. Diese virtuellen Informationen sind situationsgerecht (d.h. kontextabhängig und in Echtzeit) und sollen das Handeln in der realen Umgebung unterstützen. Die eingeblendeten virtuellen Objekte können, müssen aber nicht den realen Objekten, auf die sie sich beziehen, kongruent überlagert sein.

Diese Definition beinhaltet einerseits, dass ebenso wie bei Azuma der Begriff CAR nicht an spezifische Geräte gebunden ist, sondern der funktionale Aspekt der Technologie im Mittelpunkt steht. Andererseits unterscheidet sie sich aber insofern von Azumas Definition, dass die eingeblendeten Augmentierungen nicht beschränkt werden auf dreidimensionale virtuelle Objekte, die in die dreidimensionale Umgebung integriert, d.h. der Position und Orientierung des Benutzers angepasst sind.

Das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum von Milgram & Kishino (1994) (siehe *Abb. 3.1*) verdeutlicht, wie sich die Computer Augmented Reality von Begriffen wie Virtual Reality oder Mixed Reality abgrenzt. Letztere umfasst das gesamte Spektrum, das sich zwischen Realität und Virtualität auftut. Mixed Reality ist demnach ein Oberbegriff sowohl für die erweiterte Realität, bei der der Anteil der realen Welt überwiegt, als auch für die erweiterte Virtualität, bei der der virtuelle Anteil überwiegt. Der Übergang zwischen beiden ist fließend. Im Gegensatz zur Virtualen Realität, die das völlige Eintauchen in eine computergenerierte Welt ermöglicht („Immersion“), kann bei der erweiterten Realität nur noch ein teilweises Eintauchen in die mit virtuellen Informationen überlagerte Umgebung erlebt werden.

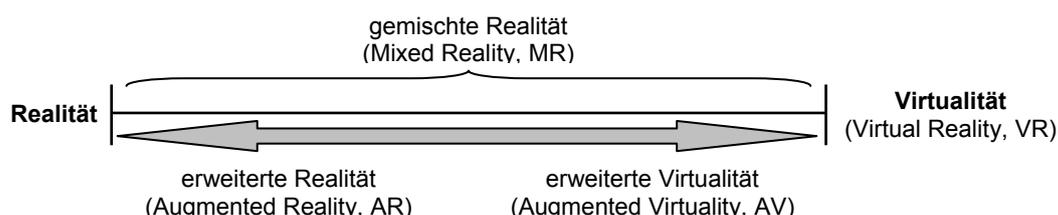


Abb. 3.1: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (nach Milgram & Kishino, 1994)

3.2. Aufbau von CAR-Systemen

Typischerweise verfügt ein CAR-System über folgende Hauptkomponenten (Alt, 2003) (siehe Abb. 3.2):

- Tracking-System,
- Datenhaltungssystem,
- Szenengenerator,
- Anzeigegerät.

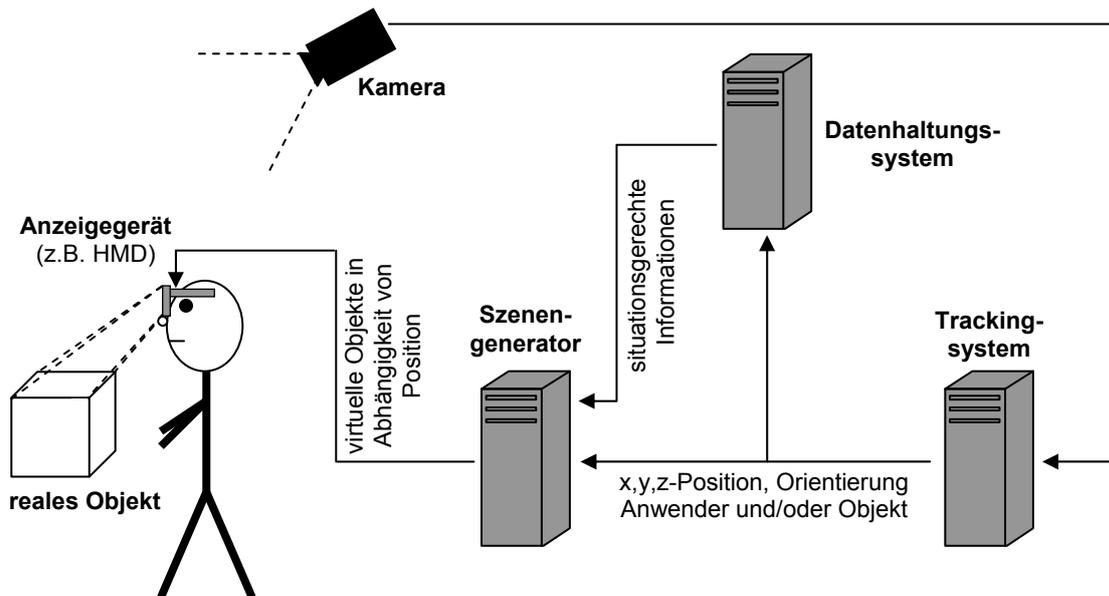


Abb. 3.2: Aufbau von CAR-Systemen (nach Alt, 2003)

3.2.1. Tracking-Systeme

Tracking-Systeme dienen der Bestimmung von Position und Orientierung sowohl des Anwenders als auch des realen Objektes. Nur wenn der Ausschnitt des Sichtfeldes des Betrachters bekannt ist, können die virtuellen Informationen den Objekten in der Umgebung kongruent überlagert werden. Anhand der Koordinaten der vom Tracking-System ermittelten Position wählt das Datenhaltungssystem die zu dieser Position passenden Informationen aus. Dabei kann es sich z.B. um Arbeitsanweisungen handeln. Die situationsgerechten Inhalte werden an den Szenengenerator übermittelt. Der Szenengenerator erzeugt aus diesen Informationen basierend auf der ermittelten Position die virtuellen Objekte so, dass sie für den Anwender in der richtigen Perspektive erscheinen, wenn er sie im Anzeigegerät als der realen Umgebung überlagert visuell wahrnimmt.

Existierende Tracking-Systeme basieren auf unterschiedlichen Verfahren. So gibt es z.B. elektromagnetische, trägheitsbasierte oder ultraschallbasierte Verfahren, die jeweils mit bestimmten Eigenschaften einhergehen (Auflösung, Genauigkeit, Datenrate, Aktualisierungsrate, Latenzzeit, Reichweite). Daneben liegen auch hybride Systeme vor, die die jeweiligen Schwachstellen einzelner Verfahren kompensieren sollen (z.B. Behnke, 2005). Die Auswahl ist in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung zu treffen. Es kann auch ohne Tracking-System gearbeitet werden, wenn eine kongruente Überlagerung von virtuellen und realen Objekten im konkreten Anwendungsfall nicht nötig ist. Neben den technischen Merkmalen von

Tracking-Systemen sind auch deren Eigenschaften wie Ergonomie, Störungsfreiheit oder kabelloser Betrieb zu berücksichtigen (Nikolić, 2006).

3.2.2. Tragbare Rechner

Die meisten CAR-Anwendungen erfordern Mobilität und somit tragbare Rechner. Tracking-System (sofern als Komponente enthalten), Datenhaltungssystem und Szenengenerator können gemeinsam auf einem solchen tragbaren Rechner betrieben werden (lokale Systemkonfiguration). Möglich ist aber auch, dass der mobile Rechner nur Teilaufgaben des CAR-Systems übernimmt, wie z.B. das Anzeigen der virtuellen Objekte, und über eine Netzwerkverbindung mit den anderen Systemkomponenten kommuniziert. In diesem Fall wird von verteilter Systemkonfiguration gesprochen (Eversheim et al., 2001).

3.2.3. Anzeigergeräte

Bei den Anzeigergeräten werden monitorbasierte und HMD-basierte Geräte unterschieden (Azuma, 1997). Erstere zeigen ein Kamerabild der Realität auf einem Bildschirm, welches mit den virtuellen Informationen überlagert wird. Neben fest installierten Bildschirmen können auch Laptops, PDAs, Tablet PCs etc. genutzt werden. Typischerweise werden jedoch HMDs eingesetzt, bei denen Realität und virtuelle Informationen direkt im Sichtfeld des Betrachters wahrgenommen werden. Neben der Geräteklasse wird zusätzlich differenziert in (vgl. Alt, 2003):

- Umblicksysteme (Look-Around) und
- Durchsichtsysteme (See-Through).

Bei Look-Around-Systemen, zu denen der Monitor gehört, hat der Benutzer freie Sicht auf die reale Umgebung. Die virtuellen Informationen nimmt er auf dem Anzeigergerät wahr. See-through-Systeme blenden die Augmentierungen direkt in das Sichtfeld des Anwenders ein. HMDs liegen, je nach Technologie, sowohl als Look-Around als auch als See-Through-Systeme vor.

Innerhalb der See-Through-Kategorie werden wiederum zwei Arten unterschieden:

- optische Durchsichtsysteme (Optical See-Through, OST) und
- videobasierte Durchsichtsysteme (Video See-Through, VST).

Bei OST-Systemen werden die virtuellen Informationen auf einen halbdurchlässigen Spiegel projiziert, der den gleichzeitigen Blick auf die reale Umgebung ermöglicht. VST-Systeme nehmen ein Kamera-Bild der Umgebung auf, welches mit den virtuellen Informationen zusammengeführt und schließlich auf einem Monitor, der sich vor dem Auge des Anwenders befindet, präsentiert wird (siehe *Abb. 3.3*).

3.3. Anwendungsbereiche

Die CAR-Technologie findet in einer Vielzahl von Bereichen Anwendung. Bereits seit langem wird sie militärisch genutzt und unterstützt z.B. Piloten bei der Bedienung von Kampf- oder Zivilflugzeugen. So werden virtuelle Informationen (Zielkoordinaten, geografische Daten etc.) über HMDs oder auch Head-Up-Displays (HUD; meist in die Frontscheibe installierte Displays) der Sicht auf den Flugraum überlagert. Im Bereich Medizintechnik gibt es viele prototypische Anwendungen, etwa zur Unterstützung von Operationen (z.B. Hoppe 2004) oder von minimal invasiven chirurgischen Eingriffen (z.B. Schnaider et al., 2002). Verschiedenste Anwendungsmöglichkeiten bieten sich auch in der Industrie. Beim Flugzeughersteller Boeing wurde ein CAR-System Anfang der 1990er Jahre erstmals in der Produktion zur Unterstützung der komplizierten Kabelbaummontage eingesetzt (Caudell et al., 1992; Mizell, 2001). Seitdem wurden viele meist prototypische CAR-Anwendungen z.B. in Architektur und Bauindustrie (z.B. Klinker et al., 2001), Produktentwicklung (z.B. Alt et al., 2001), Montage und Produktion (z.B. Wiedenmaier, 2004) oder Service und Wartung (z.B. Neumann & Majors, 1998) entwickelt und untersucht.

4. CAR in der Instandhaltung

Speziell bei der Instandhaltung als einer Klasse von Arbeitsvorgängen an Produktions- bzw. Fertigungsanlagen (neben Bedienung und Beobachtung, Teleoperation, Training und Dokumentationsrecherche, vgl. Elzer, 1999a; Elzer et al., 2001c) sind optische Hilfsinformationen von besonderer Bedeutung für den Arbeitsprozess. Dies können Realbilder, virtuelle Bilder, Zeichnungen oder Text sein. Zwar gewinnt der Instandhalter die meisten Informationen über den Zustand eines technischen Systems beim Blick auf dieses durch dessen äußere Erscheinung. Jedoch ist er bei der Beurteilung und beim weiteren Umgang mit diesem Zustand oftmals auf zusätzliche Informationen angewiesen, so dass eine visuelle Augmentierung der Realität und damit der Einsatz der CAR-Technologie in der Instandhaltung potenziell von Nutzen sein kann (Elzer et al., 1999c).

Konkret verspricht man sich von CAR-Systemen in der Instandhaltung eine Effizienzsteigerung. Der Suchprozess nach aktuell benötigten Informationen, z.B. Ausrüstungsteilen oder Prozessdaten, wird rationalisiert, da diese direkt ins Sichtfeld eingeblendet werden. Daneben wird als Erklärung für die erwartete Zeitersparnis eine Verringerung des Aufmerksamkeitswechsels genannt. So muss nicht, wie bei der Arbeit mit Papiermanualen, der Blick zwischen Anleitung und realem Objekt gewechselt werden, sondern man kann Realität und erklärende virtuelle Informationen gemeinsam wahrnehmen. Bei der Arbeit mit einem herkömmlichen Papiermanual lässt sich die Zeit, die für die Aufgabenausführung benötigt wird, in verschiedene Tätigkeits- oder Zeitanteile zerlegen. Dies ist einerseits der Anteil, in dem die Aufmerksamkeit auf der Anleitung liegt. Neumann & Majoros (1998) sprechen hierbei vom kognitiven Anteil. Andererseits gibt es den Anteil, in dem die Aufmerksamkeit dem realen Objekt zugewendet wird, was eben genannte Autoren als manueller Anteil bezeichnen. (Diese Terminologie ist kritisch zu betrachten, da Informationsverarbeitungs- und somit kognitive Prozesse nicht automatisch abgeschlossen sind, sobald der Blick bzw. die Aufmerksamkeit auf das reale Objekt gerichtet wird. Darauf wird an späterer Stelle vertieft eingegangen.) Bei der Überlagerung der Realität mit virtuellen Informationen wird nach Neumann & Majoros die Häufigkeit des Wechsels zwischen kognitiven und manuellen Anteilen reduziert, und somit auch die Zeit und Energie, die dafür aufgewendet werden muss. Darüber hinaus verweisen z.B. Tang et al. (2003) auf eine Entlastung des Arbeitsgedächtnisses, die daraus resultiert, dass durch die lagerichtig eingeblendeten (d.h. der Position und Orientierung des Benutzers angepassten) Augmentierungen weniger mentale Transformationsprozesse ablaufen, verglichen mit traditionellen bildlichen Anleitungsarten, d.h. Zeichnungen oder Fotos. Bei letzteren muss der Benutzer die bildlichen Informationen so transformieren, dass sie seinem Blickwinkel auf das reale Objekt entsprechen. Bei CAR jedoch würden diese Transformationsaufgaben dem Computer überlassen. Speziell bei Montageaufgaben entfällt, so Tang et al., der Zwischenschritt, die Beziehung zwischen einem zu montierenden Objekt und seinem Zielort in der Realität abzuspeichern und die gespeicherten Informationen auf die Realität zu übertragen. Die Bereitstellung situationsangepasster Wissensinhalte und die verringerte mentale Beanspruchung sollen letztlich zu einer reduzierten Fehlerrate und somit einer höheren Arbeitssicherheit führen.

Nikolić (2006) beschreibt, wie der Einsatz eines CAR-Systems in der Instandhaltung idealerweise aussehen könnte. Der mit einem tragbarem Rechner und einem HMD mit Kamera und integriertem Headset für die Spracheingabe ausgestattete Instandhalter wählt zunächst aus einem Menü aus, welche Arbeit er an einer Anlage oder einem Geräte durchführen möchte. Daraufhin erscheinen in seinem Sichtfeld Schritt-für-Schritt-Arbeitsanweisungen, d.h. die

realen Objekte werden mit Beschriftungen und Erklärungen sowie Instruktionen versehen. Zusätzlich erscheinen Warnungen oder Sicherheitshinweise. Neben dem Abarbeiten des Szenarios kann auf zusätzlich benötigte Informationen zugegriffen werden (z.B. Lagerbestandslisten, Ersatzteilkataloge). Automatisch wird ein Protokoll der Arbeit generiert und nach deren Abschluss an ein IPS-System weitergeleitet. Über eine Internet-Verbindung kann im Bedarfsfall ein Remote-Experte, also ein extern zugeschalteter Fachmann, bei auftretenden Problemen Unterstützung leisten. Zu diesem Zweck wird ihm das Kamerabild übermittelt, welches er z.B. mit Notizen oder Markierungen ergänzen kann, die schließlich dem Instandhalter vor Ort in seinem HMD eingeblendet werden. Das System speichert diese neuen Hilfsinformationen. Darüber hinaus besitzt der Instandhalter selbst die Möglichkeit, wichtige Erfahrungen im Zusammenhang mit der zu bearbeitenden Aufgabe bzw. der Anlage ins System einzutragen, um diese auch anderen Nutzern zugänglich zu machen. Diese Einträge können z.B. als Videosequenz, Audionotiz oder virtuelle Zeichnung vorgenommen werden.

Diese Beschreibung verdeutlicht erneut, dass CAR-Systeme in der Idealvorstellung mit einem HMD als Anzeigegerät und einem Tracking-System zur kongruenten Überlagerung dreidimensionaler virtueller Objekte ausgestattet sind (vgl. *Kap. 3.2*). Diese Systemkomponenten müssen jedoch nicht notwendigerweise enthalten sein. Denn der in dieser Arbeit zugrunde gelegten CAR-Definition (vgl. *Kap. 3.1*) zufolge ist die Technologie nicht an die Verwendung spezifischer Geräte gebunden. Im Gegenteil erschweren ja die technischen und ergonomischen Probleme heutiger HMDs und Tracking-Systeme sowie deren hohe Kosten einen industriellen Einsatz. Zentrale Anforderungen an CAR-Systeme in der Instandhaltung können somit aufgrund dieser Probleme nicht erfüllt werden. Welche Anforderungen dies im Einzelnen sind, wird im folgenden Punkt zusammengefasst. In diesem Zusammenhang liegt in der Konzeption und Entwicklung alternativer CAR-Systeme, die problematische Systemkomponenten umgehen, die Chance, praxistaugliche Hilfsmittel zu erzeugen, die diesen Anforderungen entsprechen. Das in der vorliegenden Arbeit zu evaluierende CAR-System CARIHBA stellt eine solche Alternative dar.

4.1. Anforderungen an CAR-Systeme in der Instandhaltung

Nikolić (2006) spezifiziert und erläutert Anforderungen, die ein in der Instandhaltung eingesetztes CAR-System erfüllen muss. Für eine ausführlichere Beschreibung siehe ebenda. Die Anforderungen sollen an dieser Stelle nur zusammenfassend angeführt werden. Dazu wurden sie zwei verschiedenen Kategorien zugeordnet. Ein CAR-System soll demnach folgenden Anforderungen gerecht werden:

technische und ergonomische Anforderungen:

- keine Einschränkung der Sicherheit des Benutzers (z.B. durch Sichtfeldeinschränkung oder niedrige Transparenz von HMDs),
- Ergonomie der Systemkomponenten (z.B. Gewicht, Größe, kabelloser Betrieb, Sprachsteuerung, Handhabung)
- Zuverlässigkeit,
- keine Beeinflussung der Umgebung bzw. keine Beeinflussbarkeit durch die Umgebung,
- keine negative Beeinflussung der Instandhaltungs-Arbeit (z.B. durch Tätigkeiten, die ohne Verwendung des Systems nicht anfallen würden, etwa Einrichtungszeiten),
- Plattformunabhängigkeit,
- Mobilität.

funktionale Anforderungen:

- Darstellung situationsgerechter und räumlich abgeglicherer Informationen,
- Erhöhung des Situationsbewusstseins des Benutzers,
- Ermöglichung einer breiten Orientierung in der Anlage,
- benutzerorientierte Benutzungsoberfläche,
- Ermöglichung des Informationsaustausches mit externen Informationsstrukturen (z.B. Navigation und Suche in Datenbanken),
- Ermöglichung einer Fernzusammenarbeit,
- Gewährleistung der Weitergabe von und des Zugriffs auf Erfahrung und Wissen,
- Multimodalität,
- Inhaltsveränderung vor Ort,
- Off-line Modus (zur Vorbereitung auf die Arbeit z.B. in einer Büroumgebung),
- automatische Protokollierung der Arbeit,
- Wirtschaftlichkeit.

4.2. Probleme beim Einsatz von CAR-Systemen in der Instandhaltung

Die Umsetzung der o.g. Anforderungen wird durch verschiedene Problemfelder erschwert. Auch hier kann für eine umfassende Analyse auf Nikolić (2006) verwiesen werden. Probleme treten im Zusammenhang mit folgenden Punkten auf:

- Technische und ergonomische Hardware-Probleme von:
 - Tracking-Systemen,
 - Anzeigegeräten,
 - tragbaren Rechnern.
- Probleme bei der Gestaltung der Mensch-CAR-Interaktion im Hinblick auf die:
 - benutzergerechte Gestaltung der Benutzungsoberflächen,
 - Umsetzung der Spracheingabesteuerung.
- Probleme des Informationsflusses im Zusammenhang mit:
 - der Informationsbereitstellung,
 - Authoring-Systemen.
- Kostenbedingte Probleme.

4.2.1. Technische und ergonomische Hardware-ProblemeTracking-Systeme

Eine Reihe von Schwierigkeiten behindert den Einsatz heutiger Tracking-Systeme in Industrieumgebungen bzw. bei Instandhaltungsaufgaben. Aus ergonomischer Sicht bestehen diese u.a. in der Datenübertragung in Echtzeit. Ist diese nicht gewährleistet, können auch die virtuellen Informationen nicht in Echtzeit, sondern mit einer Verzögerung im Anzeigegerät präsentiert werden, was die Auge-Hand-Koordination des Anwenders einschränkt (Schmidtke, 1993). Neben der Echtzeit-Datenübertragung wird die Qualität eines Tracking-Systems durch dessen Auflösung und Genauigkeit bedingt (Meyer, 1992; Azuma, 1993). Bei einer geringen Genauigkeit können die Augmentierungsinformationen nicht mehr mit dem realen Objekt, auf das sie sich beziehen, als Gesamtheit wahrgenommen werden. Größe, Gewicht, Anzahl der Komponenten, Bewegungsfreiheit des Anwenders sowie die Handhabung des Systems sind weitere Ergonomieanforderungen, deren Erfüllung oft nicht gewährleistet ist (Alt, 2003). Rein

technisch betrachtet, bestehen bei den meisten Tracking-Systemen nach wie vor Probleme u.a. hinsichtlich der Störsicherheit und Robustheit. Das bedeutet, dass das Tracking-System entweder Prozesse in der industriellen Umgebung stört oder dass umgekehrt die umgebenden Prozesse die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Trackings verringern. Deshalb wird vermehrt an der Entwicklung hybrider Tracking-Systeme gearbeitet, um durch die Kombination verschiedener Verfahren deren jeweilige Nachteile zu umgehen (z.B. Behnke, 2005).

Anzeigeegeräte

Auf die unterschiedlichen Klassen von Anzeigeegeräten wurde bereits in *Kap. 3.2.3* eingegangen. Neben Monitor- und HMD-basierten CAR-Systemen gibt es die Unterscheidung zwischen Look-Around und See-Through sowie bei letzterem zwischen Optical See-Through (OST) und Video See-Through (VST).

Der Einsatz von Monitoren schränkt das Gefühl des Eintauchens in die erzeugte Situation ein, da die virtuellen Informationen nicht direkt ins Sichtfeld eingeblendet werden. Jedoch bestehen kaum technische oder wahrnehmungsbedingte Probleme bei dieser Art von Anzeigeegeräten. Auf VST-Technologie basierende HMDs sind für den Industrie-Einsatz eher ungeeignet, da sie einerseits bei Stromausfall oder Störung die Sicherheit des Benutzers einschränken, der in diesem Fall keine Sicht auf die Realität hat (Azuma, 2001). Außerdem wird aufgrund der Abweichung zwischen der Aufnahme der am HMD befestigten Kamera und dem Blickwinkel des Benutzers („eye-offset“-Problem) die Auge-Hand-Koordination erschwert (Biocca et al., 1998). OST-HMDs sind gut in der Instandhaltung einsetzbar, da der Träger die Realität durch die halbdurchlässigen Spiegel mit eigenen Augen wahrnimmt. Jedoch ist auch hier die Benutzertauglichkeit durch technische und ergonomische Schwierigkeiten eingeschränkt. Rottenkolber et al. (2004) berichten von physischen Beschwerden ihrer Probanden wie Kopf- und Nackenschmerzen, Schwindelgefühl oder brennende Augen. Die Notwendigkeit, die Linse häufig zu akkomodieren, um den Fokus zwischen der Ebene der eingeblendeten Informationen und der Ebene der realen Objekte zu wechseln, wird ebenfalls als anstrengend und ermüdend erlebt. All dies reduziert die Akzeptanz durch die Benutzer, ebenso wie die erschwerte Bewegungsfreiheit durch die Verkabelung der HMDs. Auch bei OST-HMDs ist unter Sicherheitsaspekten relevant, dass - je nach Bauart des OST-HMDs - das Sichtfeld des Trägers und somit auch das Peripheriesehen unterschiedlich stark eingeschränkt werden (Alt, 2003). Die vor der Benutzung aufzubringende Zeit für die Kalibrierung des HMDs erhöht letztlich die Einrichtungszeit für das gesamte CAR-System und ist vor jeder Benutzung sowie für jeden wechselnden Benutzer zu wiederholen. Als Fazit muss demnach gezogen werden, dass erst nach erheblichen technischen Weiterentwicklungen der kommerzielle Einsatz von HMDs in der Instandhaltung realisiert werden kann.

Im Zusammenhang von CAR-Technologie und Anzeigeegeräten ist auch das sog. „attention tunneling“ zu berücksichtigen. Dieser Effekt beschreibt, dass die Aufmerksamkeit des Systemanwenders zu stark auf die im Display angebotenen Informationen gelenkt wird, so dass andere wichtige visuelle Informationen übersehen werden könnten. Dies wurde z.B. in der Untersuchung von Tang et al. (2003) beobachtet. Möglich ist aber auch, dass sich der Nutzer zu stark auf diese Informationen im Display verlässt, ohne sie im Zweifelsfall kritisch zu hinterfragen. Es ist anzunehmen, dass die Gefahr des Auftretens von attention tunneling größer ist, je mehr das eingesetzte Anzeigeegerät in der Lage ist, den Träger in die erzeugte Situation eintauchen, ihn also ein Immersionsgefühl erleben zu lassen. Das bedeutet, dass attention tunneling eher bei der Verwendung von HMDs als beim Einsatz von Monitoren zu erwarten wäre.

Tragbare Rechner

Bisher werden Laptops, Tablet-PCs oder PDAs eingesetzt, um die Mobilität von CAR-Systemen zu gewährleisten, da der Stand der technischen Entwicklung von tragbaren Rechnern noch nicht weit genug fortgeschritten ist. Zum Beispiel ist die Laufzeit der Geräte aufgrund der noch nicht optimalen Energieversorgung begrenzt. Grafische Ausgabe und Datenübertragung sind jedoch sehr energieaufwändig (Rauterberg, 1999). Die Störungsfreiheit der Datenübertragung hinsichtlich der internen Kommunikation zwischen den Systemkomponenten und der externen Kommunikation stellt ebenso eine Schwierigkeit dar (Starner et al., 1995) wie die Robustheit, Temperatur-, Vibrations- oder Schockfestigkeit der Geräte.

4.2.2. Probleme der Mensch-CAR-Interaktion

Benutzergerechte Gestaltung der Benutzungsoberflächen

Die Qualität und Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsoberflächen von CAR-Systemen ist durch die Umsetzung softwareergonomischer Richtlinien und Normen sicherzustellen. Grundsätze für die Dialoggestaltung mit Bildschirmgeräten werden in Teil 10 der DIN EN ISO 9241 aufgestellt, Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit in Teil 11. Danach muss auch eine CAR-Software folgende Merkmale aufweisen:

- Aufgabenangemessenheit,
- Selbstbeschreibungsfähigkeit,
- Steuerbarkeit,
- Erwartungskonformität,
- Fehlerrobustheit,
- Individualisierbarkeit,
- Erlernbarkeit,
- Effektivität,
- Effizienz,
- Zufriedenheit.

Wie diese Merkmale konkret im Zusammenhang mit der Gestaltung von CAR-Systemen zu verstehen sind, kann bei Nikolić (2006) vertiefend nachgelesen werden.

Bei einigen Studien zur Gebrauchstauglichkeit wird deutlich, dass diese Richtlinien oftmals nicht beachtet wurden. Wenn z.B. bei Oehme (2002) beschrieben wird, dass die virtuellen Informationen das Arbeitsumfeld des Anwenders in einem Maße überdeckten, dass er die eigentlichen Arbeitsobjekte nicht mehr erkennen konnte, entspricht dies nicht einer aufgabenangemessenen Gestaltung der Benutzungsoberfläche. Dies trifft ebenso zu, wenn dem Anwender Informationen angeboten werden, die nicht seinem Wissens- und Erfahrungsstand entsprechen, ihn also über- oder unterfordern. So wurde erfahrenen Instandhaltern in einer Untersuchung von Schmidt et al. (2002) als rotierender virtueller Pfeil eingeblendet, in welche Richtung sie eine Schraube mit einem gängigen Rechtsgewinde zu lösen hatten. Erfolgt also die Anwendung softwareergonomischer Kriterien nicht, kann dies zusätzlich zu den technischen und ergonomischen Problemen von CAR-Anwendungen deren Akzeptanz durch den Benutzer beeinflussen.

Spracheingabesteuerung

Ein Instandhalter ist bei seiner Arbeit darauf angewiesen, beide Hände für die Manipulation an einem Gerät oder einer Anlage bzw. für die Handhabung von Werkzeugen benutzen zu können. Aus diesem Grund sollten Hilfsmittel in der Instandhaltung eine „hands free“-

Bedienung ermöglichen. CAR-Systeme sollten daher über eine Spracherkennungssoftware verfügen. Diese soll sprecherunabhängig und zudem industrietauglich sein, d.h. auch in einer lärmhaltigen Umgebung zuverlässig funktionieren. Diesbezüglich besteht noch Entwicklungsbedarf bei den heutigen Softwareprodukten.

4.2.3. Probleme des Informationsflusses

Informationsbereitstellung

Instandhalter benötigen bei ihrer Tätigkeit eine Fülle von Informationen, die verschiedensten Datenquellen entstammen und sich vielfältigen Datentypen zuordnen lassen (Konstruktionszeichnungen; Explosionszeichnungen; Installations-, Strom- oder Hydraulikpläne; Funktionsbeschreibungen und Instandhaltungsanleitungen; Prozessdaten und Protokolle; Stück- und Ersatzteillisten; Normen, Richtlinien und Vorschriften etc.). Diese Daten liegen auf verschiedensten Medien (Papiermanuale, Video-, Audio-, Rechnerdateien etc.) und in verschiedensten Dateiformaten vor. Sie müssen i.d.R. aufwändig verfügbar gemacht werden. Neben dem Datenzugriff ist unter dem Aspekt der Informationsbereitstellung ebenso relevant, welche Informationen für die jeweils durchzuführenden Aufgaben benötigt werden. Die angebotenen Informationen müssen situationsrelevant und dem Kenntnisstand des Benutzers, der die Aufgabe ausführt, angemessen sein. Das heißt, eine Individualisierbarkeit des Informationsangebotes muss möglich sein. Die Auswahl des angebotenen Inhalts ist zunächst von der Arbeitsvorbereitung zu treffen. Der Instandhalter selber sollte im Sinne der Individualisierbarkeit aber auch die Möglichkeit haben, für ihn wichtige Informationen ins System einzutragen, die ihm beim nächsten Aufruf einer Aufgabe wieder angeboten werden sollen. Neben der Frage der Einspeisung von Informationen in das System muss auch der Export von Informationen geklärt werden. Dies betrifft Daten über die ausgeführte Arbeit, also Protokolle, Stundennachweise oder wichtige Ereignisse, die bei der Aufgabenausführung aufgetreten sind und registriert werden müssen. Das CAR-System soll deren Speicherung und Weiterleitung vornehmen können, um den Instandhalter davon zu entlasten, diese Informationen selber in schriftlicher Form festzuhalten und weiterzuleiten, was einen großen Zeitaufwand bedeutet (Jungeblut, 1992).

Authoring-Systeme

Die eben erläuterte Problematik der Verfügbarkeit und des Zugriffs auf Daten führt weiter zu der Schwierigkeit, die ausgewählten Daten in virtuelle Informationen bzw. Augmentierungen umzuwandeln. Dies manuell zu tun, ist sehr zeit- und kostenaufwändig, v.a. wenn dem Benutzer dreidimensionale Informationen eingeblendet werden sollen. Ziel ist, die Datenerstellung letztlich automatisch durchführen zu können, wofür noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten sein wird.

4.2.4. Kosten

Die Durchführung einer Nutzen-Kosten-Analyse ist in jedem Fall vorzunehmen, um zu entscheiden, ob sich der Einsatz einer CAR-Anwendung im jeweiligen Einzelfall lohnt. Denn nach wie vor sind die Aufwendungen für die notwendigen Systemkomponenten sehr hoch. Dies betrifft vor allem die Kosten für HMDs und Tracking-Systeme, die über jene technischen und ergonomischen Eigenschaften verfügen, die einen Einsatz in der Instandhaltung ermöglichen. Da i.d.R. ein Arbeitsplatz nicht ausreicht, summieren sich die Kosten entsprechend. Demgegenüber steht der Nutzen, den die Unterstützung ausgewählter Aufgaben mit

einem CAR-System bringen kann. (Für eine ausführliche Beschreibung der Nutzen-Kriterien siehe Nikolić, 2006).

4.3. Bisherige Ergebnisse zum Einsatz von CAR im industriellen Bereich

In der Literatur findet sich eine Reihe von Veröffentlichungen, in denen unterschiedlichste prototypische CAR-Entwicklungen für Montage- oder Serviceanwendungen oder für den Einsatz in der Produktion vorgestellt werden. Einige dieser Veröffentlichungen enthalten Ergebnisse von Studien, in denen die Effizienz des jeweiligen Prototyps im Vergleich zu herkömmlichen Unterstützungsmitteln untersucht wurde. Meist werden als Effizienzkriterien Bearbeitungszeiten und Fehlerraten herangezogen sowie evtl. auch die subjektiv erlebte Beanspruchung erfasst. Da die untersuchten Prototypen, die gestellten Aufgaben und die Vergleichshilfsmittel sich stark unterscheiden, ist eine Verallgemeinerung der Ergebnisse kaum möglich. Gegenüber Papiermanualen bestehende Vorteile der CAR-Technologie zeigen sich jedoch relativ stabil. Im Folgenden sollen einige Befunde beschrieben und Schwierigkeiten bei der Beurteilung der Nützlichkeit von CAR-Systemen verdeutlicht werden.

Baird (1999) verglich vier Anleitungsarten bei der Montage verschiedener Sorten von PC-Karten (Sound, Video, RAM etc.). Pro Sorte waren mehrere Karten auf einem Motherboard zu montieren. Die Instruktion, welche PC-Karte an welchen Ort gehört, erfolgte mittels eines Papiermanuals, mittels Power-Point-Folien auf einem LCD-Monitor (dies entspricht einer Computer Assisted Instruction, CAI) oder per CAR-Anleitung über ein HMD. Es gab zwei HMD-Bedingungen, d.h. es kam sowohl ein VST-HMD als auch ein OST-HMD zum Einsatz. Erfasst wurde neben der Montagezeit und der Fehlerzahl auch das persönliche Urteil der Teilnehmer in Form eines Rankings der Hilfsmittel. Die Auswertung ergab zunächst einen signifikanten Haupteffekt bezüglich der Montagezeit. Die Aufgabe wurde am schnellsten bearbeitet, wenn die Instruktion im OST-HMD dargestellt wurde (95.2 sec), gefolgt von VST-HMD (107.6 sec), LCD-Monitor (176.3 sec) und Papiermanual (197.1 sec). Deutlich ist die Differenz zwischen Monitor bzw. Papieranleitung und den beiden CAR-Bedingungen. Letztere führten auch zu kleineren Standardabweichungen im Vergleich zu den beiden herkömmlichen Instruktionsarten. Daraus wurde geschlussfolgert, dass die CAR-Unterstützung das Verhalten der Versuchspersonen vereinheitlicht. Bei den Fehlerzahlen zeigten sich ebenso deutliche CAR-Vorteile. Von den insgesamt 15 beobachteten Fehlern (bei 60 trials) passierte einer bei der Anleitung mittels OST-HMD, zwei bei der Arbeit mit VST-HMD. Vier Fehler entfielen auf die Monitor-, acht Fehler auf die Papieranleitung. Über die Hälfte aller Fehler wurde also bei der Arbeit mit dem Manual begangen. Bei dieser Anleitungsart beurteilten die Versuchsteilnehmer die Schwierigkeit der Aufgaben auch am höchsten, gefolgt von der Monitor-Anleitung und den beiden HMD-Bedingungen. Das gleiche Muster wie bei der Schwierigkeit spiegelt sich auch beim abschließenden Ranking der vier Medien in Form der Noten 1-4 wider.

Bei Betrachtung der Ergebnisse liegt der Schluss nahe, dass die CAR-Hilfsmittel eine wesentlich bessere Unterstützung der Arbeit leisten. Jedoch muss bei der Interpretation der Werte berücksichtigt werden, dass sich die Informationen, die im Manual und auf dem Monitor angeboten wurden, von denen in den CAR-Bedingungen deutlich unterscheiden. Die Papieranleitung enthielt schwarz-weiße Fotos. Dies war zum einen ein Übersichtsfoto mit Markierung und Bezeichnung aller Anschlüsse. Die restlichen sechs Fotos zeigten jeweils eine PC-Karten-Sorte, und mittels einer textlichen Instruktion wurden die Montageorte genannt. Pro Seite waren zwei solcher Fotos abgebildet. Die Monitoranleitung enthielt dieselben Informationen

wie das Manual, jedoch waren die Fotos farbig, und pro Folie wurde nur noch ein Foto abgebildet. Die Versuchspersonen mussten sich bei diesen beiden Medien also anhand des Fotos merken, um welche PC-Karte es sich im aktuellen Schritt handelt. Anschließend mussten sie diese Karte unter den anderen ähnlich aussehenden PC-Karten identifizieren. Sie mussten sich weiterhin merken, welcher Ort ihnen für die Montage genannt wurde, und ihn evtl. durch Zurückblättern zum Übersichtsfoto bestimmen und dann auf dem realen Motherboard wieder finden. In den HMD-Bedingungen hingegen wurde virtuell im Sichtfeld markiert, welche PC-Karte im jeweiligen Schritt zu montieren ist. Die mentale Anforderung, sich das Aussehen der Karte vom Foto her zu merken und diese dann zwischen den anderen Karten wieder zu erkennen, entfiel also. Demzufolge liegt der Schluss nahe, dass die unterschiedlichen Ergebnisse nicht nur aus der Art der Präsentation der Informationen resultieren, sondern v.a. auch aus dem unterschiedlichen Informationsangebot. Die Personen mussten sich beim Arbeiten mit dem HMD nicht nur weniger Informationen merken, weil diese direkt ins Sichtfeld eingeblendet wurden und ein Hin- und Herblicken zwischen Anleitung und Realität entfiel. Sondern es liefen gänzlich andere informationsverarbeitende Prozesse ab. Es ist natürlich auch sinnvoll, ein neues Hilfsmittel und seine Möglichkeiten mit dem State of the Art herkömmlicher Anleitungsmethoden zu vergleichen. Jedoch sollten auch diese dann optimal gestaltet sein, um ihr jeweiliges Potential auszuschöpfen. Informationsgleiche Medien haben den Vorteil, dass sich beobachtete Ergebnisunterschiede eindeutig auf die Unterschiede in der Präsentation der Informationen zurückführen lassen. Somit kann dann auch ermittelt werden, welche Präsentationsform welchen Beitrag zur Verbesserung der Ergebnisse leistet.

Zu bemerken ist im Zusammenhang mit der Studie von Baird zudem, dass der Umfang der gestellten Aufgaben mit sechs Schritten und einer maximalen Dauer von im Mittel 197.0 sec in der Papierbedingung relativ gering ist. Zudem legte er ein within-subjects-design zugrunde, d.h. jede der 15 Versuchspersonen bearbeitete jede Aufgabe vier Mal, also ein Mal mit jedem Hilfsmittel. Zwar wurde die Reihenfolge der Schritte jeweils vertauscht und es ließ sich statistisch kein Lerneffekt nachweisen. Jedoch scheint gerade bei dieser manuell einfach auszuführenden Aufgabe die Gefahr eines solchen Lerneffektes groß zu sein.

In den Jahren 1999-2003 förderte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ein Konsortium zur Entwicklung und Untersuchung von CAR für industrielle Anwendungen. In diesem Zusammenhang wurden verschiedene Studien zur Bestimmung der Gebrauchstauglichkeit der dort entwickelten CAR-Prototypen durchgeführt. Beispielsweise simulierte Alt (2003) eine Teile-Kommissionierung im Bereich der Automobilproduktion, und zwar das Anbringen von Aufklebern mit den Fahrzeugnummern. Die 15 Teilnehmer waren Mitarbeiter einer Automobilfirma. Ihre Aufgabe bestand in der Auswahl und Aufnahme der Aufkleber an der Entnahmestation und im Ablegen an einer bestimmten Position der Ablagestation. Die Versuchsumgebung war aus Tischen u-förmig aufgebaut: links lagen die Papierlisten für jene Versuchsbedingung, in der mit einer Papieranleitung gearbeitet wurde. In der Mitte war die Entnahme- und rechts die Ablagestation. Die Aufkleber unterschieden sich nur in ihrer Sprache und der Identifikationsnummer. Es handelte sich um 18 Aufkleber, die in sechs Spalten zu je drei Aufklebern angeordnet waren. Eines der Instruktionsmedien war die bereits erwähnte Papierliste. Sie enthielt die Fahrzeugnummern in der Reihenfolge der aufzunehmenden Aufkleber. Auf einem Monitor als zweitem Hilfsmittel wurde pro Schritt der relevante Aufkleber als Foto eingeblendet. Der Monitor stand an der Entnahmestation. In der CAR-Bedingung trugen die Probanden ein monokulares Look-Around-HMD im OST-Modus, in welches ebenfalls ein Foto des jeweils zu entnehmenden Aufklebers eingeblendet wurde. Da kein Tracking-System verwendet wurde, erschien die virtuelle Information nicht räumlich kongruent zum relevanten Aufkleber. Jedoch waren die per Foto über Monitor oder HMD angezeigten Aufkleberinformationen im Gegensatz zur Papierliste kontextabhängig. Auf letz-

terer waren gleichzeitig immer alle Fahrzeugnummern sichtbar. Die Steuerung von Monitor und HMD erfolgte durch einfachen Mausklick. Jeder Teilnehmer bearbeitete die Versuchsaufgaben mit jedem Medium, durchlief also drei Versuchsblöcke. Die Reihenfolge der Medien wurde variiert, nicht aber die der Aufgaben innerhalb der Blöcke. Gemessen wurde die Fertigungszeit als durchschnittliche Bearbeitungszeit sowie die Qualität der Arbeit in Form der Trefferquote.

Die Aufgabenbearbeitung mit der Papierliste dauerte mit 23.6 sec pro Aufkleber signifikant länger als bei Instruktion über Monitor (11.4 sec) oder HMD (11.9 sec), welche sich nicht unterschieden. Als Ursachen dafür, dass sich gegenüber der Monitoranleitung nicht wie erwartet ein Zeitvorteil der CAR-Anleitung einstellte, wurden neben ergonomischen Nachteilen auch technische Probleme des HMDs genannt (zu lange Latenzzeit, mangelnde Lichtdurchlässigkeit und damit schlechte Erkennbarkeit der Realität, schlechte Lesbarkeit der virtuellen Informationen). Der Autor nimmt ein erhebliches Zeiteinsparungspotential bei Behebung dieser Negativeinflüsse an. Dies sieht er in der Möglichkeit begründet, die Informationsaufnahme über das HMD mit Nebentätigkeiten zu parallelisieren, d.h. mit den nötigen Ortswechseln von der Ablage- zur Entnahmestation. Der Umstand, dass die Wegezeiten in die Berechnung der Bearbeitungszeit mit eingehen, bedeutet, dass im Falle der Papieranleitung automatisch ein höherer Wert als bei der Monitoranleitung resultieren muss. Denn die Liste lag weiter entfernt von der Entnahmestation auf einem separaten Tisch, wohingegen der Monitor direkt links neben den Aufklebern auf demselben Tisch stand. Insofern hätte die Zeit für die Aufgabenbearbeitung mit der Papierliste um die zusätzliche Wegezeit reduziert werden müssen.

Die Trefferquote weist den besten Wert für die Monitoranleitung aus (97.8%), gefolgt vom HMD (96.7%) und der Papierliste (94.4%). Die Unterschiede sind nicht signifikant. Statistische Aussagen ließen sich aufgrund der kleinen Stichprobe auch nur mangelhaft treffen. Auch hier erwartet der Autor einen Anstieg der Trefferquote nach Behebung der störenden Eigenschaften des HMDs.

Als Fazit aus diesen beiden Studien kann gezogen werden, dass eine zentrale Anforderung an Studien zum Vergleich verschiedener Hilfsmedien sein sollte, die Versuchsbedingungen so zu gestalten, dass kein Medium von vornherein benachteiligt wird. Dies betrifft die bei Baird (1999) wahrscheinlich nicht optimale Gestaltung der Papier- und Monitoranleitung und bei Alt (2002) das Einfließen der versuchsaufbaubedingt längeren Wegezeiten in die Bearbeitungszeit der Papierliste. Zudem kann durch das Erzeugen einer Informationsgleichheit der Medien die Interpretation resultierender Ergebnisunterschiede vereinfacht werden. Je mehr abweichende Eigenschaften zweier Hilfsmittel in das Versuchsdesign eingehen, desto schwieriger lässt sich der eventuelle Vorteil eines Mediums auf eine konkrete Eigenschaft zurückführen. Diese beiden Anforderungen sollten in den Versuchen, die in der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden, berücksichtigt werden.

Tang et al. (2003) boten bei der Evaluation ihres CAR-Systems in allen eingesetzten Medien weitgehend gleiche Informationsinhalte an. Sie simulierten eine allgemeine Montageaufgabe und ließen ihre Versuchspersonen Duplo-Bausteine zu einer komplexen, unregelmäßigen Struktur zusammensetzen. Die Autoren entschieden sich bewusst für eine Abstraktion von realen Aufgaben. Denn sie wollten einen Einfluss von Vorerfahrung bei den Probanden ausschließen und die erhaltenen Ergebnisse generalisieren und auf Montageaufgaben im Allgemeinen übertragen können. Die Probanden wurden entweder über Farbfotos in einem Papiermanual, auf einem LCD-Monitor oder in einem OST-HMD angeleitet, wie die Steine zu setzen sind. In der CAR-Bedingung wurde in ein OST-HMD je Schritt ein virtueller 3D-Baustein eingeblendet, der räumlich-kongruent dem jeweiligen Zielort in der Realität überla-

gert war. Unabhängig davon, mit welcher Anleitung gearbeitet wurde, trugen alle Teilnehmer ein HMD und durchliefen jeweils die Kalibrierungsprozedur, damit sich die Einflüsse des Tragens eines HMDs gleichermaßen auf alle Bedingungen auswirkten. An dieser Studie nahmen 75 studentische Versuchspersonen teil. Damit setzt sie sich von der Mehrzahl der anderen Studien ab, die meist nur geringe Teilnehmerzahlen und somit eine eingeschränkte statistische Aussagekraft aufweisen.

Die Autoren erwarteten die kürzeste Ausführungszeit mit der CAR-Unterstützung, weil Kopf- und Augenbewegungen durch die Einblendung der Informationen ins Sichtfeld reduziert sein sollten. Da Aufmerksamkeitswechsel also entfallen und die räumliche Überlagerung der Informationen das Arbeitsgedächtnis entlastet, sollte weiterhin die mentale Beanspruchung der Benutzer reduziert sein. Wegen der eindeutigen Identifizierung der Montageorte und der explizit vorgegebenen Orientierung der Bausteine durch das Tracking wurde zudem von weniger Fehlern in der CAR-Bedingung ausgegangen. Hinsichtlich der Zeit zeigte sich, dass nur die Arbeit mit der Papieranleitung (Dauer 14:24 min) signifikant länger dauerte als die Arbeit mit dem CAR-System (10:39 min, d.h. 27% Zeitersparnis). Letzteres resultierte insgesamt gesehen in der kürzesten Bearbeitungszeit, unterschied sich aber nicht bedeutsam von den anderen beiden Hilfsmitteln. Die erwartete Reduzierung von Kopf- und Augenbewegungen konnte nicht beobachtet werden. Es trat sogar ein gegensätzlicher Effekt auf. Denn die Projektion der Augmentierungen ins zentrale Sichtfeld führte dazu, dass Teile der Realität verdeckt wurden, was das Ausführen der Manipulation erschwerte. Der Vorteil der simultanen Wahrnehmung von Arbeitsobjekt und virtueller Information wurde also durch deren visuelle Interferenz wieder aufgehoben. Einige Probanden berichteten dabei von einer Interferenz, die zu einer schlechteren Erkennbarkeit des Arbeitsbereichs führte. Andere erlebten eine Interferenz dahingehend, dass es schwer war, die Instruktionen vor dem Hintergrund des Arbeitsfeldes zu lesen, da diese im zentralen Sichtfeld positioniert waren. Sie bewegten daraufhin ihren Kopf in Richtung einer Wand, um vor diesem neutralen Hintergrund die Augmentierungen besser erkennen zu können. Den dennoch beobachteten Zeitvorteil der CAR-Anleitung gegenüber dem Manual erklärten die Autoren letztlich durch die Sprachsteuerung. Trotz der nachteiligen Auswirkung auf die Kopfbewegungen beurteilten die Probanden die mentale Beanspruchung bei der CAR-Unterstützung am geringsten. Hinsichtlich der Fehler hob sich das CAR-System (Fehlerrate=1.6) deutlich von den drei anderen Hilfsmitteln ab, deren Fehlerrate um ein Fünftel bis Sechsfaches höher war. Die Genauigkeit konnte also signifikant verbessert werden.

Dies stellt einen sehr positiven Befund dar, zumal er statistisch gut abgesichert ist. Denn vor dem Hintergrund der hohen Arbeitsunfallrate in der Instandhaltung (siehe *Kap. 2.3*) wird in dieser Arbeit die Auffassung vertreten, dass der Reduzierung von Fehlern und somit der Verbesserung der Arbeitssicherheit das hauptsächliche Augenmerk bei der Bewertung in der Instandhaltung eingesetzter CAR-Systeme gelten sollte. Die Arbeit korrekt auszuführen und Fehler zu vermeiden ist höher einzustufen als das Einsparen von Zeit im Bereich weniger Minuten oder gar nur Sekunden. Dies ist z.B. auch vor dem Hintergrund eventuell anfallender zusätzlicher Reisezeiten und –kosten zu betrachten, wenn der Instandhalter wegen eines von ihm begangenen Fehlers erneut zu einem Arbeitsort anreisen muss.

Eine Schwierigkeit, mit der ein Instandhalter konfrontiert werden kann, ist, sich in großen Industrieanlagen zu orientieren. In der Literatur finden sich i.d.R. Studien zum Vergleich CAR-basierter und traditioneller Anleitungsarten, bei denen die Versuchsteilnehmer Aufgaben bearbeiteten, die keine räumliche Orientierung in größeren Suchräumen verlangten, sondern sich auf einen begrenzten, leicht überschaubaren Raum bezogen. Dennoch kann auch hier die Orientierung beim Tragen eines HMDs allein schon durch die Einschränkung des Sichtfeldes erschwert werden. Eine Studie, bei der ein solches Orientierungsproblem deutlich

wird, wurde bei der Untersuchung eines ebenfalls im Rahmen von ARVIKA entwickelten CAR-Prototyps durchgeführt (z.B. Schmidt et al., 2002; Wiedenmaier et al., 2003). Die Aufgabe für die Probanden bestand darin, eine Kfz-Türmontage auszuführen. Ihnen wurden drei unterschiedlich schwierige Aufgaben gestellt (Klips montieren, Kabelbaum verlegen, Fensterheber montieren). Diese erledigten sie entweder mit einer Papieranleitung, dem CAR-System mit Look-Around-HMD oder mit Hilfe eines Tutors.

