Aus dem Bereich Arbeitsmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Vergleich verschiedener Navigationsarten von kopfgetragenen Augmented-Reality-Displays: Visuelle Leistungen und „Blindheit" durch Nichtaufmerksamkeit

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

Dr. med.

(doctor medicinae)

an der Medizinischen Fakultät
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

vorgelegt von Thoralf Rößler
aus (Geburtsort) Schlema

Magdeburg, 2011

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 1
Abbildungsverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 5
Anhangsverzeichnis 6
Abkürzungsverzeichnis 7
1 Einleitung 9
1.1 Allgemeine Einführung 9
1.2 Augmented Reality 9
1.2.1 Definition AR-Technologien 10
1.2.2 Einordnung der AR 10
1.2.3 Technologien 11
1.2.4 Ausgabegeräte 12
1.2.5 Anwendungsbereiche der AR-Technologien 15
1.2.6 Anforderungen der Industrie 17
1.3 Internationale Forschung und Entwicklung der Virtuellen und Erweiterten Realität 19
1.3.1 Aktuelle Forschung 19
1.3.2 Zukunftsperspektiven der AR und VR 20
1.4 Arbeitsphysiologische Fragestellungen bei der Anwendung von AR-Technologien 21
1.4.1 Wahrnehmung 21
1.4.2 Aufmerksamkeit 23
1.4.3 Beanspruchung bei Anwendung von AR-Technologien 24
1.4.4 Motivation 25
1.5 AVILUS 26
2 Zielstellung und Arbeitshypothesen 27
3 Probanden und Methoden 28
3.1 Probanden 28
3.2 Studiendesign 28
3.3 Ablauf der arbeitsmedizinischen Untersuchungen im Labor 29
3.3.1 Anamnesebogen 29
3.3.2 Ophthalmologische Methoden 29
3.3.3 Periphere Wahrnehmung 32
3.4 Versuche am Referenzarbeitsplatz 33

3.4.1 Versuchsaufbau 33
3.4.2 Ablauf der Versuche am Referenzarbeitsplatz 36
3.4.3 Arbeitsaufgaben 37
3.4.4 Darstellungen am HMD 37
3.4.5 Erfassung der Aufmerksamkeit 38
3.5 Beanspruchungsanalyse 40
3.5.1 Objektive Leistung 40
3.5.2 Objektive Beanspruchung 40
3.5.3 Subjektive Beanspruchung 40
3.6 Statistische Methoden 42
4 Ergebnisse 44
4.1 Arbeitsmedizinische Untersuchungen 44
4.1.1 Ophthalmologische Statusergebnisse 44
4.1.2 Periphere Wahrnehmung 49
4.2 Aufmerksamkeitsleistung 50
4.2.1 Reaktionszeiten nach Quadranten 50
4.2.2 Fehler 52
4.2.3 Abhängigkeit der Reaktionszeiten vom Abstand des Tunnels zum Landoltring 53
4.3 Leistungsdaten 57
4.4 Herzfrequenz und HRV 58
4.5 Subjektive Beanspruchung 58
4.5.1 EZ-Skala 58
4.5.2 BFS 59
4.5.3 Beschwerde-Fragebogen 59
5 Diskussion 62
6 Zusammenfassung 69
7 Literaturverzeichnis 71
8 Anhang 77
9 Erklärung 85
10 Lebenslauf 86
11 Publikationen 87
12 Danksagung 88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Reality-Virtuality-Kontinuum nach Milgram	11
Abbildung 2:	Datenhandschuh	11
Abbildung 3:	Look-Around-Technologie am Beispiel eines Handheld	13
Abbildung 4:	Look-Through-Darstellung	13
Abbildung 5:	Durchsicht bei Video-See-Through-Systemen	14
Abbildung 6:	Durchsicht bei Optical-See-Through-Systemen	14
Abbildung 7:	Durchsicht bei Projection-See-Through-Systemen	15
Abbildung 8:	Augmented-Reality-unterstützte Laparoskopie	16
Abbildung 9:	Computer-überlagerte Röntgenaufnahme mit Livebild	16
Abbildung 10:	Technische Umsetzung eines mobilen AR-Systems	18
Abbildung 11:	Akkommodationsdefizit bei der virtuellen Tiefenwahrnehmung	23
Abbildung 12:	VISTECH Prüftafel VCTS 6000	30
Abbildung 13:	Kontrastempfindlichkeitsscore	33
Abbildung 14:	Normkurve für die Kontrastempfindlichkeit	31
Abbildung 15:	Wiener Test-Verfahren „PP" zur Prüfung der peripheren Wahrnehmung	33
Abbildung 16:	HMD Liteye 150A	34
Abbildung 17:	Aufbau des HMD mit Trackingsystem sowie die Visualisierung am Liteye	34
Abbildung 18:	UMPC – SONY VAIO VGN-UX1XN	35
Abbildung 19:	Probanden während des Versuchs	35
Abbildung 20:	Wii-Fernbedienung	36
Abbildung 21:	3D-Mouse – 3DCONNEXION SpaceNavigatorTM MY3DX	37
Abbildung 22:	Darstellungen der „Attention Funnel" sowie der reinen Textanzeige mit Landoltringen für die Diskriminierungsaufgabe	38
Abbildung 23:	Bei Annäherung an das Regalfach mit dem zu kommissionierenden Teil eingeblendetes Zielrechteck	38
Abbildung 24:	Einblendpositionen der Landoltringe	39
Abbildung 25:	Verdecken der Öffnung des Landoltringes durch den „Attention Funnel"	39
Abbildung 26:	Faktorenhierarchie der EZ-Skala (nach Nitsch)	42
Abbildung 27:	Absolute Häufigkeitsverteilung der Visuswerte	44
Abbildung 28:	Ergebnisse aus den Stereotests	45
Abbildung 29:	Ergebnisse der Untersuchungen zu Phorie und Tonometrie	46
Abbildung 30:	Ergebnisse des Kontrasttests (Rodatest 302)	47

Abbildung 31:	Kontrastempfindlichkeitsscore	
Abbildung 32:	Kontrastempfindlichkeit (Vistech-Tafel)	47
Abbildung 33:	Häufigkeiten von Defekterscheinungen bei der Perimetrie	48
Abbildung 34:	Ergebnisse des Dynamischen Sehtests	49
Abbildung 35:	Komponenten der Reaktionszeit für Tunnel B	51
Abbildung 36:	Komponenten der Reaktionszeit für ausschließliche Textanzeige	51
Abbildung 37:	Komponenten der Reaktionszeit für Tunnel A	52
Abbildung 38:	Durchschnittliche Fehlerzahl über die Versuchsreihen	53
Abbildung 39:	Durchschnittliche Reaktionszeiten nach Gruppen	54
Abbildung 40:	Reaktionszeiten - Gruppe 1	54
Abbildung 41:	Reaktionszeiten – Gruppe 2	55
Abbildung 42:	Reaktionszeiten - Gruppe 3	55
Abbildung 43:	Reaktionszeiten - Gruppe 4	56
Abbildung 44:	Anzahl der bearbeiteten Teile	57
Abbildung 45:	Anzahl der Fehler bei den 3 Untersuchungsbedingungen	57
Abbildung 46:	Befindlichkeit beim Gesamtversuch	59
Abbildung 47:	Augenschmerzen im Vergleich vor und nach dem Versuch bei der Textausgabe	60
Abbildung 48:	Kopfschmerzen im Vergleich vor und nach dem Versuch bei Tunnel B	60
Abbildung 49:	Ergebnisse aus dem Beschwerdefragebogen beim Gesamtversuch	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Forschungsbereiche zu AR-Technologien (exemplarische Anwendungsgebiete) 20
Tabelle 2: Ablauf der ophthalmologischen Untersuchungen im Labor 29
Tabelle 3: Zeitlicher Ablauf der Versuchsreihen 36
Tabelle 4: Anzahl der Fehler bei den Farbsehtests 45
Tabelle 5: Ergebnisse der Untersuchung zur peripheren Wahrnehmung 49
Tabelle 6: Prozentränge für die Parameter Gesichtsfeld und Trackingabweichung 50

Anhangsverzeichnis

1. Einwilligungserklärung
2. Probandenaufklärungsbogen
3. Anamnesebogen
4. Beschwerden-Fragebogen
5. Eigenzustands-Skala nach Nitsch
6. Befindlichkeits-Skala

Abkürzungsverzeichnis

AD	Akkommodationsdefizit
AE	Augenermüdung
AF	Attention Funnel
ANOVA	Analysis Of Variance
AR	Augmented Reality
AS	Augenschmerzen
AV	Augmented Virtuality
AVILUS	Angewandte Virtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittellebenszyklus
BZ	Beschwerdefragebogen
BFS	Befindlichkeits-Skala
CT	Computertomographie
DGA	Druckgefühl im Auge
DS	Dynamisches Sehen
EZ	Eigenzustandsskala nach Nitsch
FoV	Field of View
IAM	Institut für Arbeitsmedizin / Bereich Arbeitsmedizin
IFF	Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung
IT	Initiation Time
HF	High Frequency
HMD	Head Mounted Display
HRV	Heart Rate Variability (Herzfrequenzvariabilität)
KS	Kopfschmerzen
L	Linkes Auge
M	Median
MW	Mittelwert
MT	Movement Time
OLED	Organic Light Emitting Diode
OST	Optical See Through
p	Signifikanzniveau
PDA	Personal Digital Assistant
PR	Prozentrang

PST	Projection See Through
R	Rechtes Auge
RT	Reaction Time
RW	Roh-Wert
RZ	Reaktionszeit
SD	Standardabweichung
St	Staninewert
T	T-Wert
TA	Tunnel A
TB	Tunnel B
UMPC	Ultra Mobile Personal Computer
VST	Video See Through
VR	Virtual Reality

1 Einleitung

1.1 Allgemeine Einführung

Die Anforderungen an Automatisierungen in diversen Bereichen der Arbeitswelt entwickeln sich rasant. Dabei erfordern wachsender Zeit- und Wettbewerbsdruck sowie die angestrebte Steigerung der Produktivität stetig technische Neuerungen und Weiterentwicklungen.
Aufsteigende Effizienz am Arbeitsplatz erfordert unter anderem eine optimierte Bereitstellung der erforderlichen Informationen.
Verschiedene Assistenz-Systeme werden in der Industrie auf ihre Möglichkeiten zur Unterstützung des arbeitenden Menschen bei seiner Tätigkeit untersucht. So werden Forschungen mit Anzeigesystemen der „Virtual Reality" (VR) unter vollständiger Interaktion mit einer künstlichen Realität sowie der „Augmented Reality" (AR) vorangetrieben; bei letzterer stellt sich für den Anwender eine durch Zusatzinformationen erweiterte reale Welt dar. Die mobile Augmented-Reality-Technologie bildet seit einigen Jahren weltweit einen Schwerpunkt im Rahmen diesbezüglicher Forschung [Dünser 2008, Swan 2005, Zhou 2008]. Auch in Deutschland widmen sich zahlreiche Projekte der Weiterentwicklung von AR-Technologie sowie der Erforschung diverser Aspekte bei der Anwendung solcher Systeme [Friedrich 2004, Regenbrecht 2004, Schreiber 2011].
Eine Möglichkeit der Darbietung zusätzlicher Informationen bietet diese Technologie über ein am Kopf getragenes Anzeigeelement (Head-Mounted-Display – HMD). Direkt im Sichtfeld einer Person können Zusatzinformationen eingeblendet und so Arbeitsabläufe effektiver gestaltet werden [Alt 2002, Tümler 2008d].

1.2 Augmented Reality

Augmented Reality (AR) bezeichnet die Erweiterung der realen Umgebung des Menschen mit computergenerierten Objekten, also „virtuellen" Informationen. Die Anreicherung der Wahrnehmung kann dabei über sämtliche Sinneskanäle erfolgen:

- visuell (Sehen)
- akustisch (Hören)
- haptisch (Fühlen)
- olfaktorisch (Riechen)
- gustatorisch (Schmecken)

Auch Kombinationen aus Reizen, die verschiedene Sinne ansprechen, sind möglich und Gegenstand weiterer Forschung [Senft 2010].
Bei (mobilen) Ausgabegeräten, die das visuelle System ergänzen, werden dem Nutzer Informationen zusätzlich zu seiner realen Umgebung angezeigt.

1.2.1 Definition AR-Technologien

Die AR-Technologien bieten die Möglichkeit einer „Ergänzung der visuellen Wahrnehmung des Menschen durch die situationsgerechte Anzeige von rechnergenerierten Informationen auf im Sichtfeld positionierten, tragbaren Geräten" [Alt 2002].
Die Ausgabegeräte (→ Kapitel 1.2.4) realisieren neben der Kombination von Realität und Virtualität auch die Interaktivität in Echtzeit sowie die Registrierung in drei Dimensionen [Azuma 1997]. Unter der Voraussetzung, dass AR in der aktuellen Forschung hauptsächlich eine Anreicherung des visuellen Sinnes bedeutet, hat Tümler folgende Merkmale für AR-Technologien definiert [Senft 2010, Tümler 2009]:

- Abbildung virtueller Elemente auf eine reale Situation,
- Echtzeitinteraktion des Anwenders mit realen und virtuellen Inhalten und
- Darstellung der AR-Inhalte über computergesteuerte Anzeigegeräte.

Bezogen auf die mobile AR definiert Tümler [Tümler 2009]:
„Mobile Augmented Reality beschreibt die situationsgerechte Anzeige rechnergenerierter Informationen auf im Sichtfeld positionierten, vom Benutzer mitführbaren Anzeigegeräten, die die Bearbeitung primärer Arbeitsaufgaben nicht behindern."

Diese Definition geht von portablen Anzeigegeräten aus - frei im Raum bewegliche Systeme größerer Bauform wie bewegliche Werkstattwagen sind dabei ausgeschlossen. Dass mobile AR-Systeme portabel sein sollten, wird in diversen Studien verdeutlicht [Tegtmeier 2007, Tümler 2007]. Die Anforderungen der Industrie werden in Kapitel 3.2.6 besprochen.

1.2.2 Einordnung der AR

Innerhalb der Technologien um scheinbare und erweiterte Realität grenzt sich die AR in einem fließenden Übergang von der realen Welt in die virtuelle Umgebung ab (Abbildung 1).

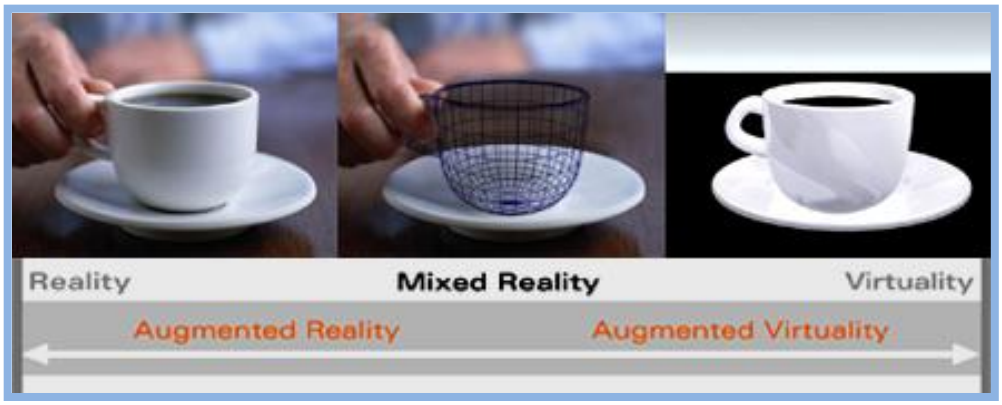

Abbildung 1: Reality-Virtuality-Kontinuum nach Milgram [Quelle: http://www.avilus.de/uploads/pics/tasse.png]

Die „Reality" wird in diesem Modell nach Milgram nicht als Gegenteil der „Virtuality" betrachtet, beide bilden vielmehr Pole, zwischen denen sich die Mixed-Reality integriert.
Über das Umfeld der realen Welt besitzt der Computer keine Aussagen. Die virtuelle Umgebung ist gänzlich erschaffen, wohingegen die reale Welt als gegensätzliches Extrem dieses Modells vollständig unmodelliert ist [Milgram 1999].
Als Teil der Mixed-Reality stellen dabei die AR und die Augmented Virtuality (AV) den Übergang von der realen in die virtuelle Umgebung dar. Die AV beinhaltet eine Erweiterung der Virtuality mit realen Informationen. Der Begriff der Mixed-Reality symbolisiert das Problem der Definition, wie lange eine reale Situation und ab wann eine virtuelle vorliegt.

1.2.3 Technologien

In der elektronischen Datenverarbeitung werden die verwendeten Komponenten nach Eingabe-, Verarbeitungs- und Ausgabesystemen klassifiziert [Tümler 2009]. Einfluss auf die Anwendung von Systemen zur Eingabe hat die Möglichkeit zur Interaktion mit dem Nutzer (Computer-Mouse, Tastatur, Spracheingabesysteme, Datenhandschuhe – Abbildung 2).