Bei der einfachsten Aufgabe, der Klip-Montage, dauerte das Finden der Montagestellen mit der Papier- und der CAR-Anleitung signifikant länger als bei Unterstützung durch den Tutor. Das heißt, Papier- und CAR-Bedingung unterschieden sich nicht. Bei der mittelschweren Aufgabe, der Verlegung eines Kabelbaums, lag der Unterschied zwischen Papier- und CAR-Bedingung unter der Signifikanzschwelle ($p=0.07$). Die Aufgabe selbst war wohl leicht auszuführen, aber die Montageorte lagen an voneinander entfernten und z.T. verdeckten Stellen (Frontseite der Tür, untere Seite, Innenseite). Die Orientierung fiel also auch hier mit Hilfe des Tutors, der auf die Orte zeigte, ohne sie zu berühren, am einfachsten. Die mit dem HMD benötigte Zeit für die Kabelbaummontage unterschied sich nicht von der mit dem Manual benötigten Zeit. Die schwierigste Aufgabe bildete die Montage der Fensterheber. Hier zeigte sich dann auch ein 33%iger Zeitvorteil der CAR-Unterstützung gegenüber dem Papiermanual. Allerdings war die Arbeit mit Hilfe des Tutors noch immer um 40% schneller als die Arbeit mit dem CAR-System. Betont wurde, dass die Unterschiede zwischen den Hilfsmitteln sich nicht bei der manuellen Ausführung der Aufgabe zeigten, sondern bei den kognitiven Prozessen des Findens des Montageortes oder während des Lesens, Hörens oder Verstehens der Inhalte der Instruktion. Auch der vorliegenden Arbeit wird die Annahme zugrunde gelegt, dass es die sog. kognitiven Zeitanteile sind (in Abgrenzung zu manuellen Zeitanteilen; vgl. Towne, 1985), die bei der Aufgabenausführung mit Unterstützung durch eine Anleitung beeinflusst werden (vgl. auch Nikolić, 2006). Auch die Fehlerauswertung zeigte, dass die Unterstützung durch einen Tutor der Arbeit mit der Papieranleitung oder dem CAR-System überlegen ist. Während bei der Expertenanleitung bei allen Aufgaben null Fehler begangen wurden, da durch die Einflussnahme und Kontrolle des Tutors Fehler bereits im Ansatz korrigiert werden konnten, variierte die Fehlerrate bei den anderen beiden Hilfsmitteln in Abhängigkeit von der Aufgabe. Insgesamt gesehen führte jedoch die CAR-Anleitung zu weniger Fehlern als die Papieranleitung.

Die Autoren berichteten, dass sich „als Hauptproblem des Prototyps (...) die Schwierigkeit heraus(stellte), den Ort des nächsten Arbeitsschrittes zu finden. Wenn sich die Versuchsperson nicht im näheren Sichtfeld des nächsten Arbeitsschrittes befand, so war für sie unklar, was zu tun ist. (...) Erst durch Herumschauen konnte dann zufällig der Ort des nächsten Arbeitsschrittes gefunden werden.“ Das heißt, dass den Personen in der Tätigkeitsbeschreibung eines Schrittes genannt wurde, was zu tun ist, der Ort selber aber nicht genau beschrieben wurde. Erst wenn sie durch Herumschauen früher oder später das relevante Teil in den Fokus des Sichtfeldes brachten, erschien die zugehörige Augmentierung im HMD. Als Lösungsvorschlag wurde angeboten, die eingeblendete Tätigkeitsbeschreibung immer mit einer genaueren Bezifferung des Arbeitsortes zu kombinieren. Dies könnte entweder mittels Navigationspfeilen, die die Blickrichtung anzeigen, oder mittels eines Kompasslements erfolgen. Nur muss an dieser Stelle berücksichtigt werden, dass solche Pfeile nur die grobe Blickrichtung angeben, nicht aber die Entfernung, die man in dieser Richtung zurücklegen muss, bis man das Teil findet. Als ein Fazit aus diesen Ergebnissen nannten die Autoren: „Occluded assembly places still pose a problem (...)“. Objekte, die außerhalb des jeweiligen Sichtfeldes lagen (z.B. an der Außenseite der Tür, während man im aktuellen Teilschritt an der Türinnenseite beschäftigt war) und damit nicht direkt sichtbar waren, waren mit HMD-Unterstützung nur schwer zu finden. Die räumliche Orientierung in einem größeren Suchraum mit einem

HMD stellt also noch eine Schwierigkeit dar, die es zu lösen gilt. Deshalb wurde auch in der vorliegenden Arbeit der Aspekt der räumlichen Orientierung aufgegriffen. So sollte untersucht werden, inwieweit die Orientierung mit alternativen CAR-Systemen besser unterstützt werden kann.

Ein weiteres Problem, das sich im Zusammenhang mit CAR-Systemen und im Besonderen beim Tragen von HMDs auftut, ist die Gestaltung der Benutzungsoberfläche und die Platzierung der virtuellen Informationen. Denn die Projektion der Augmentierungen direkt ins Sichtfeld kann auch dazu führen, dass Teile der Realität verdeckt werden, was möglicherweise das Ausführen der Manipulation erschwert. Dieser Effekt trat ja z.B. in der Untersuchung von Tang et al. (2003) auf. Die verwendete HMD-Technologie und deren Auflösung sind in diesem Zusammenhang ebenfalls in Betracht zu ziehen. Wird ein VST-HMD verwendet, kann die Realität nur mit der Auflösung des HMDs dargestellt werden. Ist diese Auflösung gering, kann es dazu kommen, dass Details, z.B. Beschriftungen auf Bauteilen, nicht lesbar sind. Das führt evtl. dazu, dass unter dem Display hindurch gesehen werden muss, um die Realität zu erkennen. Dies berichteten Oehme et al. (2002). In einem anderen Fall, so Oehme et al., ist es vorgekommen, dass die vor dem Montageort (z.B. einer Schraube) eingeblendeten Animationen als störend empfunden wurden, da sie das Gewinde der Schraube verdeckten und die Versuchspersonen es nur tastend finden konnten. Wenn solche Animationen sich zudem ständig wiederholen und vom Nutzer nicht abgestellt werden können, somit also immer wieder die Aufmerksamkeit auf sich ziehen oder schließlich als lästig empfunden werden, würde sich die ständige Präsenz der virtuellen Informationen im Sichtfeld auch negativ auswirken. Dies spricht für monitorbasierte CAR-Lösungen, denn diese ermöglichen beim Arbeiten einen freien Blick auf das reale Bauteil.

Zusammenfassend soll daher an dieser Stelle betont werden, dass der Gestaltung der Mensch-Computer-Interaktion bei CAR-Systemen ein hoher Stellenwert beizumessen ist. Gleiches gilt für die Beurteilung ihrer Gebrauchstauglichkeit. Versuchspläne zur Evaluation von Hilfsmitteln sind sorgfältig zu konzipieren, um eine objektive Beurteilung der Potentiale aller untersuchten Medien zu erreichen. Zudem sollte eine der jeweiligen Prototyping-Phase angemessene Zahl von Endnutzern für die Evaluation solcher Systeme rekrutiert werden.

Das Ziel der am IPP geleisteten Forschung und Entwicklung zur Computer Augmented Reality besteht nun darin, mit geringem technischem und finanziellem Aufwand ein CAR-System zu entwickeln, das die hier beschriebenen technischen und ergonomischen Probleme umgeht und direkt in der Praxis eingesetzt werden kann. Es soll einen Instandhalter bei seiner Tätigkeit mit benötigten Informationen unterstützen, um die Arbeit effizienter zu gestalten, und die Orientierung insbesondere in wenig vertrauten, komplexen oder weitläufigen Umgebungen erleichtern. Vor allem aber soll es zum Vermeiden von Fehlern beitragen und somit die Arbeitssicherheit verbessern. Demzufolge wird in den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Tests zur Beurteilung der Effizienz und Gebrauchstauglichkeit das Hauptaugenmerk nicht auf zeitlichen Parametern, sondern auf den Fehlerzahlen liegen. Bei der Evaluation sollen die unter diesem Punkt betonten Anforderungen an die Gestaltung von Versuchsplänen und Hilfsmedien berücksichtigt werden. Bevor diese Untersuchungen vorgestellt werden, soll zunächst im folgenden Kapitel eine Vorstellung des am IPP der TU Clausthal entwickelten CAR-Prototyps sowie der bisher vorliegenden Ergebnisse seiner Evaluation erfolgen.

5. CARIHBA als Prototyp eines monitorbasierten CAR-Systems

CARIHBA stellt ein alternatives CAR-System dar, das konzeptuell einfach, direkt in der Instandhaltungs-Praxis einsetzbar und finanziell günstig ist. Eine ausführliche Beschreibung der Entwicklung und technischen Realisierung von CARIHBA findet sich bei Nikolić (2006). Im Folgenden sollen der Aufbau des Systems und seine Funktionsweise vorgestellt werden.

5.1. Hardware- und Softwarekomponenten

Bei CARIHBA handelt es sich um ein monitorbasiertes CAR-System und somit um ein Umblinksystem (Look-Around, vgl. *Kap. 3.2*). Es verfügt über folgende Hardware-Komponenten (siehe *Abb. 5.1*):

- Rechner,
- steuerbare Kamera,
- Ausgabegeräte: Monitor und Kopfhörer (Headset),
- Eingabegeräte: Mikrofon (Headset), Maus, Tastatur.

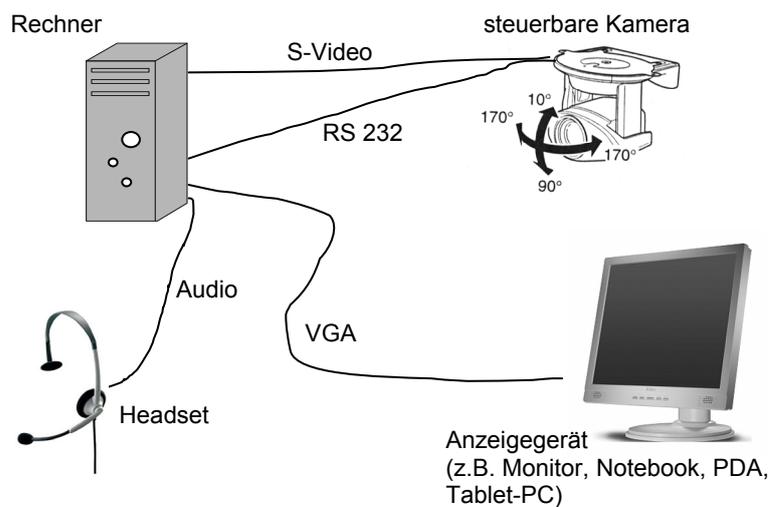


Abb. 5.1: Schematischer Hardware-Aufbau von CARIHBA

CARIHBA verzichtet also auf den Einsatz von HMD und Tracking-System und umgeht somit deren Nachteile. Neben den handelsüblichen Hardware-Komponenten und den dadurch geringen Anschaffungskosten führt die Arbeit mit CARIHBA beim Anwender zu keinen ergonomischen Nachteilen, etwa durch das Am-Körper-Tragen von Systemkomponenten.

Weiterhin ist zum Hardware-Aufbau zu bemerken, dass im Praxiseinsatz anstelle eines Desktoprechners und eines Monitors ein Notebook, Tablet-PC oder ähnliches verwendet werden sollte, um die Mobilität des Systems zu gewährleisten. *Abb. 5.2* zeigt den Hardware-Aufbau in der Praxis.

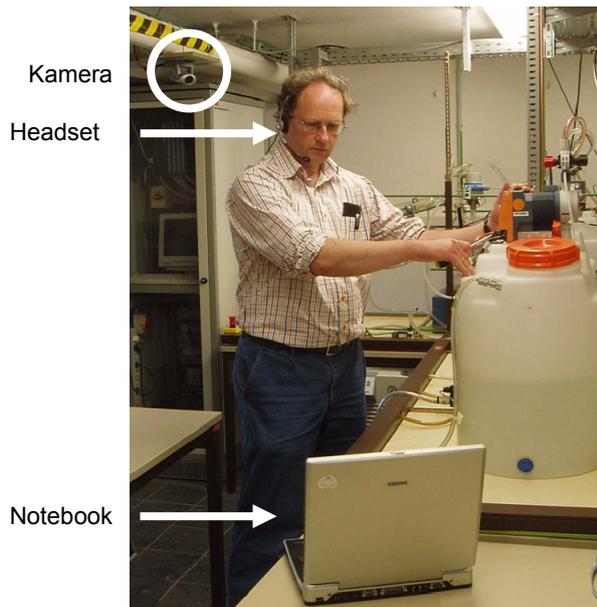


Abb. 5.2: Hardware-Aufbau von CARIHBA in der Praxis

Die softwaretechnischen Komponenten von CARIHBA (siehe *Abb. 5.3*) sind:

- Betriebssystem,
- CARIHBA-Software,
- kommerzielle Spracherkennungssoftware,
- Standardsoftware (Datenbank, Internet-Browser etc.).

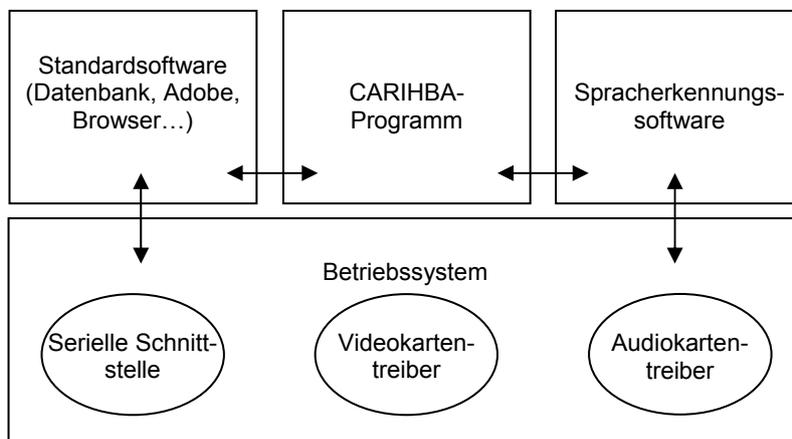


Abb. 5.3: Software-Aufbau von CARIHBA

Die Kamera ist an einem vorgeplanten Punkt im Raum fixiert. Damit setzt sich CARIHBA vom monitorbasierten CAR-System ab, wie es bei Azuma (1997) definiert wird. Er beschreibt die Position und Orientierung der erforderlichen Kamera im Raum als kontinuierlich zu ermitteln, was ein Tracking-System nötig macht. Da aber gerade die mit Tracking-Systemen verbundenen Probleme bei CARIHBA umgangen werden sollten, ist hier die Kamera an einem festen Ort installiert. (Demgegenüber bestünde die Möglichkeit, am vorgeplanten Fixierpunkt einen Schnellverschluss zu montieren, an dem die Kamera im Einsatzfall befestigt wird, oder Markierungspunkte am Boden anzubringen, auf die ein Stativ für die Kamera gestellt werden

kann.) CARIHBA ist in dem Sinne nicht mobil, da es die Fixierung der Kamera erfordert. Die Mobilität des Benutzers und der Anzeigegeräte ist jedoch gewährleistet. Einem Einsatz in der Instandhaltung steht die Kamerafixierung nicht entgegen, wenn die zu wartenden Geräte statisch sind und so die Instandhaltungs-Aufgaben auf einen umgrenzten Raum beschränken, was in der überwiegenden Zahl der Fälle gegeben ist.

Die Kamera nimmt ein Video der Realität auf, welches auf dem Bildschirm präsentiert wird. Dieses Live-Video wird durch virtuelle Informationen überlagert, um die im Bild dargestellten Objekte näher zu erklären. *Abb. 5.4* zeigt ein Beispiel. Hinsichtlich der Augmentierungen ist sowohl eine kongruente, d.h. räumlich abgeglichen (die Augmentierungen befinden sich direkt an den Objekten, auf die sie sich beziehen), als auch eine nicht-kongruente Überlagerung möglich. Bei den überlagerten Informationen kann es sich um Text handeln, z.B. Bezeichnungen von Objekten, Handlungsanweisungen oder Warnungen. Es können weiterhin Grafiken verwendet werden, z.B. Striche, Pfeile oder Kreise, die entweder relevante Orte markieren oder als sog. Aktionsdiagramme (Heiser et al., 2004; Agrawala et al., 2003) dienen. Das heißt, es werden neben der Markierung eines zu manipulierenden Bauteils (z.B. durch Umkreisung) auch Aktionsrichtungen oder Endpositionen bspw. mittels Pfeilen angezeigt.

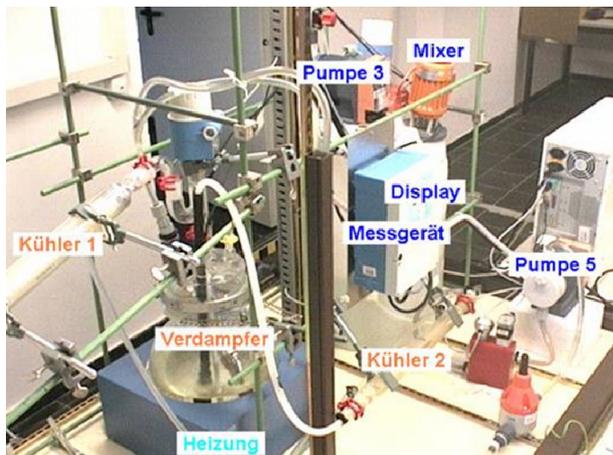


Abb. 5.4: Augmentierung des Live-Videos

Entscheidend ist bei jedem Einsatz, dass die Kameraposition sorgfältig ausgewählt wird. Denn einerseits soll der Blickwinkel der Kamera auf die zu wartende Anlage für den Benutzer bei den zu bearbeitenden Aufgaben hilfreich sein. Andererseits soll die Bewegungsfreiheit des Benutzers möglichst wenig eingeschränkt werden. Ist die Kamera unter diesem Aspekt ungünstig positioniert, kann es nämlich dazu kommen, dass der Anwender der Kamera die Sicht auf die Anlage versperrt, also Verdeckungen auftreten und der Benutzer nur einen eingeschränkten Bewegungsraum hat, wenn er diese unerwünschten Verdeckungen vermeiden will.

5.2. Benutzungsoberflächen

Das Programm verfügt über drei Benutzungsoberflächen:

- Übersichtsmodus,
- Szenariomodus,
- Authoringmodus.

Vor Beginn der vorliegenden Arbeit hatte CARIHBA bereits zwei Prototyping-Phasen durchlaufen. An dieser Stelle wird lediglich auf die Interfacegestaltung des zu Beginn dieser Arbeit vorliegenden zweiten Prototyps eingegangen. Die Beschreibung des ersten Prototyps findet sich bei Nikolić (2006).

5.2.1. Übersichtsmodus

Nach dem Starten von CARIHBA gelangt man automatisch in den Übersichtsmodus. Er dient dazu, sich mit einer Anlage vertraut zu machen und Informationen zu deren Bauteilen, Funktionsweise etc. einzuholen. In *Abb. 5.5* sind die Bestandteile der Oberfläche dieses Modus' verdeutlicht.

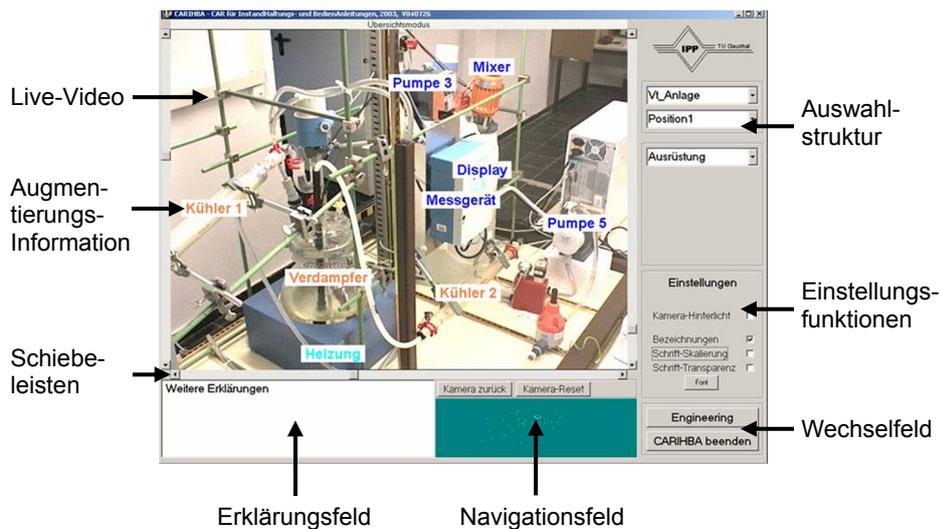


Abb. 5.5: Übersichtsmodus von CARIHBA

Die Kamera ist in diesem Modus frei bedienbar, so dass man sich durch Veränderung der Pan-, Tilt- und Zoomeinstellungen im sichtbaren Umfeld der Kamera umsehen kann. Die Kameraeinstellungen sind veränderbar durch:

- Spracheingabe (Kommandos „links“, „rechts“, „oben“, „unten“, „zoom ein“, „zoom aus“),
- Verstellen der Schiebeleisten (getrennt für Pan, Tilt und Zoom),
- Anklicken eines Objektes im Videobild mit der Maus (Pan und Tilt simultan),
- Mausklick und Ziehen („drag“) im Navigationsfeld unter Beobachtung der Kamerabewegung im Videobild (simultane Verstellung von Pan und Tilt).

Neben dem Videobild mit seinen drei Schiebeleisten für die Steuerung von Pan, Tilt und Zoom befindet sich in der rechten oberen Ecke die Auswahlstruktur. Sie besteht aus mehreren Ebenen und strukturiert baumartig die zur Verfügung stehenden Informationen. Auf der obersten Hierarchieebene wird die zu wartende Anlage, Teilanlage oder Baugruppe ausgewählt. Auf den weiteren Ebenen dieser Hierarchie navigiert man sich zur gewünschten Information, etwa zu einem Ausrüstungsteil und weiter zu Aktionen, die zu diesem Ausrüstungsteil hinterlegt sind (z.B. Anzeige technischer Daten oder Anleitungen für Inspektion, Wartung, Reparatur oder Bedienung des gewählten Teils). Diese Informationen können in verschiedener Form angeboten werden, bspw. als Szenario im Szenariomodus von CARIHBA oder als extern verlinkte PDF-Datei oder Web-Seite. Letztere werden in einem separaten Fenster angezeigt.

Im Erklärungsfeld links unter dem Videobild werden Informationen zu den im Bild sichtbaren Ausrüstungsteilen und Bezeichnungen dargestellt. Das Navigationsfeld rechts neben dem Erklärungsfeld stellt ein Panorama-Bild des Kamerasichtfeldes dar. Weiße Punkte in diesem Panorama-Bild zeigen an, an welchen Stellen Augmentierungen hinterlegt sind, und unterstützen somit die Navigation. In der rechten unteren Ecke der Benutzungsoberfläche des 'Übersichtsmodus' befinden sich verschiedene Einstellungsfunktionen für die Kamera und die Augmentierungsinformationen sowie ein Wechselfeld zum Beenden des Programms.

5.2.2. Szenariomodus

Im Szenariomodus wird Schritt für Schritt erklärt, wie eine Instandhaltungsaufgabe zu lösen ist. Das Programm bietet die Möglichkeit, sich beim Start mit seinem Namen anzumelden und damit seinen Status als Anfänger, Fortgeschrittener oder Experte mitzuteilen. Demzufolge werden mehr oder weniger detaillierte Instruktionen angeboten. *Abb. 5.6* zeigt die Benutzungsoberfläche des Szenariomodus'.

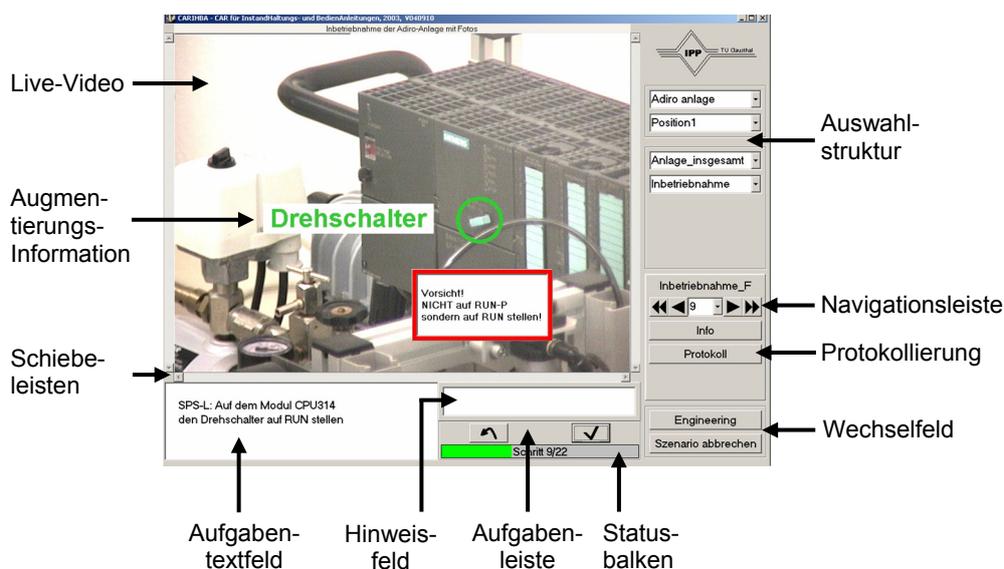


Abb. 5.6: Szenariomodus von CARIHBA

An der gleichen Stelle wie im Übersichtsmodus befindet sich das *Live-Video*. In dem dort dargestellten Ausschnitt der Realität werden neben den Augmentierungsinformationen auch

Warnungen angezeigt. Der rote Rahmen dieser Warnungsfelder blinkt bei Erscheinen drei Mal, um die Aufmerksamkeit auf deren Inhalt zu lenken. Die Position der Warnungen ist variabel und beim Erzeugen eines Szenarios jeweils so auszuwählen, dass keine wichtigen Bild-details verdeckt werden. (Allgemein müssen die Augmentierungsinformationen so platziert werden, dass sie dem Objekt, auf das sie sich beziehen, direkt zugeordnet werden können, aber gleichzeitig keine wichtigen Anlagenteile durch Beschriftungen etc. ausgeblendet werden.)

Im *Aufgabentextfeld* links unter dem Live-Video ist die Instruktion für den jeweiligen Teilschritt zu lesen. Daneben befindet sich ein Hinweisfeld, das grün umrahmt wird, sobald dort ein Hinweis, z.B. über einzusetzendes Werkzeug, angeboten wird.

In der *Aufgabenleiste* liegen die beiden Bedienknöpfe „Zurück“ und „Weiter“, die per Mausklick oder durch Drücken bestimmter Tasten einer Tastatur bedient werden können. Da bei der Instandhaltungstätigkeit aber i.d.R. ein Bedienen über Maus oder Tastatur aufgrund der Handhabung von Werkzeugen und Anlagenteilen unpraktisch ist, lässt sich das System auch per Spracheingabe steuern. Das Vorwärts- und Rückwärtsblättern wird durch einen jeweils eigenen Signalton bestätigt. Zusätzlich leuchtet die Aufgabenleiste beim Blättern als Rückmeldung für den Nutzer kurz auf. Der unter diesem Panel befindliche *Statusbalken* zeigt das Vorschreiten im Aufgabenverlauf an.

Im Informationsfeld rechts neben dem Bild befindet sich unter der Auswahlstruktur eine *Navigationsleiste*. Sie dient dem Blättern im geöffneten Szenario, um sich z.B. zu Beginn der Aufgabe einen Überblick über die kommenden Arbeitsschritte zu verschaffen, und ist analog zu den üblichen Multimedia-Bedienknöpfen gestaltet. Über den *Info-Bedienknopf* können zusätzliche Informationen zur aktuellen Aufgabe eingesehen werden. Während der Bearbeitung eines Szenarios wird automatisch ein Protokoll mit Datum, Uhrzeit, Benutzer, Szenario-name und Schrittnummer sowie Dauer pro Schritt erstellt. Dieses kann unter *Protokoll* eingesehen werden. Das Wechselfeld rechts unten ermöglicht über *Engineering* den Übergang in den Authoring-Modus (vorausgesetzt, man ist als „Experte“ im System angemeldet) sowie das Verlassen des Szenarios.

5.3. Unterstützung der räumlichen Orientierung durch Kamerafahrt und Immersionseffekt

CARIHBA verfügt aufgrund des Live-Videos, das von der im Raum fixierten steuerbaren Kamera erzeugt wird, über zwei spezielle Eigenschaften, welche die räumliche Orientierung in einer Anlage unterstützen und darüber hinaus, so Nikolić (2006), die Selbstsicherheit des Nutzers erhöhen. Sie werden im Folgenden vorgestellt.

5.3.1. Kamerafahrt

Die erste Eigenschaft ist das Fahren der Kamera. Ruft der Benutzer im Szenariomodus, d.h. beim Abarbeiten einer Schritt-für-Schritt-Bedienungsanleitung einen neuen Teilschritt auf, kann er im Live-Video auf dem Monitor verfolgen, wohin die Kamera von ihrem letzten Blickpunkt aus fährt und welches Teil sie evtl. heranzoomt. Dadurch bekommt er einen eindeutigen Hinweis darauf, in welche Richtung er sich bewegen muss, um den jeweils relevanten Ort zu finden, und wie groß die Entfernung ist, die er dabei zurücklegen muss.

Wie in *Kap. 4.3* beschrieben, ist die räumliche Orientierung unter Verwendung eines HMDs ein Problem bei CAR-Systemen. Das trifft insbesondere dann zu, wenn diese mit Tracking-Systemen arbeiten und die virtuellen Informationen erst dann im Display erscheinen, wenn man den Blick auf ein Objekt, zu dem Augmentierungsinformationen hinterlegt sind, gerichtet hat, dieses Objekt aber nur durch zufälliges Herumblicken in der Umgebung findet. (Das heißt weiterhin: wendet man den Kopf bzw. Blick ab, verschwindet die Augmentierung wieder. Wenn dies schon bei kleinen Kopfbewegungen während der Ausführung der Aufgabe an einem Ort passiert, könnte ein weiterer Vorteil von CARIHBA darin gesehen werden, dass die Augmentierungen unabhängig von den eigenen Körperbewegungen immer sichtbar sind.) Je größer die räumliche Umgebung und der mögliche Suchraum, desto schwieriger fällt die räumliche Orientierung mit einem HMD. Das Verfolgen des Fahrens der Kamera und des Heranzoomens an relevante Objekte bei CARIHBA unterstützt die räumliche Orientierung, und zwar v.a. dann, wenn sich der Ort der Aufgabenausführung grob ändert. Die Einblendung von Navigationspfeilen ins HMD (vgl. z.B. Wiedenmaier et al., 2003 in *Kap. 4.3*), um den Blick des Benutzers in eine bestimmte Richtung zu lenken, ermöglicht keine Abschätzung der Entfernung, in der das Zielobjekt in dieser Richtung zu finden ist. Die Möglichkeit der Entfernungsabschätzung durch das Verfolgen der Kamerafahrt im Monitorbild kann als direkter Vorteil gegenüber der Orientierung mit einem HMD angesehen werden. Zudem gibt es bei CARIHBA keine Sichtfeldeinschränkungen des Nutzers, wie dies bei HMDs der Fall ist. Bei letzteren erschwert die damit einhergehende Behinderung des Peripheriesehens die räumliche Orientierung zusätzlich.

5.3.2. Teilweiser Immersionseffekt

Das zweite CARIHBA-Merkmal zur Unterstützung von räumlicher Orientierung und Selbstsicherheit des Benutzers ist das Erleben eines Immersionsgefühls. Dieser Begriff beschreibt das Eintauchen in eine virtuelle Umgebung und die Interaktion mit dieser. Ein solches Gefühl ist auch bei CAR-Anwendungen erlebbar. Im Falle von CARIHBA kann der Benutzer im Monitorbild sehen, ob sich seine Hand an einem markierten Anlagenteil, bspw. einem zu betätigenden Schalter, befindet. Somit gewinnt er Sicherheit darüber, die geforderte Manipulation am richtigen Objekt auszuführen (siehe *Abb. 5.7*). Dieser Effekt führt zu mehr Sicherheit bzgl. der Objektidentifikation, verglichen mit Anleitungsarten, die diese Möglichkeit nicht bieten. Da das Immersionsgefühl im Gegensatz zum Tragen eines HMDs, bei dem die virtuellen Informationen direkt ins Sichtfeld eingeblendet werden, bei CARIHBA nur mit Hinwenden des Blickes zum Monitor erlebbar ist, ist es als eingeschränkt zu bezeichnen. Ein vollständiges Eintauchen ist im Zusammenhang mit Instandhaltungsaufgaben jedoch nicht unbedingt erwünscht. Nach Nikolić (2006) ist das Bewahren eines geistigen Abstandes letztlich auch eine Sicherheitsfrage: das System soll zwar unterstützen, indem es instruiert, was zu tun ist. Der Instandhalter soll die geforderten Aktionen aber dennoch bewusst und reflektiert ausführen. Eine zu starke Steuerung der Aufmerksamkeit, wie dies bei HMDs im negativen Falle des attention tunneling vorkommen kann, soll vermieden werden (vgl. *Kap. 4.2.1*). In *Kap. 4.3* wurde bereits thematisiert, dass direkt ins Sichtfeld projizierte Augmentierungen die Realität unerwünscht verdecken und so die Manipulation erschweren können, dass eine geringe Auflösung des HMDs z.B. Beschriftungen auf Bauteilen unleserlich werden lässt oder dass fortwährende Animationen die Aufmerksamkeit ablenken können. Diese Nachteile bestehen bei CARIHBA nicht. Denn nachdem hier der relevante Ort mit Hilfe des teilweisen Immersionseffekts identifiziert wurde, ist die Aufgabe mit freiem Blick auf das jeweilige Teil ausführbar.

Es kann also geschlussfolgert werden, dass CARIHBA bei der genauen Identifizierung eines Objektes mit Hilfe des teilweisen Immersionseffektes, der über das Monitorbild erlebbar ist, eine zumindest ebenso gute Unterstützung liefern sollte wie ein HMD.



Abb. 5.7: Teilweiser Immersionseffekt bei CARIHBA

5.4. Bisherige Benutzertests und deren Ergebnisse

Vor Beginn dieser Arbeit durchlief CARIHBA bereits zwei Prototyping-Phasen, welche bei Nikolić (2006) ausführlich beschrieben werden. Nach Fertigstellung des ersten Prototyps fand im Rahmen sog. Vorversuche eine Evaluation statt, bei der sechs Probanden die Arbeit mit dem System und die Interface-Gestaltung beurteilten. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge wurden im zweiten Prototyp umgesetzt. Anschließend wurden dessen Gebrauchstauglichkeit mittels umfangreicherer Benutzertests untersucht und weitere Optimierungsmöglichkeiten abgeleitet. Man spricht bei diesem Vorgehen von experimentellem Prototyping (Pomberger et al., 1993) bzw. iterativem Design (Nielsen, 1993): der Erstellung eines Prototyps folgt dessen Evaluation; erhaltene Ergebnisse werden in einem weiteren Prototyp umgesetzt, der wiederum getestet wird usw.

Die bereits durchgeführten Evaluationen dienten der Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit des Szenariomodus von CARIHBA. Im Folgenden werden die von Nikolić in der zweiten Prototyping-Phase durchgeführten Hauptversuche und deren Ergebnisse beschrieben. Grund für diese ausführliche Beschreibung ist, dass sich aus den Kritikpunkten an dieser Untersuchung Schlussfolgerungen für die Gestaltung der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Benutzertests ableiten.

Ziel der Hauptversuche von Nikolić war es zu bestimmen, wie sich die Verwendung von CARIHBA auf die Qualität und Effizienz der Instandhaltungsarbeit auswirkt, verglichen mit traditionellen Anleitungen. Als Maße für die Qualität und Effizienz wurden die Fehler und die Zeit für die Bearbeitung der gestellten Instandhaltungsaufgaben herangezogen.

Traditionell werden in der Instandhaltung Handbücher verwendet. Von einer solchen Anleitungsform unterscheidet sich CARIHBA in folgenden Merkmalen:

- Informationsdarstellung auf dem Monitor,
- Sprachsteuerung,
- Multimedia-Einsatz,
- benutzerorientiert gestaltetes Interface,
- in Echtzeit dargestelltes Videobild der Realität und dadurch
- teilweise erlebbares Immersionsgefühl.

Um deren jeweiligen Einfluss auf die Aufgabenbearbeitung zu ermitteln, wurden Hilfsmittel erzeugt, die - ausgehend von einem Papiermanual - sukzessive mit den einzelnen CARIHBA-Merkmalen ausgestattet wurden, so dass der Interaktionsgrad stieg. Zentrale Anforderung an die eingesetzten Instruktionsarten war dabei deren Informationsgleichheit. Informationsangebot und -darstellung mussten identisch sein, damit sich Unterschiede bei der Aufgabenausführung eindeutig auf die oben genannten Merkmale zurückführen ließen. Das heißt u.a., dass aufgrund der realistischen Abbildung der Umgebung in Form eines Videobildes bei CARIHBA alle anderen Anleitungsorten auch realistische Abbildungsarten, also Fotos und nicht etwa Strichzeichnungen enthielten. *Abb. 5.8* zeigt die einzelnen Hilfsmittel.

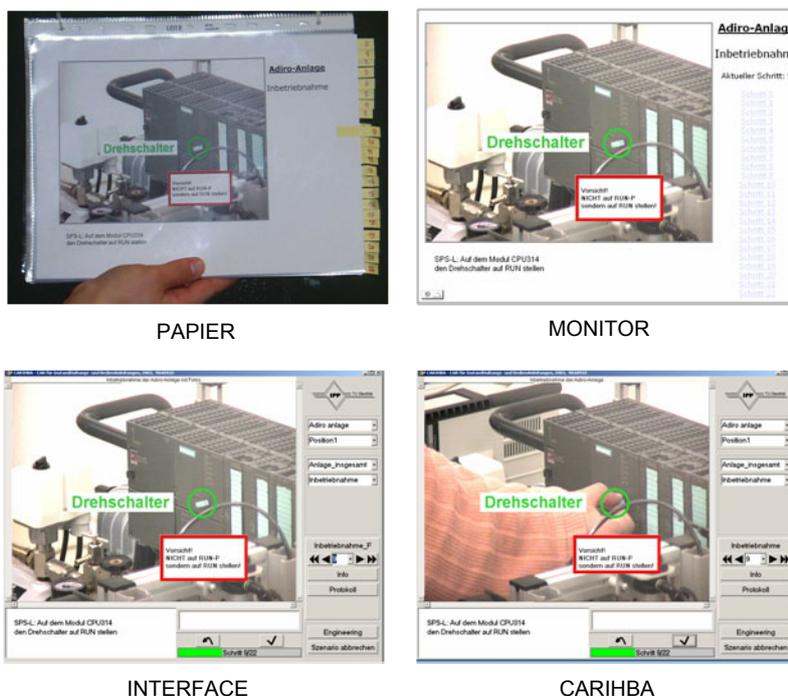


Abb. 5.8: Vergleichene Hilfsmittel bei Nikolić (2006)

5.4.1. Instruktionsarten

PAPIER

In einer Art Ringbuch wurde analog zu den schrittweise aufgebauten CARIHBA-Szenarien pro Blatt eine Teilaufgabe instruiert. Jedes Blatt enthielt ein Foto, das denselben Ausschnitt der Realität zeigte und im Bild dieselben Markierungen und Bezeichnungen enthielt, wie das CARIHBA-Videobild. Links unter dem Foto befand sich ein Textfeld mit der Instruktion, rechts darunter erschienen Hinweise. Das Manual verfügte über ein Register der Teilschritte, mit dem bei Bedarf durch die Anleitung navigiert werden konnte.

MONITOR

Bei diesem Hilfsmittel wurde der Inhalt des Manuals als Folien einer Power-Point-Präsentation dargestellt. Das Teilschrittregister erschien nun direkt rechts neben dem Bild. Der Aufruf des nächsten oder eines beliebigen anderen Teilschritts erfolgte durch Sprachbefehl. Die Sprachsteuerung wurde für die Zwecke der Versuche simuliert, indem ein genannter Befehl unmittelbar durch einen Versuchsassistenten über dessen Rechner ausgeführt wurde.

INTERFACE

Die so betitelte Instruktionsart unterschied sich von der Monitor-Anleitung durch ein benutzergerecht gestaltetes Interface und multimediale Elemente. Die Benutzungsoberfläche und die multimedialen Interaktionsfunktionen (Bestätigungston für Sprachbefehle, Aufblinken von Teilflächen, Statusbalken etc.) waren identisch mit CARIHBA. Im Feld für das Bild erschien jedoch anstelle des Live-Videos pro Schritt ein statisches Foto.

CARIHBA

Zusätzlich zum benutzerorientierten multimedialen Interface kann bei diesem Hilfsmittel durch das Live-Video das Fahren der Kamera verfolgt und der Immersionseffekt genutzt werden.

5.4.2. Versuchsaufgaben

Das IPP verfügt über zwei Versuchsanlagen, an denen vier praxisrelevante Instandhaltungsaufgaben zu bearbeiten waren:

Verfahrenstechnische Anlage zur Wasserentsalzung (kurz: VT-Anlage):

- Inspektion: Überprüfung der korrekten Kopplung verschiedener Schläuche und Elektrokabel zu entsprechenden Anlagenteilen.
- Demontage der Steuerplatine einer Pumpe: Lösen verschiedener Kabel und Schrauben.

Fertigungszelle zum Stempeln von Bauteilen (kurz: Adiro-Anlage):

- Montage: Beschilderung und Montage von vier ASI-Modulen einer Koppelmodulgruppe.
- Inbetriebnahme: Ablesen von Anzeigen und Betätigen von Schaltern, Ventilen und Bedienknöpfen.

Der Umfang der Aufgaben lag zwischen 16 bis 22 Teilschritten. Vor der Bearbeitung der Aufgaben absolvierte jeder Teilnehmer ein ca. zehnmütiges Training, in dem nacheinander mit jedem der vier Hilfsmittel einige Trainingsschritte bearbeitet wurden, die nicht Bestandteil der Versuchsaufgaben waren. Das Training sollte dazu dienen, sich an die einzelnen Hilfsmittel und deren Eigenschaften (Sprachsteuerung, Live-Video etc.) zu gewöhnen.

5.4.3. Stichprobe

Die Stichprobe bestand aus 16 Studenten, überwiegend aus technischen Studiengängen, die sich im Grundstudium befanden. Alle Teilnehmer waren männlich und bezeichneten sich als technikfreundlich und handwerklich begabt. Keiner von ihnen verfügte über Vorkenntnisse mit den Versuchsanlagen und –aufgaben.

Jeder Proband wurde einer von vier Versuchsgruppen zugeteilt. Jede Gruppe löste alle vier Aufgaben und verwendete dabei alle vier Hilfsmittel. Die Reihenfolge von Aufgaben und Hilfsmitteln war randomisiert (siehe *Tab. 5.1*).

	PAPIER	MONITOR	INTERFACE	CARIHBA
Inspektion	Vp 1-4	Vp 13-16	Vp 9-12	Vp 2-8
Demontage	Vp 2-8	Vp 1-4	Vp 13-16	Vp 9-12
Montage	Vp 9-12	Vp 2-8	Vp 1-4	Vp 13-16
Inbetriebnahme	Vp 13-16	Vp 9-12	Vp 2-8	Vp 1-4

Tab. 5.1: Aufteilung der Gruppen auf Hilfsmittel und Versuchsaufgaben

Die Versuchspersonen wurden bei der Aufgabenbearbeitung gefilmt. Die Videoaufzeichnungen dienten der späteren detaillierten Auswertung von Zeiten und Fehlern. Während der Versuche wurden Beobachtungsprotokolle geführt, anhand derer im Anschluss an jede Aufgabe ein Interview zur Klärung von Auffälligkeiten und Fehlern stattfand. Den Abschluss der Versuche bildete ein Nachbefragungsbogen, in dem u.a. eine Bewertung der Hilfsmittel in Form einer Note erfolgte.

5.4.4. Hypothesen

Erwartet wurde, dass sich die Zeiten und die Fehler mit zunehmendem Interaktionsgrad verringern. Jedes Hilfsmittel sollte sich also bezüglich dieser Variablen positiv von den Hilfsmitteln mit weniger Interaktionsgrad unterscheiden.

5.4.5. Ergebnisse

Zeit

Bei der zeitlichen Auswertung wurde die kognitive Zeit von der gesamten Ausführungszeit isoliert und in den Fokus gerückt. Der Begriff der kognitiven Zeit geht zurück auf Towne (1985), der die Gesamtzeit für die Ausführung einer Aufgabe in eben jenen kognitiven Zeitannteil sowie in einen Zeitannteil für die manuelle Ausführung, d.h. die Manipulation eines Ausstattungsgegenstandes aufgliedert. Grob umrissen umfasst die kognitive Zeit bei Nikolić die Dauer der Teiltätigkeiten, die der Entnahme und dem Verstehen der Informationen aus der Anleitung, dem Aufstellen eines Handlungsplanes, der räumlichen Orientierung und dem Auffinden des Ausführungsgegenstandes sowie dem Bemerkens von Fehlern dienen. (Welche Kriterien im Einzelnen angelegt wurden, um zwischen kognitiver und nicht-kognitiver Zeit zu unterscheiden, wird an späterer Stelle ausführlich thematisiert, wenn die entsprechenden Kriterien für die vorliegende Arbeit abgeleitet werden.)

Grund für das besondere Interesse an der kognitiven Zeit bei diesen Versuchen war, dass die Stichprobe aus Studenten und nicht aus professionellen Instandhaltern bestand. Die Studenten wiesen eine unterschiedliche Geschicklichkeit und Sicherheit in der Ausführung der geforderten Manipulationen auf. Deshalb war mit einer Verzerrung der Ergebnisse zu rechnen bzw. mit verlängerten Ausführungszeiten, die nicht durch das Hilfsmittel selbst beeinflusst waren. Deswegen wurden die manuellen Zeitannteile bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Die Zeitmessung wurde anhand der Videoaufzeichnungen vorgenommen. Die Ergebnisse sind in *Tab. 5.2* aufgelistet. Obwohl die kürzeste kognitive Zeit jeweils für CARIHBA resultierte, unterschied es sich nur von der Papieranleitung signifikant ($p < .05$). Dabei ließ sich im Vergleich zum Papiermanual mit CARIHBA eine Zeitersparnis von ca. 30-41% feststellen (je nach Aufgabe). Die anderen Hilfsmittel unterschieden sich statistisch nicht voneinander (bis auf eine Ausnahme, nämlich Papier und Monitor bei der Montageaufgabe), obwohl die augenscheinlichen Mittelwertsunterschiede z.T. sehr groß sind. Allerdings sind die Standardabweichungen ebenfalls sehr groß und inhomogen.

Aufgabe/Hilfsmittel	MW (in sec)	SD
Inspektion		
PAPIER	277.3	59.5
MONITOR	214.0	83.4
INTERFACE	207.0	82.2
CARIHBA	193.6	11.3
Demontage		
PAPIER	169.2	58.5
MONITOR	125.6	27.6
INTERFACE	110.3	17.6
CARIHBA	99.4	15.8
Montage		
PAPIER	116.3	23.6
MONITOR	85.4	5.5
INTERFACE	91.2	24.2
CARIHBA	81.8	16.2
Inbetriebnahme		
PAPIER	204.6	34.9
MONITOR	195.4	75.3
INTERFACE	150.9	28.4
CARIHBA	144.8	41.3

Tab. 5.2: Mittelwerte und Standardabweichungen der kognitiven Zeiten

Fehler

Aufgrund der geringen Fehlerzahl wurde nur eine qualitative Auswertung vorgenommen. Die insgesamt 40 Fehler ließen sich verschiedenen Fehlerursachen zuschreiben (siehe *Tab. 5.3*).

Fehlerkategorie	Hilfsmittel				Σ
	PAPIER	MONITOR	INTERFACE	CARIHBA	
Unbeachtete Warnungen	5	4	4	2	15
Unaufmerksamkeit	2	2	3	2	9
räumliche Zuordnung	8	5	1	2	16
Σ	15	11	8	6	40

Tab. 5.3: Verteilung der Fehler auf die Hilfsmittel

Bei Betrachtung der Gesamtfehlerzahl pro Hilfsmittel zeigte sich, dass der steigende Interaktionsgrad der Hilfsmittel zu einer schrittweisen Reduzierung der Fehler führte. Die benutzer-

gerecht gestaltete, multimediale Bedienungsoberfläche von INTERFACE senkte im Vergleich zur Monitoranleitung die Fehler um ca. 28%. Die Hinzunahme der CAR-Eigenschaften senkte die Fehler im Vergleich zu INTERFACE um weitere 25%.

Benotung der Hilfsmittel

Der Vorteil von CARIHBA gegenüber der Papieranleitung wurde auch in der Benotung deutlich. Ähnlich wie die auf dem Monitor dargestellte Anleitung (35.4%) erhielt das Manual nur ca. 37.5 % der maximal möglichen Punkte. INTERFACE (62.5%) und CARIHBA (64.4%) setzten sich deutlich positiv ab; CARIHBA erhielt die beste Note.

Subjektives Urteil der Versuchspersonen

Die Rückmeldungen der Teilnehmer bzgl. CARIHBA fielen überwiegend sehr positiv aus, sowohl was das Sicherheitsgefühl durch den teilweisen Immersionseffekt als auch die erleichterte räumliche Orientierung durch das Verfolgen der Kamerafahrt betraf. Gegenüber der Verwendung eines Fotos wurde als weiterer Vorteil angesehen, dass im Live-Video der jeweils aktuelle Anlagenzustand abgebildet ist. Dahingegen könnte es bei Fotoanleitungen, so die Versuchspersonen, im Falle nicht in die Dokumentation aufgenommener Anlagenveränderungen zu Verwirrung kommen.

Unerwünschte Verdeckungen des Videobildes durch den eigenen Körper traten laut Aussage der Probanden nur selten auf. Die meisten Teilnehmer konnten in diesen wenigen Fällen problemlos damit umgehen.

5.4.6. Fazit

Die Ergebnisse liefern wichtige Hinweise für die Nützlichkeit von CARIHBA. Hinsichtlich der kognitiven Zeit zeigte sich der Vorteil von CARIHBA auf Signifikanzniveau nur im Vergleich zum Papiermanual, wobei dies wahrscheinlich allen diese beiden Hilfsmittel unterscheidenden Merkmalen zuzuschreiben ist: freie Hände, Sprachsteuerung, benutzerorientiertes multimediales Interface, Immersionsgefühl und Verfolgen der Kamerabewegungen. Die hohe Punktzahl in der Benotung von CARIHBA, die sich deutlich von der geringen Punktzahl für die Papieranleitung absetzte, unterstützt dieses Ergebnis. Der Beitrag jedes einzelnen interaktiven Merkmals konnte nicht ermittelt werden, da sich die anderen Hilfsmittel (bis auf eine Ausnahme bei einer spezifischen Aufgabe) statistisch nicht unterschieden, obwohl augenscheinliche Vorteile von CARIHBA bestanden. Mit vier Versuchspersonen pro Zelle war die statistische Power der Untersuchung leider nur gering.

Als sinnvolle Weiterentwicklungen von CARIHBA wurde u.a. die verstärkte Lenkung der Aufmerksamkeit auf Warnungen und Hinweise erkannt. Dazu wurden das Verwenden von Animationen und eine Veränderung der farblichen Gestaltung vorgeschlagen. Die Verständlichkeit der Instruktionstexte sollte an einigen Stellen verbessert werden.

5.5. Schlussfolgerungen für weitere Benutzertests

Da sich bei augenscheinlicher Betrachtung der Messwerte für Zeiten und Fehler die erwarteten Unterschiede zwischen den Hilfsmitteln eingestellt haben, liefern die Ergebnisse der ersten Testreihe gute Hinweise für die Nützlichkeit von CARIHBA. Die spezifischen Merkmale von CARIHBA, die es von der multimedialen Foto-Anleitung (INTERFACE) unterscheiden, d.h. Kamerafahrt und teilweiser Immersionseffekt, geben zudem fundierten Grund zu der Annahme, dass sich in den kognitiven Zeitanteilen Vorteile gegenüber der Arbeit mit einem statischen Foto zeigen sollten. Beide Eigenschaften erleichtern, dass sich der Benutzer in einer ihm nicht oder wenig bekannten Umgebung räumlich zurechtfinden und zu manipulierende Bauteile schnell und v.a. sicher identifizieren kann. Dadurch können Blickwechsel zwischen Anleitung und Realität, um sich über den Ort rückzuversichern, reduziert werden. Analysiert wurde daher, worin neben der Vergrößerung der Stichprobe Optimierungsmöglichkeiten für eine weitere Reihe von Benutzertests liegen könnten, um die theoretisch erwarteten Vorteile von CARIHBA gegenüber der statischen Foto-Anleitung auch im Versuch nachzuweisen. Die folgenden Ausführungen legen dar, in welchen Punkten der bisherigen Benutzertests Verbesserungspotentiale gesehen wurden und wie diese umgesetzt werden sollten.