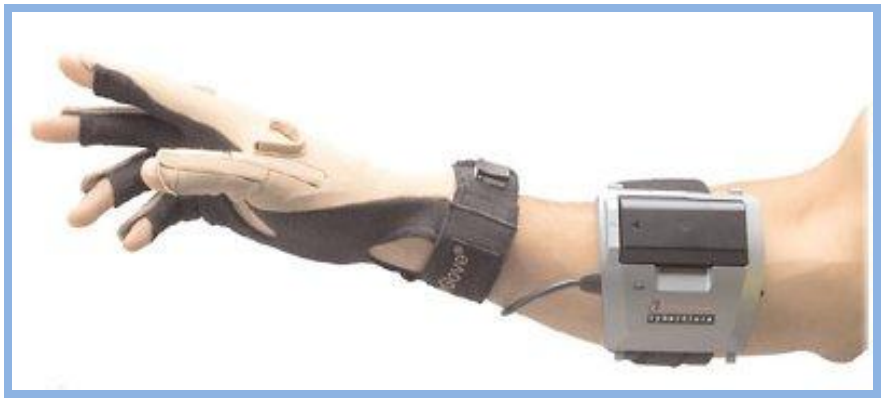

Abbildung 2: Datenhandschuh [Quelle: http://www.golem.de/0512/42086-cyberglove2.jpg]

Bei Tracking- und diversen Funksystemen besteht keine direkte Nutzerinteraktion. Hier stehen die Lokalisation und gegebenenfalls Orientierung von Personen oder Objekten im Vordergrund. Beim Tracking sind Ortsgenauigkeit und zeitliche Latenz wesentliche Kenngrößen (→ 1.2.5) [Senft 2010, Kastsian 2008].
Verarbeitungssysteme stellen die Verbindung zwischen den Technologien zur Eingabe und Ausgabe her. Dies wird bei stationären Systemen im Wesentlichen durch PCs sichergestellt, zur Gewährleistung einer Mobilität kommen Ultra-Mobile-PCs (UMPC), Personal Digital Assistants (PDA) oder auch Smartphones je nach Zweck und Eignung zum Einsatz.
Gegebenenfalls erweitern Hybride Systeme als Mischform zwischen stationären und mobilen Apparaturen die Anwendungsmöglichkeiten, um beispielsweise Defizite in der Rechenleistung mobiler Geräte auszugleichen [Papagiannakis 2008, Tümler 2009].
Auf Ausgabesysteme wird im folgenden Kapitel detaillierter eingegangen.

1.2.4 Ausgabegeräte

Ausgabesysteme eines AR-Systems beinhalten grundlegend alle Methoden, die eine reale Umgebung mit virtuellen Informationen ergänzen. Generell werden bei AR- Systemen mobile und stationäre Anordnungen unterschieden. Diese Einteilung ist bezüglich der Unterstützung des Werkers bei seiner Tätigkeit bedeutsam - das mobile System darf ihn während der Ausführung seiner Arbeit nicht einschränken [Senft 2010].

Als Beispiele für Ausgabesysteme sind grundsätzlich Bildschirme, Projektoren, Handhelds (UMPC, Smartphone, PDA) und Head-Mounted-Displays (HMD) in Gebrauch [Völker 2010, Jacko 2009]. Bei HMDs werden monokulare von binokularen Anzeigegeräten differenziert. Für den Anwender ist dies hinsichtlich der Tiefenwahrnehmung bedeutsam, da nur bei binokularen Systemen stereoskopisches Sehen möglich ist. Weitere wichtige Kenngrößen sind neben Größe und Gewicht des verwendeten Gerätes dessen Darstellungsqualität, die Auflösung, seine Ausrichtung sowie die mögliche Verdeckung von Bereichen des Gesichtsfeldes durch die Bauweise [Hou 2001, Watson 1995, Fritzsche 2006]. Eine genaue Ausrichtung der optischen Systeme bedingt nicht nur die räumliche Präzision, sondern auch nutzerbezogene Aspekte für den (Langzeit-)Gebrauch der HMDs, nicht zuletzt haben dabei Abstands- und Brennweiteneinstellungen einen wesentlichen Einfluss [Urbina 2011, Ververs 1998, Oehme 2004].
Eine Untergliederung von Anzeigesystemen erfolgt generell in Look-Around- und Look-Through-Geräte. Im Gegensatz zu den Umsichtgeräten (Look Around) wie beispielsweise

Handhelds (Abbildung 3) wird bei Durchsichtgeräten (Look Through) immer ein Teil der realen Umgebung im Gesichtsfeld des Anwenders verdeckt.

Abbildung 3: Look-Around-Technologie am Beispiel eines Handheld [Quelle: http://www.bestbuy.co.uk/MultiMedia/Other/000173_The-wonderful-world-of-augmented-reality_740.jpg]

Die meisten HMD-Anwendungen kommen unter Verwendung von Look-Through-Technologie in Gebrauch (Abbildung 4), es gibt aber auch die Möglichkeit der Look-Around-Anwendung.

Abbildung 4: Look-Through-Darstellung [Quelle: http://www.zdnet.co.uk/i/z5/illo/nw/ story_graphics/10sept/augmented-reality/augmented-reality-4.jpg]

Unter den AR-basierten visuellen Anzeigegeräten werden Optical-See-Through(OST)- von Video-See-Through(VST)- sowie Projection-See-Through(PST)-Geräten abgegrenzt. Ferner können monokulare von binokularen Anwendungen unterschieden werden [Genc 2001, Milgram 1994].

Für VST-Systeme (Abbildung 5) wird die reale Welt durch Bildaufnahmegeräte aus Sicht des Benutzers aufgezeichnet, zusätzliche virtuelle Elemente werden unmittelbar in das Videobild eingefügt. Für Anwendungen, bei denen es nicht erforderlich ist, Datenvolumina von Videofilmen zu verwenden, werden Systeme mit Fotovisualisierungen angewandt [Schreiber 2005].

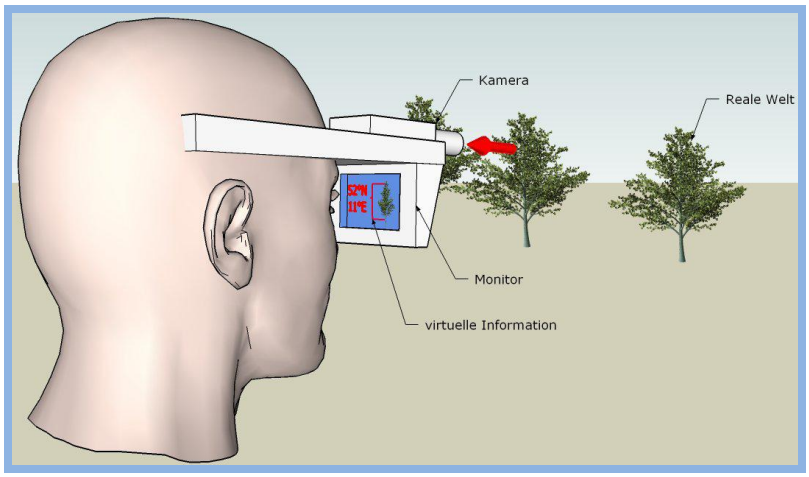

Abbildung 5: Durchsicht bei Video-See-Through-Systemen [Quelle: Tümler 2009]

Die Vermischung von der realen mit der virtuellen Welt erfolgt bereits im Computer. Der Anwender nimmt das fertig gemischte Bild entweder auf einem Display vor den Augen oder auf herkömmlichen Ausgabegeräten wahr. Alternativ zu Head-Mounted-Displays können auch normale Displays oder Projektionen zur Darstellung verwendet werden.
Probleme dieser Technologie zeigen sich in der gestörten Hand-Auge-Koordination, da sich das Auge des Anwenders und die Kamera nicht an identischer Position befinden und durch die Latenz der Kamera außerdem eine minimale Zeitversetzung entsteht [Huckauf 2009].

Bei OST-Anzeigegeräten ist die Wahrnehmung der Realität weiterhin gegeben, reale und virtuelle Umgebung vermischen sich erst im Auge des Anwenders (Abbildung 6). Die Zusatzinformationen werden über einen semitransparenten Spiegel oder mittels Lasersystemen direkt auf die Netzhaut (Retina) projiziert.

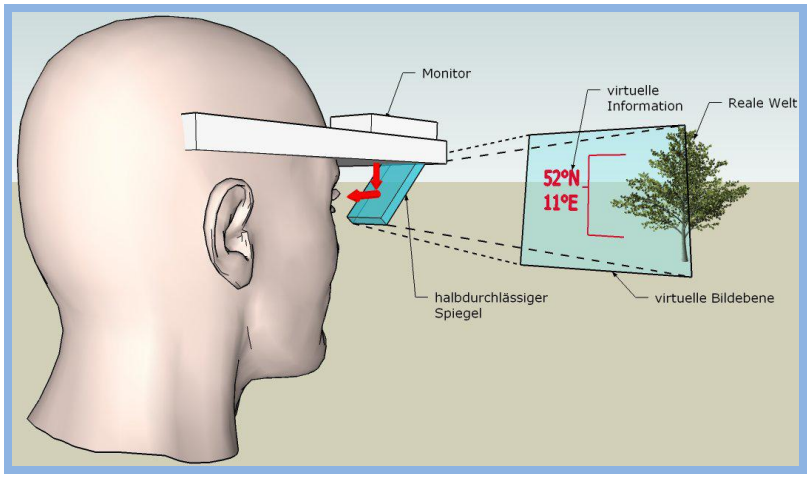

Abbildung 6: Durchsicht bei Optical-See-Through-Systemen [Quelle: Tümler 2009]

Die Koordination zwischen Hand und Auge bleibt dabei unbeeinträchtigt, lediglich eine gewisse Einschränkung des Sichtfeldes aufgrund der am Kopf des Anwenders angebrachten Systeme ist möglich. Allerdings ist die Herausforderung eines präzisen „Tracking" (→ 1.2.6.3) zu bewältigen, um die virtuellen Informationen räumlich und zeitlich exakt zur realen Umgebung darzustellen.

Die Aspekte der freien Sicht auf die reale Umgebung sowie der Notwendigkeit eines genauen Trackings gelten auch für PST-Systeme.

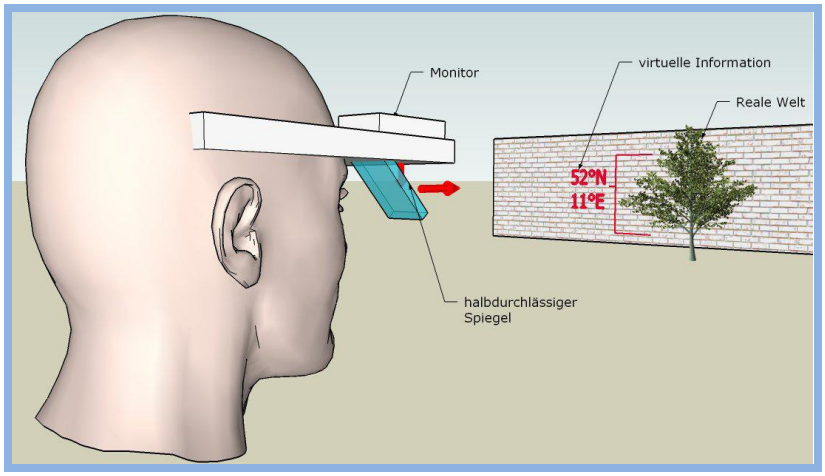

Abbildung 7: Durchsicht bei Projection-See-Through-Systemen [Quelle: Tümler 2009]

Hier ist für die Projektion in Richtung auf das Zielobjekt die Notwendigkeit einer nichtspiegelnden, aber reflektierenden Oberfläche gegeben (Abbildung 7), zusätzlich erschweren uneinheitliche Oberflächenstrukturen die Bilderkennung für den Anwender [Senft 2010].

1.2.5 Anwendungsbereiche der AR-Technologien

Anwendungs- und damit Forschungsgebiete finden sich unter anderem in Schlüsselindustrien wie Automobil- und Flugzeugbau, in Werften und im Anlagenbau sowie bei Fabrikplanungen [Reinhart 2003, Fründ 2004]. Nicht nur bei industriellen Anwendungen bietet sich die Möglichkeit, dem Werker Zusatzinformationen einzublenden, ohne dass dieser sich von seiner Tätigkeit abwenden oder seine Hände aus dem Tätigkeitsfeld entfernen muss. Beispielsweise im medizinischen Bereich werden die Vorteile dieser Anwendungen deutlich, wenn bei operativen Eingriffen zusätzliche Informationen über Strukturen virtuell dargeboten werden [Navab 2007, Fuchs 1998]. So ist eine Art der visuellen Unterstützung

die dreidimensionale Darstellung der inneren Organe (Abbildung 8) eines Patienten, die dem realen Bild dieser Person überlagert wird [Sielhorst 2008, Marescaux 2004].

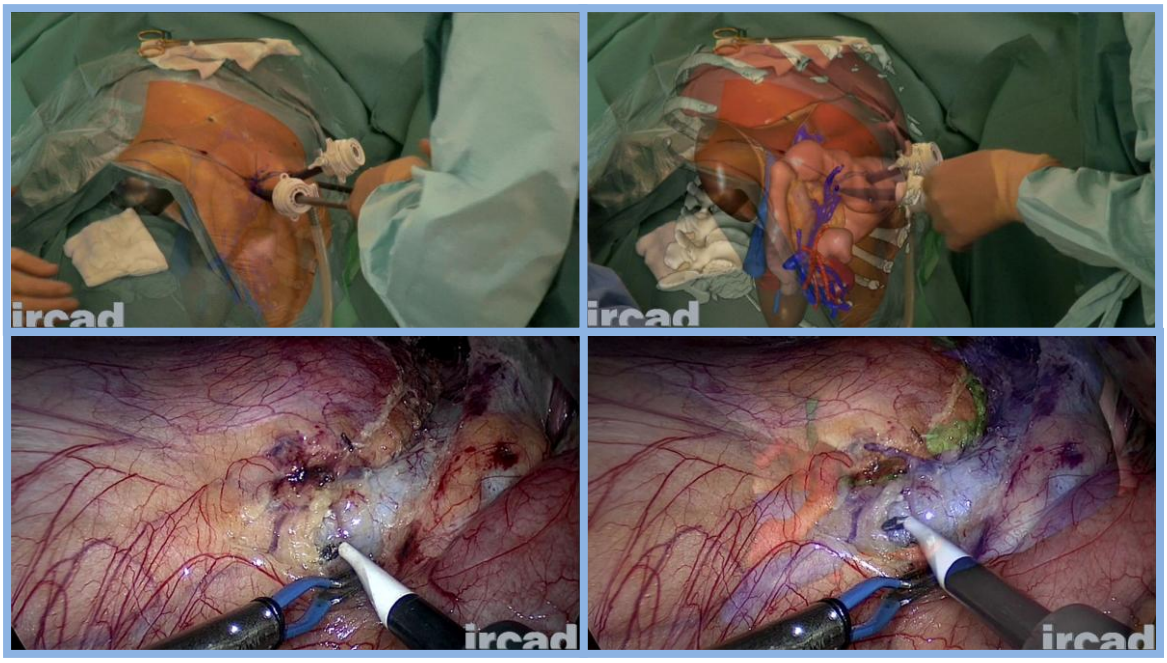

Abbildung 8: Augmented-Reality-unterstützte Laparoskopie [Quelle: Marescaux, J.]

Zahlreiche Strukturen eines Menschen lassen sich beispielhaft mit Röntgen- oder 3-dimensionalen Computertomographie(CT)-Aufnahmen virtuell am realen Patienten darstellen und ermöglichen damit einen direkten Einblick auf das Innere der Person (Abbildung 9). AR kommt in diversen medizinischen Fachbereichen wie (Neuro-)Chirurgie, Innere Medizin, Gynäkologie, Orthopädie, Ophthalmologie sowie Anästhesiologie zum Einsatz und ist Gegenstand aktueller und zukünftiger Forschung [Schreier 2009, Rolland 2000, Azuma 1998].

Abbildung 9: Computer-überlagerte Röntgenaufnahme mit Livebild [Quelle: http://www.in.tum.de/typo3temp/pics/08048f35c1.jpg]

Weitere Anwendungsfelder sind Unterhaltungsindustrie, Stadtplanung, Navigation, Innenraumgestaltung, Training (Flugsimulatoren, Astronautentraining), Militär sowie Designbereiche [Encarnacao 1997, Pfendler 2007, Mizell 2001]. Auch in Bereichen von Kommunikation und Marketing findet AR ihren Nutzen [Feisst 2007, Jung 2011, Owen 2010]. Für Schulen, Industrie und Weiterbildungsstätten werden Anwendungen zu virtuellen Lern- und Schulungsmodellen in verschiedenen Projekten erprobt [Bruns 2003]. Im industriellen Umfeld eignet sich die AR ferner zur Registrierung von Beanspruchungssituationen der Mitarbeiter, beispielsweise bei Kommissioniertätigkeiten, um berufstypische Gesundheitsrisiken zu erfassen [Kammergruber 2010].
Auch im privaten Bereich werden Systeme mit visuellen Anreicherungen immer mehr genutzt, nicht zuletzt bei multiplen Videospielen.
Alle aktuell erforschten Anwendungsbereiche (→ 1.3.1) befähigen zur Interaktion zwischen der realen Welt mit virtuellen Objekten.

1.2.6 Anforderungen der Industrie

1.2.6.1 Effizienz

Eine industriell angewandte unterstützende Informationstechnik zielt darauf ab, Arbeitsprozesse effizienter zu gestalten. Sie soll dem Werker assistierend zur Verfügung stehen, ohne ihn bezüglich der dargestellten Aspekte Mobilität, Wahrnehmung und Aufmerksamkeit einzuschränken und soll somit beanspruchungsärmer sein.
Eine Industrietauglichkeit wird durch Minimierung von Größe und Gewicht der Technik, nicht-stationäre Informationsdarbietung bei freier Beweglichkeit des Nutzers, fehlende Kabelverbindungen zu den mobilen Systemkomponenten und natürlich eine zweckmäßige Robustheit dieser Elemente gewährleistet [Tümler 2008b, Wiedenmaier 2004].

Die Mobile Augmented Reality bietet mittels situationsadaptierter Informationsdarbietung die Möglichkeiten zur Fehlervermeidung sowie Früherkennung von Fehlern. Damit gewährleistet sie eine Effizienz- und Qualitätsverbesserung von (Montage-)Prozessen. Durch zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte in Deutschland und weltweit wird der fortschreitende Reifeprozess dieser virtuellen Technologiesysteme ermöglicht [Zhou 2008, Eissele 2006, Reimann 2009].

1.2.6.2 Mobilität

Um die Mobilität der Person und damit auch der Arbeitsinhalte zu gewährleisten, sind neben der Ortsunabhängigkeit der Arbeitsbeziehungen auch transportable Werkzeuge erforderlich. Dies wird durch die AR um eine virtuelle Mobilität ergänzt. Die primäre Aufgabe eines Werkers gebührt der Handhabung realer Objekte, nicht zuletzt dafür muss ein Mindestmaß an Praktikabilität der verwendeten Komponenten (Größe, Gewicht, Bedienbarkeit etc.) gegeben sein.
Die Aufgabe der AR liegt in der Ergänzung der Mobilität sowie der Überbrückung informationstechnischer Lücken. Zur Gewährleistung der Mobilität sind nach Tümler wesentliche Systemkomponenten zur Übermittlung von AR-Informationen erforderlich [Tümler 2008a, McGarrity 2001]:

- Menschliches Auge für die Aufnahme der Information
- Display zur Visualisierung
- Tracking für das Bestimmen von Lage und Orientierung im Raum

Ein präzises dreidimensionales Echtzeit-Tracking gewährleistet ebenso wie die Handhabbarkeit der mitzuführenden Objekte die praktische Zweckdienlichkeit der mobilen AR und damit die Mobilität des Anwenders [Comport 2006, Cornelis 2001].
Das erforderliche technische Equipment zur Realisierung der Mobile Augmented Reality ist symbolisch in Abbildung 10 dargestellt.

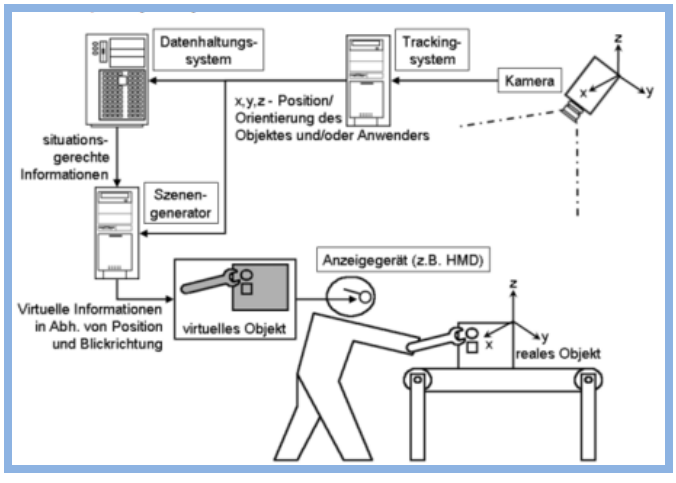

Abbildung 10: Technische Umsetzung eines mobilen AR-Systems [Quelle: http://winfwiki.wi-fom.de/images/thumb/d/db/Technische-realisierung-2.png/450px-Technische-realisierung-2.png]

An alle Komponenten dieses Systems werden spezielle Anforderungen gestellt, um letztendlich die Mobilität des Anwenders zu gewährleisten. Die Qualität der verwendeten Systeme bedingt dabei die Nutzerfreundlichkeit und letztlich –zufriedenheit [Brau 2005].

1.2.6.3 Trackingsysteme

Tracking beinhaltet alle Prozesse, die mit der Erfassung dreidimensionaler Positions- und Orientierungsdaten einhergehen. Für die Anwendung von AR-Systemen ist eine präzise Datenvermittlung von essentieller Bedeutung. Nach technischen Gesichtspunkten lassen sich folgende Gruppen unterscheiden:

- mechanische,
- akustische,
- elektromagnetische und
- optische Trackingsysteme, darunter
- Intertialtracker-Systeme sowie
- GPS (Global Positioning System)-Systeme.

Wesentliche Einflussfaktoren hinsichtlich ihrer Präzision liegen in Auflösung, räumlicher Genauigkeit, Verzögerung, Aktualisierungsrate und Wiederholbarkeit. Für AR-Anwendungen haben sich ausschließlich akustische und optische Technologien inklusive Intertialtracker- und GPS-Systeme etabliert [Suthau 2006, Jung 2011]. Spezielle Technologien registrieren dabei die Blickrichtung und Augenbewegungen des Benutzers. Insbesondere markerlose optische Systeme bieten geeignete Bedingungen für den mobilen Einsatz unter präzisem Tracking [Kato 1999, Genc 2001, Comport 2003, Waechter 2009].

1.3 Internationale Forschung und Entwicklung der Virtuellen und Erweiterten Realität

1.3.1 Aktuelle Forschung

Weltweit sind zahlreiche Projekte Gegenstand der Forschung zu AR-Technologien (Tabelle 1). In der Automobilindustrie und anderen Produktionszweigen, für Verkehrs- und Flugsimulatoren, zu geographischen und medizinischen Anwendungen sowie im Bereich Design und auf anderen Gebieten sind derzeit allein in Deutschland mehr als 30 Forschungsgruppen aktiv [Encarnacao 1997, AVILUS 2011].

Tabelle 1: Forschungsbereiche zu AR-Technologien (exemplarische Anwendungsgebiete)

Bereich		Anwendungsbeispiele
Industrie	Entwicklung, Planung	Konstruktion, Teamarbeit
	Fertigung	Kommissionierung, Montage
	Wartung	Industrieanlagen, Navigation
Simulation		Flug- und Fahrsimulation, Weltraumforschung
Marketing		Konferenzen, Training
Militär		Navigation, Feinderkennung
Katastrophenmanagement		Gefahrenerkennung, -management
Navigation		Flug- und Autoverkehr, Städte, Gebäude, Militär
Prospektion	Geologie, Geographie	Kartographie, Bodenschätze
	Hydrologie, Ökologie	Geländemerkmale
Medizin		Operationsplanung, Schulung
Schulen		Lernen, Teamarbeit
Architektur		Darstellung und Rekonstruktion, Planung und Entwicklung
Unterhaltung	Museen, Ausstellungen	Virtuelle Objekte, Navigation
	Computer	Videospiele

Immer mehr werden außerdem interdisziplinäre Studien angestrebt, nicht nur um die Entwicklung der Systeme voranzubringen, sondern auch um Möglichkeiten und Grenzen der Technologien sowie auch ethische und Datenschutz-Probleme zu eruieren.

1.3.2 Zukunftsperspektiven der AR und VR

Im Unterhaltungssektor werden schon heute kommerziell AR- und VR-Technologien angewendet, dieser Bereich wird beispielsweise durch die Weiterentwicklung von Spielkonsolen oder Kommunikationsanwendungen stetig erweitert. Auch im Marketing finden immer mehr Anwendungen Einzug in kommerzielle Bereiche.

In weiten Gebieten der Architektur- und Städteplanung haben VR-Systeme ihren Nutzen unter Beweis gestellt, mit der Entwicklung der Techniken werden die Anwendungsmöglichkeiten beständig ergänzt.

Vielfältige Einsatzmöglichkeiten ergeben sich im Sektor der Medizin zur Analyse und Visualisierung von medizinischen Daten, nicht nur zur Planung und Unterstützung von Operationen, sondern auch zu diagnostischen und Schulungs-Zwecken.

In der Automobilindustrie werden Anwendungen beispielsweise im Bereich Fertigung und Montage und ebenso beim virtuellen Prototyping beständig weiterentwickelt.

Auch die Forschungen im Bereich Simulation für Trainingszwecke, beispielsweise in der Flugindustrie, werden regelmäßig neue Ergebnisse liefern.

Für den Privatbereich sind neue beziehungsweise weiterentwickelte Anwendungsformen zum Beispiel beim Ersatz herkömmlicher Bildschirme oder Gerätebedienfelder durch völlig neue Gerätetypen denkbar. Weiterhin sind mediale Anwendungen, wie pseudo-holografische Bildschirme, virtuelle „Holodecks" oder Virtual-Surround-Kinos vorstellbar.
Der Ersatz von Navigationsbildschirmen bei Einblendung virtueller Informationen direkt in die Umwelt oder Erweiterungen zur Darstellung verdeckter Ziele („Röntgenblick") ist ebenso möglich wie die Darstellung virtueller Pflanzen, Tapeten, Ausblicke, Kunstwerke, Dekorationen, Beleuchtung usw. zur Verschönerung der alltäglichen Umwelt.

Voraussetzungen für die Weiterentwicklungen in allen Bereichen und damit Forschungsschwerpunkte sind

- Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Benutzbarkeit der Systeme (Blickfeld, Sichtanpassung, Robustheit, Gewicht, Detailtreue)
- Qualitative Reifung der Technologien (Bildauflösung, Datenübertragung, Präzision)
- Unterstützung der Mobilität des Anwenders (beidhändiges Arbeiten, Sprachsysteme, taktile Wahrnehmung beim Datenhandschuh, Ermöglichung von Teamarbeit)
- Gesundheitliche Aspekte (unter anderem bei Dauerbenutzung).

Eine nutzergerechte Umgebung wird dadurch erzielt, dass der Anwender sich in der virtuellen Welt genauso uneingeschränkt fortbewegen kann wie in der realen Welt [Encarnacao/Schipanski 1997, Tümler 2008b].

1.4 Arbeitsphysiologische Fragestellungen bei der Anwendung von AR-Technologien

1.4.1 Wahrnehmung

Wahrnehmung stellt das bewusste Erleben sensorischer Empfindungen dar. Der unbewusste Anteil eines solchen Erlebens offenbart eine Empfindung. Die Verarbeitung der Signale dieser Wahrnehmungen und Empfindungen im Gehirn führt zum Erkennen, was grundsätzlich bereits ein Ergebnis des Wahrnehmungsprozesses darstellt, ebenso wie Handlungen, die sich daraus ergeben [Goldstein 2008]. Wahrnehmung ist dabei ein

dynamischer Prozess, der zu Handlungen führen kann. Der Verlauf von Wahrnehmungsprozessen kann vom Wissen der Person beeinflusst werden. Faktoren wie Beschreiben, Wiedererkennen, Entdecken, Ausprägungen oder Suchen sind zur Quantifizierung und Charakterisierung der Wahrnehmung maßgeblich.

AR-Systeme haben die Aufgabe, die reale Welt mit virtuellen Informationen anzureichern. Dabei sollen sich für den Anwender beide Umgebungen zu einem Ganzen vereinen. Eine vollständige Integration ist nur dann gegeben, wenn beide Darbietungen als einheitliches Bild wahrgenommen werden.
Zahlreiche Faktoren wie physiologische Gegebenheiten, optische Täuschungen, Farb- und Kontrastwahrnehmung, Tiefen- und Größenwahrnehmung, Augenbewegungen, Gesichtsfeld sowie Aufmerksamkeit haben dabei einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Umwelt [Senft 2010, Kanski 2008, Wilhelm 2008]. Untersuchungen zu Farb- und Kontrastdarstellungen, Tiefenwahrnehmung, perimetrischen Gesichtspunkten oder Vergenzbewegungen der Augen bestätigen die Einflussnahme dieser Größen [Livingston 2006, Kloke 2007, Urbina 2009]. Nicht zuletzt beeinflussen das Selbstleuchten der virtuellen Information sowie Hinweise bezüglich Entfernung und Größe die Wahrnehmung der virtuellen und der realen Umgebung als Einheit [Huckauf 2009, Gabbard 2008].
Experimentelle Studien haben die Wahrnehmung von Tiefe im virtuellen Raum untersucht sowie weiterführend den Vergleich vom Greifen im realen mit dem im virtuellen Raum aufgestellt [Armbrüster 2008, Schmidt 2007, Swan 2007]. Es zeigte sich eine veränderte räumliche Wahrnehmung: In den untersuchten Bedingungen wurden virtuelle Distanzen regelmäßig zumeist unter-, seltener überschätzt. Dies war beeinflusst von den binokularen Fähigkeiten: Je besser diese waren, umso mehr Unterschätzungen der Distanzen zeigten sich und umgekehrt.
Die Grundlage dafür liegt im Zusammenspiel von Konvergenz und Akkommodation der menschlichen Augen: Beim Betrachten eines Objekts besteht für jede Distanz ein adäquater Konvergenzwinkel, die Fokussierung wird durch Akkommodation, also Änderung der Brechkraft des menschlichen Auges, realisiert [Kohnen 2008, Krueger 1972]. In virtuellen Umgebungen tritt das Phänomen eines Akkommodations-Konvergenz-Konfliktes [Veron 1990] auf: Die Projektionsfläche virtueller Systeme hat eine konstante Entfernung zum Auge des Anwenders, die virtuellen Objekte werden aber in verschiedenen Entfernungen dargestellt. Die Augen akkommodieren auf die Projektionsfläche, konvergieren und divergieren allerdings in Abhängigkeit von der dargestellten Distanz, wodurch es zu einer

Akkommodationsdifferenz (AD) kommt, die Konvergenzwinkel in virtueller und realer Umgebung werden gleich eingestellt (Abbildung 11).

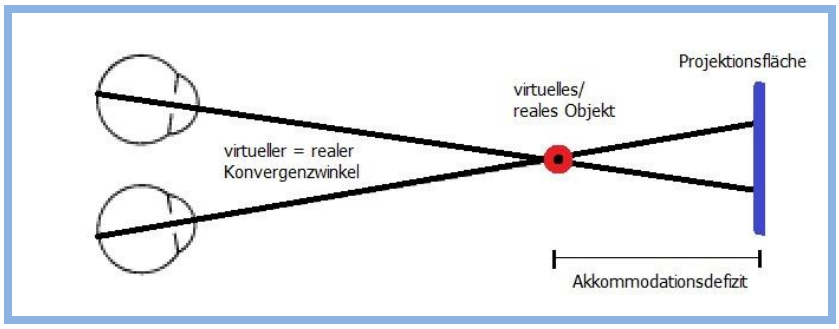

Abbildung 11: Akkommodationsdefizit bei der virtuellen Tiefenwahrnehmung

Die AD gilt als für VR-Anwendungen typisches und technisch nicht überwindbares Phänomen, Untersuchungen zur Entkopplung von Akkommodation und Konvergenz zeigten den Einfluss auf die Tiefenwahrnehmung in virtuellen Systemen [Armbrüster 2008]. Spezielle Technologien ermöglichen eine bessere Wahrnehmung von räumlicher Tiefe bei AR-Anwendungen, zum Beispiel unter Integration flüssiger Linsen in das AR-System [Liu 2008].

Der Faktor des interindividuell verschiedenen Augenabstandes mit entsprechendem Einfluss auf die Tiefenwahrnehmung erscheint als eine weitere Herausforderung für technische Umsetzungen virtueller Systeme. Die wahrgenommene Tiefe ist umgekehrt proportional zum Augenabstand (individuell 45 – 80 mm). Folglich werden individuell nach jeweiligem Augenabstand des Anwenders verschiedene Tiefen wahrgenommen bei gleicher Darstellung am HMD.

1.4.2 Aufmerksamkeit

Gesichtspunkte der Aufmerksamkeit sind Selektivität und Intensität, wobei selektive Aspekte durch geteilte und fokussierte Aufmerksamkeit dargestellt werden, Aspekte der Intensität wiederum in Langfristigkeit (Daueraufmerksamkeit und Vigilanz) sowie Reaktionsbereitschaft liegen [Armbrüster 2008, Pfister 2005]. Diese Anzeichen der Aufmerksamkeit können in diversen Testverfahren eruiert werden. Insbesondere das Reaktionsvermögen über eine längere Zeitdauer (zum Beispiel Schichtdauer während Kommissioniertätigkeit) ist eine für industrielle Anwendungen wesentliche Grundvoraussetzung, oftmals unter wechselnden Bedingungen hinsichtlich der Selektivität (Teilung und Fokussierung der Aufmerksamkeit).

Die Aufmerksamkeit stellt dabei folglich eine uneinheitliche Funktion dar, die aus spezifischen Teilfunktionen kombiniert wird.