5.5.1. Optimierungsmöglichkeiten der bisherigen Benutzertests

Statistische Power und Varianzquellen

Der Umfang der Stichprobe war mit 16 Versuchspersonen gering. Durch das zugrunde gelegte 4x4-Design befanden sich pro Zelle nur vier Personen. Zudem war keine Varianzhomogenität gegeben. Dies wird bei Betrachtung der Standardabweichungen der kognitiven Zeit (siehe *Tab. 5.4*) sichtbar. Nikolić (2006) hat beschrieben, dass sich die Probanden in ihrem Verhalten und ihren Strategien bei der Aufgabenbearbeitung stark unterschieden. Es gab Teilnehmer, die übermäßig sorgfältig vorgingen und sich mehr Sicherheit durch wiederholtes Lesen der Anleitung verschafften, bevor sie mit der geforderten Manipulation begannen. Andere wiederum verließen sich weniger auf die Anleitung, lasen sie unvollständig oder antizipierten den nächsten Schritt, ohne die Instruktion gelesen zu haben. Unterschiede gab es auch im Umgang mit Fachbegriffen. Es wurde zwar auf allgemeine Verständlichkeit beim Verfassen der Instruktionstexte geachtet, jedoch konnten für die Wahrung der fachlichen Präzision Begriffe wie z.B. „Kabelzugentlastung“ nicht weggelassen werden, was bei einigen zu Unsicherheit darüber führte, was gemeint war. Die Versuchspersonen verfügten also offenbar über ein unterschiedliches Maß an technischer Vorerfahrung bzw. Vorwissen. So lassen sich mehrere Varianzquellen in Betracht ziehen, deren Einfluss auf die Ergebnisse nicht bestimmt werden konnte. Auch die räumliche Vorstellungskraft, welcher im Zusammenhang mit Instandhaltungstätigkeiten eine wichtige Rolle zugeschrieben werden muss, gehört dazu.

Vertrautheit mit den Hilfsmitteln

Die Dauer des Trainings war mit ca. zehn Minuten recht kurz. Im Training wurden eingangs der Aufbau und die Funktion der beiden Versuchsanlagen grob vorgestellt. Danach durchliefen die Probanden mit jedem der vier Hilfsmittel an beiden Anlagen einige einfache Aufgaben (bei jedem Hilfsmittel die gleichen), welche nicht Bestandteil der späteren Versuchsaufgaben waren. Ziel des Trainings war es einerseits zu lernen, wo welche Informationen angeboten werden und die Spracheingabebefehle zu üben. Andererseits sollten sich die Personen an die speziellen Eigenschaften von CARIHBA gewöhnen. Sie wurden also darauf aufmerksam ge-

macht, den Immersionseffekt zu nutzen und die Kamerafahrt als Orientierungshilfe zu verfolgen. Ihnen wurde erklärt, wie man sich relativ zur Kamera bewegt, um unerwünschte Verdeckungen des Videobildes zu vermeiden. Wie bereits erwähnt, sind die meisten Teilnehmer im Versuch gut mit dem Verdeckungsproblem zurechtgekommen. Bei einigen hat das Training mit CARIHBA aber offenbar nicht ausgereicht, da sie sich oft selbst im Weg standen und dies nicht korrigieren konnten. So nahmen sie entweder unnatürliche Körperhaltungen ein, um die Verdeckung aufzuheben, oder lösten die Aufgabe nur anhand des Instruktionstextes. Dementsprechend fiel ihre Bewertung für CARIHBA eher negativ aus. Die Gewöhnung an die Arbeitsweise mit CARIHBA war also nach der kurzen Trainingsphase nicht mit der Gewöhnung an ein Papiermanual zu vergleichen, bei dem von einer Vertrautheit ausgegangen werden kann, da es ein traditionelles Hilfsmittel ist, mit dem jeder Teilnehmer bereits gearbeitet hatte.

Information über Hilfsmittel und Untersuchungszweck

Die Versuchspersonen wussten vor und während der Untersuchung nicht, dass es sich bei CARIHBA um ein CAR-System handelt. Auch die CAR-Technologie allgemein war ihnen nicht näher oder gar nicht bekannt. Vom CARIHBA-Prototyp selber lernten sie im Versuch nur den Szenariomodus kennen. Der gesamte Leistungsumfang des Systems (Übersichtsmodus, strukturierte Suche nach Instandhaltungsdokumentationen etc.) war ihnen nicht bewusst. Und bezogen auf den Szenariomodus war die gesamte rechte Informationsleiste mit ihrer Auswahlstruktur und den Bedienknöpfen für die Versuchsausführung nicht relevant, aber ständig sichtbar und somit evtl. ablenkend. Hinzu kam, dass ihnen die Bedeutung dieser Funktionalitäten vor dem Hintergrund der Dokumentations-Problematik in der Instandhaltung nicht bewusst war. Die während des Versuchs mangelnde Sinnhaftigkeit dieses Informationsangebots im Szenariomodus von CARIHBA und auch bei INTERFACE schlug sich letztlich bei einigen Probanden in der Bewertung dieser Hilfsmittel nieder. Negativ in die Benotung flossen teilweise auch technische Aspekte von CARIHBA ein, die für die Fragestellung, wie gut die einzelnen Hilfsmittel die Qualität und Effizienz von Instandhaltungstätigkeiten beeinflussen, nicht von Relevanz sein sollten (z.B. finanzielle Aspekte oder technischer Aufwand für die Erzeugung einer CAR-basierten Anleitung). Vor diesem Hintergrund bewerteten sie das Manual als traditionelle und einfach zu erstellende Instruktionsart besonders positiv. Dies ergab sich aus den Interviews mit den Teilnehmern.

Aufgabenschwierigkeit

Bei der Schwierigkeit der Aufgaben war ein Kompromiss zu schließen, was eine gewisse Herausforderung darstellte. Die gestellten Anforderungen durften nicht zu hoch sein, da die Probanden keine Instandhalter waren und über kein Anlagenwissen verfügten. Sie mussten andererseits aber hoch genug sein, um eine Unterstützung durch ein Hilfsmittel nötig zu machen. Wie schon beschrieben, unterschieden sich die Personen darin, wie gut sie mit den Aufgaben zurecht kamen. Die Schwierigkeit einzelner Teilschritte wurde z.T. als einfach genug beurteilt, um mit einem anderen Teilschritt zusammengefasst werden zu können. Für wiederum andere Teilschritte ergab sich, dass sie für eine bessere Verständlichkeit getrennt hätten instruiert werden sollen.

5.5.2. Implikationen für in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Benutzertests

Statistische Power und Varianzquellen

Der Umfang der Stichprobe musste vergrößert werden. Auf jede Zelle im Versuchsdesign sollten zehn Versuchspersonen kommen, um Mittelwertsunterschiede varianzanalytisch überprüfen zu können.

Teilnahmevoraussetzungen sollten die Stichprobe, wie auch in der ersten Testreihe, so weit wie möglich homogenisieren: die Probanden sollten Deutsch als Muttersprache sprechen, männlich sein, ein technischen Fach studieren und noch keinen Kontakt mit den Versuchsanlagen gehabt haben. Darüber hinaus waren für die Versuche relevante Eigenschaften der Personen im Vorfeld zu erfassen, um später deren Einfluss auf die Aufgabebearbeitung bestimmen zu können. Dazu gehörte das räumliche Vorstellungsvermögen, das mit einem standardisierten Test erhoben werden sollte. Da sich, wie in den Tests bei Nikolić gesehen, auch die unterschiedliche individuelle Arbeitsweise auf die Arbeit und die Leistung auswirkte, sollte die Ausprägung solcher Merkmale (speziell Tempo und Sorgfalt) bei den Teilnehmern ebenfalls durch einen standardisierten Test ermittelt werden. Weiterhin war die technische Vorerfahrung der Teilnehmer differenzierter als bisher zu erheben. Dazu war ein Fragebogen zu entwickeln, der u.a. folgende Punkte enthalten sollte:

- berufliche Ausbildung bzw. ausgeübte berufliche Tätigkeit im Vorfeld des Studiums,
- absolvierte Praktika,
- Beschäftigung als studentischer Hilfswissenschaftler,
- Erfahrungen mit Reparaturtätigkeiten (Kraftfahrzeuge, technische Geräte etc.),
- Erfahrungen im Umgang mit Computern,
- Erfahrungen mit neuen Technologien allgemein und mit CAR speziell,
- Erfahrungen im Umgang mit Bedienungsanleitungen.

Information über Hilfsmittel und Untersuchungszweck sowie Intensivierung des Trainings

Die Trainingsphase sollte intensiviert werden. Dies betraf sowohl den zeitlichen Umfang als auch den Inhalt, d.h. die Schwierigkeit der gestellten Aufgaben. Den Probanden sollte es möglich sein, durch das Training ein Vertrautheitsgefühl zu den für sie unbekanntem Hilfsmitteln INTERFACE und CARIHBA aufzubauen sowie deren Leistungsumfang kennen zu lernen und eine objektive Einstellung ihnen gegenüber zu gewinnen. Speziell bei CARIHBA war daher der Umgang mit der Kamera im System stärker zu üben. Zunächst aber sollten die Teilnehmer über den Untersuchungszweck durch das Eingehen auf folgende Punkte informiert werden:

- Dokumentationsproblematik im Instandhaltungsbereich (zur Sensibilisierung für die Problemstellung) und CAR-Technologie als eine mögliche Lösungsalternative,
- neutrale/wertungsfreie Vorstellung von CAR, deren Potentiale und Probleme (zur Sicherstellung des gleichen Wissensstandes der Probanden über Vor- und Nachteile dieser Technologie),
- Rolle experimenteller Untersuchungen zur Evaluation der Nützlichkeit solcher Systeme (zur Motivation der Teilnehmer).

Eine anschließende Vorstellung der eingesetzten Hilfsmittel INTERFACE und CARIHBA sollte ein Verständnis ihres Leistungsumfangs vermitteln, um die vom System angebotenen Informationen, die in den Versuchen von den Probanden nicht genutzt wurden, vor diesem Hintergrund einordnen zu können. (Aufgrund der Tatsache, dass diese Funktionalitäten im Versuch nicht genutzt werden mussten, sollte die entsprechende Informationsleistung für die

Zwecke der Versuchsaufgaben ausgeblendet werden, um keine Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen.)

Die nach der Demonstration von Aufbau und Funktion zu bearbeitenden Trainingsaufgaben sollten nicht mehr an den Versuchsanlagen stattfinden, sondern an eigens dafür erzeugten Aufgaben. Es wurde die Demontage von PC-Hardware-Komponenten ausgewählt. Das Ziel des Trainings war nicht darin zu sehen, fachliches Wissen zu den Versuchsanlagen zu vermitteln, sondern den Umgang mit den Hilfsmitteln einzuüben. Bei CARIHBA war verstärkt auf die richtige Stellung der Personen relativ zur Kamera bzw. auf das Vermeiden von Verdeckungen des Bildschirminhalts einzugehen. Alle Teilnehmer sollten wissen, wie evtl. in den Versuchen auftretende Verdeckungen problemlos korrigiert werden können. Da die Kameraposition sich zwischen den Versuchsanlagen unterschied, d.h. die Kamera einmal von links und einmal von rechts auf die Anlage gerichtet war, sollten auch im Training die Kameraposition gewechselt werden.

Aufgabenschwierigkeit

An den institutseigenen Versuchsanlagen ist eine Steigerung der Schwierigkeit durch Hinzunahme neuer Teilaufgaben nur begrenzt möglich. Sofern sich neue Schritte finden und sinnvoll in die bestehenden Aufgaben integrieren ließen, sollte dies geschehen. Es war eine Überarbeitung der bisherigen Teilschritte vorzunehmen. Aufeinanderfolgende ähnliche Teilaufgaben sollten zu einem Schritt zusammengefasst werden. Gleiches galt für als sehr einfach beurteilte Schritte. Umgekehrt waren Teilschritte, die sich als sehr schwierig erwiesen, nach Möglichkeit in zwei Teilschritte zu zerlegen. Da sich durch das Zusammenfassen von Teilschritten der Aufgabenumfang reduzierte, bot es sich an, aus beiden Szenarios pro Versuchsanlage jeweils ein Szenario zu bilden. Der Inspektion an der VT-Anlage folgte also unmittelbar die Demontage der Steuerplatine der Pumpe, und die Inbetriebnahme der Adiro-Anlage wurde direkt an die Montage der ASI-Module angeschlossen.

Verständlichkeit und Präzision der Anleitung

Um die Präzision und Verständlichkeit der Anleitung darüber hinaus zu erhöhen, sollten weitere Optimierungen der bisherigen Aufgaben vorgenommen werden. Bei einigen Teilaufgaben kam es zu Schwierigkeiten bei der Aufgabenausführung aufgrund nicht eindeutig formulierter Instruktionen. Diese Formulierungen waren zu präzisieren. Des Weiteren waren die Augmentierungsinformationen bzw. die vorgenommenen Beschriftungen im Bild an einigen Stellen zu überarbeiten. Dabei war auf eine einheitliche Verwendung der im Bild erscheinenden grafischen Symbole zu achten. So sollten Pfeile nur noch als Aktionsdiagramme eingesetzt werden, z.B. zeigen, an welcher Stelle ein Modul zu platzieren oder in welche Richtung ein Ventil zu öffnen ist. Dahingegen sollten Kreise zur Lokalisierung von Objekten, z.B. Schaltern oder Bedienknöpfen dienen. Für einen Teilschritt nicht relevante Anlagenteile waren nicht mehr im Bild zu bezeichnen, um nicht ablenkend zu wirken. Weiterhin sollte vermehrt auf eine Übereinstimmung von Teilebezeichnungen in Text und Bild geachtet werden.

Speziell beim Hochfahren der Adiro-Anlage, wo viele Bezeichnungen für einzelne SPS-Module auftauchten, sollten diese der Instruktion vorangestellt werden, um die Verständlichkeit zu verbessern (z.B. „SPS-L, Modul CPU 314: Prüfen, ob auf der LED-Anzeige STOP dauerhaft leuchtet.“ anstelle der bisherigen Instruktion „SPS-L: Überprüfen, ob auf der LED-Anzeige auf dem Modul CPU 314 STOP dauerhaft leuchtet.“). Denn wie sich bei Nikolić gezeigt hatte, gingen viele Versuchspersonen so vor, dass sie zuerst den Ort der Manipulation identifizierten und dann genauer die Information darüber lasen, was dort zu tun ist. Der Vor-

teil, die wesentliche Aussage an die erste Stelle zu setzen, besteht laut Pötter (1994) darin, dass sie so bereits ein Schema aktiviert, in das die nachfolgenden Informationen eingeordnet werden können. Schließlich sollte die persönliche Ansprache „Sie“ in Verbindung mit einem Imperativ (z.B. „Prüfen Sie, ob ...“) nur im ersten Teilschritt verwendet werden, um den Probanden als Urheber der Handlung direkt anzusprechen. Aus Gründen der Ökonomie und um die ständige Wiederholung des Pronomens „Sie“ zu vermeiden, war in allen anderen Schritten der imperativische Infinitiv (z.B. „Obere Schrauben lösen.“) einzusetzen (Satzger, 2002). Einzelne Kamera- bzw. Fotoeinstellungen mussten überarbeitet werden. Dies betraf z.B. Fälle, in denen eine bessere räumliche Orientierung durch eine Verkleinerung der Zoomfunktion und somit einen besseren Überblick erreicht werden konnte.

Umsetzung der Optimierungsvorschläge für CARIHBA

Veränderungsvorschläge für die Gestaltung der Warnungen und Hinweise sollten umgesetzt werden, um die Aufmerksamkeit verstärkt darauf zu lenken. Auftauchende Warnungen waren zu animieren, d.h. der Rahmen der Warnung sollte eingangs drei Mal aufblinken. Zusätzlich wurde entschieden, in der untersten Zeile des Instruktionstextfeldes den Verweis: „Siehe Warnung!“ einzublenden. Bei erscheinenden Hinweisen sollte eine veränderte farbliche Gestaltung für mehr Aufmerksamkeit sorgen. Der Rahmen des Hinweisfeldes sollte in einem hellen Grünton erscheinen, sobald dort Informationen angeboten werden.

Weitergehende Veränderungen im Versuchsdesign

Es wurde als sinnvoll erachtet, nur noch eine Konzentration auf die Hilfsmittel INTERFACE und CARIHBA vorzunehmen. Diese Modifikation schien aus folgenden Gründen sinnvoll:

Die Papieranleitung brauchte nicht mehr in den Vergleich mit einbezogen zu werden, da Nikolić bereits einen signifikanten Unterschied in den kognitiven Zeiten bei Verwendung von CARIHBA nachgewiesen hat. Auch hinsichtlich der Fehlerzahl konnte eine Reduzierung um 40% festgestellt werden. Darüber hinaus haben andere Autoren (z.B. Tang et al., 2003; Boud, 1999) ebenfalls signifikante Vorteile von CAR-Hilfsmitteln gegenüber Papieranleitungen belegt (vgl. Kap. 4.3).

Die Monitor-Variante, die lediglich die Papieranleitung als Power-Point-Folien darstellte, ist als nicht benutzergerecht und nicht praxistauglich zu beurteilen. Es sollte im Rahmen der geplanten Untersuchung nicht darum gehen, die Vorteile des benutzergerecht gestalteten Interface gegenüber der Monitor-Version abzuschätzen, wie es Bestandteil von Nikolić's Fragestellung war. Dort sollte ja der Einfluss der einzelnen Merkmale von CARIHBA genau bestimmt werden, wozu die vier Hilfsmittel mit steigendem Interaktionsgrad dienen. Sondern es wurde hier als zentral erachtet, den Unterschied zwischen INTERFACE und CARIHBA herauszustellen.

Nikolić erwartete ja u.a. signifikante Unterschiede zwischen diesen beiden Bedingungen aufgrund des Immersionseffekts bei CARIHBA: durch das Sehen der Hand auf dem Bildschirm sollte das Sicherheitsgefühl dahingehend steigen, dass die momentane Hypothese über die Aufgabenausführung richtig ist. Dadurch sollten weniger Blickwechsel zwischen Anleitung und Gerät („reinstatement searches“, Wickens & Carswell, 1997) erfolgen, was sich auch aus der Beobachtung des Verhaltens der Probanden ableiten, sich aber wie gesagt nicht statistisch absichern ließ.

Die Gegenüberstellung dieser beiden Hilfsmittel schien auch deshalb am interessantesten, da sie sich in der subjektiven Benotung durch die Versuchsteilnehmer deutlich positiv von den beiden anderen Anleitungsarten abhoben, wobei die Benotung in Abhängigkeit von der Aufgabe variierte. (Bei den Aufgaben Demontage und Hochfahren, die die höchsten Anforderungen an die Probanden stellten, war die Benotung für INTERFACE und CARIHBA deutlich besser als für die beiden anderen Mittel. CARIHBA erhielt dabei jeweils den besseren Wert. Auffällig war: wurde das Hochfahren durch CARIHBA unterstützt, wurde dafür die beste Note vergeben.) Typ und Schwierigkeitsgrad der Aufgabe beeinflussten also die Beurteilung der einzelnen Medien. Der Bedarf an den einzelnen Instruktionsarten je nach Aufgabe war nun in der neuen Untersuchung genauer herauszuarbeiten.

6. Benutzertests zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit und Effizienz von CARIHBA

Im vorhergehenden Kapitel wurden die Ergebnisse der bisher durchgeführten Tests zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit und Effizienz von CARIHBA vorgestellt. Kritikpunkte an der Untersuchung wurden analysiert, und Vorschläge für deren Verbesserung sowie weitere Modifikationen für eine neue Versuchsreihe wurden herausgearbeitet. Konkret sollte in den in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Benutzertests geprüft werden, welche Unterschiede zwischen CARIHBA und der multimedialen Foto-Anleitung INTERFACE hinsichtlich der Erfüllung verschiedener Effizienzkriterien bestehen, nachdem beide Hilfsmittel optimiert und der experimentelle Aufbau modifiziert wurden. Kapitel 6 beschreibt nun das methodische Vorgehen und die resultierenden Ergebnisse.

6.1. Methodisches Vorgehen

6.1.1. Versuchsaufgaben

Die Versuchsaufgaben fanden an zwei Modellanlagen in den Laborräumen des IPP statt. Es handelte sich dabei um eine verfahrenstechnische Anlage (im Folgenden: VT-Anlage) sowie eine Fertigungszelle (im Folgenden: Adiro-Anlage) (siehe *Abb. 6.1* und *Anhang A* für eine Beschreibung von Aufbau und Funktion der Anlagen).

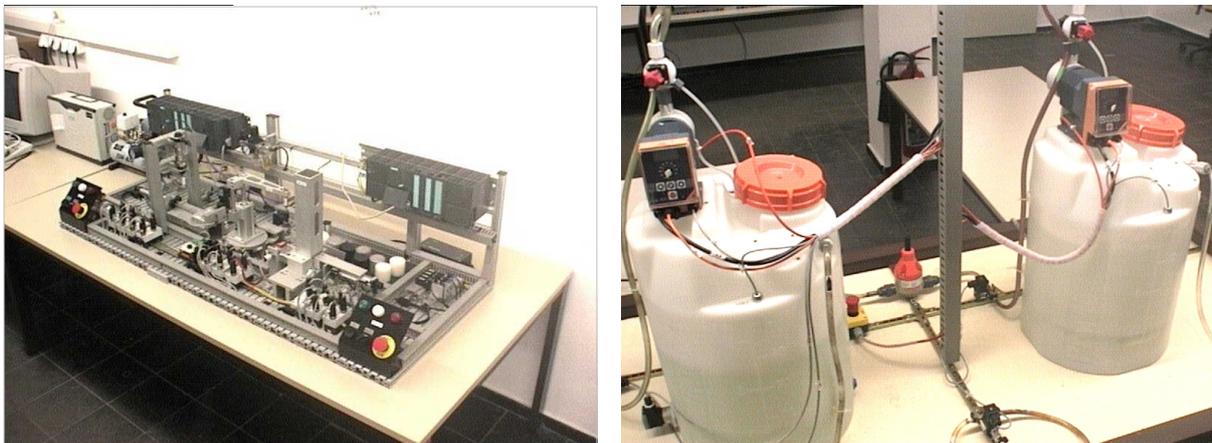


Abb. 6.1: Adiro-Anlage und VT-Anlage

Die Aufgaben sollten einen mittleren Schwierigkeitsgrad haben. Da die Probanden über keine Vorerfahrungen an den Versuchsanlagen verfügten, durften die gestellten Aufgaben nicht zu schwierig sein, also keine speziellen Kenntnisse erfordern. Andererseits mussten sie schwierig genug sein, um eine Anleitung nicht obsolet werden zu lassen. Neben der Forderung nach einem mittleren Schwierigkeitsgrad sollte es verschiedene Aufgabentypen geben, die charakteristisch für den Bereich Instandhaltung sind. Es wurden vier Aufgaben ausgewählt, jeweils zwei an jeder der beiden Anlagen. Insgesamt waren 60 Teilschritte zu bearbeiten. Aufgabe 1

und Aufgabe 2 an der VT-Anlage bildeten einen Versuchsblock, wurden also ohne Unterbrechung nacheinander bearbeitet. Gleiches galt für Aufgabe 3 und Aufgabe 4 an der Adiro-Anlage. Grund war, für die Probanden ein realistisches Szenario zu erzeugen, in das sich die Aufgaben einordneten und so für sie einen Sinn ergaben. Die Probanden wurden gebeten, sich vorzustellen, sie wären ein Instandhalter, und ihnen wurden zwei Einsatzfälle beschrieben, die sie bearbeiten sollten.

Bei der VT-Anlage erfuhren die Teilnehmer, dass die Leistung von Pumpe 1 an Behälter 1 zu gering ist. Im Vorfeld, so wurde ihnen gesagt, sei bereits sichergestellt worden, dass alle Parameter an der Pumpe korrekt eingestellt sind. Sie sollten nun eine Inspektion der zu- und abgehenden Elektrokabel und Schläuche von Pumpe 1 und Behälter 1 vornehmen, um zu prüfen, ob die richtigen Verbindungen angekoppelt sind. Sollte sich bei der Inspektion kein Fehler zeigen (was der Fall war, den Probanden aber vorher nicht mitgeteilt wurde), müssten sie daraufhin die Steuerplatine der Pumpe 1 demontieren, damit diese dann an den Hersteller geschickt werden könnte.

Bei der Adiro-Anlage wurde den Probanden geschildert, dass sie einen Kollegen vertreten sollen, der kurzfristig zu einem anderen Einsatz abberufen wurde. Dieser Kollege wäre gerade damit beschäftigt gewesen, mehrere ASI-Module der Anlage neu zu montieren und danach die Anlage in Betrieb zu nehmen. Die Probanden sollten dies nun für ihren Kollegen übernehmen, also die noch fehlenden Module an die vorgesehenen Plätze montieren, die Ein- und Ausgänge beschildern, die Anschlusskabel eindrehen und danach die Anlage hochfahren.

In der Auswertung wurden die Aufgaben 1-4 dann wieder getrennt betrachtet. *Tab. 6.1* fasst die vier Aufgaben zusammen. Die Anleitung versorgte die Versuchspersonen bei allen Aufgaben mit den jeweils benötigten Instruktionen und Informationen. Sie mussten also keine Aufgaben von sich aus erschließen, sondern wurden Schritt für Schritt angeleitet. Der Wechsel zwischen den Aufgaben Inspektion und Demontage an der VT-Anlage bzw. zwischen Montage und Inbetriebnahme an der Adiro-Anlage wurde ihnen durch das Hilfsmittel angekündigt. *Anhang B* enthält die Schritte, die in den einzelnen Aufgaben zu bearbeiten waren.

Aufgabe	VT-Anlage
1	Inspektion: Überprüfung der korrekten Ankopplung diverser Schläuche und Elektrokabel um Behälter 1 und Pumpe 1
2	Demontage der Steuerplatine der Pumpe 1 an Behälter 1
	Adiro-Anlage
3	Montage mehrerer ASI-Module in verschiedenen Koppelmodulgruppen, Beschilderung der Ein- und Ausgänge der Module, Eindrehen der Anschlusskabel
4	Inbetriebnahme der Anlage (Ablesen und Betätigen verschiedener Anzeigen, Schalter, Ventile)

Tab. 6.1: Übersicht über die Versuchsaufgaben

6.1.2. Stichprobe

Die Stichprobe bestand aus 40 männlichen Studenten technischer Studiengänge der TU Clausthal, die nicht bereits an den Benutzertests bei Nikolić teilgenommen hatten und über keine Erfahrung mit den Versuchsanlagen verfügten. Die Teilnahme war freiwillig und wurde vergütet. Das Durchschnittsalter der Stichprobe betrug $\underline{M}=23.65$ Jahre ($\underline{SD}=3.28$), die durch-

schnittliche Semesterzahl $MW=5.64$ ($SD=4.08$). *Tab. 6.2* zeigt die Verteilung der Teilnehmer auf die Versuchsbedingungen. Die Reihenfolge der Bearbeitung der Aufgaben mit den Hilfsmitteln war randomisiert.

Aufgabe	Hilfsmittel	
	INTERFACE	CARIHBA
Montage/Inbetriebnahme	VP 1-20	VP 21-40
Inspektion/Demontage	VP 21-40	VP 1-20

Tab. 6.2: Verteilung der Probanden auf die Versuchsbedingungen

6.1.3. Untersuchungsablauf

Die Untersuchung gliederte sich in vier Teile, die im Folgenden jeweils kurz beschrieben werden. Der gesamte Untersuchungsablauf nahm ca. 2.5 h pro Versuchsperson in Anspruch.

Einleitung zum Thema und Vortests

Zunächst wurden die Teilnehmer über Inhalt und Zweck der Untersuchung aufgeklärt, und ihnen wurde der Ablauf der Sitzung erläutert. Danach wurde ein Test zur Erfassung des räumlichen Vorstellungsvermögens durchgeführt sowie die technische Vorerfahrung mit Hilfe eines Fragebogens ermittelt.

Räumliches Vorstellungsvermögen:

Raumvorstellungsleistungen spielen eine wichtige Rolle im Bereich technischer Aufgaben. Personen können sich in diesem Merkmal stark unterscheiden, so dass Schwierigkeiten beim Bearbeiten der Versuchsaufgaben evtl. auf eine mangelnde räumliche Vorstellungskraft, nicht aber auf eine mangelnde Unterstützung durch das Hilfsmittel zurückführbar sein könnten. Daher wurde das räumliche Vorstellungsvermögen erhoben, um später dessen Einfluss auf die Ergebnisse zu bestimmen. Es wurde der Schlauchfigurentest (Stumpf & Fay, 1983) eingesetzt. Dieser Test besteht aus 21 Aufgaben, die jeweils zwei durchsichtige Würfel mit einem gewundenen Kabel darin zeigen. Der linke Würfel zeigt immer die Vorderansicht, der rechte Würfel ist aus einer anderen Perspektive gezeigt (siehe *Abb. 6.2*).

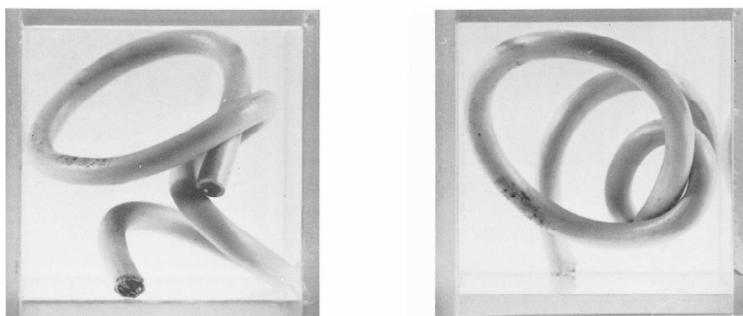


Abb. 6.2: Beispielaufgabe Schlauchfigurentest (aus Stumpf & Fay, 1983)

Pro Aufgabe soll angegeben werden, aus welcher Perspektive der rechte Würfel zu sehen ist. Für die Bearbeitung stehen 12 min zur Verfügung. Der Test ist für unterschiedliche Schulabschlüsse normiert. Das Testergebnis lässt sich jeweils fünf Leistungsbereichen zuordnen, die von weit unterdurchschnittlich bis weit überdurchschnittlich reichen.

Technische Vorerfahrung:

Alle Versuchsteilnehmer waren zwar Studenten technischer Studiengänge, unterschieden sich aber in ihrem Alter und der Studiendauer und demzufolge auch in den im Laufe des Studiums erworbenen technischen Erfahrungen. Darüber hinaus war davon auszugehen, dass einige Probanden auch vor oder neben ihrem Studium technische Erfahrungen in unterschiedlichem Ausmaß gesammelt hatten. Darum wurde den Teilnehmern ein Fragebogen vorgelegt (siehe *Anhang C*), in dem sie Angaben über dem Studium vorausgehende oder das Studium begleitende technische Erfahrungen machten. Des Weiteren wurden sie für eine allgemeine Einordnung der Person nach Erfahrungen im Umgang mit Bedienungsanleitungen verschiedener Art, nach ihrem bisherigen Kontakt mit Computer Augmented Reality sowie nach ihrer Einstellung zu Neuen Technologien befragt.

Im Zuge der statistischen Auswertung der Ergebnisse sollten die Versuchspersonen anhand des Fragebogens schließlich in die Gruppen „technisch eher erfahren“ und „technisch eher unerfahren“ eingeteilt werden. Dafür wurden die Fragebogen-Items 1 – 7 herangezogen. Diese geben Auskunft über bisherige Kontakte zu verfahrens- oder fertigungstechnischen Anlagen, über eine vorliegende technische Ausbildung oder Berufsausübung im technischen Bereich, über relevante Praktika, Nebentätigkeiten oder über die Ausführung von Reparaturtätigkeiten. Die Items waren bipolar ausgeprägt, d.h. mit „ja/nein“ zu beantworten. Zusätzlich wurden die Probanden jeweils um eine kurze Schilderung der Art der Tätigkeit gebeten. Für die Auswertung wurden systematische Paarvergleiche mit den sieben Items durchgeführt, woraus sich die Bedeutung jedes Items in Form eines Gewichtes ergab. Das höchste Gewicht resultierte für eine bereits erfolgte Berufsausübung (0.33), gefolgt von einer technischen Ausbildung (0.27). Wurde mindestens eines der beiden Items bejaht, wurde die Person der Gruppe „technisch eher erfahren“ zugeordnet. Als Grenzwert für die Entscheidung der Gruppenzugehörigkeit wurde letztlich 0.27, also das Gewicht des Items „technische Ausbildung“ festgelegt. Personen, die keine Ausbildung oder Berufsausübung vorwiesen, wurden dann der erfahrenen Gruppe zugeteilt, wenn sie mehrere der anderen fünf Items positiv beantworteten und die Summe ihrer gewichteten Antworten den Schwellwert überschritt.

Vorstellung des CARIHBA-Prototyps:

Bevor die Vorstellung des CARIHBA-Prototyps erfolgte, erhielten die Teilnehmer eine ca. 10-minütige Einführung in die CAR-Technologie. Ihnen wurde erklärt, was unter Computer Augmented Reality zu verstehen ist, welche Hardware-Komponenten ein CAR-System typischerweise enthält (HMDs, Tracking-Systeme, tragbare Rechner; die Probanden konnten verschiedene HMDs ansehen und aufsetzen) und welche Probleme beim Einsatz bestehen. Diese Erklärungen dienten einerseits dazu, das Vorwissen der Probanden auf einen ähnlichen Stand zu bringen. Viele der Studenten hatten noch nichts über diese Technologie gehört, anderen war der Grundgedanke von CAR bekannt. Eine Minderheit verfügte über umfangreicheres Vorwissen aus Vorlesungen und Seminaren. Andererseits sollte diese Einführung für die Probleme der CAR-Technologie sensibilisieren. Zudem wurde in dieser Einleitung über die Probleme mit herkömmlichen Dokumentationen im Bereich technischer Instandhaltung gesprochen. Vor diesem Hintergrund wurde dann den Probanden die Motivation zur Entwicklung von CARIHBA vermittelt, und ihnen wurde erklärt, dass ihre Teilnahme dazu dienen sollte, dieses System auf seine Gebrauchstauglichkeit hin zu testen.

Die Teilnehmer erhielten daraufhin eine Demonstration von Aufbau und Funktionsweise von CARIHBA, die ebenfalls ca. 10 min dauerte. Um eine Vorstellung von der Gesamtfunktionalität des Systems zu erhalten, wurde ihnen kurz der Übersichtsmodus zum Erkunden der Umgebung sowie die Auswahlstruktur zum Anwählen einer gewünschten Bedienungsanleitung und somit der Wechsel in den Szenariomodus gezeigt, auch wenn die Personen im Versuch selbst nicht damit zu arbeiten hatten. Im Szenariomodus wurden dann anhand einiger Demonstrations-Schritte die Elemente der Benutzungsoberfläche erklärt und die Sprachsteuerungsbefehle eingeführt. Darüber hinaus wurde auf das Fahren der Kamera nach Aufruf des nächsten Schrittes sowie auf die Möglichkeit, die teilweise Immersion zu erleben, aufmerksam gemacht. Fragen konnten jederzeit gestellt werden.

Training

Um sich an die Arbeit mit den beiden Hilfsmitteln zu gewöhnen, gab es eine Reihe von Trainingsaufgaben. Der erste Teil der Trainingsaufgaben bezog sich auf CARIHBA. Die Bedeutung des Trainings lag einerseits darin, sich an die Benutzungsoberfläche zu gewöhnen, d.h. zu lernen, wo welche Informationen dargeboten werden (Instruktionstexte, Hinweise, Statusbalken) und welche Augmentierungen im Live-Video auftauchen können (Kreise, Pfeile, Bezeichnungen). Andererseits sollten die Personen einüben, den Immersionseffekt zu nutzen, also die Hand im Bild an die markierte Stelle zu bringen, um Sicherheit über den Ort der Manipulation zu gewinnen. Ihnen wurde darüber hinaus gezeigt, wie man sich relativ zur Kamera stellen muss, um Verdeckungen des Videobildes zu vermeiden und trotzdem bequem arbeiten zu können. Dazu wurden die Trainingsaufgaben mit CARIHBA zweigeteilt, d.h. bei den ersten Aufgaben war die Kamera links von der Person, bei den späteren Aufgaben rechts von ihr positioniert. Bei den Versuchsaufgaben selbst blickte dann auch die Kamera einmal von links auf die Anlage, einmal von rechts.

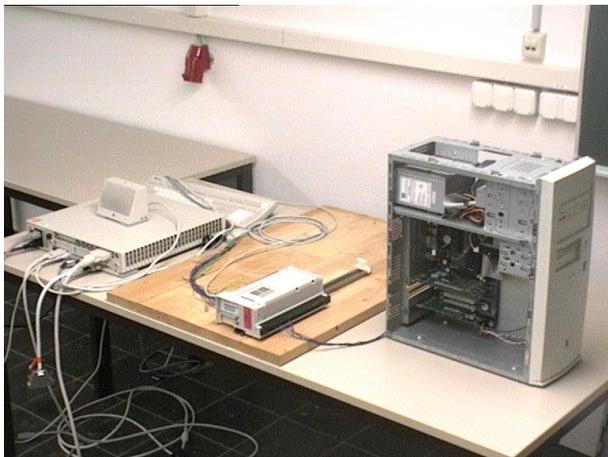


Abb. 6.3: Demontage-Objekte in der Trainingsbedingung

Die Trainingsaufgaben bestanden in der Demontage von Hardware-Elementen an zwei verschiedenen Rechnern und einer SPS, die auf einem Tisch aufgebaut waren (*Abb. 6.3*). Etwa 15 min wurden pro Person für die Bearbeitung und Nachbesprechung der Trainingsaufgaben benötigt. Die einzelnen Schritte, die zu bearbeiten waren, finden sich in *Anhang B*.

Bearbeitung der Versuchsaufgaben

Um zu vermeiden, dass sich Übungs- oder Ermüdungseffekte auf die Ergebnisse auswirken, wurden die Reihenfolge der Blöcke, mit denen eine Versuchsperson begann, sowie die Reihenfolge der Hilfsmittel randomisiert (siehe *Tab. 6.3*). Die Bearbeitung der Aufgaben an der Adiro-Anlage (Montage und Inbetriebnahme) nahm im Durchschnitt ca. 14 min in Anspruch, die Aufgaben an der VT-Anlage (Inspektion und Demontage) ca. 10 min. Zwischen beiden Blöcken gab es eine zehnminütige Pause.

Block 1	Block 2	Vp-Nr.									
Adiro/Interface	VT/Carihba	1	5	9	13	17	21	25	29	33	37
Adiro/Carihba	VT/Interface	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38
VT/Interface	Adiro/Carihba	3	7	11	15	19	23	27	31	35	39
VT/Carihba	Adiro/Interface	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40

Tab. 6.3: Randomisierung der Versuchsbedingungen

Unmittelbar vor jedem Block wurde ein Konzentrationstest mit den Teilnehmern durchgeführt. Ziel dieses Tests war es, überprüfen zu können, ob die Teilnehmer in beiden Blöcken gleich aufmerksam waren. Eingesetzt wurde der Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2 (Brickenkamp, 1994; siehe *Anhang D*). Hierbei handelt es sich um einen Durchstreichtest. Dieser lässt bei der Auswertung der Konzentrationsleistung eine Unterscheidung zwischen einer Antriebskomponente (Leistungsmenge/Tempo bzw. Quantität) und einer Kontrollkomponente (Leistungsgüte/Sorgfalt bzw. Qualität) treffen. Darüber hinaus können mit dem d2 auch Erkenntnisse über den Arbeitsstil einer Person (Dimensionen: aufmerksam – unaufmerksam sowie reflexiv-impulsiv) gewonnen werden. Die Erkenntnisse sollten im Zweifelsfall, etwa bei einem unsystematischen Verhalten eines Probanden, herangezogen werden können, um evtl. die Interpretation zu erleichtern, ob dieses unsystematische Verhalten durch das Hilfsmittel verursacht wurde oder eher dem Arbeitsstil einer Person zuzuschreiben ist.

Während der Durchführung der Versuchsaufgaben wurde ein Beobachtungsprotokoll erstellt, in dem Auffälligkeiten im Verhalten der Personen sowie sichtbare Fehler notiert wurden. Anhand dieses Protokolls wurde direkt im Anschluss an einen Block ein Interview geführt. Jeder Proband wurde gebeten, zunächst von sich aus zu berichten, wie er mit den Aufgaben zurecht gekommen war, was aus seiner Sicht zu bemerken und was ihm aufgefallen ist. Danach kamen die im Protokoll notierten Auffälligkeiten zur Sprache, sofern diese vom Probanden nicht selbst schon erklärt wurden. Aufgetretene Fehler wurden mitgeteilt und der Proband gebeten zu rekonstruieren, wie diese Fehler zustande gekommen sind, sofern ihm das möglich war.

Nachbefragung

Jeder Teilnehmer füllte am Ende der Untersuchung einen Nachbefragungsbogen aus (siehe *Anhang E*). Die ersten Fragen bezogen sich auf die erlebte Schwierigkeit der Aufgaben sowie auf die subjektiv erlebten Vor- und Nachteile beider Hilfsmittel. Die nächsten, speziell auf CARIHBA bezogenen Fragen thematisierten die Nutzung von Kamerafahrt, Immersionseffekt sowie evtl. aufgetretene Verdeckungen des Videobildes und den Umgang damit. Danach wurde eine Einschätzung zu gemeinsamen Eigenschaften beider Hilfsmittel erbeten (z.B. seitliche Kameraposition und Monitorstellung, Verständlichkeit der Instruktionstexte, Eindeutigkeit der Augmentierungen). Am Ende wurde um Verbesserungsvorschläge gebeten sowie um eine Benotung beider Hilfsmittel. Es waren pro Hilfsmittel eine Gesamtnote sowie zwei Teilnoten

für die Unterstützung bei den jeweiligen Aufgaben zu vergeben (siehe *Abb. 6.4*). Der Nachbefragungsbogen bzw. das Benotungsschema lag in zwei Versionen vor. Je nach Aufgaben-Hilfsmittel-Kombination, mit der ein Proband im Versuch gearbeitet hatte, enthielt das ihm vorgelegte Benotungsschema auch nur die für ihn relevanten Benotungsmöglichkeiten.

Bitte benoten Sie die beiden Hilfsmittel hinsichtlich ihrer Unterstützung bei der Ausführung der Aufgaben!

(1 = besonders positiv , 4 = besonders negativ)

	INTERFACE (Foto)				CARIHBA (Live-Video)			
Gesamtnote	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
Montage der Module	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>				
Inbetriebnahme	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>				
Inspektion					<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
Demontage Pumpe					<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>

Abb. 6.4: Schema für die Benotung der Hilfsmittel

Videoaufzeichnungen und Beobachtungsprotokoll

Wie bereits erwähnt, wurde während der Versuchsdurchführung ein Beobachtungsprotokoll geführt, das der Registrierung von Fehlern und Auffälligkeiten im Verhalten diente. Anhand dieses Protokolls erfolgte eine Nachbesprechung mit jedem Probanden direkt im Anschluss an einen Versuchsblock. Da die Registrierung der für die Aufgabenausführung benötigten Zeiten (speziell der kognitiven Zeit) sowie der Blickwechsel nicht parallel zur Versuchsdurchführung erfolgen konnte, wurden die Probanden während der Versuche gefilmt. Dazu waren zwei Videokameras so positioniert, dass auf einer der Kameras immer das Gesicht des Probanden sichtbar war, um so die Auszählung der Blickwechsel möglich zu machen. Zusätzlich zu den Videoaufzeichnungen wurde mitgeschnitten, was die Person auf dem Monitor sehen konnte. Dadurch ließ sich einerseits nachvollziehen, inwieweit in der CARIHBA-Bedingung der Immersions-Effekt genutzt wurde (Befand sich die Hand der Person an der Markierung, während sie auf den Monitor blickte?), und andererseits konnte festgestellt werden, ob und in welchem Maße es zu unerwünschten Verdeckungen des Videobildes kam. Alle drei Bildkanäle wurden so aufbereitet, dass sie bei der Auswertung simultan auf einem großformatigen Bildschirm zur Verfügung standen (siehe *Abb. 6.5*).

Kamera 1 Videoaufzeichnung der Vp von Kameraposition 1	Kamera 2 Videoaufzeichnung der Vp von Kameraposition 2
Mitschnitt des Monitorbildes	

Abb. 6.5: Bildkanäle für die simultane Videoauswertung

6.1.4. Kriterien für die Messung der kognitiven Zeit

Wie bereits erwähnt, wird bei der Aufgabenbearbeitung mit Unterstützung durch eine Anleitung zurückgehend auf Towne (1985) zwischen kognitiven und manuellen Zeitanteilen unterschieden (vgl. *Kap. 4.3 und 5.4.5*). Ein Versuch einer näheren Beschreibung dieser beiden Kategorien beim Bearbeiten von Instandhaltungs- oder Montageaufgaben findet sich bei Neumann & Majoros (1998) und ist in *Tab. 6.4* dargestellt.

kognitiver Anteil	manueller Anteil
<ul style="list-style-type: none"> - direkte Aufmerksamkeit auf der Anleitung - Lesen, Verstehen, Interpretieren, Planen - Sprachverstehen - Hypothesen bilden - Übertragen der Informationen von der Anleitung auf den Arbeitsgegenstand 	<ul style="list-style-type: none"> - direkte Aufmerksamkeit auf dem Arbeitsgegenstand - Inspizieren, Unterscheiden, Vergleichen, Auswählen, Ausrichten - Geräusche wahrnehmen und interpretieren - Bewegungen wahrnehmen - Manipulation des Arbeitsgegenstandes

Tab. 6.4: Kognitive und manuelle Tätigkeitsanteile nach Neumann & Majoros (1998)

Der Unterscheidung der Autoren zufolge ist der kognitive Anteil dadurch gekennzeichnet, dass die direkte Aufmerksamkeit auf der Anleitung liegt. Darunter fallen u.a. das Erfassen der Instruktion und die Planung des eigenen Vorgehens. Unter dem manuellen Anteil würde man zunächst die reine Aufgabenausführung verstehen, d.h. die tatsächliche Manipulation des Arbeitsgegenstandes. Diese bildet bei Neumann & Majoros jedoch nur einen von mehreren Bestandteilen des manuellen Anteils, welcher von ihnen allgemein dadurch beschrieben wird, dass die Aufmerksamkeit auf den Arbeitsgegenstand gerichtet ist. So gehört in dieser Klassifikation auch das Identifizieren des eigentlichen Arbeitsobjektes (Unterscheiden, Vergleichen, Auswählen etc.) zum manuellen Tätigkeitsanteil. Der eigentlich kognitive Charakter dieser Prozesse ist jedoch deutlich. Gleiches gilt für das Wahrnehmen und Interpretieren von Geräuschen oder Bewegungen. Deshalb werden diese Prozesse in der vorliegenden Arbeit auch dem kognitiven Tätigkeitsanteil zugeordnet. Generell wird vorgeschlagen, die Gesamttätigkeit pro Teilschritt einer Aufgabe in Teiltätigkeiten zu zerlegen. Diese sollen als *Teiltätigkeiten mit vorwiegend kognitivem Anteil* und *Teiltätigkeiten mit vorwiegend manuellem Anteil* betitelt werden. Erstere werden operationalisiert als alle Anteile, in denen die Aufmerksamkeit auf der Anleitung liegt sowie als alle Anteile, in denen die Aufmerksamkeit auf dem Arbeitsgegenstand liegt, dieser aber nicht manipuliert wird. Wird am Arbeitsgegenstand manipuliert, zählt dies als Teiltätigkeit mit vorwiegend manuellem Anteil (der Zusatz „vorwiegend“ wird im Zusammenhang mit dem manuellen Anteil verwendet, da auch bei der Manipulation des Arbeitsgegenstandes informationsverarbeitende Prozesse beteiligt sind). Jedoch gilt dies nur, wenn der Blick auch auf den Arbeitsgegenstand gerichtet ist. Wird parallel zur laufenden Manipulation in die Anleitung geblickt, ist dieser Tätigkeitsanteil als vorwiegend kognitiv zu bewerten. In *Abb. 6.6* werden die beiden Anteile schematisch verdeutlicht. Das Schema macht gleichzeitig deutlich, wie die einzelnen Tätigkeitsanteile operationalisiert werden. Als *kognitive Zeit* wird in der vorliegenden Arbeit die Zeit bezeichnet, welche für die Teiltätigkeiten mit vorwiegend kognitivem Anteil benötigt wird.

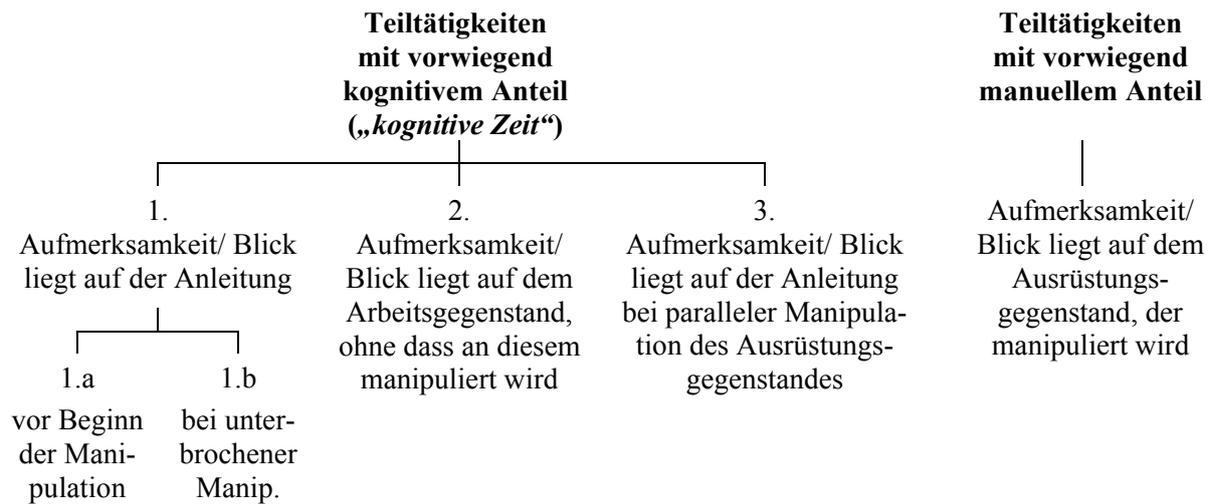


Abb. 6.6: Teiltätigkeiten mit vorwiegend kognitivem oder manuellem Anteil

Tab. 6.5 enthält nun die Kriterien für die kognitive Zeit, die in den Benutzertests von Nikolić (2006) angelegt wurden. Bei deren Betrachtung wird deutlich, dass es Unterschiede in der Zuordnung von Teiltätigkeiten zur kognitiven Zeit gibt, verglichen mit der in Abb. 6.6 enthaltenen Unterteilung der kognitiven Zeit.