Durch die AR sollen als ein Anwendungsbeispiel verschiedene Tätigkeiten zur Steigerung der Effizienz an einem Arbeitsplatz parallelisiert werden. Bei der Parallelisierung mehrerer Aufgaben wird die Aufmerksamkeit auf mehrere Bereiche aufgeteilt, was mitunter ein erhöhtes Gefahrenpotential darstellen kann [Senft 2010].
Bei der gleichzeitigen Bearbeitung mehrerer Aufgaben kann es unter anderem zu einem Effekt der „Blindheit durch Nichtaufmerksamkeit" kommen. Dieser Effekt der Unaufmerksamkeit aufgrund der auf die virtuellen Zusatzinformationen gelenkten Aufmerksamkeit kann es mit sich bringen, dass akute Gefährdungen im Sichtfeld des Anwenders nicht bemerkt werden. Die starke Bindung der Aufmerksamkeit an eine Anwendung kann somit zu einem erhöhten Gesundheits- und Unfallrisiko führen. Auch ein erhöhtes Fehlerpotential oder die verminderte Fehlererkennung sind mögliche Gefahren.

Einflussfaktoren sind hierbei die Gestaltung der Anwendung sowie der Umgebung, untergeordnet auch der Reifegrad des Systems. Neben einer möglichen Überforderung aufgrund eines Informationsüberflusses kann auch eine mögliche Unterforderung negative Folgen haben.

Darüber hinaus ermöglicht lang anhaltende, monotone Wiederholungstätigkeit einen Zustand herabgesetzter Aktivität, der mit Müdigkeit, Leistungsabnahme und verminderter Reaktionsgeschwindigkeit einhergehen kann [Poppelreuter 2008].

1.4.3 Beanspruchung bei Anwendung von AR-Technologien

Anforderungen zur Steigerung der Produktivität bringen immer wieder neue Technologien in den Arbeitsalltag. Im Laufe der Entwicklung solcher Systeme und im Rahmen der Technisierung der Arbeitsplätze treten psychische Belastungen gegenüber physischen immer mehr in den Vordergrund [Tümler 2008b, Richter 2000]. Zur Optimierung von Arbeitsabläufen und zur Arbeitssicherheit bildet eine nutzerzentrierte Gestaltung neuer Technologien, so auch von AR-Systemen, eine Grundvoraussetzung bei der Entwicklung dieser [Oehme 2004, Brau 2005, Roggentin 2009b].

Zur Erfassung der körperlichen, geistigen und emotionalen Beanspruchung eignet sich das in der Psychophysiologie angewendete Fahrenberg'sche Mehrebenenkonzept. Danach werden Zustandsänderungen von Belastungen im gesamten Organismus aus in 3 Ebenen aufgegliedert:

- subjektives Erleben und Befinden,
- physiologische Antwortreaktionen (objektiv messbar) sowie
- objektive Leistungen einer Person [Fahrenberg 1969].

Zur Erfassung des subjektiven Befindens eignen sich zahlreiche, zumeist im Rahmen psychologischer Untersuchungen eingesetzte umfangreiche Fragebögen, die die geistige und emotionale Beanspruchung, teilweise auch physische Parameter berücksichtigen [Schega 2011]. Bisherige Arbeiten befassten sich einführend mit den subjektiven Beschwerden der Anwender von AR-Systemen. Hierbei traten beispielsweise Augenprobleme, Kopfschmerzen oder Ermüdungserscheinungen in den Vordergrund [Kampmeier 2007, Pfendler 2005]. Die Eruierung spezifischer Symptome lässt sich mit angepassten Fragenkatalogen realisieren.

Die Belastung kann durch Registrierung der Herzfrequenz mit Analyse der Herzfrequenzvariabilität als objektiver Beanspruchungsparameter ermittelt werden [Löllgen 1999, Malik 1993, Pfister 2007]. Die Herzschlagfolge unterliegt einer Variabilität (Heart Rate Variability, HRV), deren Erfassung Aufschluss über den allgemeinen Aktivierungszustand und somit auch über die Beanspruchungslage des Nutzers gibt. Die Datenerhebung stellt aufgrund mobiler, kleiner und leichter Langzeit-EKG-Geräte keine Behinderung des Arbeitsprozesses dar [Roggentin 2009b, Pfister 2007].

Die Leistungen sind als objektive Daten ebenfalls in Form von an die Testbedingungen angelehnten Tests oder Leistungsanalysen quantifizierbar, somit kann die individuelle Arbeitsleistung im zeitlichen Verlauf erfasst werden.

1.4.4 Motivation

Im Rahmen der Untersuchung dieser Symptome spielen zugleich Faktoren bezüglich der Darstellung der virtuellen Informationen eine Rolle. Eindeutige Erkennbarkeit und korrekte Interpretation der virtuellen Informationen müssen optimal gewährleistet sein.
Dies hat mitunter einen entscheidenden Einfluss auf die Akzeptanz der Technologie durch den Anwender und damit auf die Effektivität im industriellen Gebrauch. Untersuchungen

hinsichtlich der Darstellungsgröße und –farbe zeigen auf, dass benutzerorientierte Faktoren wesentlich dazu beitragen können, dass der Benutzer die Technologie als Unterstützung wahrnimmt. Gegebenenfalls sollten individuelle Anpassungsmöglichkeiten gestattet sein [Tümler 2008d].
Eine Überschneidung mit Aspekten der Beanspruchung durch Faktoren bei der Darstellung am AR-Gerät ist höchstwahrscheinlich nur durch weitere Untersuchungen zu eruieren.

1.5 AVILUS

Das Projekt AVILUS (Angewandte Virtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittel-Lebenszyklus) ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Projekt der Innovationsallianz Virtuelle Techniken, an dem führende deutsche Unternehmen der Großindustrie sowie kleine und mittelständische Unternehmen, aber auch Forschungseinrichtungen beteiligt sind [Schreiber 2008, www.avilus.de].
Zielsetzung des Konzepts ist die Erforschung neuer Technologien im Kontext virtueller und erweiterter Realität, diese sollen anwendungs- und nutzerorientiert entwickelt und erprobt werden.

Virtuelle Systeme werden hierbei auf ihre Effektivität in der Unterstützung eines Mitarbeiters bei seinen Arbeitsaufgaben untersucht. Dabei spielen unter anderem die Bereitstellung kontextabhängiger Informationen sowie das richtige Einsetzen von Werkzeugen eine entscheidende Rolle. Da der Mensch im Fokus des Projekts steht, ist nicht nur die Beschleunigung von Handlungsabläufen ein Forschungsschwerpunkt, sondern auch Erleichterung dieser sowie die damit verbundene Benutzerfreundlichkeit der angewandten Technologien, ohne dass dadurch die Arbeitssicherheit gefährdet wird [Schreiber 2011].

Insgesamt soll ein Informationsmanagement entwickelt werden, um die digitalen Daten während des gesamten Lebenszyklus eines Produkts bzw. Produktionsmittels angemessen erstellen, aufbereiten und nutzen zu können [www.avilus.de].
Eines aus zahlreichen Teilprojekten von AVILUS ist die Nutzerunterstützung bei der Kommissionierung. Dieses Teilprojekt bildet die Grundlage der durchgeführten Versuche, die dem Reifungsprozess in der Entwicklung eines mobilen AR-Systems hilfreich zur Seite stehen sollen.

2 Zielstellung und Arbeitshypothesen

Ziel dieser Studie war die Objektivierung ergonomischer Gestaltungskriterien eines HMD unter Berücksichtigung von Aspekten der Wirtschaftlichkeit sowie des Unfall- und Gesundheitsschutzes des Anwenders. Während der Anwendung von „Attention Funnel" (AF) - visuell dargestellter trichterartiger Tunnelsysteme [Biocca 2006] – als unterstützendes AR-Hilfsmittel bei der Kommissioniertätigkeit kann eine übermäßige Lenkung der Aufmerksamkeit zu Fehlern führen. Zur Unfall- und Fehlervermeidung ist die Untersuchung dieses gelenkten Interesses durch den AF hinsichtlich Nichtwahrnehmung von Reizen im Gesichtsfeld des Anwenders erforderlich.

Das Auftreten von durch Aufmerksamkeitslenkung nicht wahrgenommenen Bereichen im Gesichtsfeld der Versuchsteilnehmer bei der Darbietung visualisierter Zusatzinformationen in Form von „Attention Funnel" wurde den Untersuchungen als Arbeitshypothese zu Grunde gelegt. Durch die Beantwortung der Frage, wie stark der AF die Aufmerksamkeit in eine Richtung lenkt, sollten Rückschlüsse auf den Einfluss des Tunnels auf die Wahrnehmung von Informationen aus verschiedenen Bereichen des Sichtfeldes gezogen werden.

Darauf basierend sollte die von der Industrie geforderte Effizienzerhöhung im Hinblick auf bessere Arbeitsleistungen beim Kommissionieren von Teilen sowie auf verbesserte Möglichkeiten zur Fehlervermeidung bei dieser Tätigkeit untersucht werden. Die Effizienz bei dieser Tätigkeit wurde mittels Darstellung verschiedener AF sowohl im Vergleich untereinander als auch zu einer alleinigen Darbietung der Teilenummer als Text erforscht. Dabei wurden Aspekte der Arbeits- und Aufmerksamkeitsleistungen sowie möglicherweise beeinflussende visuelle Kriterien einbezogen. Weiterhin zielten die Untersuchungen auf subjektive Beanspruchungskriterien ab, um die von den Versuchsteilnehmern empfundenen Beschwerden während der durchzuführenden Aufgaben festzustellen und diese bei der Gestaltung der AR-Technologie berücksichtigen zu können.

Folgende Fragestellungen stellten Aspekte der Untersuchungen dar:

1. Bei welcher Tunnelvisualisierung treten weniger Fehler bei der Arbeitsleistung auf?
2. Bei welcher Tunneldarstellung kann ein geringeres Fehlerpotential hinsichtlich der Lenkung der Aufmerksamkeit festgestellt werden?
3. Welche Tunneldarstellung verursacht weniger Beschwerden?
4. Welche Tunneldarstellung ist somit geeignet für eine industrielle Anwendung?

3 Probanden und Methoden

3.1 Probanden

Die Versuche wurden mit 25 aus klinischer und ophthalmologischer Sicht gesunden Testpersonen im Durchschnittsalter von 25,5 ± 4,0 Jahren (20 bis 37 Jahre) durchgeführt. Es erklärten sich 13 männliche und 12 weibliche Probanden freiwillig bereit, an den Versuchen teilzunehmen. Von jedem Versuchsteilnehmer wurde ein Anamnesebogen ausgefüllt [Anhang 3]. Zu den Ausschlusskriterien gehörten Krankheiten, die das vegetative Gleichgewicht deutlich beeinflussen. Probanden mit Herzinsuffizienz, nicht bzw. schlecht eingestellter arterieller Hypertonie, pathologischen Veränderungen im Ruhe-EKG (z. B. Schenkelblock), manifestem Diabetes mellitus oder bekannter Polyneuropathie waren von einer Teilnahme ebenso ausgeschlossen wie Personen, die unter Therapie von Betablockern oder Alkohol- bzw. Drogenabusus standen. Augenerkrankungen waren ein Ausschlusskriterium in Bezug auf die Benutzung des Head-Mounted-Displays, daher war eine Mindestsehschärfe von 0,63 ebenso Voraussetzung wie das Fehlen größerer Gesichtsfelddefekte. Farbenblindheit hätte ebenfalls zum Ausschluss geführt, wohingegen für die Fragestellung dieser Arbeit eine Farbsinnschwäche toleriert wurde. Das Tragen einer Gleitsichtbrille war ein weiteres Ausschlusskriterium, da mit diesen Sehhilfen gegebenenfalls Informationen auf dem HMD-Display nicht korrekt wahrgenommen werden könnten.

3.2 Studiendesign

Am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung Magdeburg (IFF) wurden die Untersuchungen bezüglich der Kommissionieraufgaben unter für alle Probanden standardisierten Bedingungen durchgeführt. Die ophthalmologischen Statusuntersuchungen erfolgten am IAM (Bereich Arbeitsmedizin der Universität Magdeburg).

Vor Beginn der Untersuchungen wurden die Probanden über den Zweck der Versuche, deren Abläufe sowie die vertrauliche Verwendung der Daten aufgeklärt [Anhang 1 & 2]. Die Versuchsteilnehmer erhielten eine Unterweisung zur Arbeitssicherheit sowie eine Erläuterung der zu verrichtenden Tätigkeit.

Das Votum der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg liegt für das AVILUS-Projekt vor.

3.3 Ablauf der arbeitsmedizinischen Untersuchungen im Labor

Im Bereich Arbeitsmedizin der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg erfolgten Untersuchungen zum ophthalmologischen Status der Probanden.
Dabei wurden folgende visuelle Parameter untersucht: Sehschärfe, Kontrastwahrnehmung, Stereosehen, Phorie, Dynamisches Sehen, Augeninnendruck, Farbensehen und Gesichtsfeld (Tabelle 2). Anschließend wurde die periphere Wahrnehmung mittels des Wiener Testsystems geprüft. Weiterhin erfolgte das Ausfüllen eines Anamnesebogens vor Beginn der Untersuchungen beziehungsweise im Anschluss an die genannten Tests.

Tabelle 2: Ablauf der ophthalmologischen Untersuchungen im Labor

Ablauf	Gerät/Methode	Dauer
Anamnesebogen		~ 8 min
Visus	Rodatest 302	~ 10 min
Phorie	Rodatest 302	~ 3 min
Stereosehen	Rodatest 302	~ 2 min
Kontrastwahrnehmung	Rodatest 302, Vistech-Tafel	~ 15 min
Dynamisches Sehen	DTDS	~ 10 min
Tonometrie	Non-Contact-Tonometer	~ 2 min
Farbensehen	Ishihara, Velhagen, Tritan, Panel D15	~ 15 min
Gesichtsfeld	Medmont-Perimeter	~ 15 min
Periphere Wahrnehmung	Wiener Testsystem	~ 15 min

3.3.1 Anamnesebogen

Vor oder nach den ophthalmologischen Statusuntersuchungen füllte jeder Proband einen Bogen [Anhang 3] mit allgemeinen Angaben (Alter, Geschlecht, etc.) sowie Fragen zu seinem Rauchverhalten, Drogen- und Alkoholkonsum, bisherigen Erkrankungen sowie eventueller Medikamenteneinnahme aus.

3.3.2 Ophthalmologische Methoden

3.3.2.1 Visus, Phorie und Stereosehen

Zunächst wurde die Sehschärfe monokular und binokular mit Landoltringen am Einblickgerät Rodatest 302 der Firma Vistec AG geprüft. Bei dieser Untersuchung sind mindestens 3

von 5 Prüfzeichen (Landoltringe) richtig zu erkennen, um die entsprechende Visusstufe zu erreichen.
Die Untersuchungen zur Phorie und zum Stereosehen erfolgten innerhalb der Testreihen am Rodatest 302-Gerät.

3.3.2.2 Kontrastwahrnehmung

Das Kontrastempfinden wurde mittels zweier Testverfahren untersucht. Ein Teil der Untersuchungen zur Kontrastwahrnehmung erfolgte am Einblickgerät Rodatest 302 unter Verwendung von Landoltringen bei drei verschiedenen Visusstufen (0,16; 0,25 und 0,4) in unterschiedlichen Kontrastabstufungen, aufgeteilt in zwei Testreihen mit schwächeren (Kontrast 1) und stärkeren Kontraststufen (Kontrast 2).
Eine zweite Untersuchung des Kontrastsehens wurde unter Verwendung der Prüftafel VCTS 6000 (Firma VISTECH Consultans inc., Dayton, Ohio, USA) durchgeführt [Darius 2011].

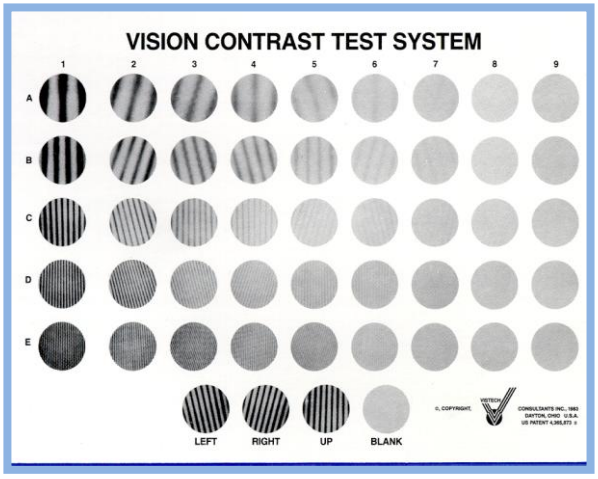

Abbildung 12: VISTECH Prüftafel VCTS 6000

Bei der Vistech-Tafel (Abbildung 12) wird die Kontrastempfindlichkeit bei einer Leuchtdichte von 100 cd/m2 unter Verwendung von fünf Testreihen mit Sinusgittern verschiedener Ortsfrequenzen (1,5; 3; 6; 12 und 18 Perioden/Grad; cpd) in drei Metern Abstand des Probanden zur Tafel bestimmt.

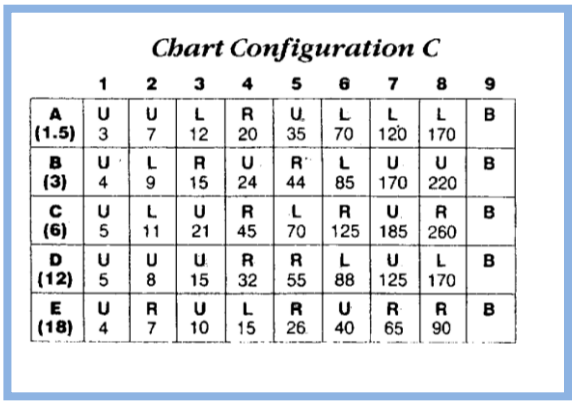

Chart Configuration C

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A (1.5)	U 3	U 7	L 12	R 20	U 35	L 70	L 120	L 170	B
B (3)	U 4	L 9	R 15	U 24	R 44	L 85	U 170	U 220	B
C (6)	U 5	L 11	U 21	R 45	L 70	R 125	U 185	R 260	B
D (12)	U 5	U 8	U 15	R 32	R 55	L 88	U 125	L 170	B
E (18)	U 4	R 7	U 10	L 15	R 26	U 40	R 65	R 90	B

Abbildung 13: Kontrastempfindlichkeitsscore

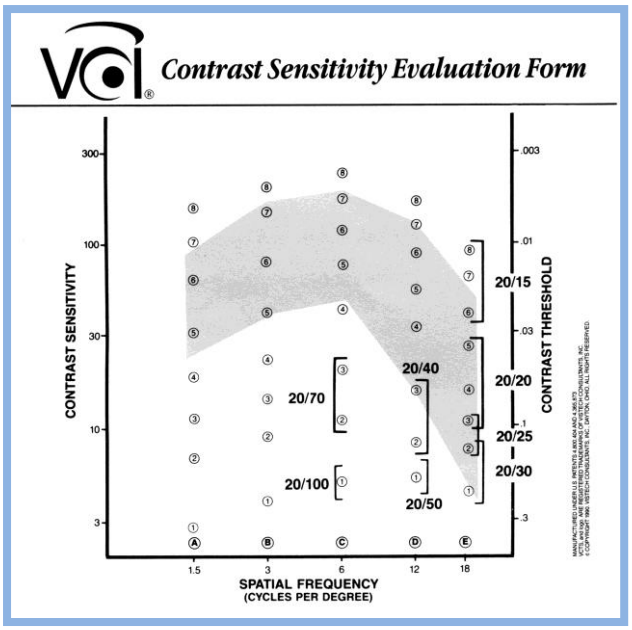

Abbildung 14: Normkurve für die Kontrastempfindlichkeit

Nach den Angaben des Probanden wird ein detaillierter Kontrastempfindlichkeitsscore ermittelt (Abbildung 13). Die gewonnenen Daten werden in eine Normkurve übertragen und entsprechend ausgewertet. Der in der Abbildung 14 grau eingefärbte Bereich stellt die Normkurve dar (Abbildung 14).

3.3.2.3 Dynamisches Sehen

Für das Bewegungssehen bei konjugierten Augenbewegungen („dynamische Sehleistung") wird der blickmotorische Reiz für das dynamische Sehen (DS) über die Retina realisiert (afferentes DS). Dieser Input ermöglicht das Steuern des efferenten Bewegungssehens (efferentes DS) [Ehrenstein 2003, Jendrusch 2006]. Die Untersuchung des DS erfolgte mittels des rechnergestützten Düsseldorfer Tests für dynamisches Sehen (DTDS) von Wist [Lüder 2010, Wist 1998]. Dabei bewegte sich ein bestimmter Prozentsatz der Pixel des dargestellten Landoltringes in vier Stufen (100, 50, 30 oder 20 %) mit 20 Darbietungen pro Stufe, wobei das Umfeld unbewegt blieb. Zur Auswertung des Bewegungskontrastes wurde das Leistungsmaß (Pw) nach Schrauf et al. (1999) verwendet.

3.3.2.4 Tonometrie

Bei den Probanden wurde beidseits der Augeninnendruck nichtinvasiv mithilfe des Non-Contact-Tonometers Canon TX-F (Firma Vistec AG, Olching) gemessen. Ein erhöhter Augeninnendruck vermag einen Hinweis auf den sogenannten Grünen Star (Glaukom) zu

liefern. Die für diese Erkrankung typischen Gesichtsfeldausfälle könnten die Beurteilung der Ausfallerscheinungen durch Unaufmerksamkeit erschweren.

3.3.2.5 Farbensehen

Die Farbsehprüfungen erfolgten zur Erfassung von Farbfehlsichtigkeiten mit pseudo-isochromatischen Tafeln nach Ishihara (Ishihara`s Tests for Color Deficiency 1998), Velhagen (Velhagen und Broschmann 1997) sowie den Tritan-Tafeln (Lanthony 1998).
Des Weiteren wurde der Panel-D-15-Test (Lanthony und Duboist-Poulsen 1973) angewandt. Dieser besteht aus 15 verschiedenfarbigen, aber helligkeits- und sättigungsgleichen Munsell-Farbmarken, die sich mit geringen Abstufungen in einer Farbreihe anordnen lassen. Diverse Arten von Farbsehstörungen lassen sich anhand der Anordnung der Farbmarken feststellen.
Die Untersuchungen erfolgten unter Verwendung von Tageslichtlampen (2 x 36 W/72-965 Biolux) bei einer Farbtemperatur von 6.500 K und einer Beleuchtungsstärke von zirka 1000 Lux in einem Abstand von etwa 50 cm.

3.3.2.6 Perimetrie

Eine perimetrische Untersuchung wurde zur Feststellung von Defekten im zentralen und mittelperipheren Gesichtsfeld an einem computergestützten Perimeter der Firma MEDMONT durchgeführt. Damit können relative ebenso wie absolute Skotome (Gesichtsfelddefekte) erfasst werden.

3.3.3 Periphere Wahrnehmung

Zusätzlich zu diesen ophthalmologischen Statusuntersuchungen erfolgte die Prüfung der Fähigkeit zur Aufnahme und Verarbeitung peripherer visueller Informationen durch den Test „Periphere Wahrnehmung" aus der Testbatterie des Wiener Testsystems der Firma Schuhfried GmbH, Österreich [www.schuhfried.at]. Bei diesem Test (Abbildung 15) werden an den montierten Seitenarmen Lichtreize dargestellt, die sich mit voreingestellter Geschwindigkeit bewegen. Die Prüfung des peripheren Gesichtsfeldes erfolgt mit differenzierten optischen Signalen, die in unregelmäßigen Abständen erscheinen. Der Proband muss durch Drücken einer Fußtaste die Wahrnehmung dieser kritischen Reize bestätigen. Zur Gewährleistung der zentralen Fixation musste gleichzeitig eine Tracking-aufgabe durchgeführt werden, bei der auf einem vor der Testperson platzierten Monitor

durch Steuern eines Drehreglers ein Fadenkreuz über einer sich bewegenden Kugel gehalten werden muss.
Der Abstand des Kopfes des Probanden vom Bildschirm wurde während des Testes mittels Ultraschall überwacht und sollte gegebenenfalls auf ein akustisches Signal hin korrigiert werden.

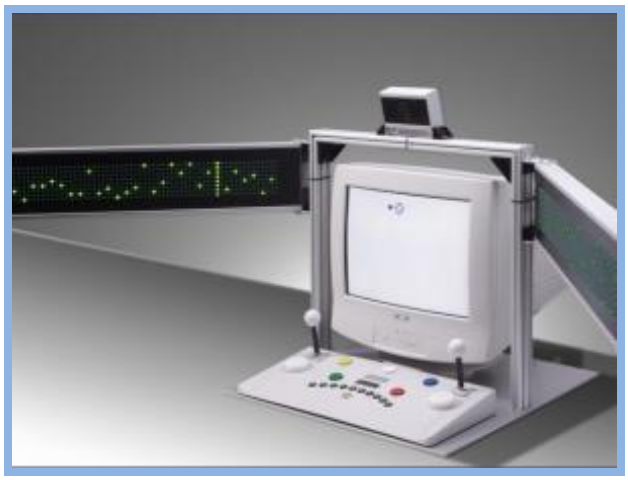

Abbildung 15: Wiener Test-Verfahren „PP" zur Prüfung der peripheren Wahrnehmung, Schuhfried GmbH

Folgende Variablen werden bei diesem Testsystem erhoben: Gesamtes Gesichtsfeld, Blickwinkel links/rechts, Trackingabweichung, Anzahl Treffer links/rechts, Anzahl falscher Reaktionen gesamt, Anzahl ausgelassener Reaktionen gesamt, Median Reaktionszeit links/rechts.

3.4 Versuche am Referenzarbeitsplatz

3.4.1 Versuchsaufbau

Die Versuche wurden an einem Referenzarbeitsplatz unter standardisierten Laborbedingungen im Virtual Development and Training Centre (VDTC) des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und –automatisierung (IFF) Magdeburg durchgeführt, bei dem mittels Ausleuchtung durch ein Outside-In-Tracking-System vier Regale zum Kommissionieren zur Verfügung stehen.
Ein auf Optical-See-Through-Technologie basiertes Head-Mounted-Display (OST HMD - Liteye 750A – Abbildung 16) wurde als Anzeigegerät für die Kommissionieraufgaben verwendet. Es hat eine Auflösung von 800 x 600 Pixeln bei 60 Hz und einen diagonalen Field of View (FoV) von 28°. Das Gewicht liegt bei 80g.

Abbildung 16: HMD Liteye 150A [Quelle: http://www.liteye.com/product.html]

Es wird dabei über ein OLED-Microfarbdisplay das Bild auf einen halbtransparenten Spiegel projiziert, der vor dem rechten Auge des Anwenders positioniert ist. Es handelt sich somit um eine monokulare Anwendung (Abbildung 17).

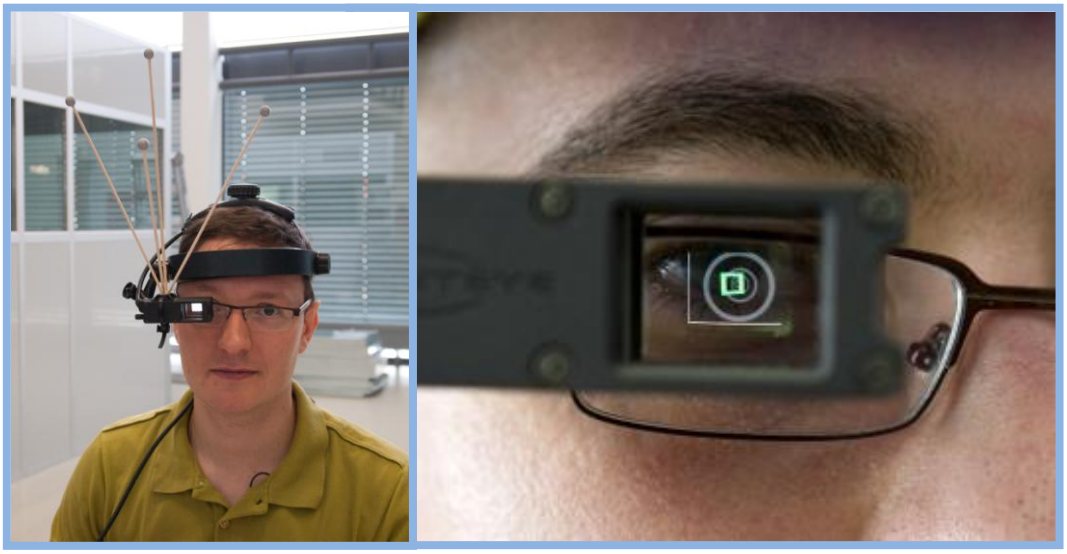

Abbildung 17: Aufbau des HMD mit Trackingsystem sowie die Visualisierung am Liteye

Die Verarbeitung der Visualisierungsdaten erfolgte über einen Auftragsserver, einen Trackingserver und einen Ultra Mobile Personal Computer (UMPC – Abbildung 18), die über ein Drahtlosnetzwerk miteinander verbunden waren. Durch den UMPC wurden Position und Rotation der am Liteye befestigten Infrarot-Tracking-Markierung verarbeitet. Der Auftragsserver erstellte Teilelisten und übermittelte dem UMPC das derzeitig zu kommissionierende sowie das zuletzt entnommene Teil.

Die genauen Positionen der entsprechenden Fächer waren auf dem UMPC registriert; anhand dieser und der Tracking-Markierung konnte der Tunnel berechnet und auf dem Liteye angezeigt werden.

Abbildung 18: UMPC – SONY VAIO VGN-UX1XN [Quelle: http://support.vaio.sony.eu/computing/vaio/documentation/manuals/index.aspx?m=VGN-UX1XN&l=de_DE]

Der UMPC wurde in einer Tasche an einem Hüftgurt vom Probanden mitgeführt. Da die Tasche sowohl links als auch rechts am Körper getragen werden konnte, war das Anfordern des nächsten Teiles (→ Abschnitt 3.4.3) mit der dominanten Hand gewährleistet.

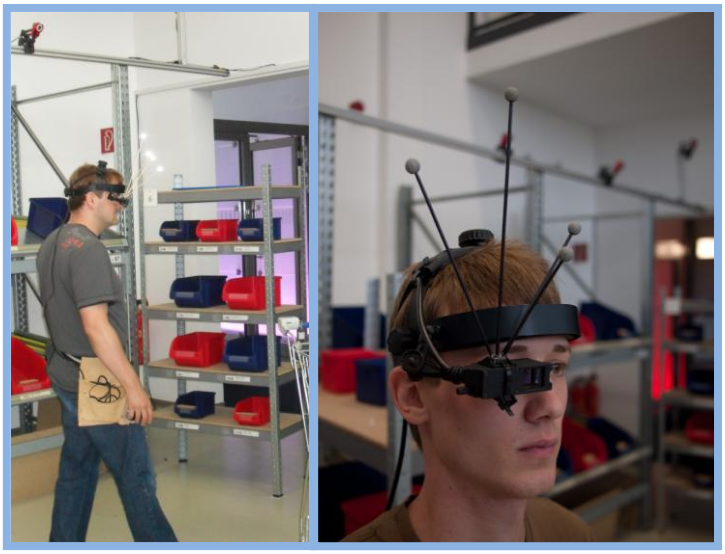

Abbildung 19: Probanden während des Versuchs

Das Gesamtgewicht der Tasche inklusive UMPC (486 g) und Kabeln betrug annähernd 600 g und stellte somit keine große Beanspruchung für den Probanden dar (Abbildung 19).

Abbildung 20: Wii-Fernbedienung [Quelle: http://www.pushtheprice.de/uploaded/450242265-schwarze-Remote-incl-Motionplus-fuer-Nintendo-Wii.jpg]

In der nicht dominanten Hand wurde eine Wii-Fernbedienung (Abbildung 20) geführt, diese war für die Diskriminierungsaufgabe erforderlich.

3.4.2 Ablauf der Versuche am Referenzarbeitsplatz

Vor Beginn der Versuchsreihen wurde ein Probelauf zum Kennenlernen des Ablaufes und der Versuchsumgebung durchgeführt. Jeder Proband erfüllte die Aufgabe der Kommissionierung einer Jobliste mit 15 Teilen, demonstrativ wurde dabei der Tunnel A dargestellt.

Eine Versuchsreihe bestand aus drei Untersuchungsbedingungen, in denen der Proband jeweils für zirka 40 Minuten Teile zu kommissionieren und parallel dazu eine Diskriminierungsaufgabe zu verrichten hatte.

Tabelle 3: Zeitlicher Ablauf der Versuchsreihen

Ablauf	Aufgabe	Dauer
Anlegen des EKG-Gerätes		
Vorversuch		~ 5 min
Ruhephase		10 min
Fragebögen	EZ, BfS, BF	~ 5 min
Versuch 1	TA/TB/Text	~ 40 min
Fragebögen	EZ, BfS, BF	~ 5 min
Pause/Ruhephase		10 min
Versuch 2	TA/TB/Text	~ 40 min
Fragebögen	EZ, BfS, BF	~ 5 min
Pause/Ruhephase		10 min
Versuch 3	TA/TB/Text	~ 40 min
Fragebögen	EZ, BfS, BF	~ 5 min
Pause/Ruhephase		10 min
Ende des Versuches		

Die Reihenfolge der Teilversuche (Tunnel A, Tunnel B oder ohne „Attention Funnel“) wurde zuvor festgelegt und war für die einzelnen Versuchsteilnehmer verschieden, um Effekte

durch Gewöhnung oder Ermüdung auszuschließen. Die Festlegung der Aufeinanderfolge war vorab von einem Computerprogramm randomisiert worden unter Berücksichtigung einer ungefähren Gleichverteilung auf die Probanden.
Zwischen den einzelnen Versuchsreihen wurde den Probanden eine Ruhephase in Form einer 10minütigen Pause eingeräumt (Tabelle 3).
Vor Beginn der jeweiligen Teilversuche und nach Beendigung des letzten Versuches galt es, Fragebögen zum momentanen subjektiven Befinden auszufüllen.

3.4.3 Arbeitsaufgaben

Die Kommissionierung wurde mit den dargestellten Komponenten durchgeführt. Dabei bestand die Aufgabe, ein vom System vorgegebenes Teil im Lagerbestand der Regalsysteme zu identifizieren und physisch dem Warenkorb zuzuführen. Anschließend galt es, das nächste Teil anzufordern und den gleichen Ablauf erneut zu vollziehen.
Für das Anfordern des nächsten zu kommissionierenden Teiles beziehungsweise der folgenden Arbeitsliste wurde eine 3D-Mouse (Abbildung 21) verwendet.