Kognitive Zeit	Nicht kognitive Zeit
(1) Zeitanteil, um die Aufgabe zu lesen, zu interpretieren und zu verstehen, sich räumlich zu orientieren, das zu manipulierende Ausrüstungsteil zu finden, eine Hypothese zu formulieren, wie die Manipulation auszuführen ist, diese zu überprüfen und letztlich die Entscheidung zu treffen, mit der Manipulation anzufangen	
(2) Zeitanteil für das Bemerkens eines Fehlers und das Formulieren einer Hypothese zur Behebung des Fehlers	
(3.1) Zeit für Blicke in die Anleitung parallel zur Ausführung der Manipulation, wenn dies in Folge eines Informationsbedarfs oder zum Zwecke der Bestätigung einer Hypothese geschieht	(3.2) Zeit für Blicke in die Anleitung parallel zur Ausführung der Manipulation, falls der Grund dafür Langeweile aufgrund einer Monotonie der Manipulation ist (Identifizierung von Langeweile über Gesichtsausdruck)
(4) Zeit für das Lesen des Textes der Aufgabe, nachdem die Manipulation nur aufgrund der Informationen aus dem Bild ausgeführt wurde	
	(5) Zeit für das Überprüfen, ob die Aufgabe korrekt ausgeführt wurde
	(6) Zeit für das Formulieren einer Hypothese über die Manipulation, wenn die Manipulation nicht vorhandene Kenntnisse der Person erfordert
	(7) Zeitanteile für die Klärung der Aufgabe bei nicht eindeutig formuliertem Instruktionstext
	(8) Zeit für erkennbare geistige Abwesenheit

Tab. 6.5: Kognitive und nicht kognitive Zeitanteile nach Nikolić (2006)

Grund für das Aufstellen solcher Kriterien ist zunächst, dass eine klare Trennung kognitiver und manueller Anteile in der Realität selten vorzufinden ist, sondern sie können im Gegenteil miteinander verstrickt sein. So treten z.B. bei der Ausführung einer Manipulation Blicke zurück in die Anleitung auf, um sich rückzuversichern, auch das Richtige zu tun, oder um vergessene Informationen aufzufrischen. Möglich ist auch, vorher nicht beachtete Informationen aufzunehmen, z.B. über den zweiten Teil einer Aufgabe, sofern ein Teilschritt zwei Arbeitsschritte integriert. Es kann auch vorkommen, dass bereits die Instruktion für den nächsten Schritt gelesen wird. In manchen Fällen wird für diese Blicke in die Anleitung die Manipulation am Ausrüstungsteil nicht unterbrochen, sondern läuft parallel weiter. Dies sollte jedoch nur möglich sein, wenn es sich um einfache Tätigkeiten wie z.B. Schraubvorgänge handelt, die darüber hinaus eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen.

Im Folgenden soll geklärt und begründet werden, welche der Kriterien, die Nikolić für die Zuordnung von Teiltätigkeiten zur kognitiven bzw. nicht-kognitiven Zeit angelegt hat, in der vorliegenden Arbeit als Kriterium für Teiltätigkeiten mit vorwiegend kognitivem Anteil gezählt werden.

Kriterium (1) spiegelt zweifelsfrei einen kognitiven Zeitanteil wider und wird daher weiter geführt. Die Person nimmt während der hier beschriebenen Zeit die Informationen auf, was wo und wie zu tun ist. Sie sucht diesen Ort in der Realität auf. Währenddessen können wiederholt Blicke in die Anleitung und auf die Anlage stattfinden (incl. Berühren von Anlagenteilen, aber ohne dass die Manipulation startet). Schließlich entscheidet sie sich, mit der Manipulation zu beginnen. Dieses Kriterium ist einfach zu operationalisieren durch den Zeitanteil, der zwischen dem Aufruf eines Teilschrittes und dem Beginn einer Manipulation liegt. Dies entspricht den Teiltätigkeiten 1.a und 2 (siehe *Abb. 6.6*).

Die begonnene Aufgabenausführung kann von der Person unterbrochen werden, um erneut Informationen aus der Anleitung zu entnehmen, welche sie sich vorher nicht gemerkt hat, wieder vergessen hat oder weil sie sich noch einmal absichern will. Dieser Zeitanteil für das nochmalige Blicken in die Anleitung bei unterbrochener Manipulation ist bei Nikolić nicht durch ein Kriterium festgelegt. In der vorliegenden Arbeit wird es als Kriterium für die kognitive Zeit ergänzt. In *Abb. 6.6* wird es durch Teiltätigkeit 1.b wiedergegeben.

Kriterium (2) ist ebenfalls beizubehalten. Bemerkt also die Person, dass sie einen Fehler begangen hat (während der Aufgabenausführung, wenn z.B. die Manipulation nicht gelingt oder nach Fertigstellung der Manipulation, etwa durch Nachprüfen), zählt die dafür benötigte Zeit sowie die Zeit, bis sie beginnt, den Fehler zu korrigieren, als kognitive Zeit. Dieses Kriterium wird ebenso operationalisiert durch Blicke in die Anleitung und auf die Anlage (incl. Berühren von Anlagenteilen), ohne dass eine Manipulation des Ausrüstungsteils ausgeführt wird (Teiltätigkeit 1.b und 2 in *Abb. 6.6*).

Im Falle von Blicken in die Anleitung parallel zur Manipulation wurden bei Nikolić drei Ursachen unterschieden: Dies ist einerseits der Bedarf an Informationen sowie die Bestätigung der aktuellen Hypothese über die Aufgabenausführung, also des geplanten Vorgehens. Beide werden in der Tabelle als Kriterium (3.1) für die kognitive Zeit geführt. Als dritter Grund galt die Langeweile bei der Ausführung der Manipulation (3.2). Sie wurde über den Gesichtsausdruck identifiziert und nicht zur kognitiven Zeit gerechnet.

In die Anleitung zu sehen, ohne dass die Manipulation unterbrochen wird, ist bei Teilschritten möglich, in denen die Manipulation zeitintensiv und einfach auszuführen ist (z.B. Anziehen oder Lösen von Schrauben, Eindrehen von Anschlusskabeln), so dass Kapazitäten frei sind

(evtl. wird eine Unterforderung erlebt). Neben den unter (3.1) und (3.2) genannten drei Ursachen ist eine vierte möglich, nämlich der Aufruf und das Lesen des folgenden Teilschritts (oder weiterer Teilschritte), um sich vorab über kommende Aufgaben zu informieren. Diese Ursache ist eindeutig zu identifizieren und der kognitiven Zeit (und zwar für den nächsten Teilschritt) zuzuordnen. Anders sieht es mit den drei bei Nikolić angegebenen Ursachen für Blicke in die Anleitung parallel zur Manipulation aus, wie folgende Ausführungen verdeutlichen sollen.

Parallele Blicke in die Anleitung während des Manipulierens traten vermehrt bei Teilschritten auf, die zwei Schritte kombinierten (z.B. „Modul 5 anschrauben und Anschlusskabel eindrehen“). Einige Probanden lasen während des Schraubens den Instruktionstext erneut, offenbar um alle Informationen über den zweiten Schritt aufzunehmen (dies fällt unter „Informationsbedarf“ bei Nikolić). Andere Teilnehmer äußerten, dass sie die Zeit genutzt haben, um sicherzustellen, nichts übersehen zu haben, was unter „Bestätigung der Hypothese“ fällt. Dass der Blick in die Anleitung jedoch nicht immer der Informationsaufnahme oder der Bestätigung des Verhaltens dient, verdeutlicht die Beobachtung bei einer Versuchsperson, die im oben genannten, zusammengesetzten Teilschritt während des Anschraubens des Moduls längere Zeit in die Anleitung blickte, dann aber den zweiten Teil des Schritts, also das Eindrehen der Anschlusskabel, nicht ausführte. In der Nachbesprechung erklärte diese Person, dass sie „einfach so in die Anleitung gesehen (hat), ohne ihr etwas Bestimmtes zu entnehmen“. Dieses Verhalten würde dem entsprechen, was Nikolić als „Langeweile“ bezeichnete. Wie die Verhaltensbeobachtung und ebenfalls die Nachbesprechung ergaben, legten einige Teilnehmer eine besondere Vorsicht beim Bearbeiten der Aufgaben an den Tag. Da sie an den ihnen unbekanntem Anlagen keine Fehler machen wollten, in deren Folge etwas hätte kaputt gehen können, sicherten sie sich durch wiederholtes Lesen der Instruktion ab, obwohl sie diese bereits verstanden hatten. All diese möglichen Gründe für die parallelen Blicke in die Anleitung könnten von einem Außenstehenden nur mit einem gewissen Maß an Unsicherheit unterschieden werden (zumal auch keine Information darüber vorliegt, wohin eine Person in der Anleitung schaut, ob also z.B. ins Instruktionfeld oder ins Bild). Da die unerwünschten Zeitanteile also nicht zweifelsfrei aus der kognitiven Zeit auszuschließen sind, wird in der vorliegenden Arbeit die Dauer sämtlicher Blicke in die Anleitung parallel zur Manipulation erfasst und als Kriterium für die kognitive Zeit gewertet. Erfasst wird es über Tätigkeitsanteil 3 (siehe *Abb. 6.6*).

Das Nachlesen in der Anleitung nach korrekter Fertigstellung der Manipulation, d.h. Kriterium (5) bei Nikolić, soll nicht direkt zum kognitiven Anteil gerechnet werden. Denn ob nach der Ausführung der Aufgabe noch einmal durch einen Blick in die Anleitung überprüft wird, ob die Aufgabe richtig ausgeführt wurde, ist wahrscheinlich stärker von Merkmalen der Person (z.B. Sorgfalt, Bedürfnis nach Absicherung) als von der Qualität der Anleitung abhängig. Dennoch soll die Dauer für das Nachlesen ermittelt werden, um einen zeitlichen Eindruck zu gewinnen. Das Lesen des Textes der Aufgabe, nachdem die Manipulation nur aufgrund der Informationen aus dem Bild ausgeführt wurde, was bei Nikolić als Kriterium (4) der kognitiven Zeit zugerechnet wurde, fällt demnach jetzt unter die Kategorie Nachlesen. Ein solches Verhalten ist aber eher als Einzelfallverhalten einzustufen, da die Personen aufgrund der Unbekanntheit der Aufgaben und Anlagen die textlichen Instruktionen sehr wahrscheinlich immer mit verwerten und nur bei wenigen Teilschritten innerhalb der Szenarien die Aufgabenausführung allein anhand des Bildes möglich ist. Ob vor Beginn der Manipulation nur das Bild als Informationsquelle verwertet wurde, lässt sich durch eine zweite Person auch nicht nachvollziehen, es sei denn, die Versuchsperson schildert ein solches Vorgehen in der Nachbesprechung.

Die Zeit für das Überlegen, wie eine geforderte Manipulation auszuführen ist, wenn dies die Kenntnisse der Person überschreitet (6), wurde bei Nikolić als nicht kognitive Zeit eingestuft. Gleiches galt für Zeitanteile, die auf die Klärung der Aufgabe (durch Nachfragen bei der Versuchsleiterin) im Falle nicht eindeutig formulierter Instruktionstexte (7) entfielen. Diese Kriterien für die nicht-kognitive Zeit sind beizubehalten, sofern ein solches Verhalten auftritt. Aufgrund der Erfahrungen der Benutzertests von Nikolić wurden im Zuge der vorliegenden Arbeit einerseits einzelne Aufgaben, die für verschiedene Versuchspersonen schwierig oder nicht ausführbar waren, verändert und andererseits uneindeutige Instruktionen überarbeitet und verbessert. Daher war zu erwarten, dass alle Personen sämtliche Teilschritte auch ausführen konnten und ohne Hilfe von außen nur aufgrund der Anleitung wussten, was sie in einem jeweiligen Schritt zu tun hatten und wie.

Sollte sich eine Person wider Erwarten während der Bearbeitung der Versuchsaufgaben mit etwas anderem beschäftigen (8), sollte dies nach wie vor aus der zeitlichen Auswertung ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend lauten die jetzt zugrunde gelegten Kriterien für die kognitive Zeit wie folgt:

1. Zeitanteil, der benötigt wird, um die Aufgabe zu lesen, zu interpretieren, zu verstehen, sich räumlich zu orientieren, das zu manipulierende Ausrüstungsteil zu finden, zu überlegen, wie die Manipulation auszuführen ist, diese Hypothese zu überprüfen und die Entscheidung zu treffen, mit der Manipulation anzufangen (1.a und 2).
2. Zeitanteil, der nach bereits begonnener Manipulation für das nochmalige Blicken in die Anleitung oder auf die Anlage benötigt wird, wenn dafür die Manipulation unterbrochen wird (1.b).
3. Zeitanteil, der darauf entfällt, einen begangenen Fehler festzustellen (wenn eine Manipulation schon begonnen oder fertig gestellt wurde) und die Hypothese zu formulieren, wie dieser Fehler auszubessern ist (1.b und 2).
4. Zeitanteil für Blicke in die Anleitung parallel zur Manipulation (3).

Erfasst werden soll darüber hinaus:

5. Zeitanteil für Blicke in die Anleitung nach beendeter Manipulation („Nachlesen“).

Alle hier genannten Zeitanteile sollten in der Auswertung der Videoaufzeichnungen separat erfasst werden. Folgende Kennzeichnung wurde vorgenommen, unter der die einzelnen Zeitanteile sukzessive in die Auswertung einbezogen werden sollten („CT“ = cognitive time):

CT 1: Zeit zwischen Aufruf des Teilschritts und Beginn der Manipulation

CT 2: CT 1 + Zeit für Blicke in die Anleitung oder auf die Anlage bei unterbrochener Manipulation (zur wiederholten Informationsaufnahme oder aufgrund eines bemerkten Fehlers)

CT 3: CT 2 + Zeit für Blicke in die Anleitung parallel zur Manipulation

CT 4: CT 3 + Zeit für Blicke in Anleitung nach Abschluss der Manipulation

Spätere Kriterien schließen also die Zeitanteile der vorhergehenden Kriterien mit ein. *Abb. 6.7* verdeutlicht dies schematisch.

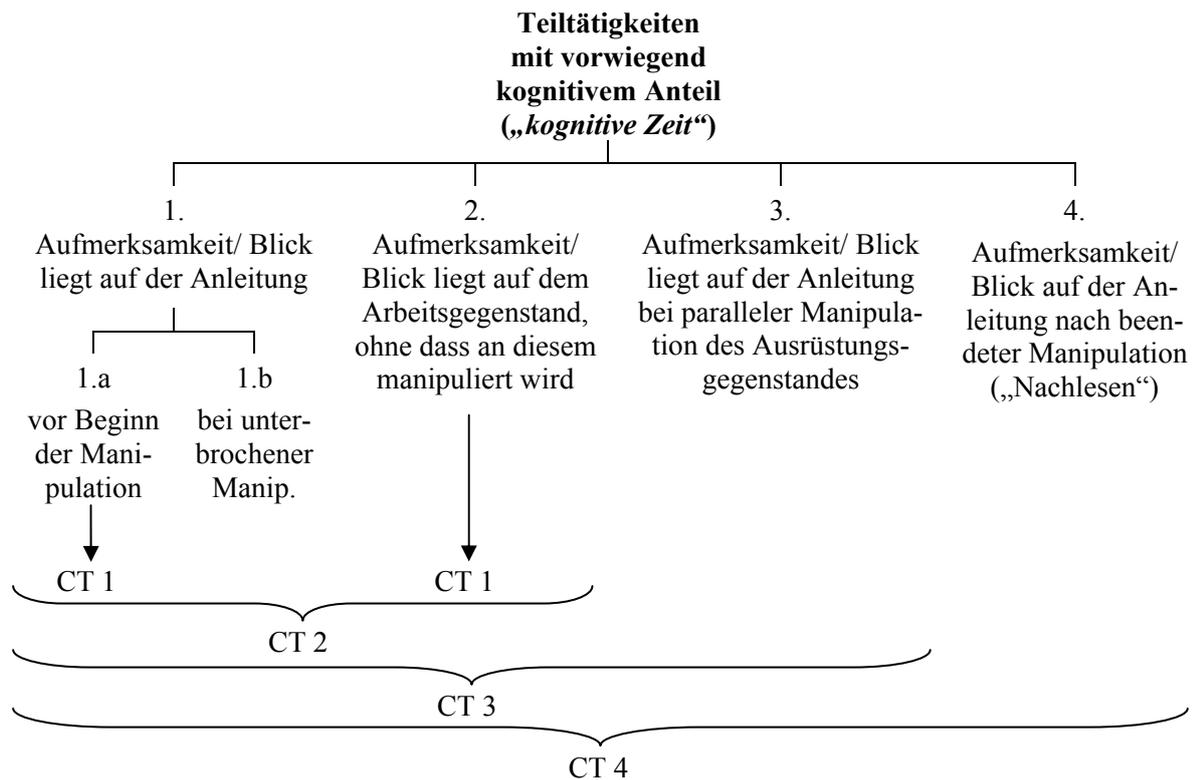


Abb. 6.7: Sukzessive Erfassung kognitiver Zeitanteile

6.2. Hypothesen

Die schnellere und leichtere Orientierung durch die Kamerafahrt und das durch den teilweisen Immersionseffekt erlebbare Sicherheitsgefühl bei CARIHBA sollten im Vergleich zu INTERFACE zu folgenden Ergebnissen führen:

Hypothese 1:

Die kognitive Zeit ist bei Unterstützung durch CARIHBA kürzer als bei INTERFACE.

Hypothese 2:

CARIHBA erhöht durch die interaktiven Eigenschaften des Live-Videos die Wahrscheinlichkeit, den richtigen Ort der Aufgabenausführung zu finden, und reduziert somit die Häufigkeit räumlicher Fehler im Vergleich zum statischen Foto der INTERFACE-Anleitung.

Hypothese 3:

Es ist zu erwarten, dass sich hinsichtlich der Blickwechsel zwischen Anleitung und Realität Vorteile für CARIHBA ergeben sollten. Diese sind aber vermutlich nur gering, da das Nutzen des über den Monitor erlebbaren teilweisen Immersionseffektes automatisch zumindest einen Blick von der Anlage zurück zur Anleitung bedingt, um im Monitorbild zu überprüfen, ob sich die eigene Hand am markierten Zielobjekt befindet. (Es wäre aber auch möglich, über das Sehen der eigenen Person bzw. Hand im Live-Video das Zielobjekt zu finden, ohne vorher den Blick auf die Realität gewechselt zu haben.)

Hypothese 4:

Die Arbeit mit CARIHBA wird von den Benutzern positiver bewertet als die Arbeit mit INTERFACE.

6.3. Ergebnisse

6.3.1. Kognitive Zeit

Kognitive Zeit unter Berücksichtigung aller CT-Kriterien

Tab. 6.6 zeigt die Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Signifikanzen für die Mittelwertsunterschiede aller vier CT-Kriterien, wobei zunächst über alle vier Szenarien gemittelt wurde. Die Mittelwerte von Interface sind jeweils um ca. 8-10 sec höher. Die Standardabweichungen und v.a. die Unterschiede in den Standardabweichungen zwischen CARIHBA und INTERFACE werden mit jedem zusätzlichen Kriterium etwas größer, die Varianzen werden also inhomogener und die Wahrscheinlichkeit für einen signifikanten Unterschied geringer. Dies lässt vermuten, dass der Einfluss interindividueller Unterschiede, wie z.B. das unterschiedlich stark ausgeprägte Bedürfnis nach Absicherung oder die Sorgfalt der Probanden, mit jedem Kriterium zunimmt. Die Kriterien CT 1 und CT 2, die sich auf das Verständnis der Aufgabe vor Beginn der Manipulation und auf die Klärung von Informationsbedarf bei unterbrochener Manipulation oder bei bemerkten Fehlern beziehen, verfügen also über die größte Aussagekraft. Blicke in die Anleitung parallel zur Manipulation, die durch CT 3 zusätzlich erfasst werden, führen zu keinem weiteren Erkenntnisgewinn. Gleiches gilt für das Nachlesen nach Abschluss der Manipulation, also CT 4. Deshalb werden im Folgenden bei der Auswertung der einzelnen Szenarien auch nur noch die beiden ersten Kriterien berücksichtigt.

		<i>MW</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>p</i>
CT 1	CARIHBA	100.18	32.32	80	.077*
	INTERFACE	108.22	32.86	80	
CT 2	CARIHBA	108.92	36.05	80	.077*
	INTERFACE	118.65	42.84	80	
CT 3	CARIHBA	118.60	34.21	79	n.s.
	INTERFACE	126.85	41.54	80	
CT 4	CARIHBA	130.01	37.82	80	n.s.
	INTERFACE	138.07	44.85	80	

* $p < .10$ n.s. = nicht signifikant

Tab. 6.6: Mittelwerte und Standardabweichung der vier CT-Kriterien

Ergebnisse CT 1: Kognitive Zeit bis zum Beginn der Manipulation

CT 1, also die kognitive Zeit, die eine Person benötigt, bis sie die Instruktion verstanden, den Ort der Ausführung gefunden hat und mit der Manipulation beginnt, ist das eindeutigste Kriterium. Wird über alle vier Szenarien des Versuchs gemittelt, benötigten die Versuchspersonen für diesen Zeiteanteil bei der Arbeit mit CARIHBA 100.18 sec ($SD=32.32$) und somit ca. 8 sec weniger als bei der Unterstützung durch INTERFACE ($MW=108.22$, $SD=32.86$). Die Standardabweichungen sind relativ hoch, was bei der studentischen Stichprobe nicht unerwartet ist, aber homogen. Der Unterschied zwischen den beiden Hilfsmitteln zeigt eine Tendenz zur Signifikanz ($F(1)=3.17$, $p=.077$) (siehe Abb. 6.8).

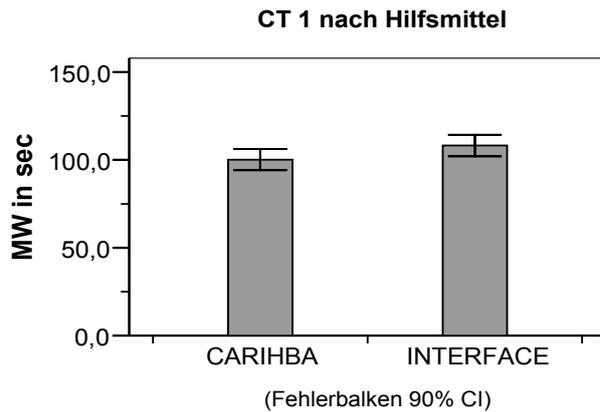


Abb. 6.8: CT 1 in Abhängigkeit vom Hilfsmittel

Betrachtet man die vier Szenarien getrennt, resultieren bis auf das Hochfahren ebenso die kürzeren Zeiten bei CARIHBA (siehe *Tab. 6.7* und *Abb. 6.9*). Der Grund dafür, dass die Mittelwerte beim Hochfahren annähernd gleich sind, ist darin zu sehen, dass in diesem Szenario viele kleine Bauteile aufzusuchen und zu unterscheiden waren. Die Kamera bei CARIHBA fuhr viel und zoomte oft an einzelne Teile oder Schalter heran, was Zeit beanspruchte. Der Nutzer musste auf die Kamera warten, wohingegen diese Wartezeit bei INTERFACE nicht bestand. Außerdem wurde die Möglichkeit, die Hand im Bild zu verfolgen, um Sicherheit darüber zu gewinnen, das richtige Objekt gefunden zu haben, beim Hochfahren der Adiro-Anlage stärker genutzt als bei den anderen drei Aufgaben.

Bei den übrigen drei Szenarien zeigen sich stabile Zeitvorteile von CARIHBA. Eine Interaktion zwischen Szenario und Hilfsmittel besteht demnach nicht, CARIHBA führt also bei jeder Aufgabe zu kürzeren Zeiten. Die Unterschiede liegen jeweils im Sekundenbereich (ca. 10–14 sec).

		<i>MW</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>p</i>
Montage	CARIHBA	90.6	28.2	19	n.s.
	INTERFACE	104.0	38.2	20	
Hochfahren	CARIHBA	114.6	29.4	20	n.s.
	INTERFACE	113.5	24.5	20	
Inspektion	CARIHBA	118.2	29.0	20	n.s.
	INTERFACE	127.9	31.5	20	
Demontage	CARIHBA	76.9	24.6	20	.084*
	INTERFACE	87.5	23.1	20	

* $p < .10$

n.s. = nicht signifikant

Tab. 6.7: Mittelwerte und Standardabweichungen für CT 1 nach Szenario

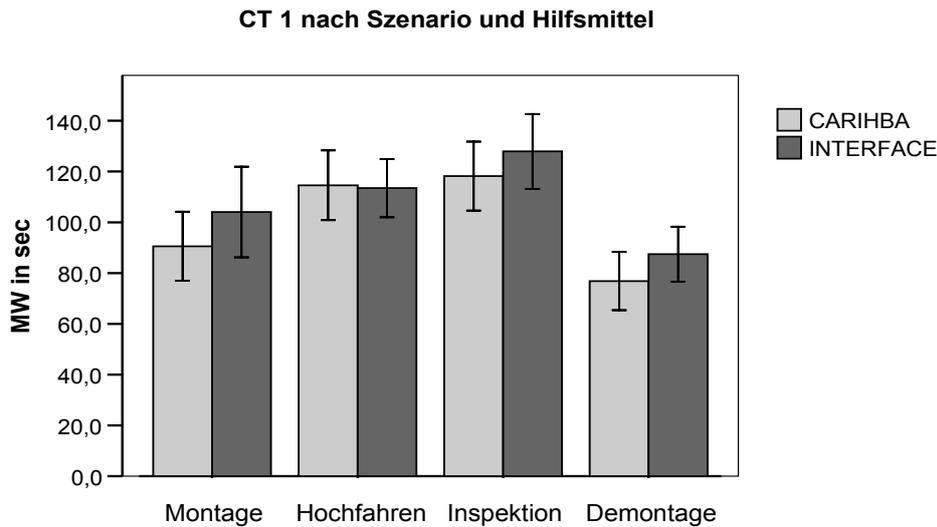


Abb. 6.9: CT 1 in Abhängigkeit von Szenario und Hilfsmittel

Ergebnisse CT 2: CT 1 + Zeit für Blicke in die Anleitung oder auf die Anlage bei unterbrochener Manipulation

CT 2 erfasst zusätzlich zu CT 1 die Zeit für Blicke in die Anleitung oder auf die Anlage bei unterbrochener Manipulation, um wiederholt Informationen aufzunehmen oder weil ein Fehler bemerkt wurde. Bei Mittelung über die vier Szenarien resultiert für CARIHBA eine kognitive Zeit von $\underline{MW}=108.92$ sec ($\underline{SD}=36.05$). Dieser Wert liegt ca. 10 sec unter der mit INTERFACE benötigten Zeit ($\underline{MW}=118.65$, $\underline{SD}=42.84$). Wie schon beim Kriterium CT 1, ist diese Mittelwertedifferenz in der Tendenz signifikant, $\underline{F}(1)=3.17$, $\underline{p}=.077$ (siehe *Abb. 6.10*).

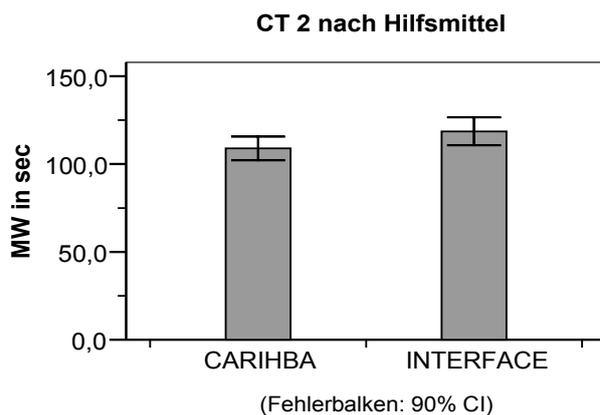


Abb. 6.10: CT 2 in Abhängigkeit vom Hilfsmittel

Werden nun wieder die einzelnen Szenarien betrachtet, zeigt sich dasselbe Wertemuster wie bei CT 1: CARIHBA führt zu den kürzeren kognitiven Zeiten, ausgenommen das Szenario Hochfahren (siehe *Tab. 6.8* und *Abb. 6.11*). Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Ursache für diesen Befund beim Hochfahren im vermehrten und Zeit beanspruchenden Fahren und Zoomen der Kamera bei CARIHBA sowie in der vermehrten Nutzung des Immersi-

onseffektes zur Absicherung über den richtigen Ort der Aufgabenausführung liegt. Bei der Montage beträgt der Unterschied ca. 10 sec, was statistisch nicht bedeutsam ist. Auffällig ist hierbei, dass die Standardabweichung in der INTERFACE-Bedingung deutlich höher ist als in der CARIHBA-Bedingung. Bei der Inspektion führt die Arbeit mit CARIHBA bei Anlegen des Kriteriums CT 2 zu deutlich kleineren Werten als die Arbeit mit INTERFACE. Die Zeitersparnis beträgt ca. 19 sec. Eine Tendenz zur Signifikanz liegt vor. In diesem Szenario waren viele z.T. relativ lange Nummern von Kabeln oder Schläuchen abzulesen und auf ihre Übereinstimmung mit der in der Instruktion genannten Bezeichnung zu überprüfen. Bei CARIHBA lieferte der Immersionseffekt die Sicherheit, zunächst den relevanten Anschluss gefunden zu haben. Danach musste nur noch die Bezeichnung abgeglichen werden. Wurde die Inspektion durch INTERFACE unterstützt, inspizierten die Probanden in vielen Fällen zunächst das falsche Teil und stellten dies beim Überprüfen der Teilebezeichnung fest. Danach mussten sie die Instruktion erneut lesen, um die korrekte Inspektion ausführen zu können. Auch bei der Demontage resultiert eine Tendenz zur Signifikanz des Mittelwerteunterschieds, der in einem ca. 13-sekündigen Vorteil von CARIHBA besteht.

		<i>MW</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>p</i>
Montage	CARIHBA	103.2	27.4	19	n.s.
	INTERFACE	113.0	44.3	20	
Hochfahren	CARIHBA	118.8	32.7	20	n.s.
	INTERFACE	116.3	23.6	20	
Inspektion	CARIHBA	132.8	37.2	20	.092*
	INTERFACE	151.6	50.1	20	
Demontage	CARIHBA	80.6	24.3	20	.058*
	INTERFACE	93.7	27.3	20	

* $p < .10$ n.s. = nicht signifikant

Tab. 6.8: Mittelwerte und Standardabweichungen für CT 2 nach Szenario

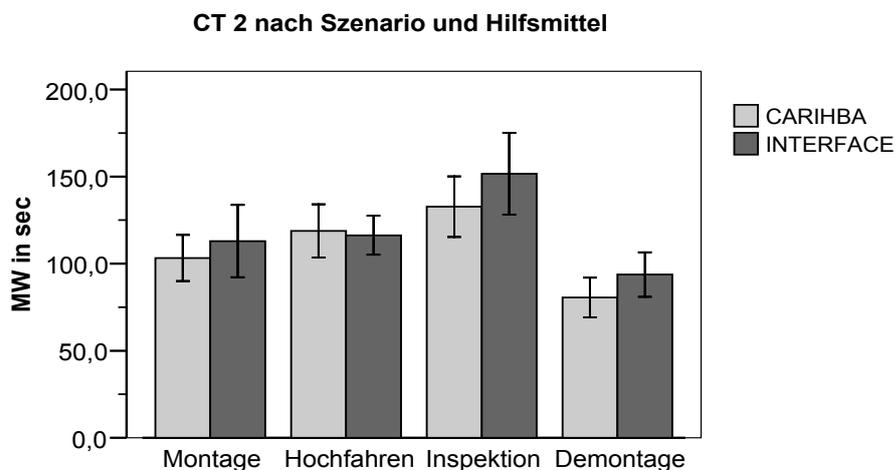


Abb. 6.11: CT 2 in Abhängigkeit von Szenario und Hilfsmittel

6.3.2. Fehler

Betrachtet man die Gesamtzahl der beobachtbaren Fehler, d.h. sowohl im Verlauf der Aufgabenausführung korrigierte als auch unbemerkt gebliebene Fehler, zeigt sich folgendes Ergebnis: wurde mit INTERFACE gearbeitet, traten etwas mehr als doppelt so viele Fehler auf, verglichen mit CARIHBA (68 vs. 33). Da sich beide Hilfsmittel abgesehen von den interaktiven Merkmalen Kamerafahrt und Immersionseffekt hinsichtlich der Benutzungsoberfläche und des Informationsangebotes gleichen, ist es zunächst interessant zu unterscheiden, welcher Art die Fehler waren. Denn nur so kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob ein jeweiliger Fehler spezifisch für ein bestimmtes Hilfsmittel ist oder bei beiden Medien hätte auftreten können. Die Fehler ließen sich verschiedenen Fehlertypen zuordnen, die in *Tab. 6.9* beschrieben werden.

Fehlerart	Beschreibung
Orientierung zum falschen Ort	<ul style="list-style-type: none"> - bezogen auf manipulative Teilschritte - Vp sucht zunächst den falschen Ort auf, bemerkt den Fehler und findet schließlich den richtigen Ort oder bemerkt den Fehler nicht und führt unbemerkt die Manipulation am falschen Ort aus - Bsp.: bei der Modulmontage zuerst die rechte anstelle der linken Koppelmodulgruppe auswählen, um ein bestimmtes Modul zu montieren bzw. dieses Modul am falschen Platz montieren
Inspektion eines falschen Bauteils	<ul style="list-style-type: none"> - bezogen auf Teilschritte, bei denen eine Inspektion durchzuführen bzw. etwas durch Ablesen zu überprüfen ist - VP führt die Handlung am falschen Objekt aus, bemerkt den Fehler und führt anschließend die korrekte Handlung aus oder bemerkt den Fehler nicht und inspiziert das falsche Bauteil - Bsp.: Ablesen eines Messwertes an einem falschen Manometer oder Überprüfen der Bezeichnung eines falschen Anschlusskabels
Vorwegnahme eines späteren Teilschritts	<ul style="list-style-type: none"> - zum jeweiligen Zeitpunkt noch nicht instruierter Teilschritt wird antizipiert und vorzeitig ausgeführt - Bsp.: Anschlusskabel eines Moduls in dessen Ein- oder Ausgänge eindrehen, obwohl das Modul noch nicht vollständig beschildert ist
unvollständige Ausführung eines Teilschritts (unbewusst)	<ul style="list-style-type: none"> - die in einem Teilschritt geforderte Manipulation wird nicht vollständig ausgeführt - Grund: Vergessen oder Übersehen der jeweiligen Instruktion - Bsp.: bei einem Modul nur zwei von vier Anschlusskabeln eindrehen oder bei zusammengesetzten Teilschritten den zweiten Teil nicht ausführen
Auslassen eines Teilschritts (bewusst)	<ul style="list-style-type: none"> - ein Teilschritt wird gelesen, aber bewusst nicht ausgeführt - Unterscheidung von zwei Gründen anhand der Nachbefragung der Vp: - Grund 1: Vp weiß nicht, wie sie die Aufgabe ausführen soll - Grund 2: Vp erachtet die Ausführung des Schritts als unnötig
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> - resultiert meist aus Unkenntnis, wie eine Manipulation auszuführen ist oder aus Unaufmerksamkeit beim Lesen der Instruktion - z.B. Versuch, einen Relaisanschluss durch einen Schraubenzieher zu lösen anstelle durch Lösen der Kabelzugentlastung

Tab. 6.9: Fehlerarten bei der Bearbeitung der Instandhaltungsaufgaben

Bei Betrachtung der Fehlerarten wird deutlich, dass sich die spezifischen Eigenschaften von CARIHBA, die es von INTERFACE unterscheiden, nur auf die Fehlerarten auswirken können, die damit im Zusammenhang stehen, sich in den unbekanntem Anlagen räumlich zu ori-

entieren. Dies betrifft also die „Orientierung zum falschen Ort“ und die „Inspektion eines falschen Bauteils“. Auf diese Fehlerarten haben Kamerafahrt und Immersionseffekt einen Einfluss. Ob aber nun ein späterer Teilschritt vorweggenommen wird, die geforderte Handlung unvollständig ausgeführt oder bewusst ausgelassen wird, ist nicht von der Art des Hilfsmittels abhängig, sondern bei beiden Anleitungsarten gleich wahrscheinlich. Deshalb wurde auch als Hypothese bezüglich der Fehler nur formuliert, dass bei CARIHBA weniger Fehler als bei INTERFACE auftreten sollten aufgrund der Möglichkeit, seine Hand im Bild zu sehen und dadurch ein erhöhtes Sicherheitsgefühl zu haben, sowie durch die Möglichkeit, das Fahren der Kamera zu verfolgen, was die Orientierung in der Anlage erleichtert. *Tab. 6.10*, in der die Auftretenshäufigkeiten der einzelnen Fehlertypen in Abhängigkeit vom Hilfsmittel dargestellt sind, untermauert die Angemessenheit dieser Konzentration auf räumliche Fehler (gemittelt wurde über alle vier Szenarien).

	<i>Orientierung zum falschen Ort</i>	<i>Inspektion eines falschen Teils</i>	<i>Vorwegnahme eines späteren Schrittes</i>	<i>unvollständige Ausführung eines Schrittes</i>	<i>bewusstes Auslassen eines Schrittes</i>	<i>Sonstige Fehler</i>	Σ
CARIHBA	5	7	4	12	1	4	33
INTERFACE	24	28	2	10	1	3	68

Tab. 6.10: Fehlerarten und Auftretenshäufigkeit nach Hilfsmittel

Die meisten Fehler traten unter Verwendung von INTERFACE bei der „Orientierung zum falschen Ort“ und der „Inspektion eines falschen Teils“ auf. CARIHBA führt in diesen Kategorien zu deutlich und signifikant weniger Fehlern („Orientierung zum falschen Ort“: INTERFACE: $\underline{MW}=0.30$, $\underline{SD}=0.56$; CARIHBA: $\underline{MW}=0.06$, $\underline{SD}=0.25$; $\underline{F}(1)=12.15$, $p<.01$; „Inspektion eines falschen Teils“: INTERFACE: $\underline{MW}=0.35$, $\underline{SD}=0.68$; CARIHBA: $\underline{MW}=0.09$, $\underline{SD}=0.29$; $\underline{F}(1)=10.01$, $p<.01$; die niedrigen Kennwerte resultieren aus der hohen Zahl von Fällen, nämlich $N=80$). Dies ist ein sehr zentraler Befund, der belegt, dass CARIHBA die räumliche Orientierung in einer Anlage unterstützt und die Sicherheit, das relevante Teil zu finden, erhöht. Bei den restlichen Fehlerarten sind keine Unterschiede zwischen beiden Hilfsmitteln feststellbar, die Auftretenshäufigkeiten sind gleich hoch. Die weitere Auswertung beschränkt sich deshalb nur noch auf die räumlichen Fehler.

Tab. 6.11 veranschaulicht, welche Fehlerzahlen in Abhängigkeit vom Szenario zu beobachten waren. Mit CARIHBA traten in allen Szenarien weniger Fehler auf als mit INTERFACE. Besonders relevant ist in diesem Zusammenhang, dass beim Hochfahren der Anlage mit CARIHBA keine Fehler bei den beiden räumlichen Fehlerarten vorkamen. Wie in der Auswertung der kognitiven Zeiten gesehen, war die Zeit mit CARIHBA beim Hochfahren etwas höher als mit INTERFACE (vgl. *Kap. 6.3.1*). Als Erklärungen dafür wurden das häufige Fahren und Zoomen der Kamera sowie das Nutzen des Immersionseffektes angeführt. Die dafür benötigte zusätzliche Zeit rentiert sich somit vor dem Hintergrund einer geringeren Fehlerzahl und letztlich einer höheren Sicherheit.

		<i>Orientierung zum falschen Ort</i>	<i>Inspektion eines falschen Teils</i>	Σ
Montage	CARIHBA	2	3	5
	INTERFACE	6	9	15
Hochfahren	CARIHBA	0	0	0
	INTERFACE	5	7	12
Inspektion	CARIHBA	3	3	6
	INTERFACE	9	8	17
Demontage	CARIHBA	0	1	1
	INTERFACE	4	4	8

Tab. 6.11: Auftretenshäufigkeit räumlicher Fehler nach Hilfsmittel und Szenario

Unbemerkte Fehler und Fehler mit Schadenspotential

Bisher wurde hinsichtlich der einzelnen Fehlerarten jeweils die Gesamtfehlerzahl betrachtet. Im Folgenden soll eine Konzentration zum einen auf die Fehler erfolgen, die von den Personen unbemerkt blieben. Darüber hinaus wird eine weitere Fehlerart als relevant erachtet. Dies sind Manipulationen, die am falschen Ort begonnen oder zu Ende geführt wurden, was zu einer Beschädigung eines Bauteils oder zu einem unerwünschten Anlagenzustand hätte führen können, auch wenn die Versuchsperson den Fehler bemerkt und korrigiert hat. In wenigen Fällen war bei falsch ausgeführten Manipulationen ein Eingreifen durch die Versuchsleiterin nötig, um Beschädigungen vorzubeugen.

Durch diese Beschränkung reduziert sich die Fehlerzahl natürlich deutlich. Da in den Benutzertests bei Nikolić die gleichen Instandhaltungsaufgaben (bis auf die beschriebenen Modifikationen an einzelnen Teilschritten) bearbeitet wurden, lassen sich die unbemerkten Fehler aus dieser Untersuchung mit in die Auswertung integrieren. Auch dort wurde zwischen verschiedenen Fehlerarten differenziert, darunter „Fehler der räumlichen Zuordnung“. Erneut sollen bei der Auswertung der unbemerkten Fehler nur diese räumlichen Fehler berücksichtigt werden, da bei den anderen Fehlerarten, wie erwartet, auch bei Nikolić keine Unterschiede zwischen den Hilfsmitteln zu beobachten waren. In der Kategorie „Fehler der räumlichen Zuordnung“ sind sowohl Fehler aufgrund von „Orientierung zum falschen Ort“ als auch aufgrund von „Inspektion eines falschen Teils“ enthalten, die ja in der vorliegenden Arbeit getrennt aufgeführt werden.

Die Trennung zwischen bemerkten und unbemerkten Fehlern sowie die zusätzliche Berücksichtigung von bemerkten Fehlern, die jedoch zu Schäden hätten führen können, resultierte in der Ableitung eines Schemas, das innerhalb der beiden Fehlerkategorien „Orientierung zum falschen Ort“ und „Inspektion eines falschen Teils“ weitere Unterkategorien enthält. Dieses Schema ist in *Abb. 6.12* dargestellt. Es gibt zudem die Auftretenshäufigkeiten der Fehler in den relevanten Kategorien in Abhängigkeit vom Hilfsmittel an.

Insgesamt sind 20 Fehler aufgetreten, wobei 15 bei der Arbeit mit INTERFACE gemacht wurden und nur fünf mit CARIHBA. Betrachtet man die Fehlerraten, sind diese natürlich gering, da bezogen auf die Stichprobe von $N=56$ ($N=40$ plus $N=16$ bei Nikolić) nur wenige Fehler unbemerkt blieben oder Schäden hätten nach sich ziehen können. Jedoch ist dies ins Verhältnis zu setzen mit den möglichen negativen Folgen, die in einer realen Anlage u.U. schon durch einen Fehler hervorgerufen werden könnten. Die Sicherheit ist bei der Unterstützung durch CARIHBA also deutlich höher. Die mittlere Fehlerzahl unterscheidet sich signifikant

von der bei INTERFACE (CARIHBA: $\underline{MW}=0.09$, $\underline{SD}=0.29$; INTERFACE: $\underline{MW}=0.27$, $\underline{SD}=0.62$; $\underline{F}(1)=3.85$, $p<.05$).

		INTERFACE	CARIHBA	
Orientierung zum falschen Ort	keine Manipulation am falschen Ort	Fehler wird bemerkt und korrigiert		
		Fehler wird nicht bemerkt; keine Manipulation am falschen Ort möglich	2	
	Manipulation (begonnen oder abgeschlossen) am falschen Ort	Fehler wird bemerkt und korrigiert, hätte aber zu Beschädigung oder unerwünschtem Anlagenzustand führen können	1	1
		Eingriff durch Versuchsleiter bei Manipulationen, die zu gravierender Beschädigung hätten führen können	2	2
		Fehler wird nicht bemerkt und falsche Manipulation beendet	1	
Inspektion des falschen Teils	Fehler wird bemerkt und korrigiert			
	Fehler wird nicht bemerkt	9	2	
		$\Sigma = 15$	$\Sigma = 5$	

Abb. 6.12: Auftretenshäufigkeit unbemerkter räumlicher Fehler und Fehler mit Schadenspotential in Abhängigkeit vom Hilfsmittel

Durch den Immersionseffekt ist die Wahrscheinlichkeit bei CARIHBA wesentlich größer, während der Manipulation durch Blick auf den Monitor zu bemerken, dass man an der falschen Stelle manipuliert (wenn man nicht im Vorfeld durch das Sehen der Hand im Live-Video überprüft hat, das richtige Bauteil gefunden zu haben). Die meisten Fehler unterliefen den Versuchspersonen bei der Inspektion. Hier wurden z.B. Schlauchverbindungen an den Ein- oder Ausgängen von Ventilen nicht korrekt überprüft, d.h. es wurden von vornherein falsche Ventile als Zielobjekt erkannt. Auf diese Weise können im realen Einsatzfall fehlerhafte Anschlüsse übersehen werden und bei Inbetriebnahme der Anlage zu Schäden führen. Eine post-hoc durchgeführte Testung auf Mittelwertsunterschiede bei den unbemerkten Inspektionsfehlern ergab eine Tendenz zur Signifikanz (CARIHBA: $\underline{MW}=0.04$; $\underline{SD}=0.17$; INTERFACE: $\underline{MW}=0.16$, $\underline{SD}=0.46$; $\underline{F}(1)=3.57$, $p=.061$).

6.3.3. Blickwechsel

Die Zahl der Blickwechsel wurde anhand der Videoaufzeichnungen der Versuche ermittelt. Hinsichtlich der Blickwechsel (im Folgenden „BW“) wurde eine Unterscheidung getroffen, d.h. sie wurden in verschiedene Kategorien eingeteilt, je nachdem, in welcher Phase der Bearbeitung eines Teilschritts sie auftraten. Die Kategorien sind:

BW_Ort: Zahl der Blickwechsel, bis der Ort der Aufgabenausführung identifiziert ist.

Das Auszählen der Blickwechsel, die in diese Kategorie fallen, kann aufgrund der Auswertung anhand von Videoaufzeichnungen nicht mit 100%iger Sicherheit vorgenommen werden.

Zwar waren die zwei Videokameras, die die Versuchspersonen filmten, aus unterschiedlichen Blickwinkeln auf die Versuchspersonen gerichtet, so dass jeder Blickwechsel registriert werden konnte. Ohne Messung der Blickbewegungen kann aber nicht sicher gesagt werden, worauf genau die Person geguckt hat. In vielen Fällen war eindeutig zu erkennen, wann ein Teilnehmer den relevanten Ort gefunden hatte, z.B. wenn er direkt nach dem ersten Blick in die Realität das relevante Teil berührte. In anderen Fällen war diese Eindeutigkeit nicht gegeben. Manchmal konnte aus dem Verhalten der Person, etwa aus dem Gesichtsausdruck (z.B. unsicher, fragend) ein Hinweis darauf gewonnen werden, ob bzw. ab wann Sicherheit über den Ort vorlag. Die Aussagekraft der Daten aus dieser Kategorie ist also als eingeschränkt zu bezeichnen.

BW_Manipulation: Zahl der Blickwechsel, bis mit der Manipulation begonnen wird.

Diese Kategorie schließt die vorhergehende mit ein und erfasst zusätzlich die Blickwechsel zwischen Anleitung und Realität, die zwischen dem Identifizieren des Ortes der Aufgabenausführung und dem Beginn der Manipulation auftraten.

BW_gesamt: Zahl der Blickwechsel bis zum Abschluss der Manipulation.

Diese Kategorie erfasst zusätzlich zu den beiden vorhergehenden die Blickwechsel zur Anleitung zwischen Beginn und Abschluss der in einem Schritt auszuführenden Handlung.

BW_Nachprüfen: Zahl der Blickwechsel incl. Blicke von der Anleitung zur Anlage nach Beendigung der Manipulation.

Nachdem die Manipulation abgeschlossen wurde und der Blick der Versuchsperson zurück auf die Anleitung gerichtet wurde, lasen einige Personen die Instruktion für den bereits erledigten Schritt erneut durch. Einige warfen danach noch einmal einen prüfenden Blick (oder mehrere) auf die Anlage. Diese Kategorie schließt erneut die Blickwechsel der vorhergehenden mit ein. Sie wird jedoch, wie schon bei der kognitiven Zeit der Anteil für das Nachlesen in der Anleitung nach Abschluss der Manipulation, nur am Rande betrachtet, da es stärker von Merkmalen der Person selbst als vom Hilfsmittel abhängen sollte, ob man seine Arbeit noch einmal nachprüft.

Tab. 6.12 enthält Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzen für den Vergleich der beiden Hilfsmittel pro Blickwechsel-Kategorie. Dabei wurde über alle vier Szenarien gemittelt.

		<i>MW</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>p</i>
BW_Ort	CARIHBA	13.0	4.0	79	.014**
	INTERFACE	14.0	4.9	80	
BW_Manipulation	CARIHBA	22.9	9.5	79	n.s.
	INTERFACE	23.9	8.5	80	
BW_gesamt	CARIHBA	43.2	14.5	79	n.s.
	INTERFACE	43.8	16.4	80	
BW_Nachprüfen	CARIHBA	44.3	14.7	79	n.s.
	INTERFACE	45.1	16.7	80	

** $p < .05$

n.s. = nicht signifikant

Tab. 6.12: Mittelwerte und Standardabweichungen nach Blickwechsel-Kategorie

Mit CARIHBA resultieren jeweils die kleineren Werte, jedoch sind die Unterschiede betragsmäßig nicht sehr groß. Ein signifikanter Effekt tritt nur in der Kategorie BW_Ort hervor. Die Versuchspersonen fanden also mit CARIHBA schneller heraus, an welcher Stelle der Anlage die Aufgabe auszuführen war. In einigen Fällen war zu beobachten, dass die Teilnehmer durch den Immersionseffekt den Ort direkt nach Lesen der Instruktion über das Bewegen der Hand zur markierten Stelle im Monitorbild identifizierten, ohne überhaupt den Blick auf die Anlage in der Realität gewechselt zu haben. Bis dann die Manipulation tatsächlich begonnen wurde, fanden bei beiden Hilfsmitteln jeweils ca. zehn zusätzliche Blickwechsel statt (dies bezieht sich auf alle Teilschritte eines Szenarios zusammen). Ab dem Kriterium BW_Manipulation wirkt sich vermutlich mehr und mehr der Einfluss interindividueller Varianz aus (Sorgfalt etc.). Denn die Standardabweichungen und v.a. deren Differenzen zwischen den beiden Anleitungsarten werden mit jedem weiteren Kriterium, das berücksichtigt wird, größer. Diese Werte können auch im Zusammenhang mit den Ausführungen zum parallelen Nachlesen in der Anleitung (vgl. Kap. 6.3.1 zur kognitiven Zeit) interpretiert werden. Die Zahl der Prüfblicke von der Anleitung auf die Anlage nach beendeter Manipulation ist sehr gering (ca. ein BW pro Szenario und Versuchsperson) und unterscheidet sich bei beiden Hilfsmitteln nicht.