Abbildung 21: 3D-Mouse – 3DCONNEXION SpaceNavigator™ MY3DX [Quelle: http://www.3dconnexion.com/fileadmin/user_upload/products/spacenavigator_for_notebooks/english_us/pd_snfn.jpg]

Somit konnte in der jeweiligen Teileliste vor- und zurücknavigiert, bei einem Irrtum also auch noch einmal das zuvor angezeigte Teil kontrolliert werden. Das Navigieren mit der 3D-Mouse wurde jeweils durch ein akustisches Signal bestätigt.

3.4.4 Darstellungen am HMD

Die Kommissionierung wurde in aufeinanderfolgenden Versuchsreihen mit 2 verschieden gestalteten „Attention Funnel" (Tunnel A und Tunnel B), die parallel zur Darstellung der

Teilenummer (Text) angezeigt wurden, sowie mit einer reinen Texteinblendung der Nummer des zu kommissionierenden Teiles durchgeführt (Abbildung 22).

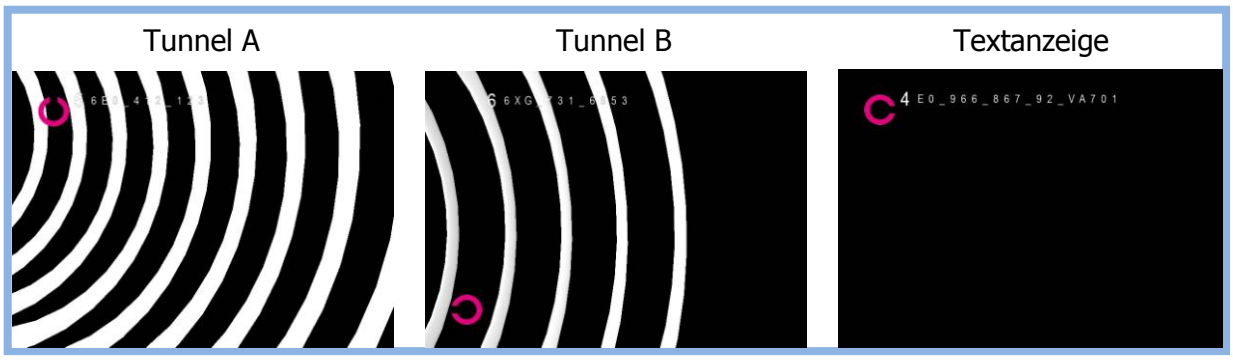

Abbildung 22: Darstellungen der „Attention Funnel" sowie der reinen Textanzeige mit Landoltringen für die Diskriminierungsaufgabe

Bei „Attention Funnel" A wurden die Ringe in doppelter Breite und Anzahl im Vergleich zu Tunnel B dargestellt, wodurch der Tunnel A „optisch dichter" wirkte.

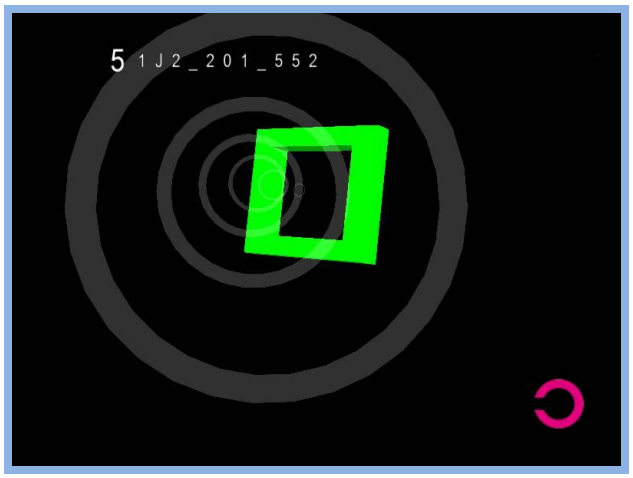

Abbildung 23: Bei Annäherung an das Regalfach mit dem zu kommissionierenden Teil eingeblendetes Zielrechteck

Beim Blick in Richtung des Regalfaches mit dem aktuell zu kommissionierenden Teil wurde ab einer Annäherung von 60 cm an das entsprechende Fach ein grünes Zielrechteck eingeblendet, das in Abbildung 23 dargestellt ist.

3.4.5 Erfassung der Aufmerksamkeit

Beim zeitlich parallel verlaufenden Aufmerksamkeitstest handelte es sich um eine Signalerkennungs-/Diskriminierungsaufgabe. Dabei wurden Landoltringe mit vier unterschiedlichen Richtungen der Öffnungen (rechts, links, oben, unten) in den vier verschiedenen Positionen

oben rechts, oben links, unten rechts und unten links (Abbildung 24) dargeboten, auf die der Proband reagieren musste.

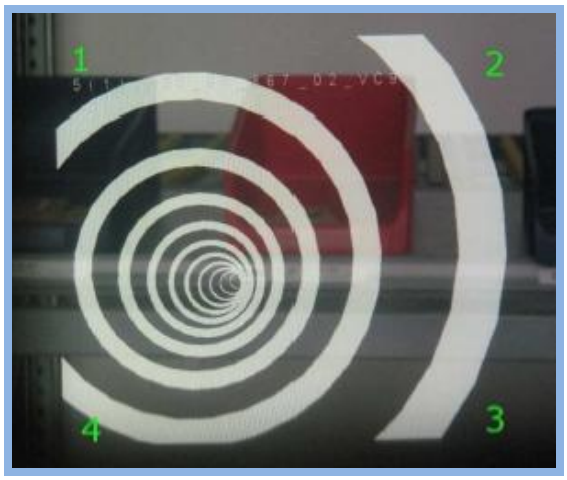

Abbildung 24: Einblendpositionen der Landoltringe

Dafür wurden randomisiert alle 10 bis 50 Sekunden (im Mittel 30 sec) Landoltringe in einer Größe von 32 x 32 Pixeln eingeblendet. Diese wurden für maximal 60 Sekunden angezeigt. Hatte der Proband bis dahin die Wii-Fernbedienung nicht benutzt, wurde der Ring wieder ausgeblendet und nach dem randomisierten Intervall ein nächster Landoltring dargeboten. Insgesamt wurden jedem Probanden 80 Ringe während einer Versuchsreihe vorgegeben, somit dauerte ein Teilversuch durchschnittlich 40 Minuten.

Die Öffnungsrichtung des Landoltringes sollte dabei so schnell wie möglich vom Probanden über das Steuerkreuz der Wii-Fernbedienung angegeben werden. Die Ringe wurden in einer Kontrastfarbe dargestellt, da der Tunnel mitunter hinter dem Ring angezeigt wurde und somit die Öffnung verdecken konnte (Abbildung 25).

Abbildung 25: Verdecken der Öffnung des Landoltringes durch den „Attention Funnel"

Bei der Auswertung der Aufmerksamkeitsreaktionen wurden folgende Parameter berücksichtigt: Gesamtreaktionszeit aus Initiation- und Movement-Time für jeden Landolt-Ring, Anzahl der richtig sowie die Anzahl der falsch angegebenen Ausrichtung der Ringe.

3.5 Beanspruchungsanalyse

3.5.1 Objektive Leistung

Es wurden Aufmerksamkeitsleistungen in Form der Parameter Gesamtreaktionszeit für jeden Landolt-Ring, Initiation- und Movement-Time untersucht. Außerdem wurde die Anzahl richtig sowie falsch angegebener Ausrichtung der Ringe berücksichtigt. Dazu erfolgte noch die detaillierte Auswertung der einzelnen Landoltring-Positionen und der Führungsrichtung des Tunnels. Somit wurden die objektiven Leistungsdaten anhand zahlreicher Parameter ermittelt.
Am Ende einer Jobliste mit 15 Teilen wurden alle eingesammelten Stücke vom Versuchsleiter entgegengenommen und auf Fehler kontrolliert. Es konnte somit ohne zeitliche Verzögerung vom Probanden die nächste Teileliste angefordert werden. Regelmäßig wurden alle Teile, die am Kontrollplatz lagen, von einem der Versuchsleiter zurückkommissioniert, damit während des Versuches immer eine ausreichende Anzahl an Teilen im Lagerbestand der Regale vorhanden war. Das Rück-Kommissionieren geschah parallel zur Kommissionierung des Probanden, dieser wurde dadurch in der Ausführung seiner Arbeitsaufgabe nicht beeinträchtigt.

3.5.2 Objektive Beanspruchung

Einen weiteren Aspekt bei der objektiven Bewertung der physischen Beanspruchung der Probanden stellt die detaillierte Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV) der Versuchsteilnehmer dar. Dazu wurden diesen vor Beginn der Versuche Langzeit-EKGs angelegt und aus den gesamten Versuchsreihen kardiophysiologische Größen gewonnen. Die Auswertung und Beurteilung dieser Daten sind vorrangig Inhalt einer separaten Arbeit.

3.5.3 Subjektive Beanspruchung

Um subjektive Beanspruchungsdaten (Befinden, Motivation, Beschwerden, Beanspruchung) zu erhalten, erfolgte vor jedem Teilversuch sowie am Ende der Versuchsreihen das Ausfüllen

von 3 Fragebögen: Befindlichkeits-Skala (BFS) nach Zerssen, Eigenzustands-Skala (EZ-Skala) nach Nitsch und ein Fragebogen über körperliche Beschwerden.

3.5.3.1 Befindlichkeits-Skala (BFS)

Die Befindlichkeits-Skala nach Zerssen [Zerssen 1976, Anhang 6] stellt ein standardisiertes Testverfahren zur Eruierung des momentanen Befindens eines Probanden dar. Mittels des wiederholten Einsatzes dieses Testes wird die Objektivierung von Befindlichkeitsänderungen auch innerhalb einer kurzen Zeitspanne ermöglicht.
Die Testform S1 (Parallelform Bf-S) beinhaltet einen Katalog aus 28 Eigenschaftspaaren in Form von Adjektiven. Der Versuchsteilnehmer markiert bei jedem Paar dasjenige Adjektiv, das mit seinem aktuellen Befinden am ehesten übereinstimmt, die Option „weder noch" kann bei Nichtzutreffen beider Eigenschaften gewählt werden. Die Auswertung erfolgt mittels des Wiener Testsystems (Fa. Schuhfried GmbH, Österreich). Dem positiven Pol eines Begriffspaares werden 0 Punkte, dem negativem Pol 2 Punkte und dem Indifferenzpunkt 1 Punkt zugeordnet. Die Summe der Punktwerte bildet den Testscore.
Roh-, Perzentil- und T-Werte werden ermittelt und die Rohwerte anschließend in die Staninewerte von 1 bis 9 überführt. Ein Anstieg des Staninewertes verdeutlicht dabei die Verschlechterung des Befindens, ein Absinken die Besserung.
Die durchschnittliche Bearbeitungszeit der BFS beträgt etwa drei Minuten.

3.5.3.2 Eigenzustands-Skala nach Nitsch (EZ-Skala)

Mit dem Verfahren der EZ-Skala [Nitsch 1976, Anhang 5] können anforderungsunspezifisch beanspruchungsbedingte Erlebensqualitäten als Ausdruck ihres aktuellen Gesamtbefindens (Eigenzustand nach Nitsch, 1976) erfasst werden. Die ermittelten Daten ermöglichen Angaben über antriebs- und ausführungsregulatorische Erlebensqualitäten, der Motivation oder des Beanspruchungserlebens.
Die Eigenzustandsskala beinhaltet 40 auf den aktuellen Zustand des Probanden bezogene Adjektive, die auf einer Ordinalskala von 1 („trifft kaum zu") bis 6 („trifft völlig zu") zu bewerten sind. Diese Adjektive werden zu 14 übergeordneten Begriffen (Binärfaktoren) zusammengefasst. Die Ränge der Adjektive werden bei der Auswertung durch flächentransformierte z'-Werte ersetzt, die zu einem Binärfaktor gehörenden z'-Werte dann aufsummiert und diese Summenwerte nachfolgend in Staninewerte von 1 bis 9 überführt.

Hohe Staninewerte für die einzelnen Faktoren verdeutlichen im Allgemeinen eine positive Einschätzung des Befindens des Probanden. Ein Teil der Faktoren ist dabei jedoch „umgepolt", das heißt, hohe Staninewerte beschreiben das genaue Gegenteil.
In Abbildung 26 ist die dreistufige Faktorenhierarchie dargestellt, nach der die Staninewerte interpretiert werden. Nach Unterscheidung der beiden Faktorengruppen „Motivation" und „Beanspruchung" werden die Aussagen bis zur dritten Ebene immer detaillierter.

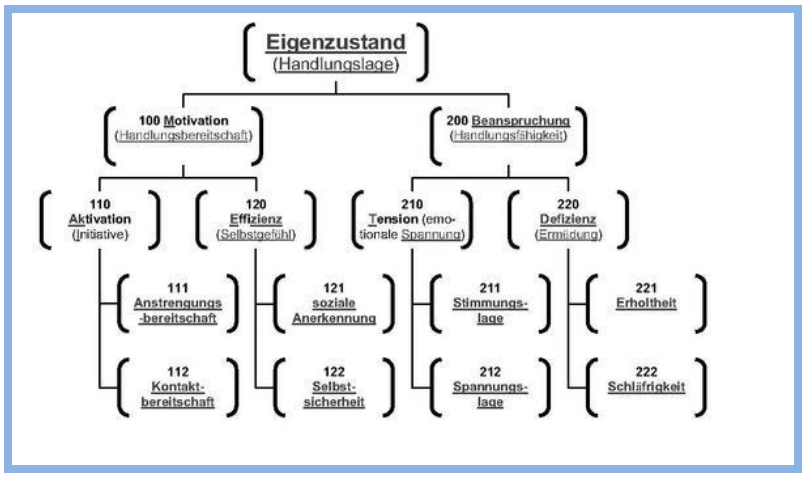

Abbildung 26: Faktorenhierarchie der EZ-Skala (nach Nitsch)

Eine Bearbeitungszeit von durchschnittlich fünf Minuten ist für den Bogen der EZ-Skala erforderlich.

3.5.3.3 Beschwerden-Fragebogen

Das Vorhandensein und die Intensität körperlicher Beschwerden wurden anhand des dritten Fragebogens [Anhang 4] eruiert. Dieser beinhaltet Symptome des visuellen Systems und des Allgemeinzustandes und wurde für die geplanten Versuche auf zu erwartende Körper- und Empfindungs-Anzeichen angepasst. Höhere Punktwerte verdeutlichen stärker ausgeprägte Merkmale. Auch bei diesem Fragebogen lässt sich eine Zu- oder Abnahme der Beschwerden im Verlauf beurteilen. Die Bearbeitungsdauer beträgt zirka drei Minuten.

3.6 Statistische Methoden

Die ausführliche Aufarbeitung der gewonnenen Daten erfolgte unter Verwendung von Microsoft Office Excel. Die statistische Auswertung wurde unter Anwendung des Programms SPSS 18.0 für Windows durchgeführt.

Den Testentscheidungen wurde ein Signifikanzniveau von 5% zu Grunde gelegt. Je nach Datenlage erforderte die Darstellung der Ergebnisse die Berechnung von Median (M; Min – Max) beziehungsweise Mittelwert (MW; ± SD).

Der parametrische t-Test wurde zur statistischen Auswertung bei normalverteilten Variablen verwendet. Lag keine Normalverteilung vor, kamen nach jeweiliger Notwendigkeit der nichtparametrische Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test oder die ANOVA-Varianzanalyse (analysis of variance) zum Einsatz.

Die statistischen Unterschiede werden hinsichtlich ihrer Signifikanz mittels des p-Wertes folgendermaßen aufgegliedert:

- tendenzieller Unterschied ($p < 0,1$),
- signifikanter Unterschied ($p < 0,05$),
- sehr signifikanter Unterschied ($p < 0,01$) und
- hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,001$).

Eine Korrelation zwischen zwei Variablen wird durch den Korrelationskoeffizienten r beschrieben, die Werte für r liegen zwischen -1 und +1. Je höher der Wert ist, umso stärker ist der Zusammenhang ausgeprägt:

- sehr geringe Korrelation ($r = 0$ - $0,2$),
- geringe Korrelation ($r > 0,2$ - $0,5$),
- mittlere Korrelation ($r > 0,5$ - $0,7$),
- hohe Korrelation ($r > 0,7$ - $0,9$) und
- sehr hohe Korrelation ($r > 0,9$ - $1,0$).

Ein negativer Wert stellt einen gegenläufigen Zusammenhang dar.

4 Ergebnisse

4.1 Arbeitsmedizinische Untersuchungen

4.1.1 Ophthalmologische Statusergebnisse

Die ophthalmologischen Statusergebnisse ergaben in allen Untersuchungen für die weiteren Versuche im Fraunhofer Institut ausreichende Resultate. Nachfolgend sind die Medianwerte sowie in Klammern die Min-Max-Werte der einzelnen Untersuchungen aufgeführt. In allen Tests lagen die Median-Ergebnisse im Normbereich. Die Resultate einiger der ophthalmologischen Statusuntersuchungen sind in den Abbildungen 27 bis 34 dargestellt.

4.1.1.1 Visus

Die Überprüfung der Sehschärfe (Visus) ergab bei allen Probanden monokular an beiden Augen Werte im Median von 1,0 (0,63 - 1,25).