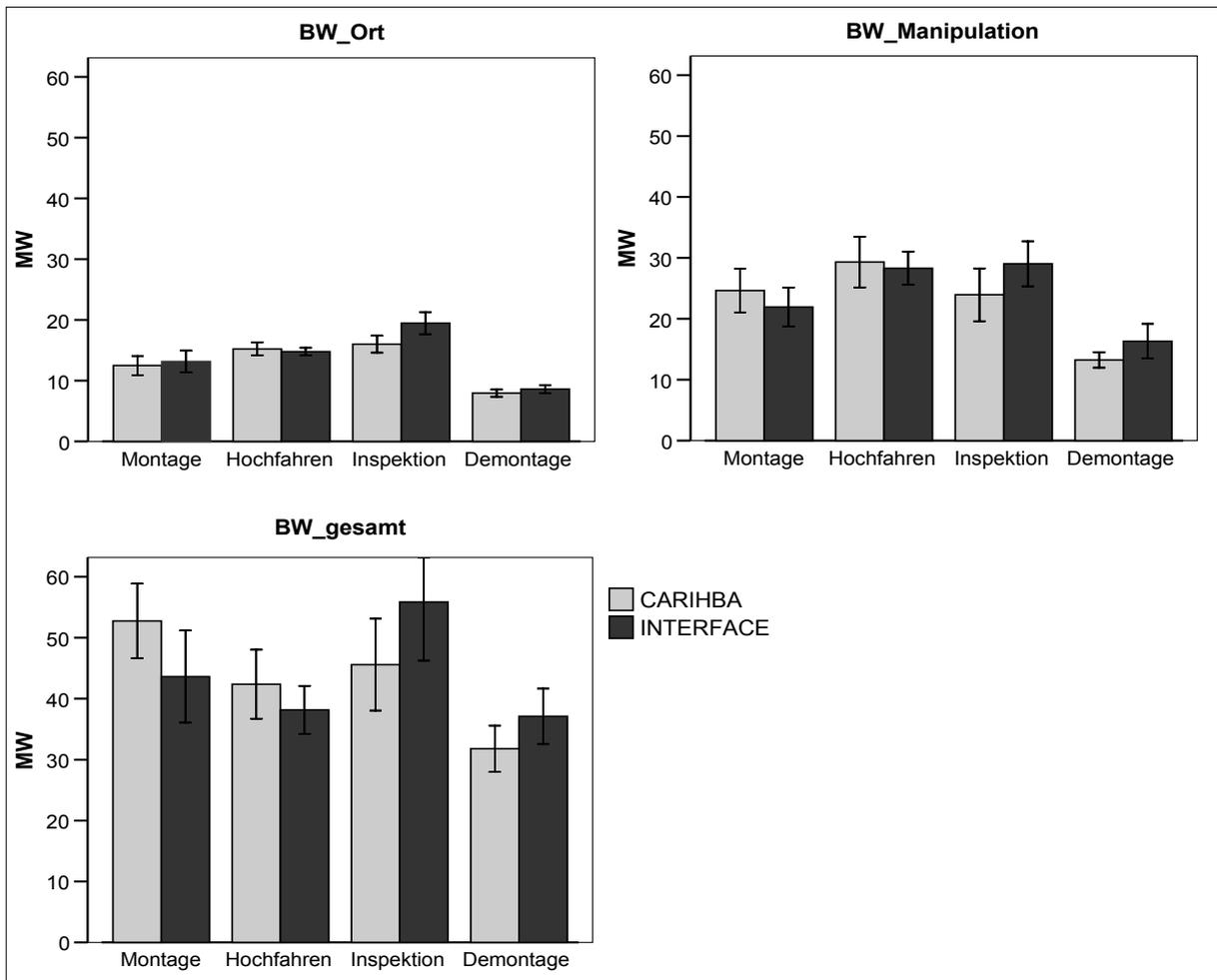


Abb. 6.13: Blickwechsel in den einzelnen Kategorien nach Szenario und Hilfsmittel

Betrachtet man die einzelnen Szenarien, zeigt sich ein relativ stabiles Muster der Blickwechselfrequenz mit CARIHBA und INTERFACE (siehe *Abb. 6.13*). Bei der Montage und beim Hochfahren wechselten die Probanden mit INTERFACE jeweils etwas seltener den Blick zwischen Bildschirm und Realität (außer BW_Ort bei der Montage), wobei die Unterschiede bis auf BW_gesamt bei der Montage nicht signifikant sind. Bei Inspektion und Demontage liegen die Werte von CARIHBA jeweils signifikant unter denen von INTERFACE. Dabei ist die Differenz bei der Inspektion am deutlichsten. Interessant an diesem Befund ist, dass trotz der vielen Blickwechsel zwischen Anleitung und Realität bei der Inspektion mit INTERFACE vergleichsweise viele unbemerkte räumliche Fehler aufgetreten sind (vgl. *Kap. 6.3.2*).

6.3.4. Benotung der Hilfsmittel

Jede Versuchsperson vergab für jedes Hilfsmittel eine Gesamtnote zur Bewertung der erlebten Unterstützung bei der Aufgabenbearbeitung. Diese reichte von „1“ (besonders positiv) bis „4“ (besonders negativ). *Abb. 6.14* zeigt die resultierenden Gesamtnoten.

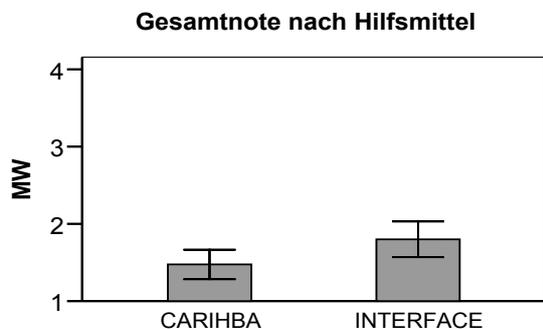


Abb. 6.14: Gesamtnoten für die Hilfsmittel (1=„besonders positiv“, 4=„besonders negativ“)

Die Bewertungen beider Anleitungsorten liegen im positiven Bereich. CARIHBA wurde mit einer Gesamtnote von $\underline{MW}=1.48$ ($\underline{SD}=0.60$) signifikant besser benotet als INTERFACE ($\underline{MW}=1.80$, $\underline{SD}=0.72$; $\underline{F}(1)=4.79$, $\underline{p}<.05$). Zusätzlich zur Gesamtnote bewertete jeder Teilnehmer die beiden Hilfsmittel in Abhängigkeit vom Szenario. *Abb. 6.15* gibt diese Notenwerte wieder.

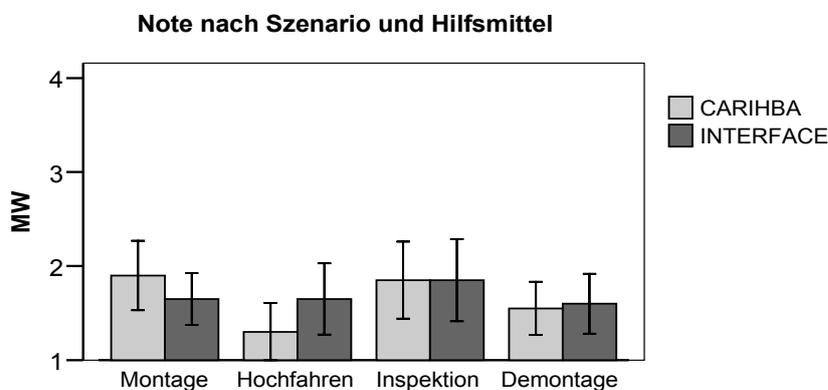


Abb. 6.15: Benotung der Hilfsmittel in Abhängigkeit vom Szenario (1=„besonders positiv“, 4=„besonders negativ“)

Zwischen den Szenarien gibt es Unterschiede in der Bewertung. Die beste Note erhält CARIHBA beim Hochfahren ($MW=1.30$, $SD=0.66$). Dies steht im Einklang mit dem bei diesem Szenario von den Probanden besonders stark genutzten Immersionseffekt und dem dadurch erlebten Sicherheitsgefühl, das räumliche Fehler verhindert hat. Bei der Montageaufgabe liegt der Notenwert für CARIHBA etwas schlechter als für INTERFACE, aber nicht bedeutsam. Bei Inspektion und Demontage werden beide Anleitungsarten als gleich gut eingestuft.

6.3.5. Einfluss von technischer Vorerfahrung und räumlicher Vorstellungskraft

Nach Auswertung der Fragebögen zur technischen Vorerfahrung ließen sich 17 Versuchspersonen als „eher erfahren“ einstufen, die restlichen 23 als „eher unerfahren“. Ermittelt wurde einerseits, inwiefern sich die unterschiedliche Vorerfahrung auf die kognitive Zeit auswirkt. Dabei wurde das Kriterium CT 2 herangezogen (Zeit bis zum Beginn der Manipulation sowie Zeit für Blicke in die Anleitung oder auf die Anlage bei unterbrochener Manipulation zur wiederholten Informationsaufnahme oder aufgrund eines bemerkten Fehlers). *Tab. 6.13* zeigt die Ergebnisse.

technische Vorerfahrung		<i>MW</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>
„eher unerfahren“	CARIHBA	117.1	26.6	23
	INTERFACE	125.6	29.3	23
„eher erfahren“	CARIHBA	91.8	13.1	17
	INTERFACE	98.5	20.8	17

Tab. 6.13: Mittelwerte und Standardabweichungen der kognitiven Zeit nach technischer Vorerfahrung und Hilfsmittel

Unerfahrene Personen brauchen signifikant länger für das Verständnis der Instruktion ($F(1)=20.87$, $p<.01$). Eine Interaktion zwischen Hilfsmittel und Vorerfahrung ist nicht zu beobachten, d.h. unabhängig von der Vorerfahrung führt die Arbeit mit CARIHBA zu einer kürzeren kognitiven Zeit.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Vorerfahrung auf die räumlichen Fehler können die Fehler aus den Versuchen von Nikolić nicht berücksichtigt werden, da die Versuchspersonen dort keine äquivalenten Fragebögen zur Beurteilung der Vorerfahrung ausgefüllt hatten. So sind insgesamt 16 räumliche Fehler für diese Auswertung zu verzeichnen. Die eher unerfahrenen Teilnehmer haben mit CARIHBA zwei und mit INTERFACE sieben Fehler begangen. Bei den eher erfahrenen Teilnehmern waren es ein bzw. sechs Fehler. Damit liegt die Fehlerzahl bei geringer Vorerfahrung etwas höher. Beide Gruppen profitieren aber gleichermaßen von der Arbeit mit CARIHBA. Aufgrund der geringen Fehlerzahl ließen sich statistische Aussagen kaum treffen.

Hinsichtlich der räumlichen Vorstellungskraft der Versuchsteilnehmer war folgende Verteilung der Ergebnisse auf die fünf Leistungsbereiche des Schlauchfigurentests festzustellen:

weit unterdurchschnittlich:	1
unterdurchschnittlich:	4
durchschnittlich:	25
überdurchschnittlich:	7
weit überdurchschnittlich:	3

Für die Auswertung wurden die beiden unter- und überdurchschnittlichen Leistungsbereiche zu jeweils einem Bereich zusammengefasst, so dass es nur noch drei Gruppen gab. *Tab. 6.14* gibt die Mittelwerte und Standardabweichungen der kognitiven Zeit (Kriterium CT 2) für diese drei Gruppen in Abhängigkeit vom Hilfsmittel aus (siehe auch *Abb. 6.16*).

räumliche Vorstellungskraft		<i>MW</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>
unterdurchschnittlich	CARIHBA	110.1	34.2	5
	INTERFACE	128.6	45.1	5
durchschnittlich	CARIHBA	113.9	39.0	25
	INTERFACE	122.6	47.0	25
überdurchschnittlich	CARIHBA	96.1	26.4	10
	INTERFACE	104.5	26.4	10

Tab. 6.14: Mittelwerte und Standardabweichungen der kognitiven Zeit nach räumlicher Vorstellungskraft und Hilfsmittel

Die unterschiedlich stark ausgeprägte Fähigkeit der Versuchspersonen hinsichtlich dieser Eigenschaft beeinflusst also die kognitive Zeit. Je besser die Vorstellungskraft ist, desto weniger Zeit wird benötigt. Dabei liegt der Wert von CARIHBA in allen drei Gruppen unter dem Wert von INTERFACE. Aufgrund der stark voneinander abweichenden Stichprobengrößen in den drei Gruppen ist auch hier keine fundierte statistische Aussage möglich.

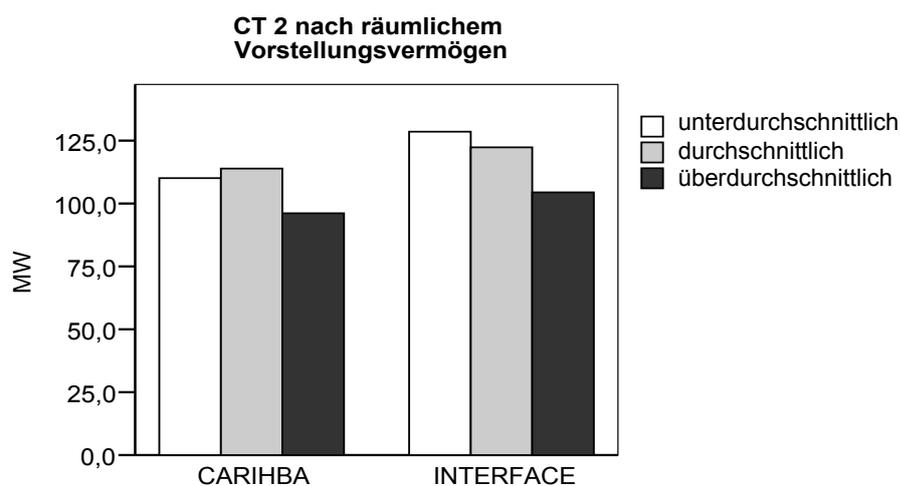


Abb. 6.16: Kognitive Zeit nach räumlichem Vorstellungsvermögen und Hilfsmittel

Wie bei der Vorerfahrung sind auch hinsichtlich des räumlichen Vorstellungsvermögens nur qualitative Aussagen zur Zahl räumlicher Fehler zu treffen. Von den insgesamt 16 Fehlern wurden vier in der Gruppe mit unterdurchschnittlichem Vorstellungsvermögen gemacht. Elf Fehler entfielen auf die durchschnittliche Gruppe. Nur ein Fehler war in der überdurchschnittlichen Gruppe zu verzeichnen. Zu beachten ist dabei die unterschiedliche Größe der Gruppen. Demzufolge sind die Fehlerraten in der unterdurchschnittlichen Gruppe am größten. *Tab. 6.15* enthält die genauen Fehlerzahlen und Fehlerraten in Abhängigkeit von Hilfsmittel und räumlichem Vorstellungsvermögen.

		<i>Fehlerzahl</i>	<i>Fehlerrate</i>
unterdurchschnittlich (N=5)	CARIHBA	2	0.40
	INTERFACE	2	0.40
durchschnittlich (N=25)	CARIHBA	2	0.08
	INTERFACE	9	0.36
überdurchschnittlich (N=10)	CARIHBA	0	0.00
	INTERFACE	1	0.10

Tab. 6.15: Fehlerzahl und Fehlerrate nach räumlicher Vorstellungskraft

6.4. Zusammenfassung und Diskussion

Die zeitliche Auswertung wurde über die Erhebung der kognitiven Zeit vorgenommen und erfolgte gestaffelt. Es wurden insgesamt vier Kriterien aufgestellt. Diese erfassten die kognitive Zeit zum einen nur bis zum Beginn der Manipulation, zum zweiten darüber hinaus für Blicke in die Anleitung bei unterbrochener Manipulation, zum dritten zusätzlich für Blicke in die Anleitung ohne Unterbrechung der Aufgabenausführung und zum vierten für Blicke in die Anleitung nach Fertigstellung der Manipulation. Es zeigte sich, dass keine Steigerung der Aussagekraft der Ergebnisse erreicht werden konnte, wenn Blicke in die Anleitung parallel zur Manipulation oder nach deren Beendigung mit berücksichtigt werden, da diese zu einem entscheidenden Teil auch von Merkmalen der persönlichen Arbeitsweise (Sorgfalt, Bedürfnis nach Rückversicherung) beeinflusst zu sein scheinen. Darauf weisen die steigende Standardabweichung und zunehmende Varianzinhomogenität hin. Unter Anlegung der Kriterien CT 1 bzw. CT 2 konnte nachgewiesen werden, dass die Arbeit mit CARIHBA zu kürzeren kognitiven Zeiten bei der Ausführung der Instandhaltungsaufgaben führt als INTERFACE. Hypothese 1 kann mit Einschränkung als bestätigt angesehen werden. Denn der Zeitvorteil ist absolut betrachtet nicht sehr groß, er liegt bei max. 20 sec und zeigt nur eine Tendenz zur Signifikanz. Aber er tritt bei allen Szenarien zu Tage, ausgenommen die Inbetriebnahme. Hier unterscheiden sich beide Hilfsmittel nicht. Zu berücksichtigen ist bei der Interpretation der Zeitwerte, dass durch die Interaktivität von CARIHBA, d.h. durch das Fahren und Zoomen der Kamera sowie durch den Immersionseffekt, zusätzliche Zeit beansprucht wird, was bei INTERFACE nicht der Fall ist. Vor diesem Hintergrund ist aber zu berücksichtigen, inwieweit sich diese Zeit beanspruchenden Eigenschaften auf die Fehlerraten auswirken. Denn wie in der Einführung zu dieser Arbeit bereits erwähnt wurde, wird hier der Reduzierung der Ausführungszeiten eine geringere Bedeutung beigemessen als der Reduzierung von Fehlern und somit der Erhöhung der Sicherheit.

Bezogen auf die Gesamtzahl der zu verzeichnenden Fehler traten mit INTERFACE mehr als doppelt so viele Fehler auf als mit CARIHBA. Jedoch lassen sich nur die Unterschiede bei den räumlichen Fehlern auf die spezifische Unterstützung durch die Hilfsmittel zurückführen. Hinsichtlich der Orientierung zum falschen Ort bei manipulativen Teilaufgaben bzw. der Inspektion eines falschen Ausrüstungsteils waren mit INTERFACE ca. fünf bzw. vier Mal so hohe Fehlerzahlen zu beobachten. Insbesondere beim Szenario Hochfahren zeigte sich der Vorteil von Kamerafahrt und Immersionseffekt, welche eine fehlerfreie Orientierung der Benutzer ermöglichten. Werden nur die unbemerkten Fehler berücksichtigt, zeigt sich (nach Zusammenlegung mit den entsprechenden Daten aus den Benutzertests von Nikolić), dass diese v.a. bei der Arbeit mit INTERFACE auftraten, und zwar drei Mal so häufig wie bei CARIHBA. Insbesondere bei der Inspektion blieben Fehler mit INTERFACE unbemerkt. Der Grund wird darin vermutet, dass die Versuchspersonen in diesem Szenario, anders als bei Montageaufgaben etwa, keine Rückmeldung durch die Objekte in der Realität erhalten, z.B. dadurch, dass sich ein Modul an einem falschen Ort nicht montieren lässt. Die Praxisrelevanz dieses Befundes ist entsprechend hoch. Denn wenn bei realen Inspektionsaufgaben fehlerhafte oder schadhafte Anschlüsse oder Bauteile übersehen werden, kann dies zu einer Verringerung der Sicherheit, evtl. zu Anlagenausfällen und entsprechend zu hohen Kosten führen. Hypothese 2 kann schließlich angenommen werden: CARIHBA erhöht durch die interaktiven Eigenschaften des Live-Videos die Wahrscheinlichkeit, den richtigen Ort der Aufgabenausführung zu finden, reduziert also die Häufigkeit räumlicher Fehler im Vergleich zum statischen Foto der INTERFACE-Anleitung.

Bei der Blickwechsel-Auswertung wurden, wie auch bei der kognitiven Zeit, einzelne Kategorien gebildet, die unterschieden, in welcher Phase der Aufgabenbearbeitung der Blick zwischen Anleitung und Realität wechselte. Bei der Arbeit mit CARIHBA blickten die Benutzer insgesamt gesehen seltener hin und her. Signifikant ist dieser Unterschied jedoch nur in der Kategorie, die die Blickwechsel bis zur Identifizierung des Zielortes enthält, bei deren Aussagekraft aber Einschränkungen vorzunehmen sind. Je später im Verlauf der Aufgabenbearbeitung die Blickwechsel stattfinden, desto wahrscheinlicher ist es, dass sie auch aufgrund von Merkmalen der persönlichen Arbeitsweise motiviert sind, da die Varianz in den späteren Kategorien zunehmend größer wird. Am deutlichsten zeigt sich der Effekt reduzierter Blickwechsel mit CARIHBA bei der Inspektion, die neben der Demontage zu signifikanten Unterschieden führt. Bei Montage und Hochfahren dagegen sind die Werte von INTERFACE etwas geringer, was aber nicht statistisch bedeutsam ist. Insgesamt sprechen diese Befunde für die Gültigkeit von Hypothese 3 („Es ist zu erwarten, dass sich hinsichtlich der Blickwechsel zwischen Anleitung und Realität Vorteile für CARIHBA ergeben sollten. Diese sind aber vermutlich nur gering, da das Nutzen des über den Monitor erlebbaren teilweisen Immersionseffektes automatisch zumindest einen zusätzlichen Blick von der Anlage zurück zur Anleitung bedingt.“).

Die von den Versuchspersonen vorgenommene subjektive Benotung gliederte sich in eine Gesamtnote pro Hilfsmittel sowie eine Note für die Hilfsmittel in Abhängigkeit von den damit bearbeiteten Szenarien. Sowohl CARIHBA als auch INTERFACE erhielten eine Benotung, die im positiven Bereich lag. CARIHBA wird jedoch signifikant besser beurteilt, womit Hypothese 4 als bestätigt gilt: Die Arbeit mit CARIHBA wird von den Benutzern positiver bewertet als die Arbeit mit INTERFACE. Als besonders gut wurde die CARIHBA-Unterstützung beim Hochfahren benotet. Dies spiegelt die o.g. Ausführungen zu den Besonderheiten dieses Szenarios und zum Bedürfnis nach einer sicheren Unterstützung wider.

In der Arbeit von Nikolić wurde aufgrund der dort nicht zu verzeichnenden signifikanten Zeitunterschiede zwischen den beiden Hilfsmitteln geschlussfolgert, dass CARIHBA evtl.

eher geeignet ist, mit einer konkreten Instandhaltungsaufgabe unerfahrene Personen zu unterstützen, wohingegen INTERFACE eher für Personen mit Vorerfahrung geeignet sein könnte. Um diese Annahme zu prüfen, wurde in der vorliegenden Arbeit die technische Vorerfahrung der Teilnehmer über einen Fragebogen erfasst, anhand dessen eine Aufteilung der Stichprobe in „eher erfahrene“ und „eher unerfahrene“ Versuchspersonen vorgenommen wurde. Es konnte gezeigt werden, dass bei der Bearbeitung der Instandhaltungsaufgaben mit CARIHBA unabhängig von der technischen Vorerfahrung die kognitive Zeit signifikant reduziert wird. Das heißt, dass erfahrene Personen gleichermaßen von CARIHBA profitieren. Da beide Hilfsmittel bis auf die interaktiven Eigenschaften des Live-Videos von CARIHBA informationsgleich sind, bezieht sich diese Aussage auf die Unterstützung der räumlichen Orientierung und das Identifizieren von Anlagenteilen in den für beide Personengruppen unbekanntem Anlagen. Hinsichtlich der Zahl räumlicher Fehler lässt sich dann auch ein äquivalentes Ergebnis beobachten: sowohl erfahrenen als auch unerfahrenen Versuchsteilnehmern unterlaufen bei der Arbeit mit CARIHBA weniger räumliche Fehler als mit INTERFACE, den erfahrenen jeweils ein Fehler weniger. Insgesamt kann geschlussfolgert werden, dass nicht die technische Vorerfahrung entscheidend dafür ist, ob für eine Person INTERFACE oder CARIHBA das geeignetere Hilfsmittel ist, sondern die konkrete Erfahrung mit einer Anlage bzw. Aufgabe. Für technisch erfahrene Personen stellen Fachbegriffe wie „Koppelmodulgruppe“ oder „ASI-Ventilinsel“, die in den Versuchsszenarien vorkamen, keine Schwierigkeit dar. Sie können diese z.T. auch allein durch die textliche Instruktion identifizieren, ohne dass sie auf die Unterstützung durch das Live-Video bzw. ein Bild allgemein angewiesen sind. Den Personen, denen solche Begriffe nicht vertraut sind, bietet die eindeutige Identifizierung des entsprechenden Bauteils über den Immersionseffekt die Sicherheit, auch das richtige Teil gefunden bzw. am richtigen Teil manipuliert zu haben. So können sie sich auch im folgenden Aufgabenverlauf auf die jeweilige Aufgabe konzentrieren, ohne mit den Gedanken noch der vorherigen Aufgabe nachzuhängen und zu zweifeln, korrekt gehandelt zu haben, was evtl. schließlich einen Fehler aufgrund von Unaufmerksamkeit provozieren könnte.

Ein ähnliches Muster wie bei der technischen Vorerfahrung zeigte sich hinsichtlich der räumlichen Vorstellungskraft der Teilnehmer. War sie unterdurchschnittlich ausgeprägt, waren die kognitiven Zeiten länger als bei durchschnittlicher oder überdurchschnittlicher räumlicher Vorstellungskraft. Auch die Fehlerraten bezogen auf die räumlichen Fehler waren in dieser Gruppe höher. Unabhängig davon, wie gut das räumliche Leistungsvermögen ist, profitieren also alle drei Personengruppen von der Arbeit mit CARIHBA.

Viele Versuchspersonen beurteilten im Nachbefragungsbogen das Inbetriebnahme-Szenario als etwas schwieriger als die anderen Szenarien. Dies liegt sicherlich daran, dass hier bei einer auf Spannung geschalteten Anlage u.a. verschiedene Bedienelemente wie Schalter oder Ventile zu betätigen waren. Die Versuchspersonen gaben dann auch im Nachbefragungsbogen und in der Nachbesprechung besonders positive Rückmeldungen hinsichtlich des Immersionseffektes beim Hochfahren. Denn sie wollten gerade hier mit besonderer Vorsicht vorgehen, weil ihnen die Anlage selber, ihre Funktion und Bedienweise nicht vertraut waren. Nicht nur bei dieser Aufgabe, sondern auch insgesamt gesehen beurteilten sie die „Dynamik der Hilfestellung“ (Zitat einer Versuchsperson), die durch das Fahren und Zoomen der Kamera die Aufmerksamkeit auf die jeweils relevanten Anlagenteile lenkt und die Orientierung auch an einem unübersichtlichen Arbeitsplatz ermöglicht, als sehr hilfreich. Weiterhin erkannten sie, dass sich durch den Immersionseffekt Fehler beim Auffinden der Zielobjekte vollständig vermeiden lassen. Dieser Effekt konnte ja dann auch beim Hochfahren der Adiro-Anlage beobachtet werden, wo alle Versuchspersonen, die dieses Szenario mit CARIHBA bearbeiteten, den Immersionseffekt sehr konsequent nutzten. Als Nachteil von INTERFACE sahen sie in diesem Zusammenhang an, dass es bei komplexen Anlagen mit mehreren identischen Bau-

teilen leicht zu Verwechslungen kommen kann. Und auch bei der Adiro-Anlage bot sich eine solche Verwechslungsgefahr durch ihren symmetrischen Aufbau. Im Extremfall, so die Einschätzung eines Teilnehmers, könnte bei der Verwendung von Fotos bei komplexen Anlagen die Orientierung verloren werden.

Durch die Absicherung mittels Immersion fällt theoretisch im Vergleich zur INTERFACE-Anleitung mindestens ein zusätzlicher Blickwechsel zurück zum Monitor an, um die Übereinstimmung zwischen der Position der eigenen Hand im Live-Video und dem markierten Zielobjekt zu überprüfen. In vielen Fällen erfolgte jedoch mehr als ein Blickwechsel zur Absicherung, was letztlich Zeit beanspruchte. Diese zusätzliche Zeit rentiert sich jedoch vor dem Hintergrund der reduzierten Fehler. Die Versuchspersonen gaben zudem an, mit der Verwendung eines Monitors und dessen Stellung seitlich neben der Anlage problemlos zurechtgekommen zu sein. Die Notwendigkeit, Blickwechsel zwischen Anzeigegerät und Anlage machen zu müssen, ist also nicht negativ ins Gewicht gefallen. Es gab aber auch Fälle, in denen Blickwechsel mit CARIHBA umgangen wurden, indem das Live-Video genutzt wurde, um den Ort der Aufgabenausführung ohne Blick auf die Realität zu finden. So verfolgten die Versuchspersonen z.T. die eigene Hand über das Monitorbild, bis diese auf das Zielobjekt traf, und richteten dann erst den Blick auf die reale Anlage, wo sie direkt mit der geforderten Manipulation beginnen konnten.

Bezüglich der u.U. auftretenden Verdeckung des Live-Videos durch eine ungünstige Positionierung des Körpers relativ zur Kamera gaben die Versuchspersonen an, sich bereits im Training leicht an diese Besonderheit gewöhnt zu haben sowie gewusst zu haben, wie sie sich im Falle einer solchen unerwünschten Verdeckung bewegen mussten, um diese wieder aufzuheben.

Die Versuchsteilnehmer beurteilten die Unterstützung, die sie durch die INTERFACE-Anleitung erhalten haben, im Vergleich zu CARIHBA jedoch nicht nur negativ. So sahen es einige Probanden als Vorteil der Fotos an, dass sie im Foto eines folgenden Schrittes das Resultat des vorangegangenen Schrittes sehen konnten. Dadurch erfuhren sie eine Kontrolle diesbezüglich, ob sie die letzte Aufgabe auch korrekt ausgeführt hatten. Deshalb schlugen sie eine Kombination beider Hilfsmittel vor, um die jeweiligen Vorteile für die Orientierung bzw. die Kontrolle der ausgeführten Aufgaben gleichermaßen zu nutzen.

Abschließend kann jedoch resümiert werden, dass deutliche Vorteile von CARIHBA hinsichtlich der Effektivität, d.h. der fehlerfreien Aufgabenausführung, im Vergleich zur fotobasierten Anleitung nachgewiesen werden konnten, und zwar auch ohne Kenntnis der Versuchsanlagen und der Instandhaltungsaufgaben. Zudem sind zeitliche Einsparungen möglich. Sie stellen jedoch nicht den entscheidenden Vorteil dieses Hilfsmittels dar. Für Ausbildungszwecke scheint CARIHBA besonders gut geeignet zu sein. Es ermöglicht, sich auch ohne die Anwesenheit eines Ausbildungsbetreuers mit neuen Anlagen und Aufgaben vertraut zu machen. (Hinsichtlich des letztgenannten Punktes bietet speziell auch der Übersichtsmodus von CARIHBA, der in dieser Gebrauchstauglichkeitsuntersuchung nicht berücksichtigt wurde, die Gelegenheit, über eine Internet-Verbindung eine neue Anlage oder Umgebung zu explorieren.) Aber auch bei Instandhaltungsaufgaben, die selbst für erfahrene Instandhalter aufgrund ihrer Seltenheit oder aufgrund der Komplexität der Anlagen eine Schwierigkeit darstellen, scheint der Einsatz von CARIHBA lohnenswert.

7. Grundlagenversuch zur Unterstützung der räumlichen Orientierung durch CARIHBA

7.1. Untersuchungsgegenstand

Instandhaltungstätigkeiten sind oftmals dadurch charakterisiert, dass sie unter Zeitdruck stattfinden. Dies trägt neben anderen Faktoren mit zum hohen Gefahrenpotential bei, dem Instandhalter bei ihrer Arbeit ausgesetzt sind (vgl. *Kap. 2.2*). Durch die Konfrontation mit einer Vielzahl von technischen Geräten oder komplizierten Anlagen, die der Instandhalter je nach Wartungsintervall in mehr oder weniger großen Abständen wartet, ist er auf eine externe Unterstützung in Form einer Dokumentation angewiesen. Mit den heute nach wie vor gängigen Papiermanualen bzw. Explosionszeichnungen kann die benötigte Zeit auf der Suche nach einem relevanten Teil sehr lang sein, was den Zeitdruck zusätzlich erhöhen und somit eine noch stärkere Stresssituation für den Instandhalter darstellen kann. Dies birgt letztlich auch die Gefahr von Fehlhandlungen der Art, dass nicht ausreichend abgesichert wird, ob man eine geplante Manipulation an der richtigen Stelle ausführt, z.B. ob man tatsächlich ein bestimmtes Ventil öffnet oder schließt, und nicht fälschlicherweise etwa ein danebenliegendes Ventil. Bei kompliziert aufgebauten und/oder dem Instandhalter wenig bekannten Geräten bzw. Anlagen sind Verwechslungen von Bauteilen oder Bedienelementen bei der Suche anhand von Explosionszeichnungen generell nicht auszuschließen. In Abhängigkeit von der Art der Anlage kann schon eine einzige Fehlbedienung gravierende Folgen nach sich ziehen, v.a. wenn die Ausführung der Instandhaltungsarbeiten bei ausgeschalteten Sicherheitseinrichtungen stattfindet. Indem der Instandhalter dabei unterstützt wird, sich in wenig bekannten, unübersichtlich aufgebauten oder weitläufigen technischen Anlagen zu orientieren und die richtigen Ausführungsorte zu finden, stehen ihm mehr zeitliche und mentale Ressourcen für die korrekte Ausführung der eigentlichen Manipulation zur Verfügung. Dies kann dazu beitragen, Fehlhandlungen zu reduzieren und letztlich die Sicherheit des Instandhaltungspersonals zu erhöhen.

In *Kap. 4.3* wurde im Zusammenhang mit CAR-Studien in der Instandhaltung oder Montage herausgestellt, dass HMD-basierte CAR-Systeme im Zusammenhang mit der räumlichen Orientierung problematisch sind. Die Tests zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von CARIHBA zeigten, dass insbesondere hinsichtlich der Unterstützung der räumlichen Orientierung ein Vorteil von CARIHBA gegenüber der informationsgleichen, aber statischen Foto-Anleitung besteht. Dieser Vorteil ist in der Kamerafahrt und dem Immersionseffekt begründet. In ersterem Merkmal unterscheidet sich CARIHBA von CAR-Systemen, die HMDs als Anzeigeräte verwenden. Demzufolge steht mit CARIHBA ein Informations- und Dokumentationssystem zur Verfügung, das die Arbeitssicherheit bei der Instandhaltung im oben genannten Zusammenhang erhöhen könnte. Deshalb sollte in einer Art Grundlagenversuch genauer untersucht werden, welchen Einfluss Kamerafahrt und teilweiser Immersionseffekt als spezifische Merkmale des augmentierten Live-Videos von CARIHBA auf die räumliche Orientierung haben.

Mit Hilfe der Kamerafahrt bei CARIHBA ist es möglich, sich auch in einer weitläufigen Umgebung schnell zu orientieren, selbst, wenn diese für eine Person unbekannt ist. Den Weg der Kamera zu verfolgen, unterstützt die Groborientierung und lenkt den Blick bzw. die Bewegung des Benutzers unmittelbar in die richtige Richtung. Des Weiteren ermöglicht sie, die zurückzulegende Entfernung zwischen Ausgangsort und Zielort einzuschätzen. Auch bei all-

täglichen Orientierungsanforderungen hilft das Wissen über die Entfernung zwischen zwei Orten (sog. Entfernungswissen oder „distance knowledge“), seinen Weg zu planen und Zeit und Energie für die Suche nach dem richtigen Weg zu sparen (Tversky, 2003; Jansen-Osmann & Berendt, 2005). Darüber hinaus kann die Person verfolgen, an welchen Punkten die Kamera auf ihrem Weg zum Zielort vorbeifährt. Diese lassen sich dann für die Orientierung in der Realität heranziehen. Je auffälliger solche Punkte sind, desto bessere Referenzpunkte stellen sie dar. In diesem Zusammenhang kann von Landmarks gesprochen werden. Dabei handelt es sich um visuelle Objekte, die aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften besonders gut wahrgenommen und erinnert werden, z.B. wegen ihrer strategischen Funktion (Lynch, 1960), ihrer Form und Struktur (Presson & Montello, 1988) oder weil sie einen Referenzpunkt bilden (Saddalla et al., 1980, zit. nach Jansen-Osmann & Fuchs, 2006).

In der Literatur zur räumlichen Kognition werden meist zwei Dimensionen unterschieden. Dies ist zum einen die Fähigkeit, in einer großen unbekanntem Umgebung einen Weg zum Zielort zu finden („wayfinding behavior“). Als Resultat davon entsteht zum anderen räumliches Wissen über diese Umgebung („spatial knowledge“) (vgl. Jansen-Osmann & Fuchs, 2006). Dieses beinhaltet das Wissen über Landmarks. Daneben umfasst es das sog. „route and procedural knowledge“, welches Landmarks oder Orte repräsentiert gemeinsam mit den Prozeduren, die spezifizieren, wie man von einem Ort zum anderen kommt (Thorndyke, 1981). Weiterhin zählt das „survey knowledge“ dazu, das einen Überblick über die Umgebung in Form einer zweidimensionalen mentalen Repräsentation darstellt.

Je nachdem, auf welche Weise ein Raum wahrgenommen wird, entstehen unterschiedliche Arten von räumlichem Wissen, die wiederum mit unterschiedlichen mentalen Repräsentationen verbunden sind. Wird eine Umgebung über eine Landkarte exploriert, führt dies zu survey knowledge bzw. Überblickswissen (Siegel & White, 1975). Indem man sich durch den Raum selbst bewegt, wird die Entstehung von route knowledge befördert. Die Einschätzung einer Entfernung, die sich aus dieser unmittelbaren Interaktion mit dem Raum ergibt („environmental distances“), entspricht mit einer höheren Wahrscheinlichkeit der objektiven Distanz als eine Entfernungsschätzung anhand einer Überblickskarte („pictorial distances“). Arbeitet ein Instandhalter mit CARIHBA in einer nicht oder nur wenig bekannten Umgebung, so interagiert er vermittels der Kamerafahrt mit dem Raum und kann so den Weg zum Zielobjekt und die Entfernung bis dorthin objektiv abschätzen. Je größer die zurückzulegende Strecke ist, desto hilfreicher sollte sich der Einfluss der Kamerafahrt auf die Groborientierung erweisen.

Ist die Groborientierung erfolgt und befindet sich die Person in Reichweite des Zielortes bzw. -objektes, unterstützt der teilweise Immersionseffekt die Feinorientierung der Person. Zu kontrollieren, ob die eigene Hand im Monitorbild das markierte Objekt trifft, kann eine zweifelsfreie Identifizierung des Zielobjektes gewährleisten. Dies zeigte sich in den Benutzertests beim Szenario Hochfahren, wo keine räumlichen Fehler auftraten, da die Versuchsteilnehmer den teilweisen Immersionseffekt konsequent nutzten. In den anderen Szenarien war dies nicht immer der Fall. Schließlich gab es auch keine Instruktion dahingehend, dass die Personen gezwungen waren, ihn zu nutzen. Sie lernten nur im vorangestellten Training, dass das System diese Möglichkeit bietet. Die Inbetriebnahme der Adiro-Anlage ist ein vergleichsweise schwieriges Szenario. Beispielsweise sind einzelne Schalter oder Bedienelemente unter ähnlichen oder gleich aussehenden Elementen zu identifizieren, einzelne Ventile sind zu öffnen oder Werte von bestimmten Anzeigeelementen abzulesen und zu überprüfen. Die Rückmeldungen der Probanden zum Immersionseffekt und dem dadurch erlebten Sicherheitsgefühl waren daher v.a. beim Hochfahren sehr positiv. Das bedeutet, dass die Aufgabenschwierigkeit einen Einfluss auf die Nutzung der Immersion zu haben scheint.

Kamerafahrt und Immersionseffekt wirken sich also auf unterschiedliche Aspekte der räumlichen Orientierung aus. Untersucht werden sollte, welchen Anteil jedes einzelne Merkmal am Gesamtprozess der Orientierung in einer unbekanntem Umgebung hat. Dabei sollten sich die Versuche auf die Unterstützung der räumlichen Orientierung ausschließlich anhand bildlicher Informationen (d.h. mit dem Live-Video von CARIHBA bzw. mit dem Foto der INTERFACE-Anleitung in der Kontrastbedingung) beschränken, da in dieser Live-Video-Unterstützung der besondere Vorteil von CARIHBA liegt. Manipulationen an den in der Umgebung identifizierten Orten wurden nicht mehr gefordert, da diese, wie in den Benutzertests gesehen, v.a. von der Qualität der textlichen Instruktion, dem damit einhergehenden Textverstehen und der Vorerfahrung der Versuchspersonen abhängen. Der Einfluss von technischem Vorwissen der Teilnehmer war generell auszuschließen, um bei allen Personen die reine räumliche Orientierung untersuchen zu können, nicht jedoch das Nutzen bereits vorhandenen Wissens über den Aufbau bestimmter Geräte oder Anlagen. Daher war für die Zwecke der Untersuchung eine weitläufige räumliche Umgebung zu erzeugen, die von realen Anlagen und deren realem Aufbau abstrahierte, diese aber in grafischer Form nachbildete, um den Praxisbezug der Untersuchung zu gewährleisten. Als Versuchsaufgaben sollten Groborientierungs- und Feinorientierungsaufgaben getrennt mit Hilfe von CARIHBA gelöst werden. Die Kontrastbedingung bildete erneut die fotobasierte Instruktionsart INTERFACE. Da auch der Immersionseffekt die Groborientierung zu einem gewissen Teil mit unterstützten kann (taucht der Körper oder Teile davon nach dem Ende der Kamerafahrt im Videobild auf, bedeutet das, dass man sich in unmittelbarer Nähe des Zielobjektes befinden muss), musste CARIHBA so modifiziert werden, dass es in einer Programmversion nur die Kamerafahrt als Möglichkeit der Interaktion mit dem Live-Video bot, nicht aber den Immersionseffekt.

Zwei weitere Faktoren sollten in der Untersuchung mit in Betracht gezogen werden. Dies war einerseits das räumliche Vorstellungsvermögen der Personen, da es im Zusammenhang mit der Orientierung im Raum steht. Raumvorstellung bezeichnet ja die Fähigkeit, im zwei- und dreidimensionalen Raum sowohl in der Wirklichkeit, als auch in der Vorstellung handeln zu können (z.B. Maier, 1999). Thurstone (1938) nahm eine Differenzierung dieses Konstrukts vor, die noch heute von Relevanz ist. Er unterschied:

- räumliche Beziehungen (spatial relations): gedankliches Erfassen und Vorstellen der Beziehung zwischen Gegenständen oder Teilen von Gegenständen im Raum,
- räumliche Orientierung (spatial orientation): räumlich richtiges Einordnen der eigenen Person in die Umwelt, d.h. Fähigkeit zum sowohl physischen als auch gedanklichen Orientieren im Raum,
- räumliche Visualisierung (visualization): Zerlegen von Figuren oder Körpern in kleinere Teile, Umordnen dieser Teile durch Verschieben oder Drehen und anschließendes Zusammenfügen zu neuen (vorgegebenen) Figuren oder Körpern, d.h. Fähigkeit zum gedanklichen Operieren mit Vorstellungsinhalten.

Aufgrund von Kamerafahrt und Immersionseffekt werden die Anforderungen an die Fähigkeiten „spatial relations“ und „spatial orientation“ reduziert. Denn räumliche Beziehungen sollten durch diese beiden Merkmale in einem geringeren Maße mental repräsentiert und beim Blick auf die Realität wieder erinnert werden müssen, als dies bei statischen bildlichen Rauminformationen notwendig ist. Es wurde daher angenommen, dass insbesondere Personen mit einem gering ausgeprägten räumlichen Vorstellungsvermögen, denen das Übertragen von räumlichen Informationen von einem statischen zweidimensionalen Foto oder Bild auf die reale Umgebung schwer fällt, von Kamerafahrt und Immersion profitieren sollten und dasselbe Leistungsniveau wie Personen mit sehr guter räumlicher Vorstellungskraft erreichen. Demzufolge waren Versuchsteilnehmer mit einer hohen bzw. geringen Ausprägung dieses Personenmerkmals in die Untersuchung einzubeziehen.

Neben dem Personenmerkmal räumliches Vorstellungsvermögen sollte als Eigenschaft der Umgebung die Aufgabenschwierigkeit variiert werden. Wie bereits erwähnt, hatten die Probanden in den Benutzertests bei der als schwierig einzustufenden Inbetriebnahme der Adiro-Anlage den Immersionseffekt verstärkt genutzt, was zu einer Null-Fehler-Quote hinsichtlich räumlicher Fehler führte. Die Schwierigkeit dieses Szenarios u.a. durch der Ähnlichkeit bzw. Gleichheit des Aussehens nebeneinander liegender Bedienelemente und durch den in Teilen symmetrischen Aufbau der Steuerung der Anlage (linke und rechte SPS, Koppelmodulgruppe oder Bedienwinkel) bedingt. Anders als bei den Benutzertests sollte bei diesem Versuch zur Unterstützung der Feinorientierung durch den Immersionseffekt die Instruktion an die Probanden gegeben werden, den Immersionseffekt in jedem Fall zu nutzen. Dadurch sollte letztlich nachgewiesen werden, dass es möglich ist, mit Hilfe des Immersionseffektes von CARIHBA eine 100%ige Sicherheit bezüglich der Zuordnung einer Manipulation zum richtigen Ort zu erreichen. Dabei wurde kein Unterschied erwartet hinsichtlich der Fehlerzahl bei einfachen oder schwierigen Aufgaben.

Bei dieser Untersuchung stand die Auswertung der räumlichen Fehler im Mittelpunkt. Denn wie in den Benutzertests gesehen, nehmen Kamerafahrt und insbesondere der teilweise Immersionseffekt, der zu einem mehrmaligen Wechsel des Blickes zwischen Anleitung und Realität führen kann, Zeit in Anspruch. Daher wurde damit gerechnet, dass sich in den Grundlagenversuchen zeitliche Vorteile von CARIHBA gegenüber der fotobasierten Anleitungsförm nur bei den Versuchsaufgaben zur Groborientierung mit Hilfe der Kamerafahrt zeigen sollten, wahrscheinlich aber nicht bei der durch den Immersionseffekt unterstützten Feinorientierung. Bei der räumlichen Orientierung mit CARIHBA sollte es keine Zeitunterschiede in Abhängigkeit vom räumlichen Vorstellungsvermögen geben. Grund für diese Erwartung ist, dass der Anwender durch Kamerafahrt und Immersion zum großen Teil von der Anforderung befreit ist, Merkmale der räumlichen Situation zu repräsentieren und zu erinnern. Bei der Foto-Unterstützung ist diese Leistung aber in vollem Maße gefordert. Deshalb sollten Personen mit geringer räumlicher Vorstellungskraft hier mehr Zeit benötigen als Personen, deren Raumvorstellungsvermögen sehr gut ist. Gleiches gilt für die Aufgabenschwierigkeit: auch sie sollte sich bei der Arbeit mit CARIHBA nicht auf die Zeit auswirken, da die Anforderungen an Speicherung, Repräsentation und Abruf von Eigenschaften der Zielobjekte gering sind. Denn es ist möglich, ein Objekt, egal ob es leicht oder schwierig von anderen Objekten zu unterscheiden ist, allein anhand der Interaktion mit dem Live-Video in der Realität zu finden. Bei der Foto-Anleitung hingegen müssen insbesondere bei schwierigen Aufgaben, d.h. bei Zielobjekten, die schwer von anderen Objekten zu unterscheiden sind, viele Objektmerkmale gespeichert werden, um das instruierte Teil in der Realität zu finden.

Im folgenden Kapitel zum methodischen Vorgehen werden nach der Beschreibung der Stichprobe zunächst die Anforderungen an die Versuchsumgebung und die Versuchsaufgaben genauer spezifiziert, um danach zu erläutern, wie diese umgesetzt wurden und welche Hypothesen im Einzelnen geprüft werden sollten.

7.2. Methodisches Vorgehen

7.2.1. Stichprobe

Die Stichprobe bestand aus 20 männlichen Studenten technischer Studiengänge, die bereits an der zweiten Benutzertestreihe teilgenommen hatten. Aus dem bestehenden Probandenpool von N=40 wurden jene Studenten ausgewählt, die im Test zum räumlichen Vorstellungsvermögen, der vor den Benutzertests durchgeführt worden war, die zehn höchsten bzw. die zehn niedrigsten Werte erzielt hatten. Demzufolge gab es zwei Versuchsgruppen. Von den zehn Probanden in der Gruppe „geringes räumliches Vorstellungsvermögen“ (im Folgenden auch „geringes r.V.“ genannt) sind fünf dem unterdurchschnittlichen bzw. weit unterdurchschnittlichen Bereich zuzuordnen, fünf liegen im unteren Durchschnittsbereich. In der Gruppe „hohes räumliches Vorstellungsvermögen“ („hohes r.V.“) weisen alle Teilnehmer überdurchschnittliche bzw. weit überdurchschnittliche räumliche Fähigkeiten auf. *Tab. 7.1* veranschaulicht, wie sich die Versuchsteilnehmer auf die fünf Leistungsbereiche des Schlauchfigurentests (vgl. *Kap. 6.1.3*) verteilten. Das Durchschnittsalter betrug in der Gruppe „geringes r.V.“ 24.2 Jahre, in der Gruppe „hohes r.V.“ 23.7 Jahre.

	Anzahl Vpn	Testwert im Schlauchfigurentest
Gruppe „geringes r.V.“		
weit unterdurchschnittlich (Testwert 0-7)	1	3
unterdurchschnittlich (9-11)	4	8, 9, 10, 10
durchschnittlich (12-16; MW = 14)	5	12, 12, 13, 13, 13
Gruppe „hohes r.V.“		
überdurchschnittlich (17-19)	7	17, 18, 18, 18, 18, 18, 18
weit überdurchschnittlich (20-21)	3	20, 20, 21

Tab. 7.1: Leistung der Teilnehmer im Test zum räumlichen Vorstellungsvermögen

7.2.2. Gestaltung der Versuchsumgebung

Kriterien für die Gestaltung der Versuchsumgebung

Um die Unterstützung der räumlichen Orientierung speziell durch die CARIHBA-Eigenschaften Kamerafahrt und Immersion zu untersuchen, waren bei der Gestaltung der Versuchsumgebung verschiedene Kriterien zu erfüllen:

1. Die Versuchsumgebung muss ausreichend groß sein, d.h. die Versuchsaufbauten sollen sich über eine Ausdehnung im Bereich mehrerer Meter erstrecken, damit die Anforderungen an die räumliche Orientierung hoch sind und eine Unterstützung bei der Groborientierung innerhalb dieser Umgebung notwendig ist. Dies betrifft z.B. die Abschätzung der Entfernung vom eigenen Standort zu einem Zielort.
2. Die Schwierigkeit bzgl. der Unterscheidung der Baugruppen, aus denen die Versuchsaufbauten bestehen, und der darin enthaltenen Bauelemente soll zweistufig variieren. Baugruppen, die der niedrigen Schwierigkeitsstufe zuzuordnen sind, sollen sich stark von anderen Baugruppen absetzen, und die in ihnen enthaltenen Bauelemente sollen ebenfalls leicht voneinander zu unterscheiden sein. Baugruppen der hohen Schwierigkeitsstufe sollen aufgrund von Ähnlichkeit bzw. Gleichheit schwierig von anderen zu unterscheiden

sein, und ihre einzelnen Bauelemente sollen sich untereinander ebenfalls stark ähneln bzw. gleichen, um die Unterstützung bei der Identifikation einzelner Bauelemente, d.h. bei der Feinorientierung erforderlich zu machen.

3. Eine eventuelle Beeinflussung der Ergebnisse durch ein unterschiedliches Ausmaß an technischem Vorwissen der Teilnehmer, wenn es z.B. um den Aufbau spezifischer Anlagen geht, ist auszuschließen. Dies wäre der Fall, wenn konkrete Anlagen- oder Ausrüstungsteile sich immer an durch die Bauart bedingten Orten befinden, die einigen Personen bekannt sind, anderen nicht. Personen mit Anlagenwissen würden sich gezielt und ohne Suche zu den ihnen bekannten Orten bewegen, wohingegen Personen ohne dieses Wissen eine Suche anhand äußerer Merkmale (Farbe, Form, umliegende Elemente etc.) starten würden. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse wäre in diesem Fall nicht gegeben.
4. Die Orientierung in der Versuchsumgebung soll ausschließlich anhand visueller Informationen erfolgen. Unterschiede im Textverstehen, in der Lesegeschwindigkeit oder eine eventuelle Unkenntnis verwendeter technischen Fachbegriffe oder Teilebezeichnungen sollen dadurch vermieden werden.
5. Das Ergebnis der räumlichen Suche muss durch die Person eindeutig sichtbar gemacht werden können. Ebenso soll die benötigte Zeit automatisch erfasst werden.

Um diese Anforderungen umzusetzen, wurde eine auf realen Anlagen und Ausrüstungsteilen basierende, aber davon abstrahierte Versuchsumgebung in graphischer Form erzeugt. Sie wurde mit der Software Adobe Illustrator® CS erstellt und auf Poster gedruckt. Es wurden keine Fotos verwendet, da ja ein unterschiedlich stark vorhandenes, spezifisches Anlagenwissen bzw. das Wiedererkennen einzelner Bauteile bei den Probanden ausgeschlossen werden sollte. Die grafischen Elemente sind dem Instandhaltungsbereich entnommen und Bauteilen nachempfunden, die sich vorwiegend in Schaltschränken finden lassen. In der Realität können, je nach Größe der Anlage, mehrere solcher Schaltschränke nebeneinander oder verteilt angeordnet sein, so dass sie einen großen Suchraum bilden. Die dort enthaltenen Bauteile sind sehr vielfältig (z.B. Sicherheitsreihen, Bedientafeln, Messinstrumente, elektronische Bauteile). Zudem ist ein Instandhalter oft vor die schwierige Situation gestellt, z.B. innerhalb langer Reihen identisch aussehender Sicherungen oder Stecker ein bestimmtes Element zu finden. Die grafischen Elemente waren in vereinfachter Form dargestellt, verglichen mit den realen Bauteilen, so dass sich ihnen keine Teilebezeichnungen direkt zuordnen ließen.

Räumliche Anordnung der Versuchsaufbauten

Die Versuchsaufbauten bestanden aus zwei Tischen, die jeweils mit einer Rückwand versehen wurden. Unter Berücksichtigung des Greifraums einer Person (z.B. Schmidtke, 1993) betrug die Tiefe der Tischflächen 0.6 m und die Höhe der Wandflächen 1.2 m, so dass vor einem Tisch stehend auch alle Objekte im tiefen Bereich des Tisches sowie im oberen Bereich der Wand bequem erreichbar waren. Die Tisch- und Wandflächen waren aus Hartfaserplatten zugeschnitten, auf welche die Poster, deren Rückseite aus Adhäsionsfolie bestand, aufgeklebt wurden. Die Platten wurden in dafür gefertigte Holzgestelle eingesetzt.

Die beiden Tische waren rechtwinklig zueinander aufgestellt, wobei in der Lücke zwischen ihnen ein höhenverstellbarer Monitortisch stand. Auf dem Monitor wurde die Anleitung dargeboten. Die Kamera war in einer Höhe von 2.15 m über dem Schnittpunkt der Linien angebracht, die lotrecht zur Mitte der vorderen Tischkanten verliefen (siehe *Abb. 7.1*). Auf diese Weise wurde das Aufbauprinzip von CARIHBA umgesetzt (siehe *Kap. 5.1*): der Monitor steht seitlich einer Anlage, und die Kamera schaut dem Nutzer über die Schulter. Dadurch kann der Nutzer vor dem Monitor stehend von der Kamerabewegung direkt auf die Richtung

schließen, in der ein Zielobjekt zu finden ist. Fährt die Kamera z.B. nach links unten, muss er sich auch nach links bewegen und findet den Zielort im unteren Bereich. Je länger die Kamera für ihre Fahrt braucht, desto weiter entfernt liegt der Zielort vom Ausgangsort. Dabei kann man verfolgen, an welchen Objekten die Kamera auf ihrem Weg zum Zielort vorbei fährt. Durch die beschriebene Anordnung ist außerdem das Ausmaß an unerwünschter Verdeckung (der Nutzer steht zwischen Kamera und Objekt, auf das die Kamera gerichtet ist) sehr gering, und das Monitorbild ist auch dann noch sehr gut erkennbar, wenn man in den Außenbereichen der Tische steht. *Abb. 7.2* zeigt ein Foto der Versuchsumgebung.

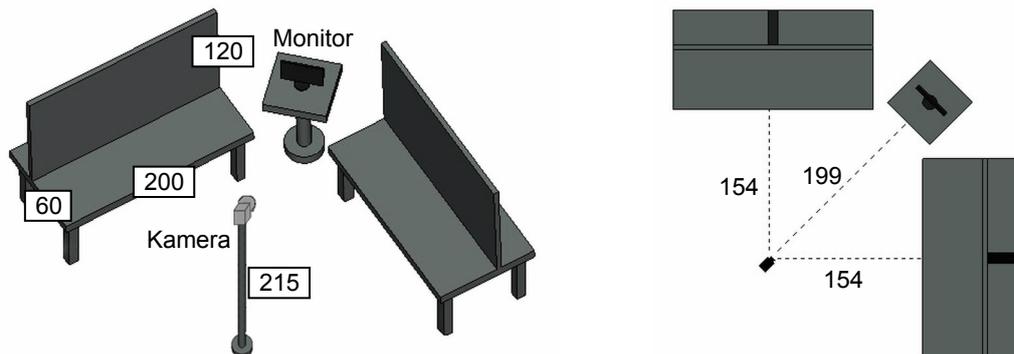


Abb. 7.1: Anordnung und Maße der Versuchsaufbauten

Die Versuchsperson kehrte vor jedem Schritt, den sie bearbeitete, auf einen auf dem Boden markierten Punkt vor dem Monitor zurück (siehe *Abb. 7.3*). Auf diese Weise war sichergestellt, dass an alle Personen die gleichen Anforderungen an die Orientierung gestellt wurden, sie die Kamerafahrt also aus der gleichen Perspektive erlebten und sich in gleicher Entfernung zum Zielort befanden. Auch die Kamera kehrte nach jedem Schritt in ihre neutrale Ausgangsstellung zurück. Dazu wurde ein Fixationskreuz für die Kamera zwischen den beiden Aufbauten an der Wand hinter dem Monitor angebracht (siehe *Abb. 7.3*).



Abb. 7.2: Reale Anordnung der Versuchsaufbauten

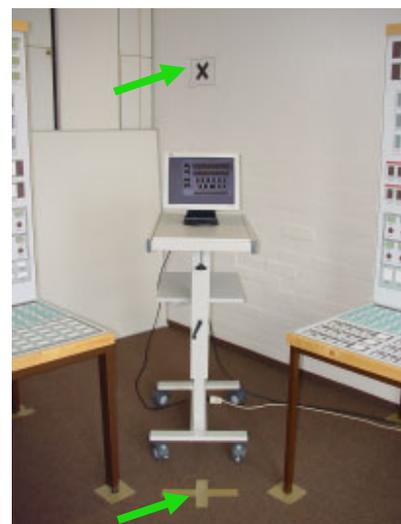


Abb. 7.3: Kamera-Fixationspunkt und Bodenmarkierung

Die Geschwindigkeit der Kamerafahrt wurde in Vorversuchen festgelegt. Sechs Personen, die nicht an den eigentlichen Versuchen teilnahmen, bearbeiteten die späteren Versuchsaufgaben und beurteilten, bei welcher Geschwindigkeit das Fahren der Kamera am besten verfolgt werden konnte.

Beschreibung der grafischen Elemente

Die auf den Postern abgebildeten Baugruppen (siehe *Abb. 7.4* für einen Überblick sowie *Anhang F* für eine größere, farbige Darstellung) unterschieden sich in ihrem Aussehen, d.h. in ihrer Farbe, Form und Größe. Die Baugruppen enthielten Bauelemente in unterschiedlicher Anzahl, die wiederum über verschiedene Farben, Formen und Größen verfügten. Jeder der beiden Aufbauten war durch schwarze Linien in drei nebeneinander liegende Segmente unterteilt, ähnlich drei nebeneinander stehenden Schaltschränken. Diese Begrenzungslinien bildeten Referenzpunkte, die für die räumliche Orientierung herangezogen werden konnten. Einzelne Baugruppen wiederholten sich innerhalb eines Aufbaus in identischer oder abgewandelter Form, andere Baugruppen waren nur ein Mal enthalten.

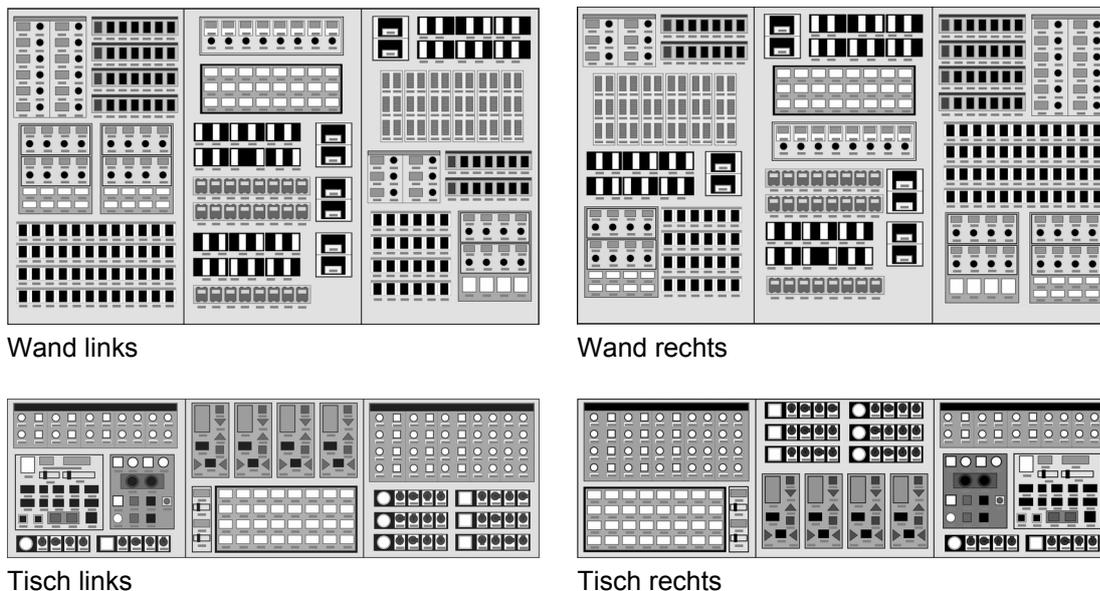


Abb. 7.4: Verwendete grafische Elemente

Die beiden Versuchsaufbauten, d.h. linker und rechter Versuchstisch, bildeten dieselben Baugruppen ab, allerdings in einer anderen Anordnung. So konnten sich einzelne Baugruppen zwar bei beiden Aufbauten relativ gesehen an derselben Stelle befinden, z.B. im Außenbereich der Tischflächen, sich aber in einer unterschiedlichen räumlichen Beziehung zueinander befinden, etwa gespiegelt sein (siehe *Abb. 7.5*). Möglich war aber auch, dass an derselben Stelle im linken und rechten Aufbau Baugruppen lagen, die auf den ersten Blick gleich aussahen, sich bei genauerem Blick jedoch voneinander unterschieden. In solchen Fällen war eine Verwechslungsgefahr gegeben.

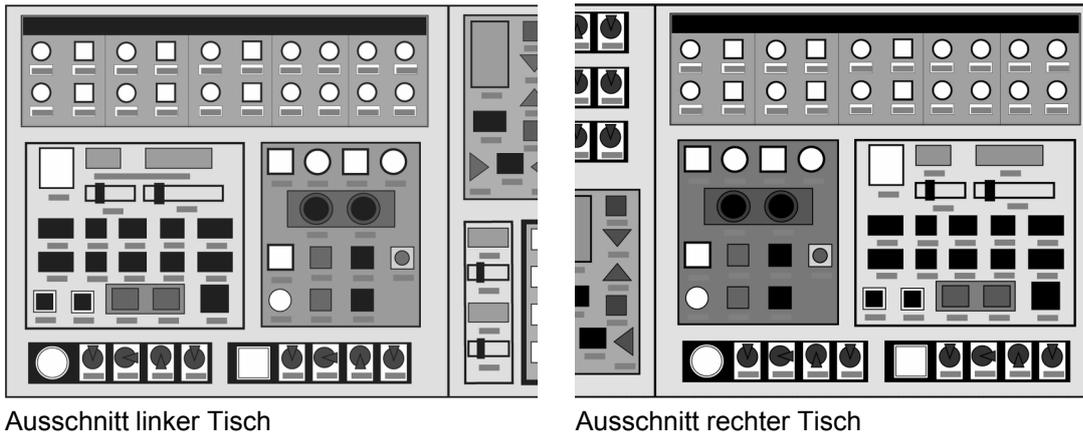


Abb. 7.5: Beispiel für die Spiegelung einzelner Baugruppen

Aufgabenschwierigkeit

Durch die unterschiedliche Wiederholhäufigkeit, ihre Farbgebung und Größe waren einige Objekte auffälliger als andere. So war das dunkelgraue Objekt auf der Tischfläche, das in *Abb. 7.5* und *Abb. 7.6* zu sehen ist, schneller zu finden als z.B. eine der oft auftretenden Baugruppen mit den grünen LEDs und den schwarzen Knöpfen auf den Wandflächen (siehe *Abb. 7.6* sowie *Anhang F* für eine vergrößerte Darstellung der gesamten Wandflächen). Innerhalb der dunkelgrauen Baugruppe befanden sich im Vergleich zu anderen Baugruppen relativ wenige Details, die sich zudem in Farbe und Form deutlich unterschieden. Demzufolge war es mehr oder weniger schwierig, eine jeweiligen Baugruppe bzw. die darin enthaltenen Details zu finden. Je öfter eine Baugruppe innerhalb der Aufbauten vorkam und je mehr gleich aussehende Elemente sie enthielt, desto höher wurde die Schwierigkeit eingestuft, diese Baugruppe zu lokalisieren bzw. ein bestimmtes Detail darin zu identifizieren. Die Hälfte der Schritte (12 Schritte) war danach als leicht einzustufen, die andere Hälfte (13 Schritte) als schwierig.

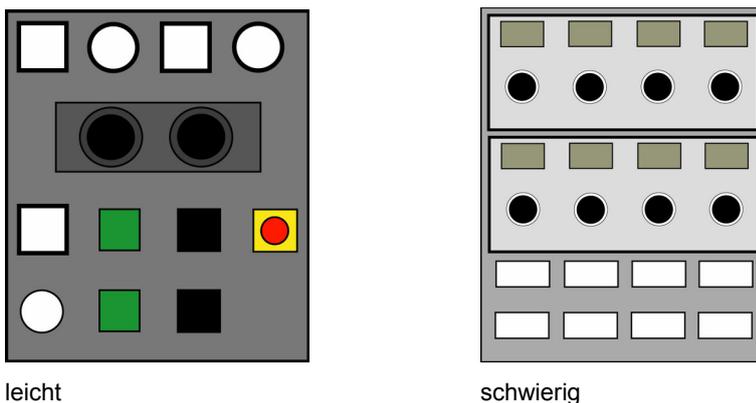


Abb. 7.6: Beispiel einer leicht und einer schwierig zu identifizierenden Baugruppe

Die Schwierigkeitsunterscheidung ist angelehnt an Theorien der visuellen Suche (z.B. Treisman & Gelade, 1980; Wolfe et al., 1989). Treisman & Gelade unterscheiden zwischen Zielreizen, den sog. Targets, und Distraktoren, welche jeweils spezifische Merkmale aufweisen, z.B. ihre Farbe, Form oder Größe. Die Unterschiedlichkeit zwischen Target und Distraktoren, die Unterschiedlichkeit der Distraktoren untereinander sowie die Anzahl der Distraktoren hat

einen Einfluss darauf, wie schnell der Zielreiz gefunden und welche Suchstrategie angewendet wird. Wenn der Unterschied nur in einer Merkmalsdimension besteht, das Target z.B. eine andere Farbe hat als die Distraktoren, findet eine parallele Suche (sog. „einfache Merkmalsuche“) statt, d.h. alle Stimuli werden gleichzeitig durchsucht. Es kommt zu einem sog. Pop-out-Effekt, d.h. der Zielreiz hebt sich durch seine Einzigartigkeit ab und wird schnell gefunden, unabhängig von der Anzahl der Distraktoren. Ist mehr als eine Merkmalsdimension abweichend, muss jeder dargebotene Reiz seriell untersucht werden. Die für diese serielle Suche (auch „Konjunktionssuche“ genannt) benötigte Zeit nimmt mit der Zahl der Distraktoren zu.

Bildliche Instruktion

Die Anleitung wurde auf dem Monitor durch den Szenariomodus von CARIHBA (vgl. Kap. 5.2.2) dargeboten. Da die räumliche Orientierung nur mittels bildlicher Informationen erfolgen sollte, war von der Benutzungsoberfläche auch nur noch der Bereich für das Live-Video sichtbar. Alle anderen Flächen waren grau überblendet, damit sie nicht die Aufmerksamkeit vom Bild ablenkten (siehe Abb. 7.7). In der Vergleichsbedingung wurde die INTERFACE-Anleitung verwendet, deren Informationsflächen ebenso grau überblendet waren, so dass nur noch das Foto sichtbar war. Die Navigation durch die Teilschritte erfolgte erneut mittels simulierter Sprachsteuerung.

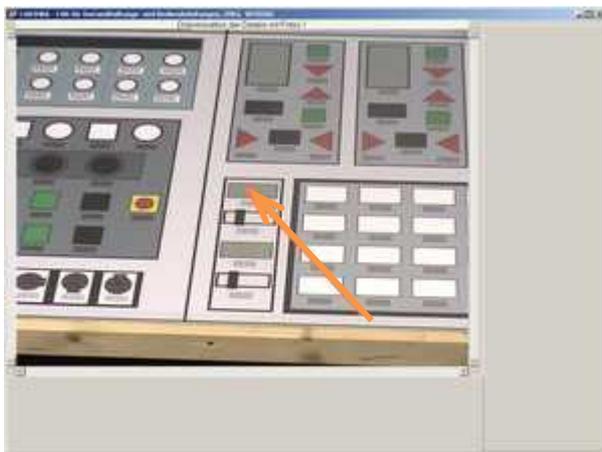


Abb. 7.7: Benutzungsoberfläche der Anleitungen

Registrierung von Suchergebnis und Bearbeitungszeit

Um zu erfassen, welche Baugruppe bzw. welches Bauelement ein Proband jeweils als Zielobjekt identifiziert hat, befanden sich Barcodes unter den einzelnen Objekten. Mittels eines Barcodescanners (LS4278 der Firma symbol®), der in der Hand getragen wurde, scannte der Proband am Ende des Suchvorgangs den Code unter dem jeweiligen Objekt ein. Für die Versuchsperson bildete dieser Scanvorgang einen sinnvollen Abschluss des Suchprozesses, der z.B. mit dem Betätigen eines Bedientastes, nach dem gesucht wurde, gleichzusetzen ist. Unter versuchstechnischen Aspekten diente der Scanvorgang der Registrierung der für die Suche benötigten Zeit sowie zur Fehlerkontrolle.

Die Zusammensetzung der Barcodes war wie folgt: jede Baugruppe und jedes Element innerhalb einer Baugruppe war durch eine bestimmte Position innerhalb der Fläche, auf der es sich befand, gekennzeichnet. Demnach ließen sich jedem Element eine x- und eine y-Koordinate zuordnen, die es eindeutig identifizierten. Diese Koordinaten bildeten den Barcode. Dazu

wurde der Ursprung des Koordinatensystems auf die linke untere Kante des linken Versuchstisches gelegt. Der Barcode befand sich jeweils zentral unter einer Baugruppe bzw. einem Bauelement und bestand aus einer sechsstelligen Zahlenkombination. Die ersten drei Stellen repräsentierten die x-Koordinate eines Elements, die letzten drei Stellen die y-Koordinate (in cm):



Um die Codes automatisch generieren zu können, wurde ein entsprechendes Script für den Adobe Illustrator® CS erzeugt.

Mit dem Aufruf eines Teilschritts durch den simulierten Spracheingabe-Befehl startete automatisch die Zeitmessung für diesen Schritt. Sie endete mit dem Scanvorgang (d.h. die Zeit, die Kamera und Versuchsperson benötigten, um nach bearbeitetem Teilschritt zu ihren jeweiligen Startpunkten zurückkehren, ging nicht in die Zeiterfassung ein). Start- und Endzeit eines Teilschritts sowie die Differenz zwischen beiden Werten und damit die für den Schritt benötigte Zeit wurden in eine automatisch generierte Protokoll-Datei geschrieben. Zudem erfolgte eine Registrierung, ob das richtige Objekt gescannt wurde. Neben dem Soll-Code wurde in die Protokoll-Datei der tatsächlich gescannte Code eingetragen. Stimmt die beiden Codes überein, wurde der Teilschritt automatisch als richtig gelöst gekennzeichnet. Bei einer fehlenden Übereinstimmung war diese nicht nur als Fehler ersichtlich, sondern es wurde zusätzlich berechnet, wie weit (in cm) die beiden Codes auseinander lagen.

7.2.3. Versuchsdesign

Die Versuche gliederten sich in zwei Versuchsteile, die wiederum aus jeweils zwei Blöcken bestanden. Pro Block wurde mit einer bestimmten Anleitungsart gearbeitet.

Versuchsteil 1: Groborientierung (Lokalisation von Baugruppen)

Die Aufgabe bestand in jedem Teilschritt darin zu lokalisieren, wo sich eine bestimmte **Baugruppe** befindet, die auf dem Monitor als Ziel angezeigt wurde. Der Suchprozess endete, wenn die Versuchsperson den Barcode unter einer Baugruppe einscannte.

Die Person stand zu Beginn jedes Versuchsblocks auf der Bodenmarkierung vor dem Monitor. Dort sah sie ein Fixationskreuz, entweder als Foto oder als Live-Video. Per Sprachbefehl „Weiter!“ wurde der erste bzw. auch jeder folgende Teilschritt aufgerufen. In einem der beiden Blöcke wurde die Person bei ihrer Suche durch die Kamerafahrt unterstützt. Sie beobachtete im Monitorbild, wohin die Kamera fährt. Am Ende der Kamerafahrt erschien ein statisches Foto der Zielregion, in der sich die relevante Baugruppe befand. Diese war mit einem Pfeil markiert, der jeweils auf den Rand der Baugruppe zeigte. Im anderen Block stand nur das Foto mit der durch Pfeil gekennzeichneten Baugruppe zur Verfügung. In beiden Blöcken wurden also dieselben Fotos dargeboten, aber im ersten Block leitete die Kamerafahrt zu dem im Foto gezeigten Ort (siehe *Abb. 7.8*).

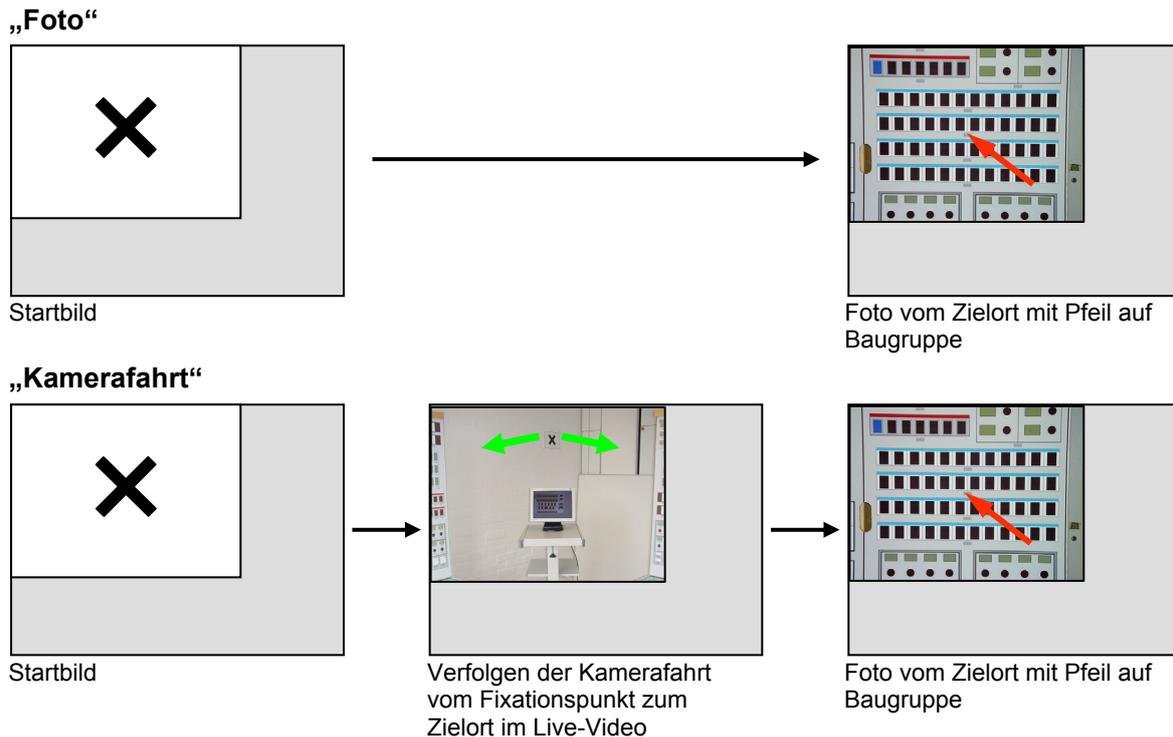


Abb. 7.8: Anleitungsarten im Versuchsteil Groborientierung

Nachdem die Person das Objekt gefunden hatte, scannte sie es ein. Daraufhin fuhr die Kamera automatisch zurück zum Ausgangsort, dem Fixationskreuz, bzw. es erschien ein Foto mit dem Fixationskreuz. Die Versuchsperson ging ebenfalls zu ihrer Ausgangsposition vor dem Monitor zurück. Dort angekommen, rief sie den nächsten Schritt auf.

Versuchsteil 2: Feinorientierung (Identifikation einzelner Elemente innerhalb von Baugruppen)

Die Person durchlief den gesamten Suchprozess, um ein bestimmtes **Bauelement** zu finden. Zunächst musste sie also die Baugruppe lokalisieren, um dann innerhalb dieser Baugruppe zwischen den darin enthaltenen Bauelementen das jeweils instruierte zu identifizieren.

In der Kamerabedingung blieb nun nach der Kamerafahrt der Live-Modus des Video-Bildes bestehen, d.h. es gab die Möglichkeit zur Immersion. Das Live-Video wurde mit einem Pfeil augmentiert, der auf ein bestimmtes Element innerhalb einer Baugruppe zeigte. Mit der Hand im Bild konnte entweder überprüft werden, ob man das richtige Element gefunden hat. Oder es konnte über die im Monitorbild sichtbare Hand gesucht werden, um welches Bauelement es sich handelte. Die Teilnehmer wurden instruiert, den Immersionseffekt in jedem Schritt zu nutzen, was auch alle immer getan haben (Instruktionen siehe *Anhang G*). In der Kontrastbedingung waren die einzelnen Objekte wieder anhand eines Fotos zu identifizieren. Dieses zeigte jeweils denselben Ausschnitt der Realität, und derselbe Pfeil zeigte auf das relevante Objekt, wie bei der Anleitung mit Kamerafahrt+Immersion (siehe *Abb. 7.9*).

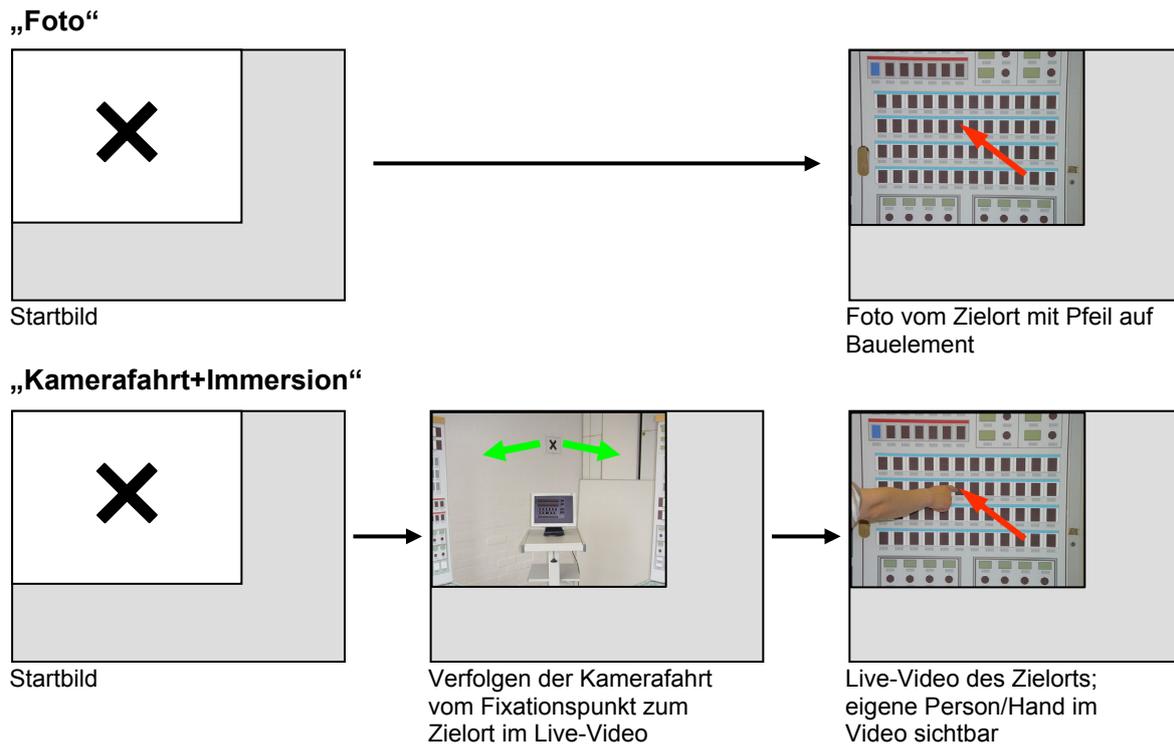


Abb. 7.9: Anleitungsarten im Versuchsteil Feinorientierung

Die Foto- und Kamerabedingung waren pro Versuchsteil demnach informationsgleich. Sie unterschieden sich nur hinsichtlich der Interaktionsmöglichkeit. In *Abb. 7.10* ist ein Proband bei der Ausführung der Feinorientierungsaufgaben abgebildet. Im Foto ist dargestellt, wie er ein Objekt als Ziel erkannt hat und über das Monitorbild mittels des teilweisen Immersionseffektes überprüft, ob es tatsächlich das instruierte Zielobjekt ist. *Abb. 7.11* zeigt am Beispiel eines Fotos vom Monitorbild den teilweisen Immersionseffekt noch einmal deutlich.



Abb. 7.10: Versuchsperson beim Ausführen der Versuchsaufgaben

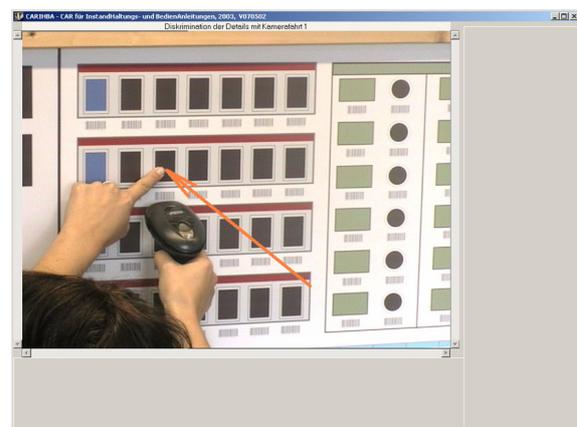


Abb. 7.11: Teilweiser Immersionseffekt beim Ausführen der Versuchsaufgaben

Tab. 7.2 fasst zusammen, welche Versuchsbedingungen realisiert wurden. Der Versuchsteil Groborientierung wurde nicht separat mit Kamerafahrt+Immersion bearbeitet, da die Feinori-

entierungsaufgaben mit Kamerafahrt+Immersion zunächst auch die Identifizierung einer Baugruppe, also die Groborientierung, verlangen, ehe innerhalb dieser Baugruppe das relevante Bauelement identifiziert wird. Demzufolge lassen sich implizit auch Aussagen über eine evtl. Verbesserung der Groborientierung durch die Hinzunahme des Immersionseffektes machen.

Die Feinorientierungsaufgaben nur mit Unterstützung durch die Kamerafahrt zu bearbeiten, wurde nicht zuletzt aus versuchsökonomischen Gründen als wenig sinnvoll erachtet. Denn letztlich würde es im Praxiseinsatz von CARIHBA keinen Sinn machen, auf den bereits deutlich gewordenen Vorteil, den die Immersion für das zweifelsfreie Identifizieren eines Zielobjekts bietet, zu verzichten.

	Groborientierung	Feinorientierung
Kamerafahrt	x	
Kamerafahrt+Immersion		x
Foto	x	x

Tab. 7.2: Umgesetzte Versuchsbedingungen

Jeder Proband bearbeitete alle vier Blöcke, beginnend mit den Aufgaben zur Groborientierung. Innerhalb der beiden Versuchsteile wurde jedoch randomisiert, mit welchem Block, d.h. mit welcher Anleitungsart begonnen wurde. Die Hälfte der Probanden startete die Groborientierung mit der Foto-Anleitung und die Feinorientierung mit der Kamera-Anleitung. Die andere Hälfte begann entsprechend mit der Kamera-Bedingung im ersten Versuchsteil und der Foto-Bedingung im zweiten Versuchsteil. Auf diese Weise sollte ein Einfluss eventueller Ermüdungseffekte ausgeschlossen werden.

Damit keine identischen Aufgaben mit Kamera- und Foto-Anleitung innerhalb eines Versuchsteils bearbeitet wurden, lag jede Anleitungsart in zwei Parallelversionen vor („Kamera 1“ bzw. „Kamera 2“ sowie „Foto 1“ bzw. „Foto 2“). Kamera 1 und Foto 1 enthielten identische Aufgaben in identischer Reihenfolge. Gleiches galt für Kamera 2 und Foto 2. Kamera 1 und Kamera 2 bzw. Foto 1 und Foto 2 unterschieden sich insofern voneinander, dass zwar Aufgaben derselben Schwierigkeit gestellt wurden, aber dafür jeweils andere Objekte als Zielort dienten. Lag in Version 1 eine bestimmte Ziel-Baugruppe auf der linken Wandfläche, war sie in Version 2 auf der rechten Wandfläche sowie i.d.R. an einer anderen Stelle innerhalb der Wandfläche zu finden. Im Feinorientierungs-Teil war zusätzlich ein anderes Teil innerhalb dieser Baugruppe zu suchen. Außerdem wurde die Reihenfolge der Schritte in beiden Versionen variiert.

Beispiel: Wenn eine VP bei der Groborientierung mit der Kombination Foto 1/Kamera 2 arbeitete, war die Reihenfolge der Medien bei der Feinorientierung Kamera 2/Foto 1. Zwischen den Versuchsteilen wurde also nur die Reihenfolge der Medien, nicht aber die Version pro Medium gewechselt. Arbeitete man bei der Groborientierung mit Foto 1, wurde man auch bei der Feinorientierung durch Foto 1 unterstützt. (siehe *Tab. 7.3*).

Aufgrund der grafischen Abstraktion, der Vielzahl der Baugruppen und der Wiederholung der Baugruppen auf den einzelnen Platten war ein Lerneffekt dahingehend ausgeschlossen, dass nur anhand des Fotos oder Kamerabildes auf dem Monitor im Laufe des Versuchs irgendwann wieder erkannt werden konnte, ob ein Objekt z.B. auf der linken oder rechten Seite zu finden war.

	GO F1/K2	FO K2/F1	GO F2/K1	FO K1/F2	GO K1/F2	FO F2/K1	GO K2/F1	FO F1/K2	Σ
geringe r.V.	n=2		n=3		n=2		n=3		n=10
hohe r.V.	n=2		n=3		n=2		n=3		n=10

Tab. 7.3: Verteilung der Versuchspersonen auf die Anleitungsarten und –versionen (GO = Groborientierung, FO = Feinorientierung; F = Foto, K= Kamera)

Vor den Versuchsaufgaben fand ein Training statt, in dem jede der vier Versuchsbedingungen geübt wurde. Die Probanden gewöhnten sich erneut an die Sprachsteuerungs-Simulation, lernten die Handhabung des Scanners, das Rückkehren zum Ausgangspunkt nach jedem bearbeiteten Teilschritt. Es wurde eingeübt, welche Stellung sie zur Kamera einnehmen mussten, um unerwünschte Verdeckungen des Live-Videos bei der Feinorientierung zu vermeiden, wenn mit Kamerafahrt+Immersion gearbeitet wurde. Für die Trainingsaufgaben gab es separate Poster mit Baugruppen, die nicht in den eigentlichen Versuchsaufgaben verwendet wurden.

Die Platten für Tische und Wände wurden zwischen den Versuchsteilen ausgetauscht. Sie unterschieden sich aber nur darin, dass im Versuchsteil Groborientierung jeder Baugruppe ein Code zugeordnet war, wohingegen im Versuchsteil Feinorientierung jedes einzelne Element innerhalb der Baugruppen einen eigenen Code hatte (siehe *Abb. 7.12*).

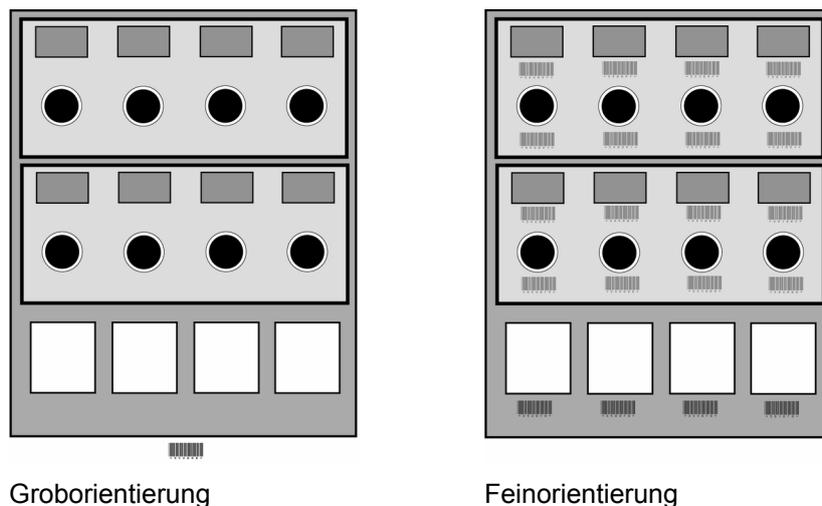


Abb. 7.12: Barcodes bei Grob- und Feinorientierung

Abhängige und unabhängige Variablen

Sowohl bei der Grob- als auch bei der Feinorientierung wurden folgende unabhängige Faktoren variiert bzw. abhängige Variablen erfasst:

Unabhängige Variablen:

- Anleitungsart (Foto vs. Kamera),
- räumliche Fähigkeit (gering vs. hoch),
- Aufgabenschwierigkeit (einfach vs. schwierig).

Abhängige Variablen:

- Fehler,
- Bearbeitungszeit.

Jeder Versuchsteilnehmer füllte zudem einen Nachbefragungsbogen aus, in dem u.a. die subjektiv erlebte Schwierigkeit der vier bearbeiteten Versuchsblöcke sowie die erlebte Sicherheit, mit der in den Foto- bzw. Kamerabedingungen die Scanvorgänge ausgeführt wurden, zu beurteilen waren. Die Urteile wurden jeweils mittels einer Rating-Skala getroffen.

7.3. HYPOTHESEN

7.3.1. Fehler

Anleitungsart

Hypothese 1:

Die Unterstützung der Groborientierung durch die Kamerafahrt führt zu weniger Fehlern im Vergleich zur Foto-Anleitung.

Hypothese 2:

Die Unterstützung der Feinorientierung durch Kamerafahrt+Immersion reduziert die Fehler, verglichen mit der Foto-Anleitung; theoretisch ist eine Fehlerzahl von Null zu erwarten.

Hypothese 3:

Der zusätzlich zur Kamerafahrt erlebbare Immersionseffekt führt zu weniger Lokalisationsfehlern (falsche Baugruppen werden als Ziel erkannt) als die alleinige Kamerafahrt. Theoretisch ist eine Fehlerzahl von Null zu erwarten hinsichtlich der Identifikation der instruierten Baugruppen durch den Immersionseffekt.

räumliches Vorstellungsvermögen

Hypothese 4:

Bei der Arbeit mit der Foto-Anleitung unterlaufen Personen mit geringem räumlichem Vorstellungsvermögen mehr Fehler als Personen mit hohem räumlichem Vorstellungsvermögen.

Hypothese 5:

In den Bedingungen Kamerafahrt sowie Kamerafahrt+Immersion bestehen keine Unterschiede hinsichtlich der Fehlerzahl zwischen Personen mit geringem und hohem räumlichem Vorstellungsvermögen. Bei Kamerafahrt+Immersion ist sogar zu erwarten, dass beide Personengruppen null Fehler begehen (vgl. Hypothese 2).

Aufgabenschwierigkeit

Hypothese 6:

Bei schwierigen Aufgaben treten bei der Arbeit mit den Foto-Anleitungen mehr Fehler auf als bei einfachen Aufgaben, v.a. bei der Feinorientierung.

Hypothese 7:

Bei der Unterstützung durch die Kamerafahrt bzw. durch Kamerafahrt+Immersion unterscheiden sich die Fehlerzahlen zwischen einfachen und schwierigen Aufgaben nicht. Speziell bei der Feinorientierung mit Kamerafahrt+Immersion wird auch bei schwierigen Aufgaben eine Fehlerrate von Null erwartet (vgl. Hypothese 2).

7.3.2. Bearbeitungszeit

Anleitungsart

Hypothese 8:

Die Unterstützung der Groborientierung durch die Kamerafahrt führt zu kürzeren Bearbeitungszeiten im Vergleich zur Foto-Bedingung.

Hypothese 9:

Bei der Feinorientierung ist hinsichtlich der Bearbeitungszeit kein Unterschied zwischen den Hilfsmitteln Kamerafahrt+Immersion sowie Foto zu erwarten.

(Durch die Nutzung des Immersionseffektes für das eindeutige Identifizieren des Zielortes verlängert sich die Suchzeit in der Kamera-Bedingung. Sie sollte entweder gleich groß oder sogar größer sein als in der Foto-Bedingung, bei der aufgrund der Notwendigkeit des Abzählens von Elementen bei großen Baugruppen mit vielen ähnlichen oder identischen Bauelementen die Suchzeiten ebenfalls hoch sein sollten. Wie bereits in den vorangegangenen Benutzertests beim Szenario „Inbetriebnahme der Adiro-Anlage“ zu beobachten war, verlängert sich die Bearbeitungszeit bei konsequenter Nutzung des Immersionseffektes, dies aber zu Gunsten der Fehler.)

räumliches Vorstellungsvermögen

Hypothese 10:

Personen mit geringem räumlichem Vorstellungsvermögen haben längere Suchzeiten in der Foto-Bedingung, verglichen mit Personen mit hohem räumlichem Vorstellungsvermögen.

Hypothese 11:

In den Bedingungen Kamerafahrt sowie Kamerafahrt+Immersion sollten keine Unterschiede hinsichtlich der Bearbeitungszeiten zwischen Personen mit geringem und hohem räumlichem Vorstellungsvermögen auftreten.

Aufgabenschwierigkeit

Hypothese 12:

Schwierige Aufgaben führen zu längeren Suchzeiten in der Foto-Bedingung als einfache Aufgaben.

Hypothese 13:

In den Kamera-Bedingungen sollten keine Unterschiede in den Suchzeiten zwischen einfachen und schwierigen Aufgaben bestehen.

7.4. ERGEBNISSE

Zunächst wurde überprüft, ob sich die Randomisierung der Versuchsbedingungen (vgl. *Tab. 7.3, Kap. 7.2.3*) in der gewünschten Weise ausgewirkt hat, d.h. ob Lerneffekte vermieden werden konnten. Dazu wurden pro Anleitungsvariante, z.B. Foto 1, die Zeit- und Fehlerwerte der Probanden verglichen, die innerhalb eines Blocks mit Foto 1 begonnen hatten, und der Probanden, die in diesem Block zuerst mit der Kameraunterstützung und dann mit Foto 1 gearbeitet hatten. Dieser Vergleich wurde für alle Anleitungsarten in den beiden Versuchsteilen Grob- und Feinorientierung wiederholt. Es zeigten sich keine systematischen Effekte. In den meisten Fällen unterschieden sich Zeiten und Fehler nicht. In einigen Fällen war die Zeit kürzer oder die Fehlerzahl geringer, wenn eine Anleitungsvariante das zweite Hilfsmittel in einem Block war. Es war aber auch das umgekehrte Muster zu beobachten. Insofern kann zusammengefasst werden, dass durch die Randomisierung Lerneffekte verhindert wurden. Im Folgenden werden nun die Ergebnisse der Versuche vorgestellt.

7.4.1. Fehler

Unabhängige Variable 1: Hilfsmittel

Insgesamt sind über alle Versuchsbedingungen betrachtet 42 Fehler aufgetreten. Dies entspricht bei einer Anzahl von 2000 Versuchshandlungen (25 Trials pro Block x 4 Blöcke x 20 Vpn) einer Gesamtfehlerrate von 2.1%. *Tab. 7.4* zeigt, wie sich die Fehler auf die beiden Versuchsteile Grob- und Feinorientierung in Abhängigkeit von den Hilfsmitteln verteilen.

	Groborientierung		Feinorientierung
Foto	19	Foto	20
Kamerafahrt	3	Kamerafahrt+Immersion	0

Tab. 7.4: Fehlerzahl bei Grob- und Feinorientierung nach Anleitungsart

Groborientierung:

Bei der Groborientierung bestand in 19 Fällen der Fehler darin, dass eine Baugruppe als Ziel erkannt wurde, die zwar gleich aussah wie die in der Anleitung gezeigte, aber auf der falschen Tisch- oder Wandfläche war. Diese Fehlerart ließ sich 18 Mal bei Verwendung der Foto-Anleitung beobachten und ein Mal bei der Unterstützung durch die Kamerafahrt. Ein anderer Fehler kam dadurch zustande, dass eine falsche, aber gleich aussehende Baugruppe auf der richtigen Tisch- oder Wandfläche als Ziel identifiziert wurde. Dieser Fehler trat in der Kamera-Bedingung auf. In zwei Fällen wurde eine ähnlich aussehende Baugruppe auf der falschen Tisch- oder Wandfläche als Ziel eingescannt, dies sowohl ein Mal mit Foto- und ein Mal mit Kamera-Anleitung.

Die Anzahl der Fehler ist in der Foto-Bedingung signifikant höher als bei der Kamera-Unterstützung (Foto: $MW=0.48$, $SD=0.88$; Kamerafahrt: $MW=0.08$, $SD=0.27$; $F(1)=7.78$, $p<.01$).

Hypothese 1 ist somit bestätigt: Die Unterstützung der Groborientierung durch die Kamerafahrt führt zu weniger Fehlern im Vergleich zur Foto-Bedingung.

Feinorientierung:

Bei der Feinorientierung traten nur bei der Foto-Anleitung Fehler auf. Die Arbeit mit Kamerafahrt+Immersion als Hilfsmittel führte zu einer Null-Fehler-Rate. Die Mehrzahl der Fehler in der Foto-Bedingung (x=15) sind Lokalisationsfehler, d.h. eine gleich aussehende Baugruppe wird auf der richtigen oder auf der falschen Tisch- oder Wandfläche aufgesucht, oder entsprechend eine ähnlich aussehende Baugruppe. Handelt es sich um eine falsche, aber gleich aussehende Baugruppe, lässt sich innerhalb dieser das per Pfeil markierte Element finden, ohne dass die Versuchsperson den Fehler bemerken müsste. Bei ähnlich aussehenden Baugruppen ist die Wahrscheinlichkeit größer zu bemerken, dass man an der falschen Stelle sucht. Fünf Fehler im Versuchsteil Feinorientierung sind Diskriminationsfehler, d.h. ein falsches Element innerhalb der richtigen Baugruppe wurde als Ziel identifiziert. Diese fünf Fehler wurden von den beiden Versuchspersonen mit dem geringsten und dem drittgeringsten Wert im Test zum räumlichen Vorstellungsvermögen gemacht.

Auch hier ist der Unterschied zwischen den beiden Anleitungsarten statistisch bedeutsam (Foto: $MW=0.50$, $SD=1.18$; Kamerafahrt: $MW=0.00$, $SD=0.00$; $F(1)=8.07$, $p<.01$).

Demnach ist auch Hypothese 2 anzunehmen: Die Unterstützung der Feinorientierung durch Kamerafahrt+Immersion führt zu weniger Fehlern im Vergleich zur Foto-Bedingung. Theoretisch ist eine Fehlerzahl von Null zu erwarten.

Es wird weiterhin deutlich, dass sich die wenigen Fehler, die den Versuchspersonen bei der Groborientierung mit Unterstützung durch die Kamerafahrt unterlaufen sind, gänzlich vermeiden lassen, wenn auch der Immersionseffekt zum Lokalisieren von Baugruppen genutzt werden kann. Das bedeutet, dass sich auch Hypothese 3 bestätigen lässt: Der zusätzlich zur Kamerafahrt erlebbare Immersionseffekt führt zu weniger Lokalisationsfehlern (falsche Baugruppen werden als Ziel erkannt) als die alleinige Kamerafahrt. Theoretisch ist eine Fehlerzahl von Null zu erwarten hinsichtlich der Identifikation der instruierten Baugruppen durch den Immersionseffekt.

Unabhängige Variable 2: Räumliches Vorstellungsvermögen

Tab. 7.5 fasst zusammen, wie sich die Fehler in Abhängigkeit von räumlichem Vorstellungsvermögen und Hilfsmittel verteilen. Bei Versuchspersonen mit geringen Werten im Test zum räumlichen Vorstellungsvermögen treten mehr Fehler auf als bei hoher räumlicher Vorstellungskraft.

	Groborientierung			Feinorientierung	
	r.V. gering	r.V. hoch		r.V. gering	r.V. hoch
Foto	15	4	Foto	17	3
Kamerafahrt	1	2	Kamerafahrt +Immersion	0	0

Tab. 7.5: Fehlerzahl bei Grob- und Feinorientierung nach räumlichem Vorstellungsvermögen

Groborientierung:

Die Fehler passierten v.a. bei der Foto-Anleitung. Personen mit geringer räumlicher Vorstellungskraft machten fast vier Mal so viele Fehler wie Personen mit sehr gutem räumlichem Vorstellungsvermögen. Bei der Unterstützung durch die Kamerafahrt ist kein Unterschied zwischen den beiden Personengruppen festzustellen.

Tendenziell wurden mehr Fehler von Personen begangen, deren räumliche Vorstellungskraft gering ist (r.V. gering: $\underline{MW}=0.40$, $\underline{SD}=0.84$; r.V. hoch: $\underline{MW}=0.15$, $\underline{SD}=0.43$; $\underline{F}(1)=3.04$, $\underline{p}<.10$). Die Interaktion zwischen Hilfsmittel und räumlichem Vorstellungsvermögen ist signifikant ($\underline{p}<.05$) (siehe *Abb. 7.13*).

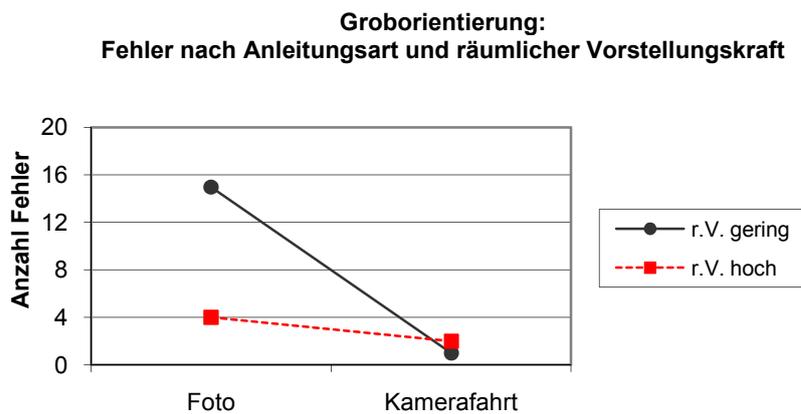


Abb. 7.13: Interaktion von Anleitungsart und räumlicher Vorstellungskraft bei der Groborientierung

Feinorientierung:

Bei der Feinorientierung traten Fehler ausschließlich mit Foto-Unterstützung auf, und zwar hauptsächlich bei den Versuchspersonen, deren räumliche Vorstellungskraft gering war. Kamerafahrt+Immersion führten bei beiden Versuchspersonengruppen, egal ob geringes oder hohes räumliches Vorstellungsvermögen, zu einer Fehlerrate von null (siehe *Abb. 7.14*).

Der Unterschied zwischen beiden Personengruppen ist signifikant (r.V. gering: $\underline{MW}=0.43$, $\underline{SD}=1.18$; r.V. hoch: $\underline{MW}=0.08$, $\underline{SD}=0.27$; $\underline{F}(1)=3.96$, $\underline{p}=.05$). Die Interaktion mit der Anleitungsart (siehe *Abb. 7.12*) ist ebenfalls signifikant ($\underline{p}<.05$).

Damit kann Hypothese 4 angenommen werden: Bei der Arbeit mit der Foto-Anleitung unterlaufen Personen mit geringem räumlichem Vorstellungsvermögen mehr Fehler als Personen mit hohem räumlichem Vorstellungsvermögen.