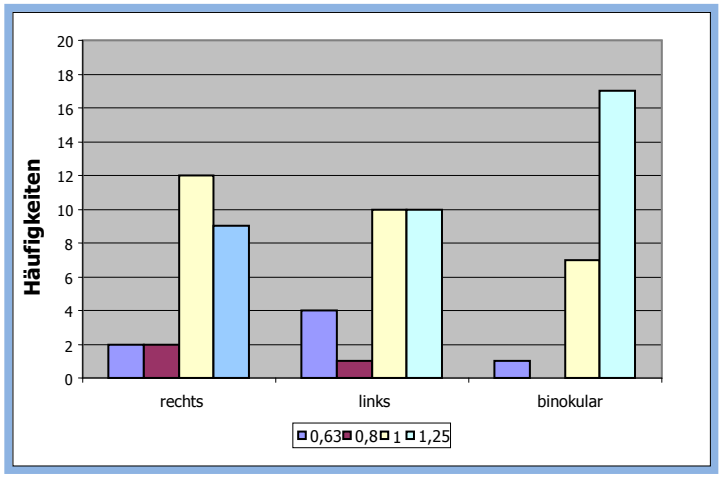

Abbildung 27: Absolute Häufigkeitsverteilung der Visuswerte

Binokular ließ sich ein Visus von 1,25 im Median (0,63 – 1,25) feststellen (Abbildung 27). Ein Proband hatte eine Sehschärfe von 0,63, was noch den Mindestanforderungen der Ein- und Ausschlusskriterien entsprach. Insgesamt zeigten sich gute Visuswerte bei allen Versuchsteilnehmern.

4.1.1.2 Farbensehen

Die Farbsehprüfungen nach Ishihara, Velhagen und Tritan ergaben mit Ausnahme eines Probanden unauffällige Ergebnisse (Tabelle 4): Bei einem Versuchsteilnehmer mit bekannter Farbsehschwäche wurden im Ishihara-Test Fehler an beiden Augen, bei einem weiteren Probanden an einem Auge festgestellt. Auch beim Tritan-Test war ein Proband mit einem Fehler pro Auge auffällig. Im Median lag die Fehlerzahl aller untersuchten Augen bei null.

Tabelle 4: Anzahl der Fehler bei den Farbsehtests

Testverfahren	Median (R/L)	Min - Max
Ishihara	0	0 - 16
Velhagen	0	0 - 15
Tritan	0	0 - 2

Die Untersuchungsergebnisse des Panel-D15 (Lanthony und Duboist-Poulsen 1973) CCI (Color Confusion Index) waren normwertig und lagen bei R 1,13 (± 0,39) und L 1,09 (± 0,29).

Bei wenigen Probanden waren (bei zum Teil bekannter Farbsinnschwäche) auffällige Befunde während der Farbsinnprüfung registriert worden, für den Versuchsablauf sind diese allerdings nicht bedeutsam. Hinsichtlich der Leistungen und Fehlerzahl bei Arbeits- und Diskriminierungsaufgabe konnten keine Auffälligkeiten festgestellt werden.

4.1.1.3 Stereosehen

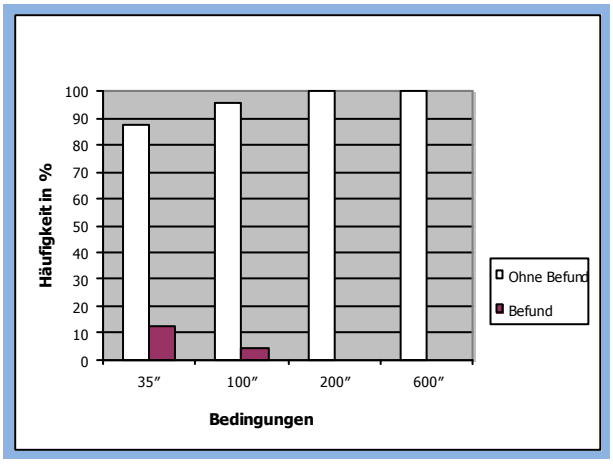

Abbildung 28: Ergebnisse aus den Stereotests

Alle Probanden wiesen ein altersentsprechend unauffälliges Stereosehen auf (Abbildung 28). 12,5 % der Probanden zeigten in 35" auffällige Befunde sowie ein Proband in 100". Die Ergebnisse in 200" und 600" waren bei allen Untersuchten unauffällig.

4.1.1.4 Phorie und Tonometrie

Der Phorietest war bei 96 % der Probanden unauffällig, bei einem der Probanden zeigte sich eine Auffälligkeit in Form einer Heterophorie (latentes Schielen). Es handelt sich dabei allerdings um einen gering ausgeprägten Befund, der zu keiner Beeinträchtigung bei den Versuchen führte.

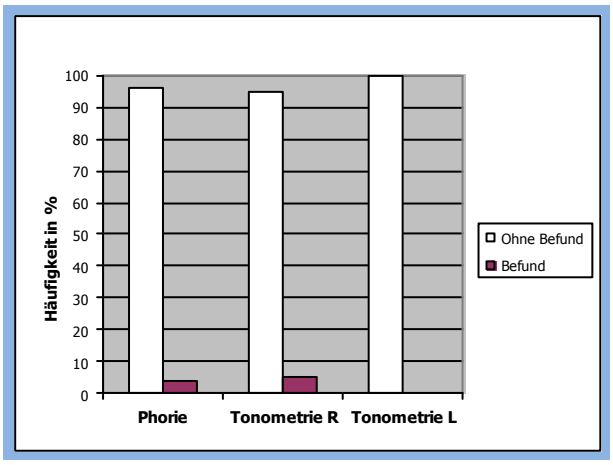

Abbildung 29: Ergebnisse der Untersuchungen zu Phorie und Tonometrie

Der Augeninnendruck lag bei einem der untersuchten Augen über dem oberen „Normwert" von 21 mm Hg (Abbildung 29). Alle anderen Messwerte lagen innerhalb des angegebenen Normbereiches. Dem betroffenen Probanden war kein Grüner Star (Glaukom) bekannt, eine anschließende Untersuchung durch einen Augenarzt ergab keinen pathologischen Befund. Da bei dem Probanden keine Gesichtsfeldausfälle vorlagen, war der gemessene erhöhte Wert für die weitere Auswertung der Daten nicht von Bedeutung.

4.1.1.5 Kontrastwahrnehmung

Die Untersuchung der Kontrastempfindlichkeit (KE) mit dem Rodatest 302 ergab bei 20 % der untersuchten Augen (rechts und links) auffällige Befunde, die sich jedoch im Bereich einer für die Versuchsreihen ausreichenden Funktion befanden (Abbildung 30).

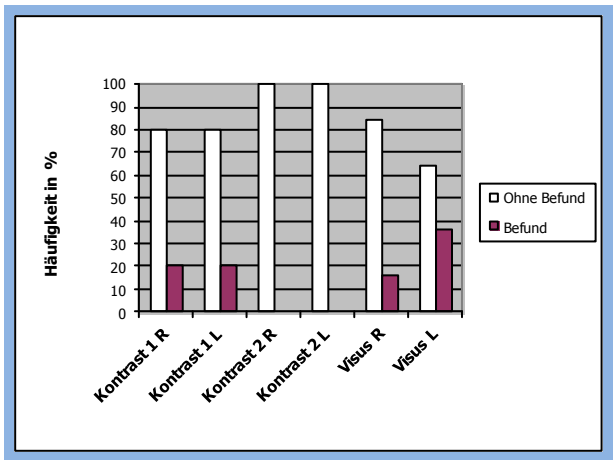

Abbildung 30: Ergebnisse des Kontrasttests (Rodatest 302)

Bei 4 Probanden war die KE an einem Auge bei der Testreihe 1 etwas reduziert, 4 Probanden zeigten beidseits geringe Auffälligkeiten im Kontrast-1-Test. Die Resultate der Testreihe „Kontrast 2" mit stärkeren Kontraststufen waren bei allen untersuchten Augen unauffällig.

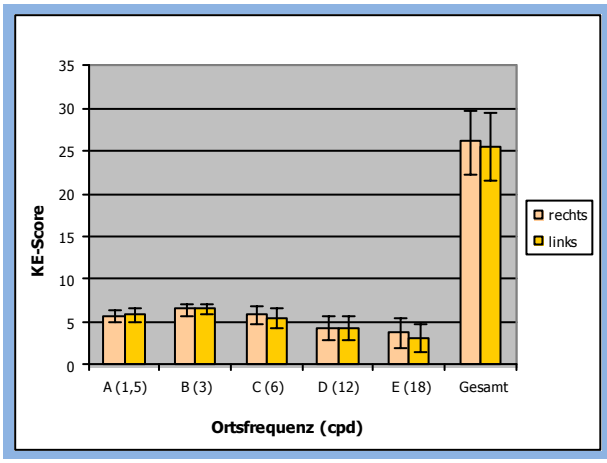

Abbildung 31: Kontrastempfindlichkeitsscore

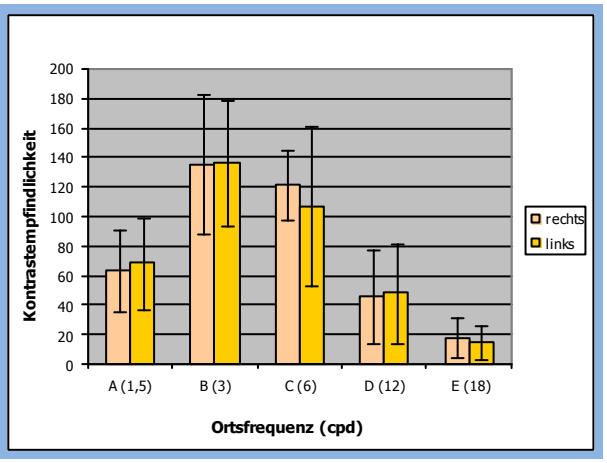

Abbildung 32: Kontrastempfindlichkeit (Vistech-Tafel)

Die Prüfung der Kontrastwahrnehmung mittels der VISTECH-Tafel lieferte folgende Ergebnisse: Die Kontrastempfindlichkeit der Probanden lag im Median bei 84 % der untersuchten rechten sowie 64 % der linken Augen innerhalb der dem Testverfahren zugrunde liegenden Normkurven. Ausgeprägte Abweichungen von diesen waren nicht festzustellen, was ein für die Untersuchungen ausreichendes Kontrastempfinden darstellt (Abbildungen 31 und 32).

4.1.1.6 Perimetrie

Bei der perimetrischen Untersuchung (Abbildung 33) fanden sich relative Gesichtsfelddefekte bei insgesamt 44 % der Probanden (R und L).

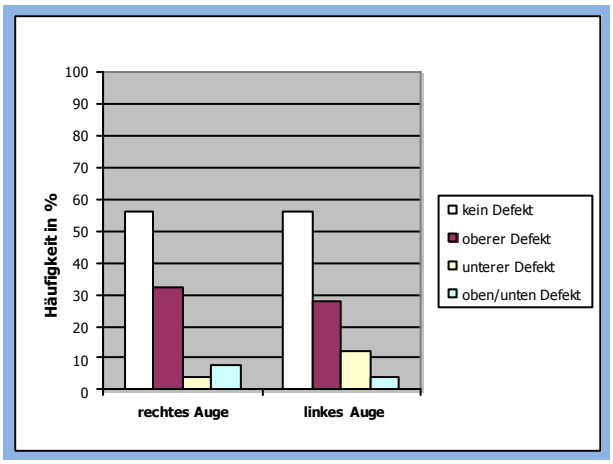

Abbildung 33: Häufigkeiten von Defekterscheinungen bei der Perimetrie

Es zeigten sich Form-Defekte in (mittel-)peripheren Arealen - keiner der Probanden hatte großflächige Gesichtsfelddefekte:

- R 6,83 ± 2,05 (6 - 16,32) und
- L 6,37 ± 0,37 (6 - 7,44).

Die Defekte lagen zum Großteil peripher im oberen Quadranten. Dieses Ergebnis ist anteilig auf Ungenauigkeiten der Messmethode oder Untersuchungsfehler zurückzuführen. Im Detail waren keine der gemessenen Defekte für die Versuche von bedeutsamer Ausprägung.

4.1.1.7 Dynamisches Sehen

Die dynamische Sehleistung der Probanden zeigte Werte von 95,5 % an den untersuchten rechten sowie 96,7 % an den linken Augen (Abbildung 34).

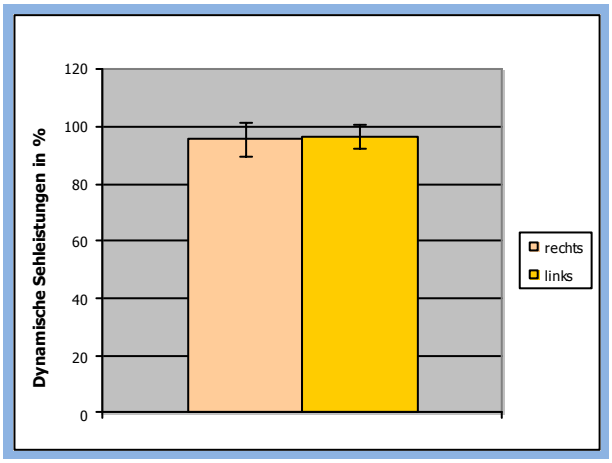

Abbildung 34: Ergebnisse des Dynamischen Sehtests

Diese Ergebnisse charakterisieren einen altersentsprechenden Normalbefund des DS.

4.1.2 Periphere Wahrnehmung

Die Ergebnisse des Tests Periphere Wahrnehmung sind in der Tabelle 5 dargestellt. Es wurden als Variablen das gesamte Gesichtsfeld, der Blickwinkel rechts und links, die Trackingabweichung, die Anzahl der Treffer an der jeweiligen Seite, die Anzahl falscher und ausgelassener Reaktionen sowie die Reaktionszeiten registriert.

Tabelle 5: Ergebnisse der Untersuchung zur peripheren Wahrnehmung

	MW	SD	Min - Max
Gesichtsfeld	177,3	± 6,3	(156 - 185)
Blickwinkel R	87,9	± 3,7	(79 - 93,6)
Blickwinkel L	89,4	± 3,8	(76 - 95,1)
Trackingabweichung	9,2	± 2,08	(5,2 - 12,8)
Treffer R	14,7	± 4,3	(9 - 20)
Treffer L	14,3	± 3,8	(8 - 20)
Falschreaktion	0,5	± 0,77	(0 - 3)
ausgelassene Reaktion	11,0	± 7,91	(0 - 23)
Median Reaktionszeit rechts	0,7	± 0,11	(0,52 - 0,93)
Median Reaktionszeit links	0,71	± 0,11	(0,52 - 0,91)
Median Reaktionszeit gesamt	0,7	± 0,1	(0,5 - 0,9)

Bei diesem „Wiener Testverfahren" erzielten alle Probanden sehr gute Ergebnisse: Der Blickwinkel lag fast seitengleich im Mittel bei rechts 87,9° und links 89,4°, wodurch ein Gesichtsfeld von 177,3° zu ermitteln war. Die Reaktionszeiten lagen im Durchschnitt bei 0,7 Sekunden.

In der Tabelle 6 sind die Ergebnisse aller Probanden aus den Untersuchungen am Wiener Testsystem hinsichtlich Gesichtsfeld und der Trackingabweichung als Prozentränge dargestellt. Dabei haben diese Werte folgende Bedeutung:

- < 16 unterdurchschnittliche Leistungen
- 16 – 24 unterdurchschnittliche bis durchschnittliche Leistungen
- 25 – 75 eindeutig durchschnittliche Leistungen
- 76 – 84 durchschnittliche bis überdurchschnittliche Leistungen
- > 84 klar überdurchschnittliche Leistungen.

Tabelle 6: Prozentränge für die Parameter Gesichtsfeld und Trackingabweichung

Ergebnis	Gesichtsfeld	Trackingab-weichung
Median	83	84
min	27	38
max	93	100

Die Probanden wurden nach Normwerten für Kraftfahrer ohne erhöhte Verantwortung bewertet. Laut Begutachtungsleitlinien der Bundesanstalt für Straßenwesen gilt für diese Gruppe ein Prozentrang von 16 als kritischer Cut-Off-Wert (bei Berufskraftfahrern ein Prozentrang von 33). Somit erreichten alle Probanden überwiegend durchschnittliche bis klar überdurchschnittliche Leistungen.

4.2 Aufmerksamkeitsleistung

Zeitgleich zu der Kommissionierung (Arbeitsleistung) war eine Diskriminierungsaufgabe (Aufmerksamkeitsleistung) zu erfüllen. Dabei wurde wiederholt ein Landoltring am äußeren Rand der vier Quadranten des HMD-Displays eingeblendet. Durch das Drücken des Tasters einer Wii-Fernbedienung sollte dieser als gesehen erfasst werden (Initiation time). Anschließend mussten die Probanden die Öffnungsrichtung des Landoltrings angeben (Movement time). Die Summe daraus stellt die gesamte Reaktionszeit (Reaction time) dar.

4.2.1 Reaktionszeiten nach Quadranten

Die durchschnittlichen Messergebnisse dieser Komponenten sind unter Berücksichtigung der Anzeige der Landoltringe in den vier Quadranten in den folgenden Abbildungen aufgezeigt.