Gleiches gilt für Hypothese 5: In den Bedingungen Kamerafahrt sowie Kamerafahrt+Immersion bestehen keine Unterschiede hinsichtlich der Fehlerzahl zwischen Personen mit geringem und hohem räumlichem Vorstellungsvermögen.

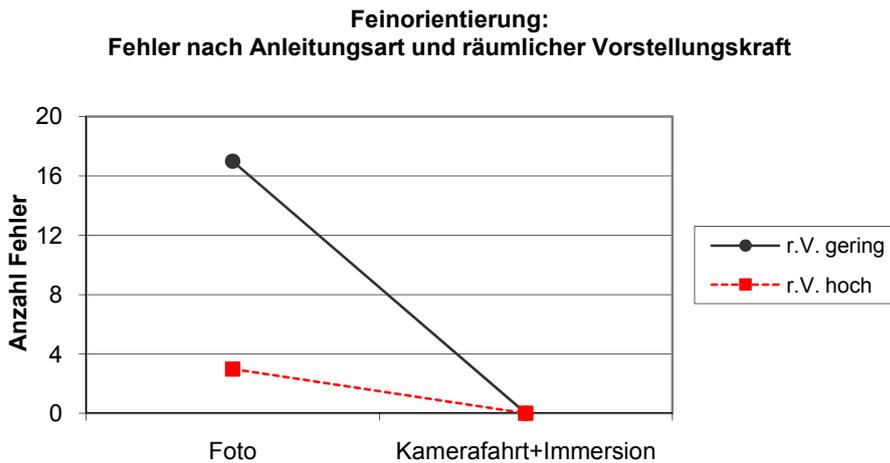


Abb. 7.14: Interaktion von Anleitungsart und räumlicher Vorstellungskraft bei der Feinorientierung

UV3: Aufgabenschwierigkeit

Schwierige Aufgaben führen verglichen mit einfachen Aufgaben zu mehr Fehlern, und zwar v.a. bei der Feinorientierung. Dies zeigt *Tab. 7.6*.

	Groborientierung			Feinorientierung	
	leicht	schwer		leicht	schwer
Foto	10	9	Foto	4	16
Kamerafahrt	1	2	Kamerafahrt +Immersion	0	0

Tab. 7.6: Fehlerzahlen nach Aufgabenschwierigkeit und Anleitungsart

Groborientierung:

In diesem Versuchsteil unterscheiden sich die Fehlerzahlen zwischen leichten und schwierigen Aufgaben innerhalb einer Anleitungsart kaum. Jedoch sind sie bei der Foto-Anleitung deutlich höher als bei der Unterstützung durch die Kamerafahrt.

Feinorientierung:

Angeleitet durch Kamerafahrt+Immersion wurden selbst schwierige Objekte immer fehlerfrei identifiziert. Mit dem Foto als Hilfsmittel unterliefen den Probanden bei einfachen Aufgaben vier Fehler, bei schwierigen Aufgaben vervierfachte sich die Fehlerzahl.

Der Faktor Aufgabenschwierigkeit führt demnach in diesem Versuchsteil tendenziell zu mehr Fehlern bei schwierigen Aufgaben (einfach: $MW=0.10$, $SD=0.34$; r.V. schwierig: $MW=0.40$, $SD=1.17$; $F(1)=2.91$, $p<.10$). Hier gibt es eine Interaktion mit dem Hilfsmittel, die in der Tendenz signifikant ist ($p<.10$). Der Unterschied in den Fehlerzahlen zwischen leichten und schweren Aufgaben ist bei der Foto-Anleitung größer als bei der Unterstützung durch Kame-

rafahrt+Immersion. Bei letzterem Hilfsmittel gibt es keinen Unterschied zwischen den beiden Schwierigkeitsstufen (siehe *Abb. 7.15*).

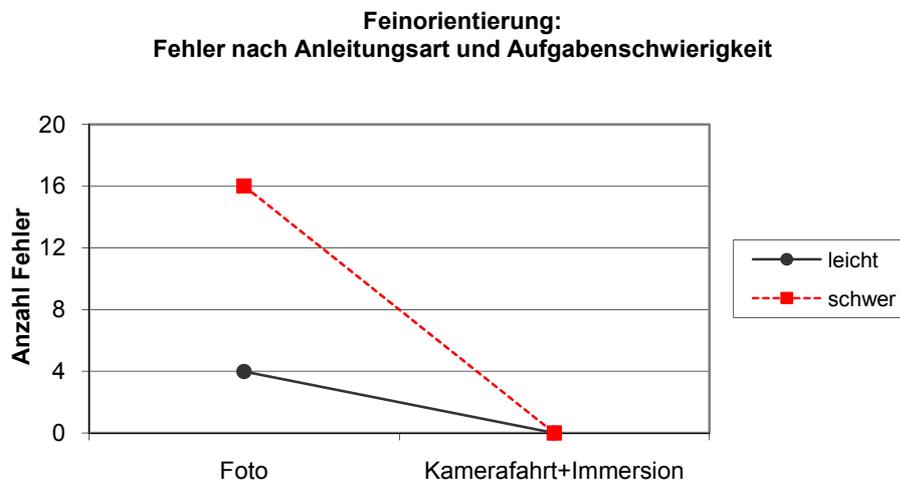


Abb. 7.15: Fehlerzahl Feinorientierung: Interaktion von Anleitungsart und Aufgabenschwierigkeit

Somit findet sich auch Bestätigung für Hypothese 6 („Bei schwierigen Aufgaben treten bei der Arbeit mit den Foto-Anleitungen mehr Fehler auf als bei einfachen Aufgaben, v.a. bei der Feinorientierung.“) und Hypothese 7 („Bei der Unterstützung durch die Kamerafahrt bzw. durch Kamerafahrt+Immersion unterscheiden sich die Fehlerzahlen zwischen einfachen und schwierigen Aufgaben nicht. Speziell bei der Feinorientierung mit Kamerafahrt+Immersion wird auch bei schwierigen Aufgaben eine Fehlerrate von Null erwartet.“).

Abb. 7.16 und *Abb. 7.17* verdeutlichen abschließend, wie sich die Fehlerzahlen in den Versuchsteilen Grob- und Feinorientierung verhalten, betrachtet man jeweils alle drei Faktoren des Versuchsdesigns (Hilfsmittel, räumliche Vorstellungskraft, Aufgabenschwierigkeit) in ihrem Zusammenspiel. Bei der Foto-Anleitung treten jeweils mehr Fehler auf als bei Unterstützung durch die Kamera, und zwar v.a. bei Personen mit geringem räumlichem Vorstellungsvermögen, und hier insbesondere bei schwierigen Aufgaben.

Eine Regressionsanalyse wurde durchgeführt, um den Vorhersagewert der Prädiktoren Hilfsmittel, räumliche Vorstellungskraft und Aufgabenschwierigkeit auf das Kriterium Fehler zu bestimmen. Alle Prädiktoren wurden gleichzeitig in das Modell aufgenommen. Bei ihnen handelt es sich jeweils um 0/1-Variablen, d.h. um nominalskalierte Variablen, die in zwei Ausprägungen vorliegen (vgl. Brosius, 2006). Die Fehler aus den beiden Versuchsteilen Grob- und Feinorientierung wurden gemeinsam in einer Analyse betrachtet. Die Regressions-schätzung erklärt insgesamt nur einen kleinen Teil der Streuung der aufgetretenen Fehler ($R^2=0.20$). Das Regressionsmodell ist dennoch signifikant, $F(3)=6.31$, $p<.01$. Der Prädiktor Hilfsmittel leistet dabei den größten Erklärungsbeitrag ($Beta=-.34$). D.h. der Wechsel von der Foto- zur Kameraunterstützung führt zu einer signifikanten Reduzierung der Fehler, $T(3)=-3.33$, $p<.01$. Das räumliche Vorstellungsvermögen besitzt das zweitgrößte Gewicht zur Vorhersage ($Beta=-.26$, $T(3)=-2.55$, $p<.05$). Keine Vorhersage lässt sich anhand der Aufgabenschwierigkeit treffen ($Beta=.12$).

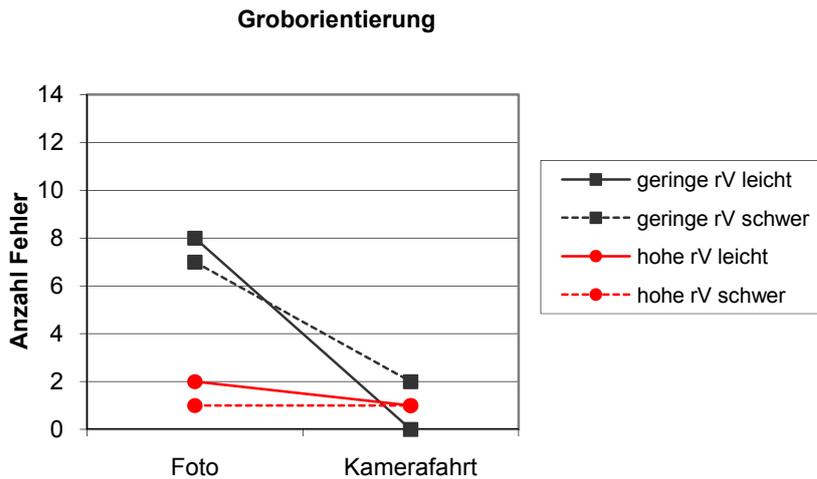


Abb. 7.16: Fehlerzahl nach Hilfsmittel, räumlicher Vorstellungskraft und Aufgabenschwierigkeit bei der Groborientierung

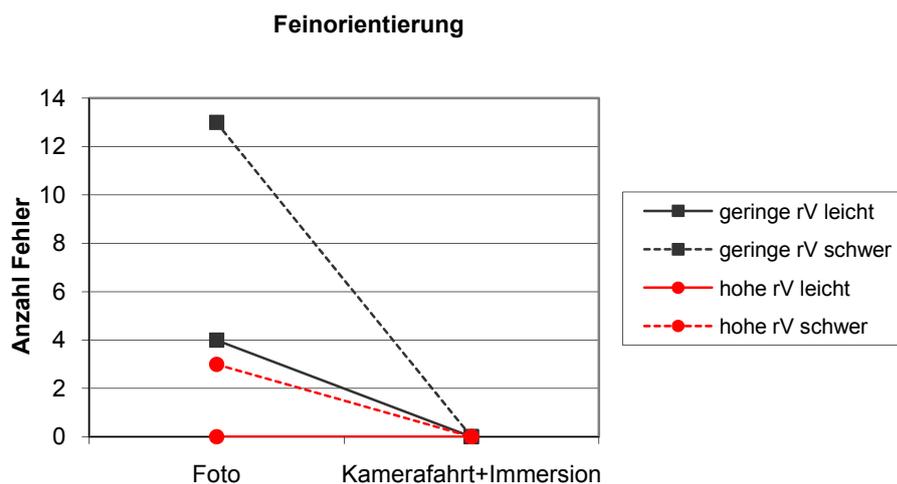


Abb. 7.17: Fehlerzahl nach Hilfsmittel, räumlicher Vorstellungskraft und Aufgabenschwierigkeit bei der Feinorientierung

7.4.2. Bearbeitungszeit

Groborientierung:

Tab. 7.7 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen der Bearbeitungszeiten in Abhängigkeit vom Hilfsmittel, dem räumlichen Vorstellungsvermögen und der Aufgabenschwierigkeit in diesem Versuchsteil.

Die Unterstützung der Groborientierung durch die Kamerafahrt resultierte darin, dass die Aufgaben deutlich schneller ausgeführt wurden als mit der Foto-Anleitung, und zwar signifikant ($F(1)=41.79, p<.01$). Dies bestätigt Hypothese 8: Die Unterstützung der Groborientierung durch die Kamerafahrt führt zu kürzeren Bearbeitungszeiten im Vergleich zur Foto-Bedingung.

Foto				Kamerafahrt			
geringes r.V.		hohes r.V.		geringes r.V.		hohes r.V.	
leicht	schwer	leicht	schwer	leicht	schwer	leicht	schwer
105.1 (23.3)	119.9 (23.5)	100.5 (18.1)	130.2 (20.7)	84.9 (10.1)	94.0 (14.8)	83.1 (6.0)	95.4 (9.7)
112.5 (24.0)		115.3 (24.3)		89.5 (13.2)		89.3 (10.1)	
113.9 (23.9)				89.4 (11.6)			

Tab. 7.7: Groborientierung: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bearbeitungszeiten

Das räumliche Vorstellungsvermögen wirkt sich dabei nicht auf die Zeiten aus, weder mit der Foto-Anleitung noch mit der Unterstützung durch die Kamerafahrt. Hypothese 10 („Personen mit geringem räumlichem Vorstellungsvermögen haben längere Suchzeiten in der Foto-Bedingung, verglichen mit Personen mit hohem räumlichem Vorstellungsvermögen.“) muss also verworfen werden.

Die Bearbeitungszeit ist bei schwierigen Aufgaben signifikant länger als bei einfachen Aufgaben (einfach: $MW=93.40$, $SD=18.05$; schwer: $MW=109.87$, $SD=23.34$; $F(1)=18.85$, $p<.01$). Dabei spielt es keine Rolle, ob mit der Foto-Anleitung oder mit Unterstützung durch die Kamerafahrt gearbeitet wurde (siehe *Abb. 7.18*).

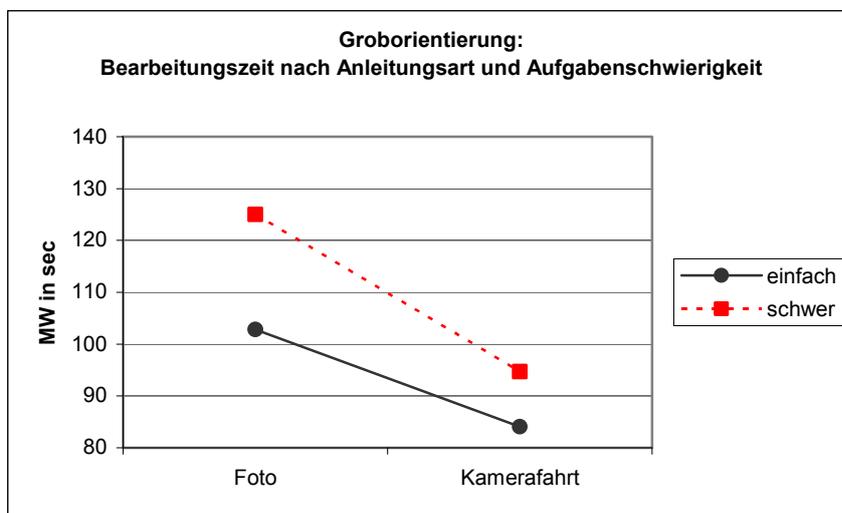


Abb. 7.18: Groborientierung: Bearbeitungszeit nach Hilfsmittel und Aufgabenschwierigkeit

Feinorientierung:

Die Bearbeitung der Aufgaben in diesem Versuchsteil dauerte bei beiden Anleitungstypen gleich lange (siehe *Tab. 7.8* für Mittelwerte und Standardabweichungen der Bearbeitungszeit bei der Feinorientierung). Das Verfolgen der Kamerafahrt und v.a. die Nutzung des Immersionseffektes nahmen Zeit in Anspruch, die sich nicht von der unterscheidet, die bei der Arbeit mit der Foto-Anleitung benötigt wurde. Dies belegt die Gültigkeit von Hypothese 9: Bei der Feinorientierung ist kein Unterschied zwischen beiden Anleitungstypen hinsichtlich der Bearbeitungszeit zu erwarten.

Foto				Kamerafahrt+Immersion			
geringes r.V.		hohes r.V.		geringes r.V.		hohes r.V.	
leicht	schwer	leicht	schwer	leicht	schwer	leicht	schwer
113.2 (22.4)	127.5 (25.2)	119.0 (20.4)	139.3 (20.2)	112.1 (13.1)	134.1 (12.8)	120.6 (12.8)	129.9 (13.4)
120.3 (24.3)		129.1 (22.3)		127.6 (14.3)		125.2 (13.6)	
124.7 (23.5)				126.4 (13.8)			

Tab. 7.8: Feinorientierung: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bearbeitungszeiten

Die Bearbeitungszeit ist wiederum nicht von der räumlichen Vorstellungskraft beeinflusst. Hypothese 11 kann also ebenfalls angenommen werden: In den Bedingungen Kamerafahrt sowie Kamerafahrt+Immersion sollten keine Unterschiede hinsichtlich der Bearbeitungszeiten zwischen Personen mit geringem und hohem räumlichen Vorstellungsvermögen auftreten.

Der Einfluss der Aufgabenschwierigkeit zeigt sich erneut. Schwierige Aufgaben nehmen deutlich mehr Zeit in Anspruch, unabhängig vom Hilfsmittel (einfach: $MW=118.41$, $SD=17.32$; schwer: $MW=132.67$, $SD=18.42$; $F(1)=12.35$, $p<.01$). Dies bestätigt die Hypothese 12: Schwierige Aufgaben führen zu längeren Suchzeiten in der Foto-Bedingung als einfache Aufgaben. Hypothese 13 hingegen („In den Kamera-Bedingungen sollten keine Unterschiede in den Suchzeiten zwischen einfachen und schwierigen Aufgaben bestehen.“) ist zu verwerfen. *Abb. 7.19* stellt die Bearbeitungszeiten bei der Feinorientierung in Abhängigkeit von Hilfsmittel und Aufgabenschwierigkeit dar.

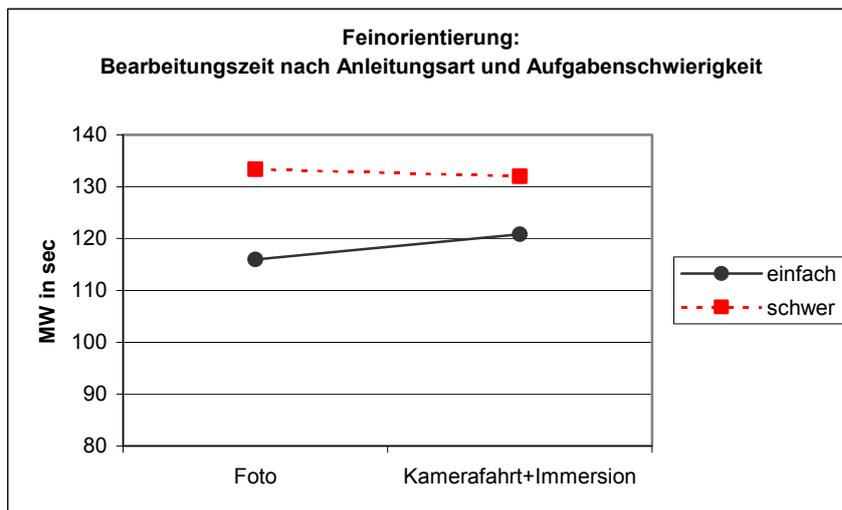


Abb. 7.19: Feinorientierung: Bearbeitungszeit nach Hilfsmittel und Aufgabenschwierigkeit

7.4.3. Subjektives Urteil hinsichtlich Schwierigkeit und Sicherheit

Auf einer vierstufigen Rating-Skala (1=„sehr einfach“, 4=„sehr schwierig“) wurde die Schwierigkeit der Groborientierung mit der Foto-Anleitung mit $MW=2.35$ ($SD=0.75$) als höher beurteilt, verglichen mit der Unterstützung durch die Kamerafahrt. Für diese resultierte im

Mittel ein Wert von $MW=1.30$ ($SD=0.73$), der signifikant unter dem Wert für die Foto-Anleitung liegt ($F(1)=19.95$, $p<.01$) (siehe *Abb. 7.20*).

Die Feinorientierung wird insgesamt gesehen als schwieriger erlebt als die Groborientierung. Bei der Werteverteilung bzgl. der beiden Anleitungstypen findet sich jedoch ein ähnliches Muster. Die Arbeit mit der Foto-Anleitung ($MW=2.83$, $SD=0.63$) wird gegenüber der Unterstützung durch Kamerafahrt+Immersion ($MW=1.63$, $SD=0.58$) als signifikant schwieriger eingestuft ($F(1)=37.70$, $p<.01$) (siehe *Abb. 7.21*).

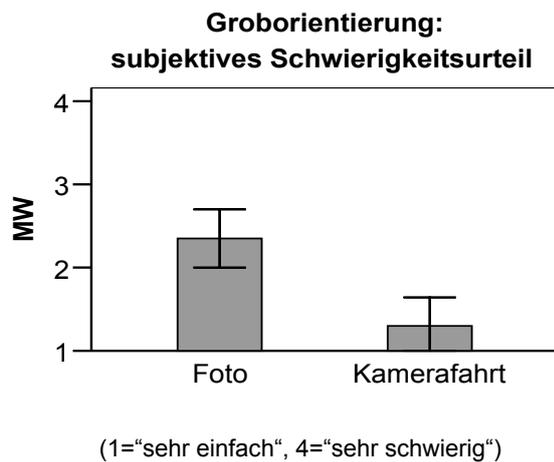


Abb. 7.20: Subjektives Schwierigkeitsurteil bei der Groborientierung

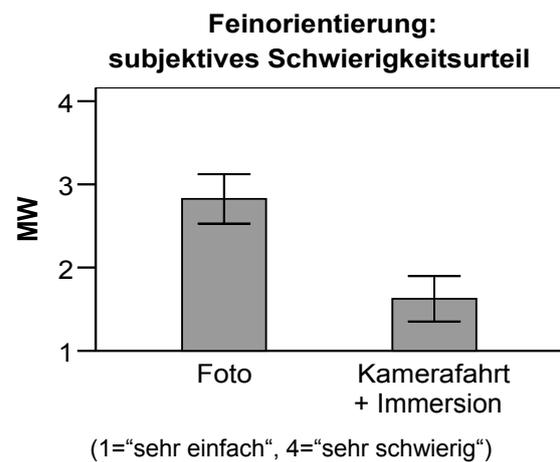
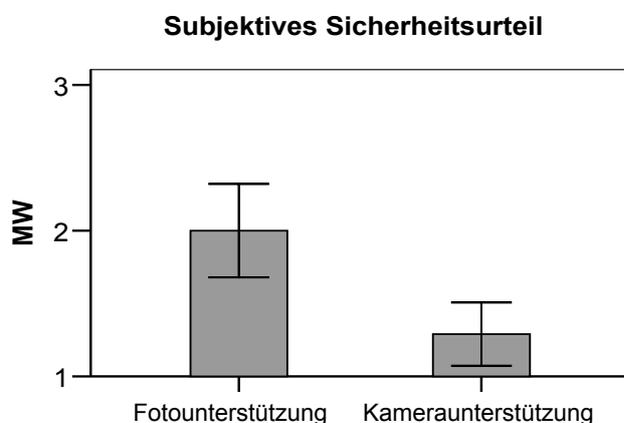


Abb. 7.21: Subjektives Schwierigkeitsurteil bei der Feinorientierung

Die Sicherheit dahingehend, auch die richtige Baugruppe bzw. das richtige Bauelement gefunden zu haben, sollten die Probanden auf einer Rating-Skala von 1 bis 3 einschätzen (1=„immer sicher“, 2=„meistens sicher“, 3=„meistens unsicher“). Diese Sicherheit ist bei der Kameraunterstützung signifikant höher ausgeprägt (Foto: $MW=2.0$, $SD=0.67$; Kamera: $MW=1.29$, $SD=0.45$; $F(1)=14.46$, $p<.01$). Während die Probanden im Durchschnitt angaben, bei der Arbeit mit der Foto-Anleitung meistens sicher gewesen zu sein, lag der Wert bei der Unterstützung durch die Kamera-Anleitung mit $MW=1.29$ deutlich näher an der Einstufung „immer sicher“ (siehe *Abb. 7.22*).



(1=„immer sicher“, 2=„meistens sicher“, 3=„meistens unsicher“)

Abb. 7.22: Sicherheitsurteil der Probanden bei Foto- und Kameraunterstützung

7.5. Zusammenfassung und Diskussion

Die Groborientierung wird durch die Kamerafahrt signifikant verbessert, d.h. es passieren weniger Fehler als mit der Foto-Anleitung, wo es zu sechs Mal so vielen Fehlern kommt. Bei der Feinorientierung führt der Immersionseffekt, der zusätzlich zur Kamerafahrt erlebbar ist, zu einer Null-Fehler-Rate. Das heißt, auch die Groborientierung profitiert von der Immersion, da ja hier nur mit Unterstützung durch die Kamerafahrt einige Fehler auftraten, also drei Mal eine falsche Baugruppe lokalisiert wurde. Zu den meisten Fehlern kommt es bei der Feinorientierung in der Foto-Bedingung. Diese stellt die schwierigste Anforderung für die Versuchspersonen dar.

Eine geringe räumliche Vorstellungskraft hat nur einen Einfluss auf die Fehlerzahl, wenn die Instruktion für die Aufgaben mit Hilfe von Fotos erfolgt. Personen mit geringer Raumvorstellung unterlaufen mit der Foto-Anleitung bei der Feinorientierung mehr Fehler als bei der Groborientierung. Die Fehlerzahl ist dabei signifikant höher als in der Gruppe mit sehr gutem räumlichem Vorstellungsvermögen. Eine Unterstützung entweder durch die Kamerafahrt bei der Groborientierung oder durch Kamerafahrt+Immersion bei der Feinorientierung führt dazu, dass Unterschiede zwischen beiden Personengruppen kompensiert werden, sie also das gleiche Leistungsniveau erreichen. Liegt die Fehlerzahl in der Gruppe der Personen mit geringer räumlicher Vorstellungskraft mit dem Foto als Hilfsmittel bei 15 (Groborientierung) bzw. 17 (Feinorientierung), so liegt sie in derselben Gruppe mit der Kamera als Hilfsmittel nur noch bei 1 (Groborientierung) bzw. sogar 0 (Feinorientierung).

Die Aufgabenschwierigkeit wirkt sich dann auf die Fehler aus, wenn mit Fotos gearbeitet wird und es um die Feinorientierung geht. Schwierige Aufgaben führen hier im Vergleich zu einfachen Aufgaben zu einer Vervierfachung der Fehlerzahl. Bei der Kamera-Unterstützung hat die Aufgabenschwierigkeit keinen Einfluss auf die Fehlerzahl. Sie ist bei einfachen und schwierigen Aufgaben gleich niedrig bzw. sie liegt bei 0, wenn bei der Feinorientierung mit Kamerafahrt+Immersion gearbeitet wird.

Abschließend lässt sich hinsichtlich der Fehlerzahl zusammenfassen, dass bei der Instruktion durch Fotos mehr Fehler entstehen als bei der Kamera-Unterstützung, und zwar insbesondere in der Gruppe mit geringem räumlichem Vorstellungsvermögen und speziell bei schwierigen Aufgaben. Den größten Erklärungsbeitrag für die Vorhersage der Fehler leistet das Hilfsmittel, gefolgt von der räumlichen Vorstellungskraft.

Absolut gesehen sind die Fehlerzahlen auch in der Foto-Bedingung gering. Jedoch muss bei deren Interpretation berücksichtigt werden, dass sie unter Laborbedingungen zustande gekommen sind. Wenn in realen Praxisumgebungen mit den dort typischen Störbedingungen (Lärm, Zeitdruck etc.) gearbeitet wird, wäre zu erwarten, dass mehr Fehler auftreten. Zudem wurden bei der grafischen Nachbildung realer Anlagenelemente nur relativ einfache geometrische Formen umgesetzt. In der Realität ist die Formenvielfalt und schließlich die Schwierigkeit bei deren Unterscheidung wesentlich größer. Nicht zuletzt ist hinsichtlich der Fehlerergebnisse in Betracht zu ziehen, dass im realen Einsatzfall bei vielen Aufgaben bspw. schon die Betätigung nur eines falschen Schalters zu unerwünschten negativen Auswirkungen führen kann.

Geprüft wurde, inwieweit sich die von den Versuchspersonen begangenen räumlichen Fehler in eine bestehende Fehlerklassifikation einordnen lassen. Z.B. kann der Algorithmus zur Unterscheidung der verschiedenen Arten intendierten Verhaltens von Reason (1992) herangezogen werden (siehe *Abb. 7.23*).

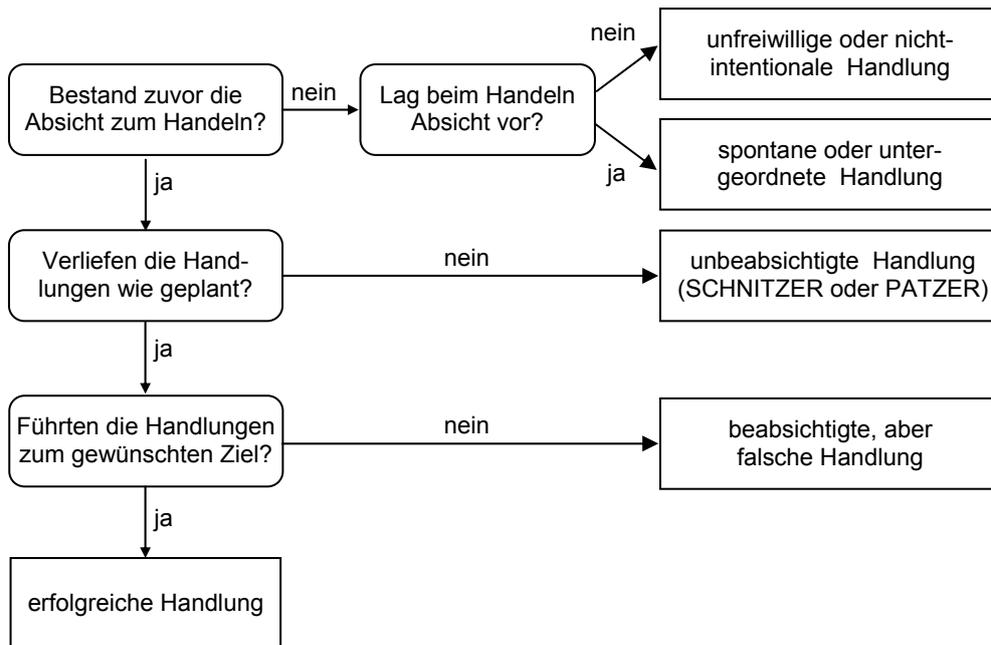


Abb. 7.23: Algorithmus zur Unterscheidung verschiedener Arten intendierten Verhaltens von Reason (1992)

Die Absicht zum Handeln bestand natürlich bei den Versuchspersonen, weshalb es sich um intentionales Verhalten handelt. Die Frage, ob die Handlungen wie geplant verliefen, ist größtenteils mit Ja zu beantworten. In den Fällen, in denen ein Proband ein falsches Objekt einscannte, das er als das Zielobjekt identifiziert hatte, resultierte demnach eine beabsichtigte, aber falsche Handlung (= Fehler, mistake). Diese Fehler waren den Personen nicht bewusst. In nur wenigen Fällen ist es zu unbeabsichtigten Handlungen (=Schnitzer/Patzer, slip) gekommen. Dabei wurde zwar zunächst das richtige Zielobjekt gefunden. Nach einem rückversichernden Blick in die Anleitung und einem erneuten Blick auf die Realität wurde dann aber ein falsches Objekt eingescannt, das gleich aussah und direkt neben dem Zielobjekt lag. Diese Schnitzer sind bei der Arbeit mit der Foto-Anleitung aufgetreten. Sie wurden den Versuchspersonen nur z.T. bewusst. Bei der Nutzung des teilweisen Immersionseffektes von CARIHBA konnten Fehlhandlungen, egal ob slips oder mistakes, gänzlich vermieden werden.

Hinsichtlich der Bearbeitungszeit sind ebenfalls deutliche positive Effekte durch die Kamera-Unterstützung zu beobachten. Für die Groborientierung wird durch das Verfolgen der Kamerafahrt im Monitorbild signifikant weniger Zeit für die Aufgabenausführung benötigt als mit der Foto-Anleitung. Bei der Feinorientierung dauert die Arbeit mit beiden Hilfsmitteln gleich lange. Man muss jedoch beachten, dass das Verfolgen der Kamerafahrt und zudem die Nutzung des Immersionseffektes dazu führen, dass bei gleicher Zeit eine Null-Fehler-Rate erreicht wird, wohingegen in der Foto-Bedingung die meisten Fehler in diesem Versuchsteil entstanden sind. Dies unterstützt die in dieser Arbeit vertretene Auffassung, dass bei der Untersuchung der Effizienz von CAR-basierten Instandhaltungshilfsmitteln die Bearbeitungszeit als Erfolgskriterium in den Hintergrund rücken und das Hauptaugenmerk auf der Fehlerzahl liegen sollte.

Das räumliche Vorstellungsvermögen hat keinen Einfluss auf die Bearbeitungszeit. Schwierige Aufgaben benötigen in beiden Versuchsteilen signifikant mehr Zeit. Dabei ist es unerheb-

lich, mit welchem Hilfsmittel gearbeitet wird. Es wurde aber angenommen, dass sich die Aufgabenschwierigkeit bei den durch die Kamera unterstützten Aufgaben nicht auswirken sollte. Der beobachtete Befund lässt sich erklären, indem das Verhalten der Versuchspersonen speziell bei der Feinorientierung mit Kamerafahrt+Immersion näher betrachtet wird. Durch das Verfolgen der Kamerafahrt wurde die relevante Baugruppe zwar immer schnell gefunden. Bei der Identifikation des instruierten Bauelements innerhalb dieser Baugruppe gingen viele Probanden allerdings nach ihren alltäglichen und dadurch eingeübten Strategien für die Suche von Objekten vor, die auf dem Vergleich eines Bildes mit den Objekten in der Realität beruhen. Das heißt, das Live-Video wurde, nachdem die Kamera ihre Fahrt beendet hatte, zunächst wie ein Foto betrachtet. Die Position des relevanten Bauelements innerhalb der Baugruppe wurde i.d.R. bei den schwierigen Aufgaben durch Abzählen identifiziert und mit Blick auf die reale Baugruppe ebenfalls durch Abzählen wieder gefunden. Dieser Prozess nimmt Zeit in Anspruch. Erst danach wurde der Immersionseffekt genutzt und überprüft, ob es sich dabei tatsächlich um das richtige Bauelement handelt, indem mit dem Finger darauf gezeigt und im Live-Video auf dem Monitor geprüft wurde, ob sich der Finger an der markierten Stelle befindet. Andere Versuchsteilnehmer nutzten jedoch den Immersionseffekt gezielt dazu, das relevante Bauelement über die Hand im Videobild auf dem Monitor zu identifizieren, verwarfen also ihre alten Strategien. Dieses Vorgehen hat neben einem geringeren Arbeitsgedächtnisaufwand außerdem den Vorteil, dass weniger Blickwechsel zwischen Monitor und Realität gemacht werden müssen.

Die Probanden selber beurteilten die Aufgabenschwierigkeit bei der Foto-Unterstützung als signifikant höher, sowohl bei Grob- als auch Feinorientierung. Das Sicherheitsempfinden dahingehend, die Aufgabe richtig gelöst zu haben, ist mit Kamera-Unterstützung signifikant höher ausgeprägt. Dies ist ein sehr wichtiger Befund. Mehrere Versuchsteilnehmer berichteten, dass sie durch dieses Sicherheitsgefühl nach jeder bearbeiteten Aufgabe mental mit dieser abschließen und sich somit ganz auf die nächste Aufgabe konzentrieren konnten, wohingegen sie bei der Foto-Anleitung an vielen Stellen nicht sicher waren, die Aufgabe tatsächlich richtig gelöst zu haben. Diese Unsicherheit wurde dann in den nächsten Schritt mit übernommen und zog Aufmerksamkeit von ihm ab.

In den Rückmeldungen zur Arbeit mit dem System bewerteten fast alle Personen die Unterstützung durch die Kamerafahrt bzw. zusätzlich durch die Immersion als sehr angenehm und einfach. Es wäre, so ihre Angaben, sehr schnell zu lernen, wie man sich relativ zur Kamera bewegen muss, um das Monitorbild nicht in unerwünschtem Maße zu verdecken.

8 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit der Evaluation des am IPP der TU Clausthal entwickelten monitorbasierten CAR-Systems CARIHBA. Dabei handelt es sich um ein Informations- und Dokumentationssystem für die technische Instandhaltung. Durch seinen konzeptuell einfachen Aufbau und die Verwendung handelsüblicher Hardware-Komponenten stellt es eine direkt in der Praxis einsetzbare sowie finanziell günstige CAR-Lösung dar. CARIHBA verwendet eine im Raum befestigte Kamera, die ein Live-Video der Umgebung aufnimmt. Das Live-Video wird auf einem Monitor dargestellt und mit virtuellen Informationen überlagert, welche die visuelle Wahrnehmung der Umgebung anreichern und situationsangepasst sind. Das Programm verfügt über eine benutzerorientierte Informationsstruktur, die eine einfache und schnelle Suche nach benötigten Informationen ermöglicht, sowie über intuitiv gestaltete Benutzungsoberflächen.

Die Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit von CARIHBA bezog sich auf den sog. Szenariomodus des Systems. Er versorgt einen Instandhalter mit Schritt-für-Schritt-Bedienungsanleitungen für von ihm in der Informationsstruktur ausgewählte Tätigkeiten. Als Effizienzkriterien wurden die kognitive Zeit, die Fehlerzahl und die Zahl der Blickwechsel zwischen Anleitung und Realität erfasst. Vergleichsbedingung war eine fotobasierte Anleitung namens INTERFACE. Bis auf die Live-Komponente des Videobildes von CARIHBA bzw. das statische Foto von INTERFACE waren beide Instruktionsarten informationsgleich. Eine Stichprobe von 40 Studenten technischer Studiengänge bearbeitete vier der Praxis entnommene Instandhaltungsaufgaben. Die Messungen der kognitiven Zeit ergaben, dass CARIHBA die für das Verständnis der Instruktion und für das Auffinden der Ausführungsorte benötigte Zeit reduziert. Räumliche Fehler, d.h. Fehler bei der Suche nach den instruierten Zielorten, wurden durch die Unterstützung mittels Kamerafahrt und teilweisem Immersionseffekt signifikant verringert. Bei der Arbeit mit der Foto-Anleitung blieben solche räumlichen Fehler zudem signifikant häufiger unbemerkt. Dies traf insbesondere auf Inspektionsaufgaben zu. Die Zahl der Blickwechsel zwischen Anleitung und Realität war geringer, wenn mit CARIHBA gearbeitet wurde. Ein statistisch bedeutsamer Unterschied war nicht zu verzeichnen. Das persönliche Urteil der Benutzer, das in Form einer Benotung abgegeben wurde, fiel für CARIHBA signifikant positiver aus. Personen, die bezüglich ihrer technischen Vorerfahrung als eher unerfahren zu bezeichnen sind, profitierten ebenso wie eher erfahrene Personen von dieser Form der CAR-Unterstützung.

Ein wesentlicher Befund der Gebrauchstauglichkeitstests von CARIHBA war also, dass insbesondere hinsichtlich der Unterstützung der räumlichen Orientierung ein Vorteil gegenüber der statischen Foto-Anleitung besteht. Eine differenziertere Untersuchung der räumlichen Orientierung sollte klären, welchen Einfluss die interaktiven Merkmale des Live-Videos von CARIHBA, d.h. Kamerafahrt und teilweiser Immersionseffekt, auf Grob- und Feinorientierung haben. Je zehn Versuchspersonen mit über- bzw. unterdurchschnittlich ausgeprägtem räumlichem Vorstellungsvermögen führten in einer von realen technischen Anlagen abstrahierten Versuchsumgebung Suchaufgaben nach Baugruppen bzw. einzelnen Bauelementen durch. Neben der räumlichen Vorstellungskraft der Teilnehmer wurde die Aufgabenschwierigkeit variiert. Bei den Groborientierungsaufgaben waren übergeordnete Baugruppen zu identifizieren. Konnten die Versuchspersonen dabei im Live-Video die Kamerafahrt hin zur Zielbaugruppe verfolgen, welche danach als Foto auf dem Monitor angezeigt wurde, waren nur sehr wenige Fehler zu verzeichnen. Erfolgte die Instruktion durch das Foto der Zielbaugruppe, kam es zu deutlich und signifikant mehr Fehlern. Die Feinorientierungsaufgaben zur Identifikation einzelner Bauelemente innerhalb der Baugruppen wurden in der Live-Video-

Bedingung neben der Kamerafahrt zusätzlich durch den teilweisen Immersionseffekt unterstützt. Dies führte zu einer Null-Fehler-Rate, selbst bei einer geringen räumlichen Vorstellungskraft der Teilnehmer und einer hohen Aufgabenschwierigkeit. Bei der Anleitung der Feinorientierungsaufgaben durch Fotos passierten dahingegen signifikant mehr Fehler, und zwar v.a. bei geringem räumlichem Vorstellungsvermögen und schwierigen Aufgaben. Zeitvorteile bei der Suche nach dem Zielobjekt mit Hilfe der Live-Video-Eigenschaften entstanden nur durch die Kamerafahrt. Die Nutzung des Immersionseffektes nahm Zeit in Anspruch, die sich nicht von der Zeit bei Verwendung eines Fotos unterschied.

Mit den hier beschriebenen Ergebnissen konnte gezeigt werden, dass mit CARIHBA ein Hilfsmittel für die Instandhaltung zur Verfügung steht, welches die räumliche Orientierung des Benutzers so zu unterstützen und seine Aufmerksamkeit so zu lenken vermag, dass Verwechslungen zwischen Bauteilen, Bedienelementen etc. vollständig vermieden werden können. Somit lassen sich auch Fehlhandlungen reduzieren und letztlich die Arbeitssicherheit erhöhen. Zeitliche Effizienzkriterien werden zudem leicht verbessert. Auch der Befund, dass die Benutzer von CARIHBA beurteilten, sich bei der Ausführung der ihnen unbekannteren Aufgaben wesentlich sicherer zu fühlen als bei der Arbeit mit einer Foto-Anleitung, besitzt eine hohe Praxisrelevanz. Nach jedem ausgeführten Teilschritt mental mit diesem abschließen zu können, weil man über die Gewissheit verfügt, am richtigen Ort gehandelt zu haben, ermöglicht, sich voll auf den nächsten Teilschritt zu konzentrieren. Die mentale Beanspruchung wird insgesamt gesehen reduziert. Gerade bei der für Instandhaltungstätigkeiten charakteristischen Arbeit unter Zeitdruck ist dies von Vorteil.

Die Ergebnisse verdeutlichen weiterhin, dass es auch mit konzeptuell und technisch einfachen Lösungen möglich ist, von den Vorteilen der CAR-Technologie zu profitieren: der Suchprozess nach aktuell benötigten Informationen wird rationalisiert, indem diese Informationen den Objekten der Realität direkt überlagert werden, und das Arbeitsgedächtnis wird dadurch entlastet. Dazu ist nicht notwendigerweise das Tragen eines HMD erforderlich, welches typischerweise als Anzeigegeräte für CAR-Systeme eingesetzt wird und die Informationen direkt ins Sichtfeld einblendet. CARIHBA zeigt, dass ein Monitor ebenso gut als Anzeigegerät geeignet ist. Zwar fallen hier nach wie vor Blickwechsel zwischen Anleitung und Realität an, die beim Tragen eines HMDs theoretisch vermieden werden sollen. Die positiven Effekte von CARIHBA auf kognitive Zeitanteile und insbesondere auf die Unterstützung der räumlichen Orientierung sprechen nichtsdestotrotz für eine Verringerung der mentalen Beanspruchung des Benutzers. Und insbesondere hinsichtlich der räumlichen Orientierung sollte CARIHBA HMD-basierten CAR-Systemen überlegen zu sein. Auch Tracking-Systeme, die die virtuellen Informationen der Position und Orientierung des Benutzers angepasst als dreidimensionale Objekte einblenden, müssen nicht in jedem Fall verwendet werden. Die bei CARIHBA eingesetzten geometrisch einfachen zweidimensionalen Augmentierungen (Pfeile, Kreise etc.) sollten in vielen Fällen vollkommen ausreichen, um einen Instandhalter in angemessener Form bei seiner Arbeit zu unterstützen. Ein weiterer Vorteil von CARIHBA kann darin gesehen werden, dass es im Vergleich zum Tragen eines HMD bzw. von Komponenten eines Tracking-Systems zu keinen ergonomischen Nachteilen für den Benutzer führt (Einschränkung des Sichtfeldes, Gewicht, durch Verkabelung eingeschränkte Bewegungsfreiheit usw.).

Als Einsatzgebiet für CARIHBA bieten sich entsprechend den positiven Effekten auf die räumliche Orientierung beispielsweise Anwendungen an, in denen Verwechslungen von (Bedien-)Teilen bzw. Fehlbedienungen zu unerwünschten negativen Auswirkungen führen würden. Eine solche negative Auswirkung kann im einfachen Fall ein hoher Zeitaufwand für die Wiederherstellung des Soll-Zustandes sein. In schwierigen Fällen könnte es aber auch zu ei-

ner Reaktion des Aggregats führen, die die Sicherheit des Instandhalters oder anderer Personen oder aber die Funktionsfähigkeit der Anlage beeinträchtigt.

Ebenso bietet sich ein Einsatz von CARIHBA für Ausbildungszwecke an. Unterweisungen für neue Aufgaben ließen sich mit diesem Unterstützungsmittel vornehmen. Lernende können sich, angeleitet durch den Szenariomodus von CARIHBA, sicher mit einer neuen Aufgabe vertraut machen, ohne durch einen Ausbilder instruiert zu werden. Dies ist letztlich auch für die Personaldisposition interessant. Da die Kamera von CARIHBA auch über eine Internet-Verbindung steuerbar ist, ist das System zudem in der Fernlehre einsetzbar. Damit löst es die Durchführung eines Trainings von Raum und Zeit. Man kann sich also auch mit Anlagen bzw. Umgebungen vertraut machen, zu denen man aktuell keinen direkten Zugang hat. Dies kann für einen Instandhalter bei seiner Vorbereitung auf einen Einsatz vor Ort bei einem Kunden hilfreich sein. So kann er sich z.B. in einer Büroumgebung im Vorfeld mit der speziellen Anlage des Kunden vertraut machen. Darüber hinaus bietet sich die Unterstützung durch CARIHBA bei Tätigkeiten an, die nur selten ausgeführt werden, so dass sich keine Übung einstellen kann, sowie bei komplexen, unübersichtlich aufgebauten und/oder großräumigen Anlagen. Denn das räumliche Orientieren in solchen Umgebungen ist mit CARIHBA schnell und sicher möglich.

Die Reaktion der Versuchspersonen bestätigt die anhand der Effizienzkriterien belegte Gebrauchstauglichkeit von CARIHBA. Sie fiel insgesamt sehr positiv aus. Ein wichtiger Verbesserungsvorschlag der Versuchspersonen bezog sich auf die Kombination beider in dieser Arbeit untersuchten Hilfsmittel. Denn auch in der Arbeit mit der fotobasierten INTERFACE-Anleitung wurden Vorteile erkannt. So bietet ein Foto die Möglichkeit, das Ergebnis der Arbeit des vorangegangenen Schrittes nachzuvollziehen. Auf diese Weise erhält man eine Rückmeldung, ob man den vorherigen Schritt richtig ausgeführt hat. Die Probanden regten an, innerhalb des Szenariomodus anzubieten, sich bei Bedarf ein Foto mit dem Zielzustand einblenden zu lassen bzw. vom Videomodus unmittelbar in einen Foto-Modus wechseln zu können. Mit CARIHBA kann bereits auch jetzt ein Szenario mittels Fotos durchlaufen werden, um sich z.B. in einer Büroumgebung ohne die Kamera auf die anstehende Arbeit vorzubereiten. (Dies entspricht genau der INTERFACE-Anleitung, die über das CARIHBA-Programm angewählt werden kann.) Jedoch ist die o.g. kombinierte Variante bis jetzt nicht implementiert, wird aber als sinnvolle Weiterentwicklung angesehen.

Eine weitere wichtige Verbesserung des Prototyps, die in der Arbeit von Nikolić (2006) angeregt wurde, ist zum jetzigen Zeitpunkt bereits umgesetzt. So wurde der Engineering-Modus optimiert (Lindner, 2007; nicht veröffentlichte Studienarbeit am IPP der TU Clausthal). Dieser ermöglicht nun das einfache und komplette Verwalten (Erstellen, Speichern, Bearbeiten, Löschen usw.) der Daten, die von der Software benötigt werden. Damit lassen sich z.B. die Augmentierungsinformationen für die Szenarien oder für die Erklärung einer Anlage im Übersichtsmodus schnell und unkompliziert erstellen. In der Umsetzung der kabellosen Bildübertragung und Kommunikation zwischen Kamera, Rechner und Monitor ist eine zusätzliche sinnvolle Weiterentwicklung von CARIHBA zu sehen (vgl. Nikolić für ausführlichere Vorschläge zur Hardware- und Software-Optimierung).

In einem nächsten Untersuchungsschritt sollte der Prototyp in einer realen Instandhaltungsumgebung mit Fachpersonal getestet werden, um Rückmeldungen über die Gebrauchstauglichkeit von CARIHBA direkt aus dem Praxisumfeld zu erhalten. Dabei sollte auch der Frage nachgegangen werden, welche Informationen bei Berücksichtigung unterschiedlicher Benutzergruppen in einem Szenario angeboten werden müssen, um eine dem Kenntnisstand entsprechende optimale Unterstützung zu gewährleisten. Bei den bisherigen Tests wurden allen

Versuchsteilnehmern dieselben Inhalte präsentiert, da der Focus der Untersuchung auf anderen Aspekten lag. Diese Frage zu beantworten ist einerseits unter wirtschaftlichem Blickwinkel wichtig, weil sie die zeit- und kostenaufwändige Authoring-Arbeit effizienter werden ließe. Andererseits hängt davon auch die Akzeptanz des Systems durch den Benutzer ab. Denn sowohl fehlende als auch überflüssige Informationen würden sich negativ auf die Bereitschaft, mit einem solchen Hilfsmittel zu arbeiten, auswirken.

Literatur

- Agrawala, M., Phan, D., Heiser, J., Haymaker, J., Klinger, J., Hanrahan, P., Tversky, B. (2003). *Designing Effective Step-by-Step Assembly Instructions*. Proceedings of SIGGRAPH 2003 (San Diego, CA), ACM Transaction on Graphics, 22(3), 828-837.
- Alt, T., Nölle, S. (2001). *Augmented Reality in der Automobilindustrie*. IX-Magazin für professionelle Datenverarbeitung, 5 (2001), Hannover: Heise.
- Alt, T. (2003). *Augmented Reality in der Produktion*. München: Herbert Utz Verlag GmbH.
- Azuma, R.T. (1997). *A Survey of Augmented Reality*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(4), 355-385.
- Azuma, R.T. (2001). *Augmented Reality: Approaches and technical challenges*. In: Barfield, W., Caudell, T. (Eds.), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality* (pp. 3-26). London: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Baird, K.M. (1999). *Evaluating the effectiveness of augmented reality and wearable computing for a manufacturing assembly task*. Blacksburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Bundesagentur für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2007). *Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2005. Unfallverhütungsbericht Arbeit*. Dortmund/Berlin/Dresden 2007.
- Behnke, R. (2005). *Verbesserung der Positionserkennung bei CAR-Systemen durch Kopplung von bild- und trägheitsbasierten Verfahren*. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger.
- Biocca, F.A., Rolland, J.P. (1998). *Virtual eyes can rearrange your body: Adaptation in see-through Head-Mounted Displays*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 7(3), 262-277.
- Bortz, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Boud, A.C., Haniff, D.J., Baber, C., Steiner, S.J. (1999). *Virtual reality and augmented reality as a training tool for assembly tasks*. Proceedings of International Conference on Information Visualization, 14-16 July 1999, London, England, 32-36.
- Brickenkamp, R. (1994). *Test d2: Aufmerksamkeits-Belastungs-Test*. Göttingen: Hogrefe.
- Brosius, F. (2006). *SPSS 14*. Heidelberg: mitp.
- Caudell, T.P., Mizell, D.W. (1992). *Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Process*. Proceedings of IEEE Hawaii International Conference on System Sciences, 659-669.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1981). *DIN 31 052: Instandhaltung. Inhalt und Aufbau von Instandhaltungsanleitungen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1985). *DIN 31 051: Instandhaltung. Begriffe und Maßnahmen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1996). *DIN EN ISO 9241: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, Teil 10: Grundsätze der Dialoggestaltung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1996). *DIN EN ISO 9241: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit: Leitsätze*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Elzer, P. (1999a). *Computer Augmented Reality Techniques in Power Plant Design and Operation*. International Joint Power Generation Conference (IJPGC), San Francisco, CA.
- Elzer, P., Behnke, R., Boussoffara, B. (1999c). *Multi-Media und VR-Techniken für Wartung und Training an technischen Systemen*. In: Holleczeck, P. (Hrsg.), *PEARL '99: Workshop über Realzeitsysteme (Boppard/Rhein, Germany)*, 21-28.

- Elzer, P., Behnke, R., Simon, A. (2001). *New Techniques for the Support of Maintenance and Training in Process Supervision and Control*. In: Johannsen, G. (Ed.), Proceedings of 8th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems IFAC HMS 2001 (Kassel, Germany), 11-18.
- Eversheim, W., Weck, M., Jahn, D., Koschig, M., Fricker, I. (2001). *Einzel- und Kleinserienfertigung effizienter gestalten – Augmented Reality-Technologie unterstützt manuelle Montage*. VDI-Z Integrierte Produktion, 9, Düsseldorf: Springer.
- Hackstein, R., Klein, W. (1987). *Informationswesen in der Instandhaltung – ohne systematische Aufgabengliederung gibt es keine effiziente Instandhaltung*. Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 36.
- Hartung, P. (1989). *Sicherheit bei Instandhaltungsarbeiten: Methode zur Ermittlung von Gefährdungen*. Berlin: Springer.
- Heiser, J., Phan, D., Agrawala, M., Tversky, B., Hanrahan, P. (2004). *Identification and Validation of Cognitive Design Principles for Automated Generation of Assembly Instructions*. Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces AVI04 (Gallipoli, Italy), 311-319.
- Hoppe, H. (2004). *Projektorbasierte Erweiterte Realität in der rechnergestützten Chirurgie*. Dissertation. GCA-Verlag.
- Jansen-Osmann, P., Berendt, B. (2005). *What makes a route appear longer? An experimental perspective on features, route segmentation, and distance knowledge*. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 58A(8), 1390-1414.
- Jansen-Osmann, P., Fuchs, P. (2006). *Wayfinding Behavior and Spatial Knowledge of Adults and Children in a Virtual Environment. The Role of Landmarks*. Experimental Psychology, 53(3), 171-181.
- Jungeblut, R. (1992). *Facharbeiter in der Instandhaltung – eine soziologische Studie unter besonderer Berücksichtigung der Fehlersuche als Spezifikum betrieblicher Instandhaltungsfacharbeit*. IT+B-Arbeitspapiere Nr. 37, Institut Technik und Bildung, Universität Bremen.
- Klinker, G., Stricker, D., Reiners, D. (2001). *Augmented Reality for exterior construction applications*. In: Barfield, W., Caudell, T. (Eds.), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality* (pp. 379-427). London: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Kösler, B. (1992). *Gebrauchsanleitungen richtig und sicher gestalten*. Wiesbaden: Forkel Verlag.
- Lindner, I. (2007). *Erweiterung des CAR-Prototyps CARIHBA durch Realisierung des Engineering-Modus*. Nicht veröffentlichte Studienarbeit, Institut für Prozess- und Produktionsleittechnik, Technische Universität Clausthal.
- Lynch, K. (1960). *The image of the city*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Maier, P.H. (1999). *Räumliches Vorstellungsvermögen: Ein theoretischer Abriss des Phänomens räumliches Vorstellungsvermögen*. Donauwörth: Auer.
- Milgram, P., Kishino, F. (1994). *A taxonomy of mixed reality visual displays*. IEICE Transactions on Information Systems, E77-D(12), 1321-1329.
- Mizell, D. (2001). *Boeing's Wire Bundle Assembly Project*. In: Barfield, W., Caudell, T. (Eds.), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality* (pp. 447-470), London: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Neumann, U., Majoros, A. (1998). *Cognitive, performance, and systems issues for Augmented Reality applications in manufacturing and maintenance*. Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, 4-11.

- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Amsterdam: Academic Press.
- Nikolić, V. (2006). *Einsatz der Computer Augmented Reality in der Instandhaltung: eine alternative gebrauchstaugliche und kostengünstige Systemlösung*. Göttingen: Cuvillier.
- Oehme, O., Wiedenmaier, S., Schmidt, L. (2002). *Evaluation eines Augmented Reality User Interfaces für ein binokulares Video See-Through Head Mounted Display*. Proceedings of the Useware 2002 (Darmstadt, Germany), 35-40.
- Pomberger, G., Blaschek, G. (1993). *Software Engineering – Prototyping und objektorientierte Software-Entwicklung*. München: Hanser.
- Pötter, G. (1994). *Die Anleitung zur Anleitung. Leitfaden zur Erstellung technischer Dokumentationen*. Würzburg: Vogel.
- Presson, C., Montello, D. (1988). *Points of reference in spatial cognition: Stalking the elusive landmark*. British Journal of Developmental Psychology, 6, 378-381.
- Rauterberg, M. (1999). *New directions in user-system interaction: Augmented reality, ubiquitous and mobile computing*. Proceedings of IEEE Symposium on Human Interfacing, Man & Machine: The Cooperation of the Future (Eindhoven, The Netherlands), 105-113.
- Reason, J. (1992). *Menschliches Versagen. Psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien*. Heidelberg: Spektrum.
- Rottenkolber, B., Edelmann, M., Höller, F. (2004). *Gestaltungsempfehlungen für Head Mounted Displays*. In: Luczak, H., Schmidt, L., Koller, F. (Hrsg.), *Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented-Reality-Systemen*, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 22(17), Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Rötzel, A. (2005). *Instandhaltung. Eine betriebliche Herausforderung*. Berlin: VDE-Verlag.
- Sadalla, E.K., Burroughs, W.J., Staplin, L.J. (1980). *Reference points in spatial cognition*. Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 6, 516-528.
- Satzger, A. (2002). *Anleiten zur Nutzung von technischen Geräten*. In: Germanistisches Jahrbuch der GUS „Das Wort“, 197-215.
- Schmidt, L., Oehme, O., Wiedenmaier, S., Beu, A., Quaet-Faslem, P. (2002). *Usability Engineering für Benutzer-Interaktionskonzepte von Augmented-Reality-Systemen*. it + ti – Informationstechnik und Technische Informatik, 44 (2002) 1, 31-39.
- Schmidtke, H. (Hrsg.) (1993). *Ergonomie*. München: Hanser.
- Schnaider, M., Seibert, H., Schwald, B., Weller, T., Wesarg, S., Zogal, P. (2002). *Medarpa – Ein augmented Reality System für Minimal-Invasive Interventionen*. Bundesministerium für Bildung und Forschung: Internationale Statustagung „Virtuelle und Erweiterte Realität“. Berlin, 2002, pp.9.
- Siegel, A., White, W. (1975). *The development of spatial representations of large-scale environments*. In: Reese, H. (Ed.), *Advances in child development and behaviour* (pp. 9-55), New York: Academic Press.
- Stumpf, H., Fay, E. (1983). *Schlauchfiguren. Ein Test zur Beurteilung des räumlichen Vorstellungsvermögens*. Göttingen: Hogrefe.
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F., Mou, W. (2003). *Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly*. Proceedings of ACM CHI 2003 April 5-10, 2003, Fort Lauderdale, FL, 73-80.
- Thorndyke, P. (1981). *Distance estimation from cognitive maps*. Cognitive Psychology, 13, 526-555.
- Thurstone, L.L. (1938). *Primary mental abilities*. Chicago, Illinois: The University of Chicago Press.
- Towne, D.M. (1985). *Cognitive Workload in Fault Diagnosis*. Report No. ONR-107. Los Angeles, CA: Behavioral Technology Laboratories, University of Southern California.

-
- Treisman, A., Gelade, G. (1980). *A feature integration theory of attention*. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Tversky, B. (2003). *Structures of mental spaces: How people think about space*. *Environment and Behavior*, 35, 66-80.
- Wickens, C.D., Carswell, C.M. (1997). *Information Processing*. In: Salvendy, G. (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 2nd ed. (pp. 89-129), New York: John Wiley.
- Wiedenmaier, S., Oehme, O., Schmidt, L., Luczak, H. (2003). *Augmented Reality (AR) for Assembly Processes. Design and Experimental Evaluation*. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 16(3), 497-514.
- Wiedenmaier, S. (2004). *Unterstützung manueller Montage durch Augmented Reality-Technologien*. Aachen: Shaker Verlag.
- Wolfe, J.M., Cave, K.R., Franzel, S.L. (1989). *Guided Search: an alternative to the feature integration model for visual search*. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 15, 419-433.

Anhang

- Anhang A: Beschreibung der Versuchsanlagen
- Anhang B: Versuchsaufgaben an Adiro- und VT-Anlage, Trainingsaufgaben
- Anhang C: Fragebogen zur Erfassung der technischen Vorerfahrung und des Themeninteresses
- Anhang D: Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2
- Anhang E: Nachbefragungsbogen
- Anhang F: Grafische Versuchsobjekte im Versuch zur räumlichen Orientierung
- Anhang G: Instruktion der Probanden im Versuch zur räumlichen Orientierung

Anhang A

Beschreibung der Versuchsanlagen

Adiro-Anlage

Die Adiro-Anlage stellt eine Nachbildung einer CIM-Anlage dar. Sie wurde von der Firma Adiro als didaktisches Lehrmittel entwickelt.

Die Funktion der Anlage besteht darin, eingehende Werkstücke in Abhängigkeit von ihren Materialeigenschaften zu stempeln oder auszusortieren. Die zylindrischen Werkstücke werden in einem Stapelmagazin bevorratet. Mittels eines Zylinders werden sie vereinzelt und in eine Identifikationseinheit transportiert. Anhand eines optischen und eines induktiven Sensors erfolgt eine Identifikation der Werkstücke. Schwarze Werkstücke werden nicht gestempelt, sondern aussortiert. Helle Werkstücke (weiß und Aluminium) werden zu einer Aufnahme befördert. Diese Aufnahme dient als Schnittstelle bzw. Informationsaustausch zwischen den beiden CIM-Modulen und damit zwischen den beiden Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS), die jeweils ein Modul steuern.

Nach Ablage des Werkstücks in der Aufnahme erfolgt dessen Transport zur Stempereinheit. Das Stempeln wird hier nur simuliert. Stempeldauer und -druck hängen vom Material des Werkstücks ab. Nach dem Stempelvorgang erfolgt der Abtransport zur Rutsche.

Anlagenzustände, Meldungen und Alarmer werden mittels weißer, grüner und roter Leuchten auf den beiden Bedienwinkeln der Anlage ausgegeben. Über die Bedienwinkel gibt der Benutzer die Bediensignale zur Steuerung des Prozesses ein (Start-Taster, Betriebsartenschalter, Not-Aus-Knopf).

Verfahrenstechnische Anlage

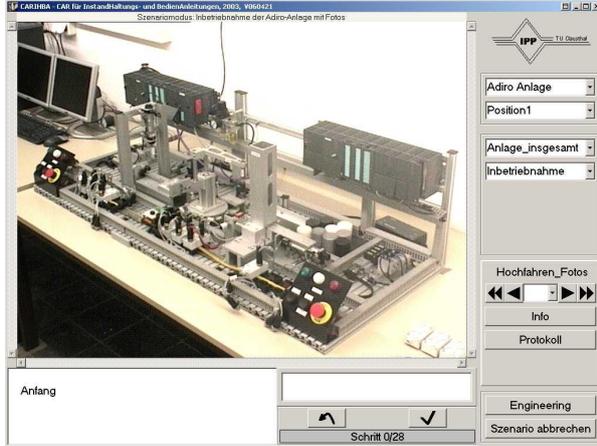
Die verfahrenstechnische Anlage (VT-Anlage) wurde am IPP in Anlehnung an industrielle Verdampfungsprozesse entwickelt, gebaut und in Betrieb genommen und wird für Lehrzwecke verwendet. Sie besteht aus einem verfahrenstechnischen Teil (vier Behälter zu je 6 l incl. Dosierpumpen und Armaturen), einem Steuerungsteil (Schaltschrank und Prozessrechner) und einem Visualisierungsteil (zwei Rechner mit zugehörigen Programmen).

Beim Verdampfen als thermisches Trennverfahren wird durch Wärmezufuhr das Lösungsmittel aus einer Lösung verdampft und weggeführt. Im Falle der VT-Anlage wird zunächst eine NaCl-Lösung bestimmter Konzentration im Mischbehälter erzeugt und die Konzentration durch eine Leitfähigkeitsmessung überprüft. Anschließend wird die Lösung in der Verdampferbaugruppe auf eine vorgegebene Konzentration eingedampft. Der entstehende Brüden Dampf wird kondensiert und in die Vorlage zurückgeführt. Die Restlösung wird aus dem Sumpf des Verdampfers wieder in die Vorlagebehälter geleitet. So entsteht ein geschlossenes System mit nur minimalen Verlusten.

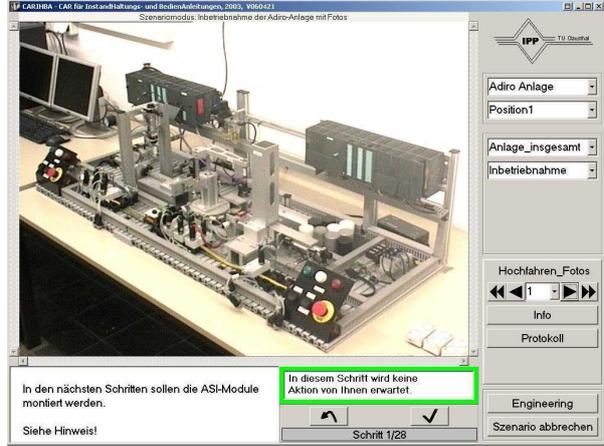
Anhang B

Versuchsaufgaben Adiro-Anlage (Szenarien Montage und Inbetriebnahme)

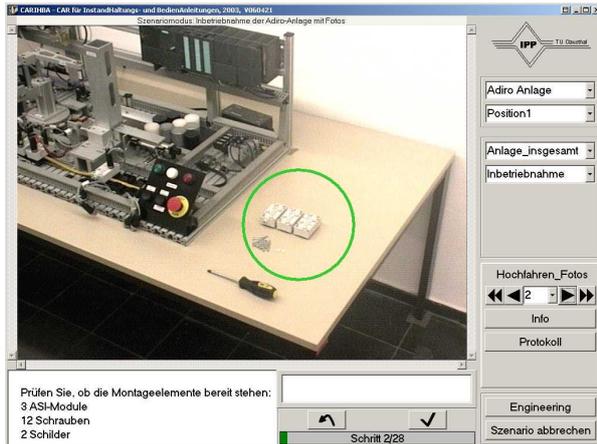
Anfang



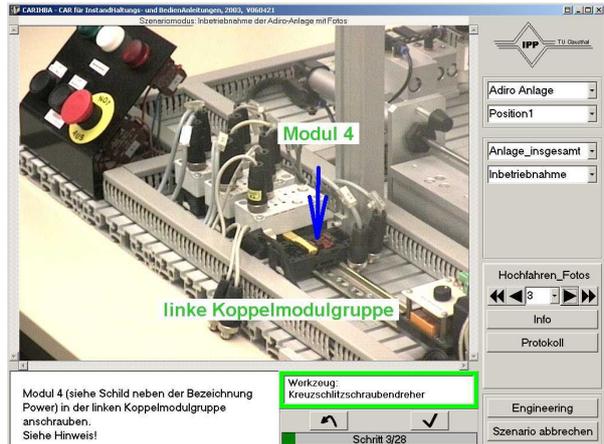
Schritt 1



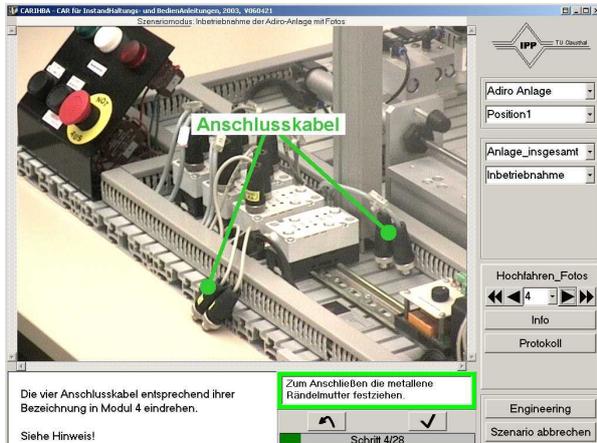
Schritt 2



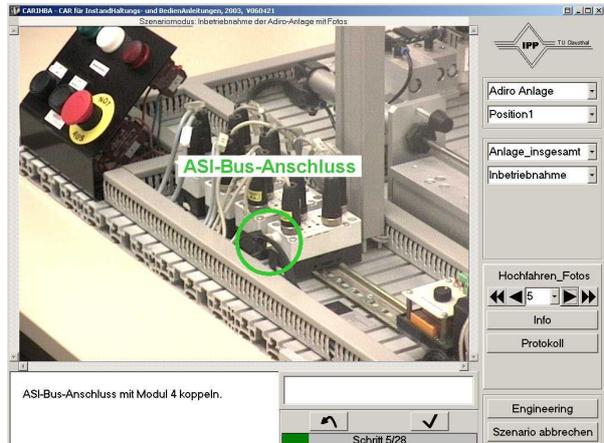
Schritt 3



Schritt 4



Schritt 5



Schritt 6

Schritt 7

Schritt 8

Schritt 9

Schritt 10

Schritt 11

Schritt 12

In den nächsten Schritten folgt die Inbetriebnahme der Anlage.
Siehe Hinweis!

In diesem Schritt wird keine Aktion von Ihnen erwartet.

Schritt 12/28

Schritt 13

Gelben Drucklufthahn durch Drehung um 90° in die Position OPEN bringen.

Schritt 13/28

Schritt 14

Schnellablassventil durch Drehung um 90° auf Position SUP bringen.

Schritt 14/28

Schritt 15

Prüfen, ob das Manometer einen Anlagendruck von ca. 6 bar anzeigt.

Schritt 15/28

Schritt 16

In den nächsten Schritten soll die Steuerung des linken Anlagenteils (SPS-L) eingeschaltet werden.
Siehe Hinweis!

In diesem Schritt wird keine Aktion von Ihnen erwartet.

Schritt 16/28

Schritt 17

SPS-L, Modul PS307: Power-Schalter auf ON stellen.

Schritt 17/28

Schritt 18

Schritt 19

Schritt 20

Schritt 21

Schritt 22

Schritt 23

Schritt 24

Schritt 24: Drehschalter auf RUN stellen. Vorsicht! NICHT auf RUN-P, sondern auf RUN stellen!

Schritt 25

Schritt 25: Rechter Bedienwinkel: Prüfen, ob die weiße Signallampe leuchtet.

Schritt 26

Schritt 26: Stromversorgung der ASI-Ventilinsel prüfen: "Power ASI" leuchtet grün.

Schritt 27

Schritt 27: 3 Werkstücke beliebiger Farbe in das Stapelmagazin legen.

Schritt 28

Schritt 28: Rechter Bedienwinkel: START-Knopf drücken.

Versuchsaufgaben VT-Anlage (Szenarien Inspektion und Demontage)

Anfang

Schritt 1

Schritt 2

Schritt 3

Schritt 4

Schritt 5

Schritt 6

Steuerungsstecker

Prüfen, ob das Kabel B1ST am Steuerungsstecker der Pumpe 1 angeschlossen ist.

Schritt 6/32

Schritt 7

Relaisanschluss

Prüfen, ob das Kabel ALR1 am Relaisanschluss der Pumpe 1 angeschlossen ist.

Schritt 7/32

Schritt 8

Pegelsensor

Prüfen, ob das Kabel LC11 an den Pegelsensor LC1.1 angeschlossen ist.

Schritt 8/32

Schritt 9

Zuflussstelle

Prüfen, ob die Schlauchverbindung "V4->B1" an der Zuflussstelle besteht.

Schritt 9/32

Schritt 10

Saugventil

Prüfen, ob das Kabel LC12 am Saugventil in den Behälter 1 führt.

Schritt 10/32

Schritt 11

Druckventil

Ventil 1

Prüfen, ob die Schlauchverbindung "B1->B3" zwischen dem Druckventil der Pumpe 1 und Ventil 1 besteht.

Schritt 11/32

Schritt 12

Schritt 13

Schritt 14

Schritt 15

Schritt 16

Schritt 17

Schritt 18

Schritt 19

Schritt 20

Schritt 21

Schritt 22

Schritt 23

Schritt 24

Schritt 25

Schritt 26

Schritt 27

Schritt 28

Schritt 29

Schritt 30

Schritt 31

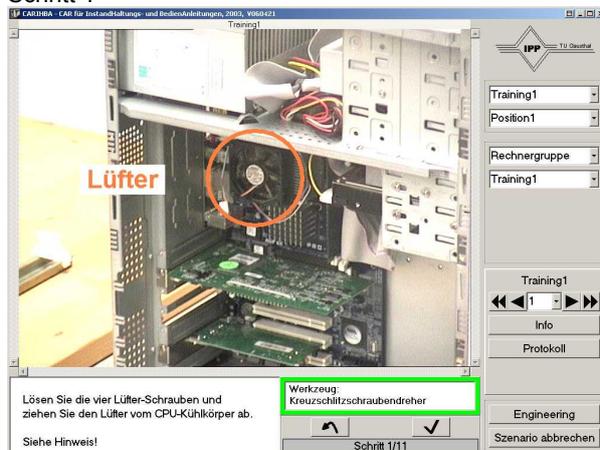
Schritt 32

Trainingsaufgaben Teil 1: Kameraposition schräg rechts hinter der Person

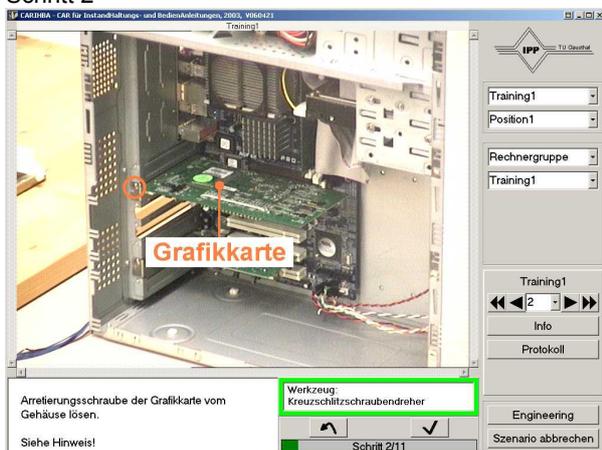
Anfang



Schritt 1



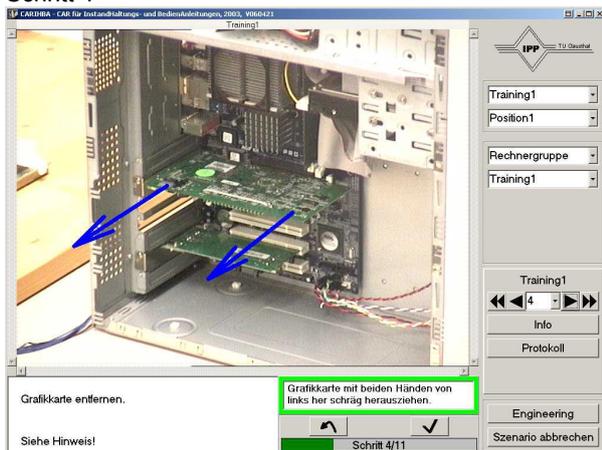
Schritt 2



Schritt 3



Schritt 4



Schritt 5



Schritt 6

Speicherkarte entfernen.

Schritt 6/11

Schritt 7

Fire-Wire-Karte

Arretierungsschraube der Fire-Wire-Karte vom Gehäuse lösen.

Siehe Hinweis!

Werkzeug: Kreuzschlitzschraubendreher

Schritt 7/11

Schritt 8

Fire-Wire-Karte entfernen.

Schritt 8/11

Schritt 9

Stecker

Stecker mit grün-weißem Kabel abziehen.

Schritt 9/11

Schritt 10

Bus-Verlängerung

Bus-Verlängerung zum Anschluss externer Festplatten abziehen.

Siehe Hinweis!

Zum Abziehen die beiden seitlichen Spangen eindrücken.

Schritt 10/11

Schritt 11

Tastatur-Anschluss

Tastaturanschluss abziehen.

Schritt 11/11

Trainingsaufgaben Teil 2: Kameraposition schräg links hinter der Person

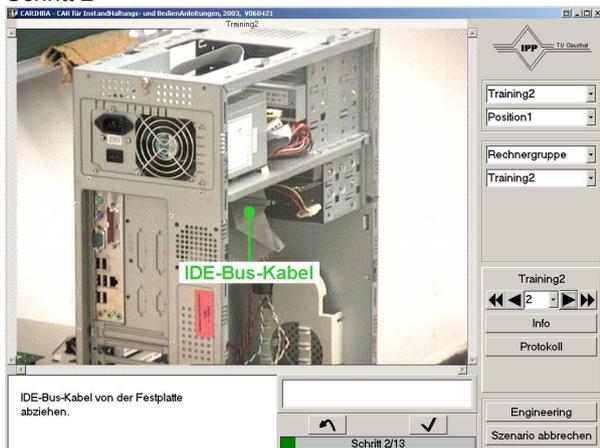
Anfang



Schritt 1



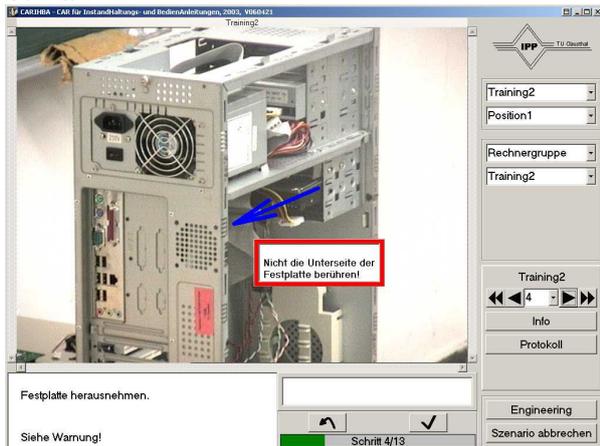
Schritt 2



Schritt 3



Schritt 4



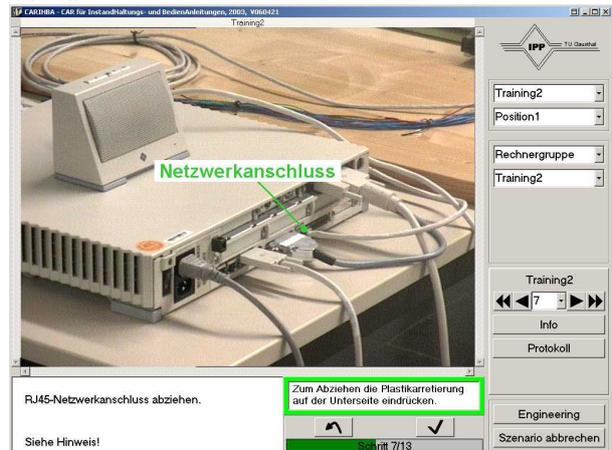
Schritt 5



Schritt 6



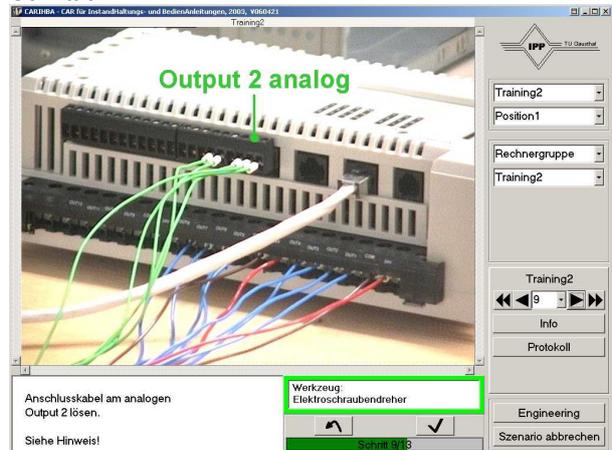
Schritt 7



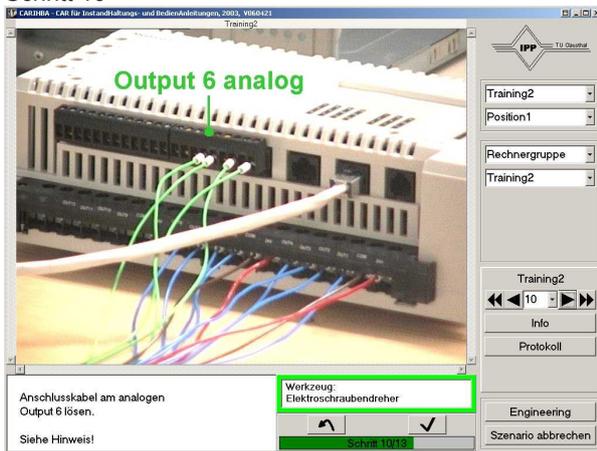
Schritt 8



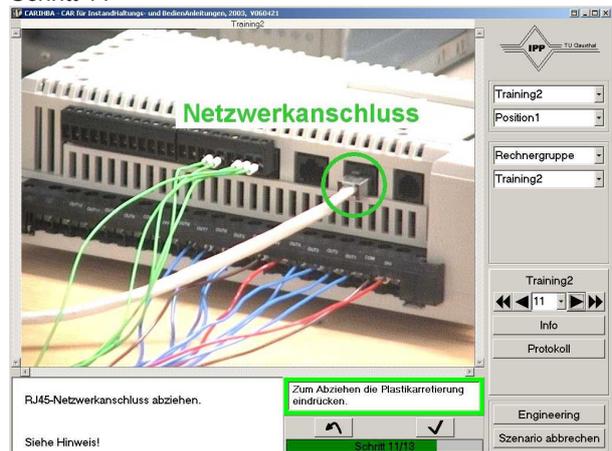
Schritt 9



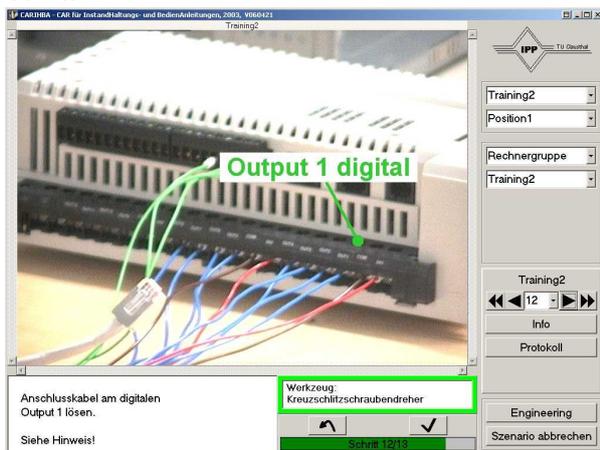
Schritt 10



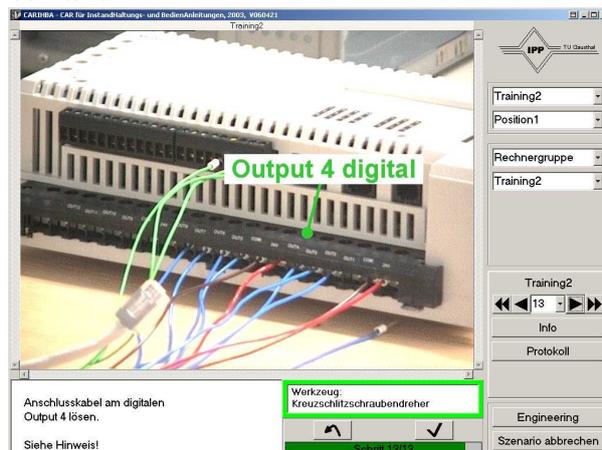
Schritt 11



Schritt 12



Schritt 13



Anhang C

Fragebogen zu persönlichen Daten, technischer Vorerfahrung und Themeninteresse

VP-Nr. _____ Alter _____
Studiengang _____ Fachsemester _____
Vordiplom ja / nein (bitte unterstreichen)

Im folgenden Versuch werden Sie verschiedene Aufgaben an zwei technischen Anlagen bearbeiten, wobei Sie durch unterschiedliche Hilfsmittel unterstützt werden. Zunächst möchten wir Sie jedoch bitten, einige Fragen zu Ihrer technischen Vorerfahrung sowie zu Ihrem themenbezogenen Interesse zu beantworten. Meist werden Sie dabei um zusätzliche Erläuterungen gebeten. Bitte füllen Sie den Fragebogen sorgfältig aus und beantworten Sie alle Fragen. Ihre Antworten werden selbstverständlich vertraulich behandelt, d.h. in anonymisierter Form ausgewertet und nicht an Dritte weitergegeben.

Vielen Dank!

1. Hatten Sie bereits engeren Kontakt mit verfahrens- oder fertigungstechnischen Anlagen? <i>Wenn ja, beschreiben Sie diesen Kontakt bitte kurz.</i>	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein

2. Haben Sie vor Ihrem Studium eine Ausbildung in einem technischen Beruf absolviert? <i>Wenn ja, welche Ausbildung war das und wie lange hat sie gedauert?</i>	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein

3. Übten Sie vor Ihrem Studium eine berufliche Tätigkeit im technischen Bereich aus? <i>Wenn ja, welche und wie lange?</i>	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein

4. Haben Sie Praktika im technischen Bereich absolviert? <i>Wenn ja, geben Sie bitte Art/Inhalt und Dauer an.</i>	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein

5. Waren bzw. sind Sie neben Ihrem Studium als Hilfwissenschaftler in einem technischen Bereich beschäftigt? <i>Wenn ja, geben Sie bitte Art/Inhalt und Dauer an.</i>	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein

6. Gehen oder gingen Sie während des Studiums einer sonstigen technischen Nebentätigkeit nach? <i>Wenn ja, geben Sie bitte Art/Inhalt und Dauer an.</i>	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein

7.	Führen Sie in Ihrer Freizeit Reparatur- oder Montagetätigkeiten aus (z.B. Auto, technische Geräte)?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
	<i>Wenn ja, wie häufig kommt dies vor, bezogen auf ein Jahr?</i>	
	<input type="checkbox"/> wenige Male im Jahr <input type="checkbox"/> etwa monatlich oder häufiger	
	<i>Wie schwierig schätzen Sie diese Tätigkeiten ein?</i>	
	<input type="checkbox"/> eher einfach <input type="checkbox"/> mittlere bis hohe Schwierigkeit	
8.	Nehmen Sie selber häufig Hardware-Einbauten bzw. –Umbauten am Rechner vor?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
9.	Wie schätzen Sie Ihr handwerkliches Geschick ein?	
	<input type="checkbox"/> eher ungeschickt <input type="checkbox"/> eher geschickt	
10.	Haben Sie als Kind oft mit Metallbaukästen, Modellbausystemen o.ä. gespielt?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
11.	Haben Sie bereits mit Bedien- oder Montageanleitungen gearbeitet?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
	<i>Wenn ja, mit welcher Art von Anleitung?</i>	
	<input type="checkbox"/> Papieranleitung	
	<input type="checkbox"/> auf einem Monitor dargestellte Anleitung	
	<input type="checkbox"/> in einem Head-Mounted-Display (HMD) dargestellte Anleitung	
	sonstiges: _____	
12.	Haben Sie bereits von der Technologie der Computer Augmented Reality gehört?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
	<i>Wenn ja, was wissen Sie darüber (Stichpunkte)?</i>	

13.	Sind Sie bereits persönlich mit Computer Augmented Reality in Kontakt gekommen?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
	<i>Wenn ja, beschreiben Sie diesen Kontakt bitte kurz.</i>	

14.	Wie würden Sie Ihre Einstellung zu Neuen Technologien im IT-Bereich beschreiben?	

15.	Sehen Sie gern Science-Fiction-Filme bzw. lesen Sie gern Science-Fiction-Literatur?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
16.	Wie werden Ihrer Meinung nach die Rechner in 10 Jahren hinsichtlich Ein- und Ausgabegeräten aussehen?	

17.	Was hat Sie zur Teilnahme an diesem Versuch bewegt?	

Anhang D

Aufmerksamkeits-Belastungs-Test (Brickenkamp, 1994)

	GZ	F ₁	F ₂
1. 			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			
11.			
12.			
13.			
14.			

Anhang E

Fragebogen zur Beurteilung der Hilfsmittel (AC/VI) VP-Nr. _____

Im Folgenden möchten wir Sie bitten, die beiden Hilfsmittel und die Arbeit mit ihnen zu beurteilen. Bitte beantworten Sie alle Fragen sorgfältig. Bei vielen Fragen werden Sie um Erklärungen gebeten. Je ausführlichere Antworten Sie dabei geben, desto mehr helfen Sie uns, die Hilfsmittel zu verbessern. Vielen Dank!

1. Wie sind Sie mit den Aufgabenstellungen zurechtgekommen?

	gut	mittel	schlecht
Montage/Inbetriebnahme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inspektion/Demontage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Wie würden Sie die Schwierigkeit der Aufgabe einschätzen?

	leicht	mittel	schwer
Montage der Module	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inbetriebnahme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inspektion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Demontage Pumpe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Was hat Ihnen an den Hilfsmitteln gefallen bzw. nicht gefallen?

	Mir hat gefallen:	Mir hat nicht gefallen:
Interface (Foto)		
Carihba (Live-Video)		

4. Worin liegen Ihrer Meinung nach die Vor- und Nachteile der beiden Hilfsmittel?

	Vorteile	Nachteile
Interface (Foto)		
Carihba (Live-Video)		

Fragen zu Carihba:

5. Haben Sie das Fahren der Kamera verfolgt, um sich in der Anlage zu orientieren und den Ausführungsort schnell zu finden?

ja, oft gelegentlich nein

6. Haben Sie die Möglichkeit genutzt, Ihre Hand im Videobild an den augmentierten Ort zu bringen, um sicherzugehen, den richtigen Ort gefunden zu haben?

- ja, oft gelegentlich nein

7. Wie gut konnten Sie damit umgehen, möglicherweise das Videobild durch den eigenen Körper zu verdecken?

- ich habe das Bild nur selten verdeckt und konnte dies leicht korrigieren ich habe das Bild oft verdeckt, konnte die Verdeckung aber leicht korrigieren ich habe das Bild oft verdeckt und wusste nicht, wie ich die Verdeckung korrigieren sollte

Zu den gemeinsamen Eigenschaften beider Hilfsmittel:

8. Sind Sie mit der seitlich auf die Anlagen gerichteten Kameraperspektive zurechtgekommen?

- ja nein

9. Sind Sie mit der seitlichen Position des Monitors zurechtgekommen?

- ja nein

10. Können Sie sich den Einsatz der beiden IH-Hilfsmittel in der Industrie vorstellen?

- | | | | |
|-----------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|
| Interface | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein | evtl. Begründung |
| | | | _____ |
| | | | _____ |
| Carihba | <input type="checkbox"/> ja | <input type="checkbox"/> nein | _____ |
| | | | _____ |
| | | | _____ |

11. Waren die Instruktionstexte verständlich?

- ja nein

evtl. Erläuterung: _____

12. Waren die Augmentierungen/Informationen im Bild eindeutig?

- ja nein

evtl. Erläuterung: _____

13. Waren die Augmentierungen/Informationen im Bild hilfreich/notwendig?

- ja nein

evtl. Erläuterung: _____

14. Haben die gebogenen Pfeile zur Anzeige der Drehrichtung eine hilfreiche Information dargestellt?

ja nein

evtl. Erläuterung: _____

15. Haben Sie alle Warnungen und Hinweise sofort gesehen?

ja nein, nicht immer

evtl. Erläuterung: _____

16. Sind Sie mit der Sprachsteuerung zurechtgekommen?

ja nein

evtl. Erläuterung: _____

17. Welche Verbesserungen würden Sie für die Hilfsmittel vorschlagen?

Interface	
Carihba	

18. Bitte benoten Sie die beiden Hilfsmittel hinsichtlich ihrer Unterstützung bei der Ausführung der Aufgaben!

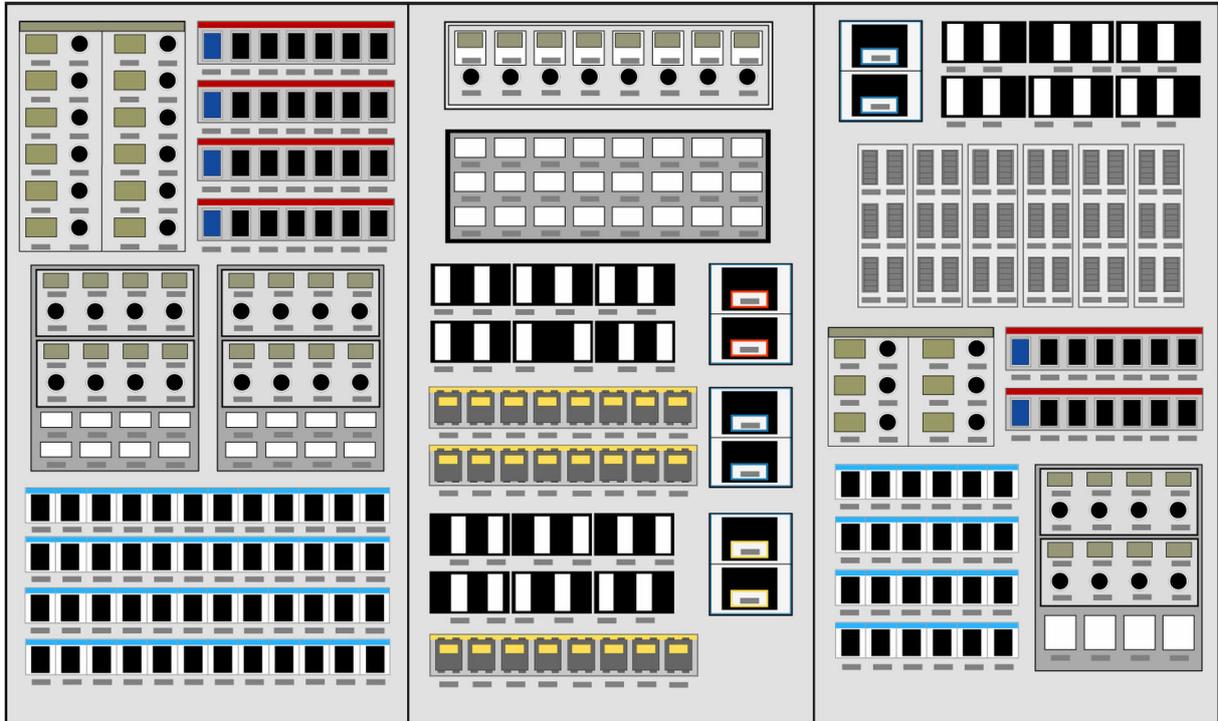
(1 = besonders positiv , 4 = besonders negativ)

	Interface (Foto)				Carihba (Live-Video)			
Gesamtnote	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
Montage der Module					<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
Inbetriebnahme					<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
Inspektion	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4				
Demontage Pumpe	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4				

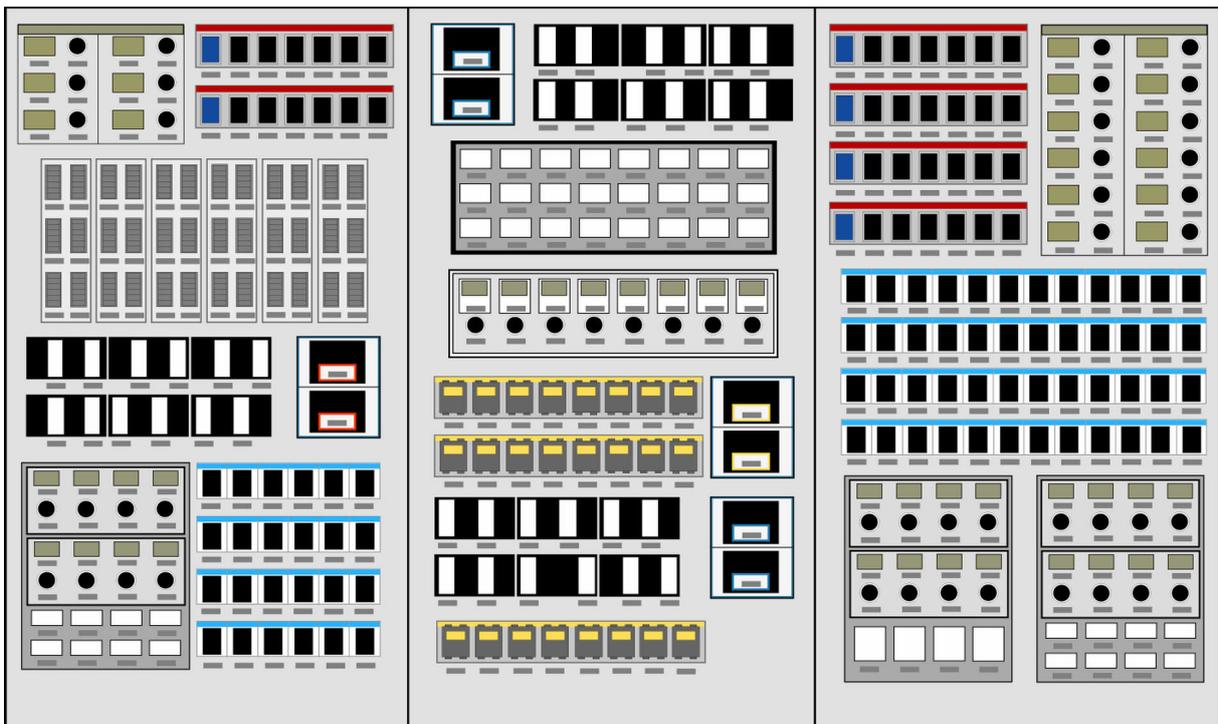
Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Anhang F

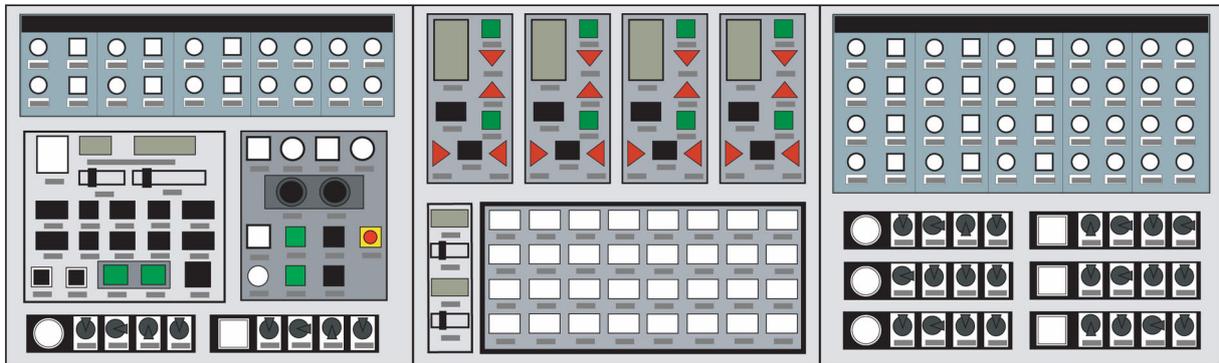
Grafische Versuchsobjekte im Versuch zur räumlichen Orientierung



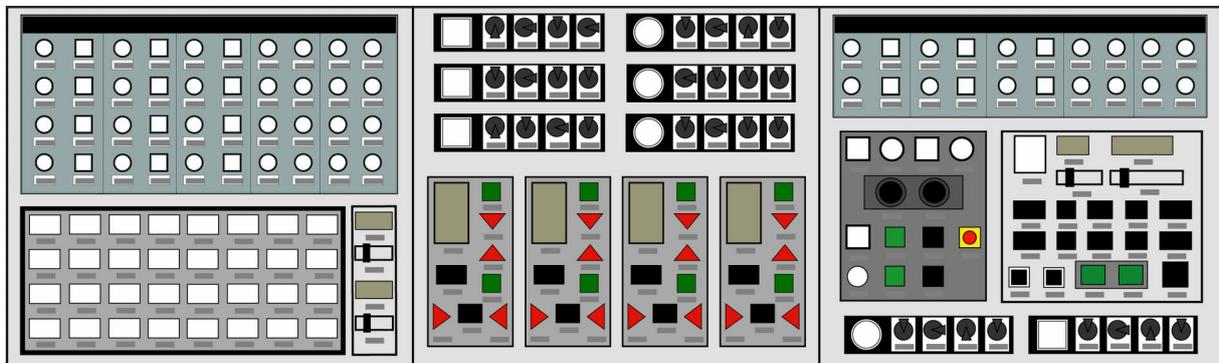
linke Wandfläche



rechte Wandfläche



linke Tischfläche



rechte Tischfläche

Anhang G

Instruktion der Probanden im Versuch zur räumlichen Orientierung

1. Groborientierung

Foto:

Wir befinden uns im Versuchsteil Groborientierung. In diesem Block besteht Ihre Aufgabe darin, die Baugruppen, die Ihnen auf dem Monitor angezeigt werden, in der realen Umgebung wieder zu finden. Sie werden dabei durch ein statisches Foto unterstützt. Haben Sie die Baugruppe gefunden, scannen Sie bitte den darunter stehenden Strichcode ein. Danach nehmen Sie bitte wieder Ihre Ausgangsstellung vor dem Monitor ein, wo Sie jeweils den nächsten Schritt aufrufen.

Kamerafahrt:

Wir befinden uns im Versuchsteil Groborientierung. In diesem Block besteht Ihre Aufgabe darin, die Baugruppen, die Ihnen auf dem Monitor angezeigt werden, in der realen Umgebung wieder zu finden. Sie werden dabei durch die Kamerafahrt unterstützt. Wenn Sie einen Teilschritt aufrufen, blicken Sie bitte auf den Monitor, um dort im Videobild die Kamerafahrt zu verfolgen. Wenn die Kamera an Ihrem Zielort angekommen ist, erscheint ein statisches Foto, das Ihnen die Baugruppe zeigt. Haben Sie die Baugruppe gefunden, scannen Sie bitte den darunter stehenden Strichcode ein. Die Kamera fährt daraufhin automatisch zu ihrem Ausgangspunkt zurück. Nehmen Sie nach dem Scannen bitte wieder Ihre Ausgangsstellung vor dem Monitor ein, wo Sie jeweils den nächsten Schritt aufrufen.

2. Feinorientierung

Foto:

Wir befinden uns im Versuchsteil Feinorientierung. In diesem Block besteht Ihre Aufgabe darin, jeweils ein einzelnes Bauelement innerhalb einer Baugruppe, das Ihnen auf dem Monitor angezeigt wird, in der realen Umgebung wieder zu finden. Sie werden dabei durch ein statisches Foto unterstützt. Haben Sie das Bauelement gefunden, scannen Sie bitte den darunter stehenden Strichcode ein. Danach nehmen Sie bitte wieder Ihre Ausgangsstellung vor dem Monitor ein, wo Sie jeweils den nächsten Schritt aufrufen.

Kamerafahrt + Immersion:

Wir befinden uns im Versuchsteil Feinorientierung. In diesem Block besteht Ihre Aufgabe darin, jeweils ein einzelnes Bauelement innerhalb einer Baugruppe, das Ihnen auf dem Monitor angezeigt wird, in der realen Umgebung wieder zu finden. Sie werden dabei neben der Kamerafahrt zusätzlich durch die Möglichkeit, Ihre Hand im Bild sehen zu können, unterstützt. Nutzen Sie bitte diese Möglichkeit und prüfen Sie in jedem Schritt über das Monitorbild, ob Ihre Hand bzw. Ihr Finger das markierte Bauelement trifft. Haben Sie das Bauelement identifiziert, scannen Sie bitte den darunter stehenden Strichcode ein. Die Kamera fährt daraufhin automatisch zu ihrem Ausgangspunkt zurück. Nehmen Sie nach dem Scannen bitte wieder Ihre Ausgangsstellung vor dem Monitor ein, wo Sie jeweils den nächsten Schritt aufrufen.