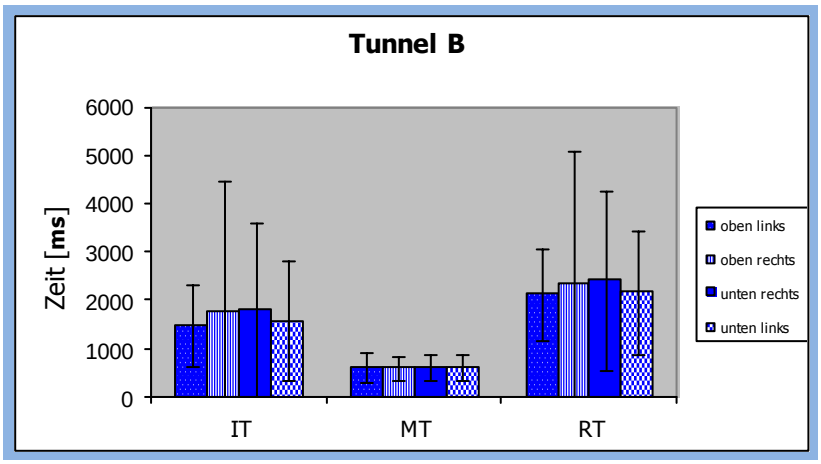

Abbildung 35: Komponenten der Reaktionszeit für Tunnel B

Unter Verwendung von Tunnel B (Abbildung 35) waren bei allen drei Komponenten (Initiation time 1698,3 / Movement time 608,6 / Reaction time 2306,9 ms) die durchschnittlich geringsten Werte gemessen worden, während bei der ausschließlichen Darstellung des Textes (Abbildung 36) die höchsten Zeiten erreicht wurden (1977,5 / 657,9 / 2635,3 ms).

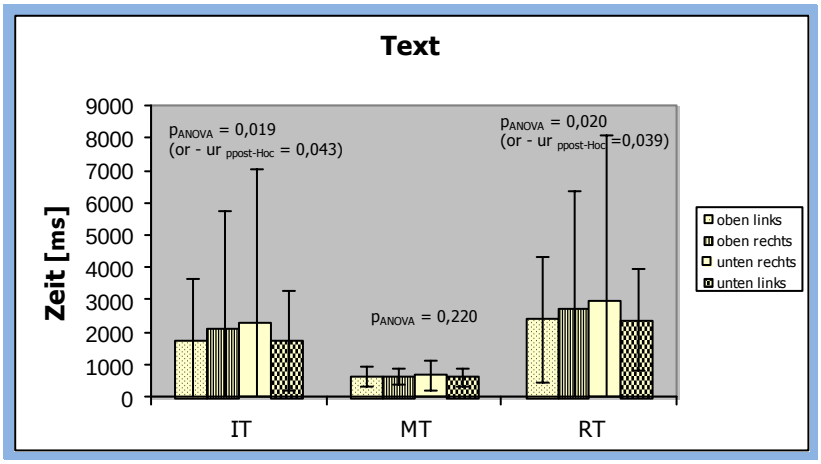

Abbildung 36: Komponenten der Reaktionszeit für ausschließliche Textanzeige

Die Werte der Reaktionszeiten bei Tunnel A lagen jeweils zwischen den Ergebnissen von Tunnel B und Text: IT 1875,5 / MT 640,7 / RT 2516,2 ms (Abbildung 37).

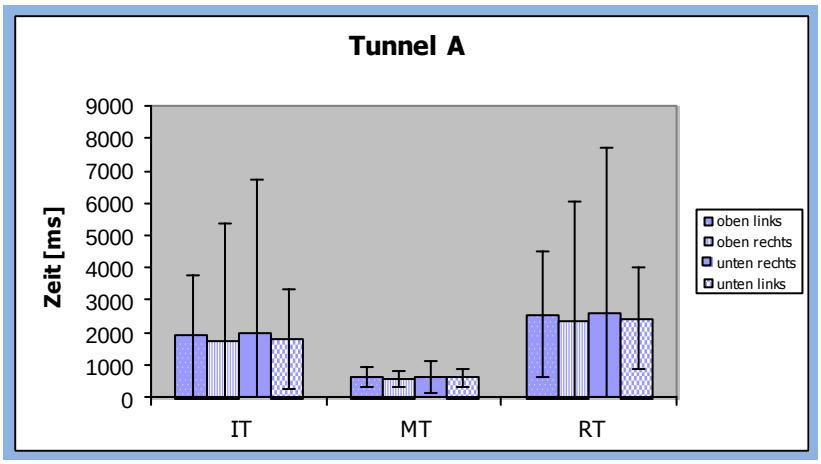

Abbildung 37: Komponenten der Reaktionszeit für Tunnel A

Das Zeitintervall bis zur Anzeige des nächsten Landoltringes wird als Verzögerung bezeichnet. Die Dauer wurde randomisiert um einen Durchschnittswert von 30 Sekunden bei Minimum 10 und Maximum 50 Sekunden.

Ein signifikanter Unterschied in der Reaktionszeit bestand zwischen der Darstellung der Tunnel im Vergleich zur reinen Textdarstellung. IT ($p=0,019$) und RT ($p=0,020$) waren signifikant erhöht, während die MT erwartungsgemäß keine bedeutsame Abweichung zeigte. Über die Versuchsreihen konnte keine Signifikanz im Vergleich der Reaktionszeiten zwischen den vier Quadranten festgestellt werden.

4.2.2 Fehler

Eine weitere Komponente der Leistung im Aufmerksamkeitsbereich wurde anhand der Zahl der gemachten Fehler während der Diskriminierungsaufgabe erfasst.
Stimmten die gedrückte Richtung auf dem Steuerkreuz der Wii-Fernbedienung und die Öffnung des zuvor angezeigten Landoltringes nicht überein, wurde dies als Fehler registriert.

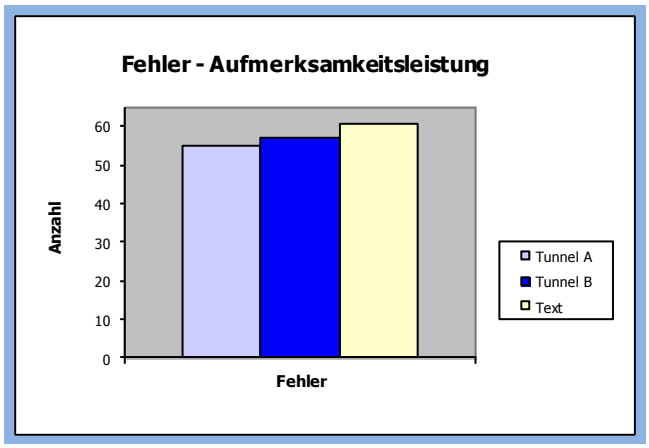

Abbildung 38: Durchschnittliche Fehlerzahl über die Versuchsreihen

Unter Visualisierung von Tunnel A wurde die geringste Fehleranzahl mit insgesamt 55 Fehlern gemessen; bei den beiden anderen Versuchsreihen waren nicht signifikant höhere Fehlerzahlen (Tunnel B: 57, Text: 61) festzustellen, wie in Abbildung 38 dargestellt ist.

4.2.3 Abhängigkeit der Reaktionszeiten vom Abstand des Tunnels zum Landoltring

Eine zusätzliche Auswertung der gemessenen Daten erfolgte hinsichtlich der Reaktionszeiten in Bezug auf die Darstellung des Tunnelsystems und der Landoltringe in den 4 verschiedenen Quadranten (Abbildung 39). Zur Differenzierung wurden folgende Konstellationen unterschieden:

- Gruppe 1: Landoltring und Tunnel liegen im gleichen Quadranten,
- Gruppe 2: Tunnel liegt in etwa zu gleichen Anteilen in zwei Quadranten über dem Feld mit dem Landoltring,
- Gruppe 3: Tunnel liegt nicht im Quadrant mit dem Landoltring,
- Gruppe 4: kein Tunnel angezeigt.

Diese Gruppierung soll der Feststellung dienen, ob die Aufmerksamkeit durch die Darstellung des Tunnelsystems in eine bestimmte Richtung gelenkt wird und dadurch die Reaktionszeiten beim Erkennen der Landoltringe größer sind.

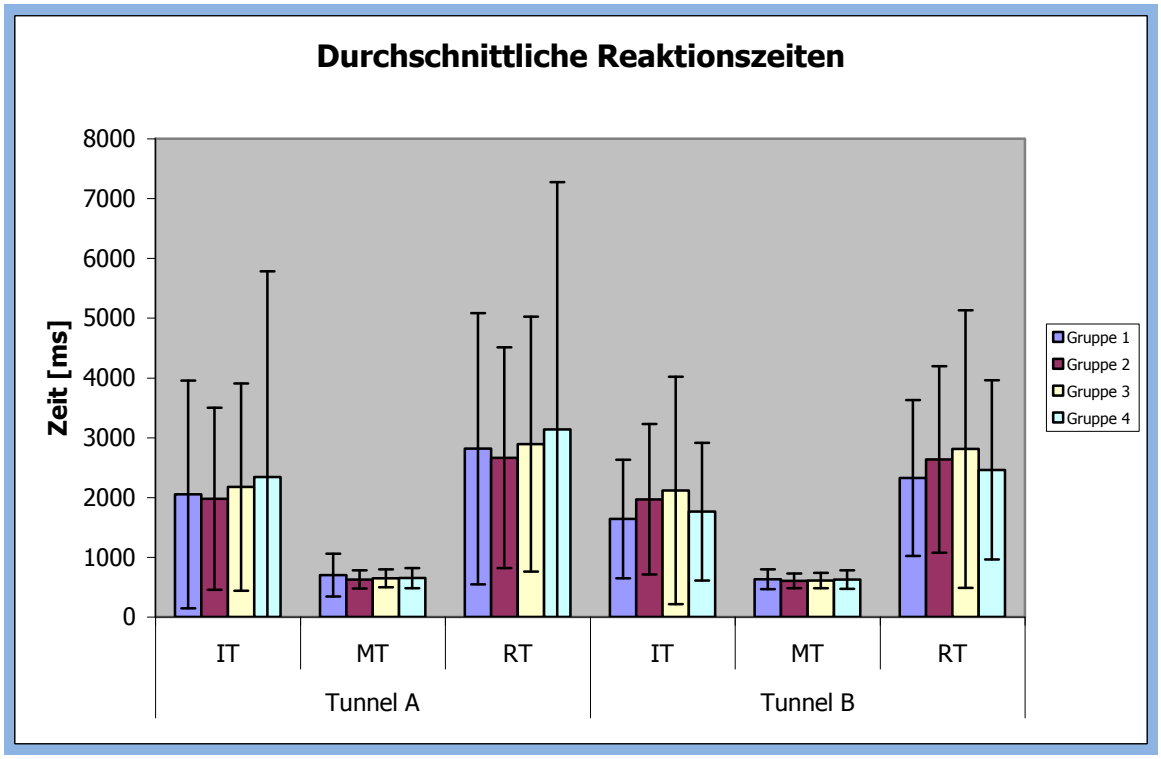

Abbildung 39: Durchschnittliche Reaktionszeiten nach Gruppen

Im direkten Vergleich der beiden „Attention Funnel" (Tunnel A und B) zeigten sich folgende Ergebnisse für die jeweiligen Gruppen:

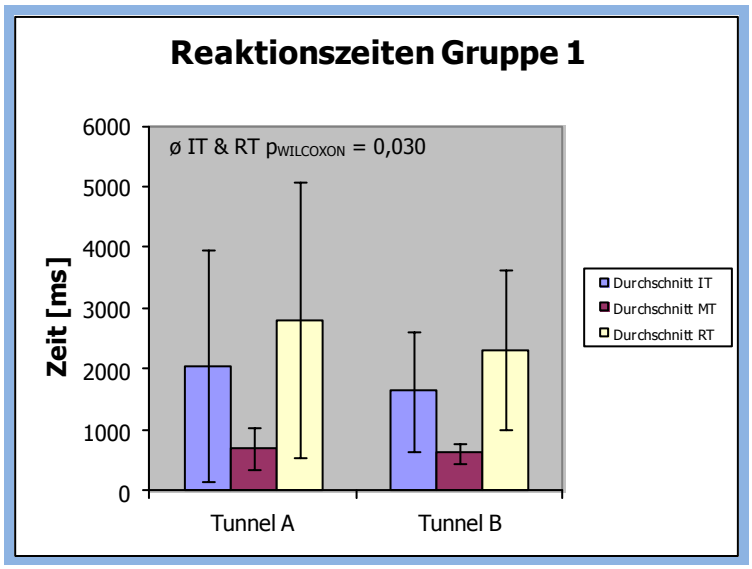

Abbildung 40: Reaktionszeiten - Gruppe 1

Die Reaktionszeiten waren bei der Darstellung von Tunnel und Landoltring im gleichen Quadranten bei Tunnel B etwas kürzer (Abbildung 40). Die Initiation Time sowie die Gesamtreaktionszeit waren bei Tunnel B mit IT 1638,8 ms und RT 2322,7 ms

durchschnittlich signifikant niedriger als bei Tunnel A (IT 2050,0 / RT 2814,7 ms). Hinsichtlich der Movement Time gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Tunnelsystemen (TA 700,6 / TB 629,6 ms).

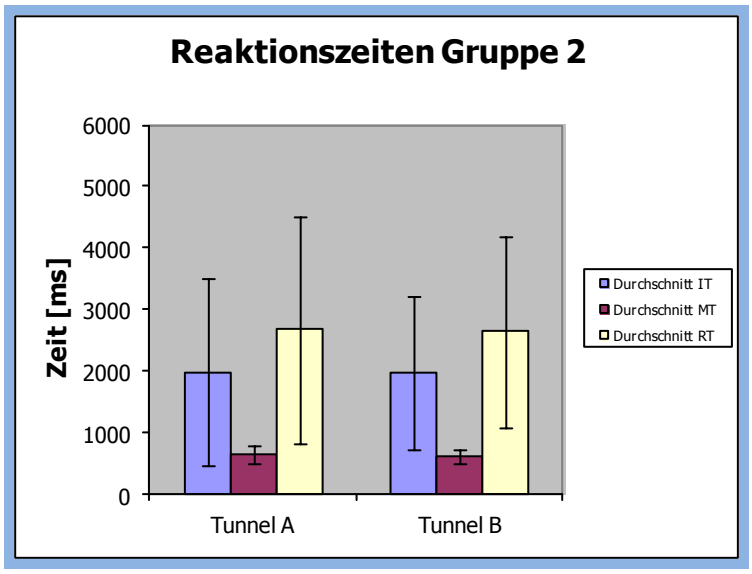

Abbildung 41: Reaktionszeiten – Gruppe 2

In der Gruppe 2, bei der sich der Tunnel gleichzeitig in zwei Quadranten über dem angezeigten Landoltring befand, waren keine signifikanten Unterschiede bei allen Komponenten der Reaktionszeit festzustellen (Abbildung 41). Bei Tunnel A lag die RT bei 2663,0 ms mit IT 1975,4 und MT 627,4 ms. Die Werte für Tunnel B lagen bei RT 2635,8 / IT 1969,0 / MT 601,8 ms.

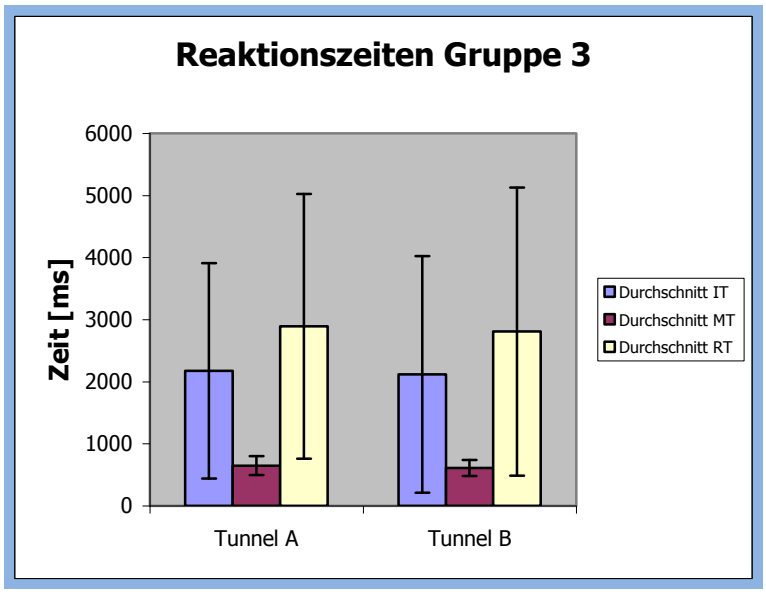

Abbildung 42: Reaktionszeiten - Gruppe 3

Lagen dargestellter „Attention Funnel" und Landoltring nicht im gleichen Quadranten, zeigten sich im Vergleich der beiden dargestellten Tunnel fast identische Reaktionszeiten (Abbildung 42). In dieser Gruppe war im Vergleich der beiden Darstellungen kein signifikanter Unterschied der Reaktionszeiten festzustellen (TA: IT 2172,9 / MT 646,5 / RT 2889,6 ms; TB: IT 2116,9 / MT 609,2 / RT 2808,3 ms).

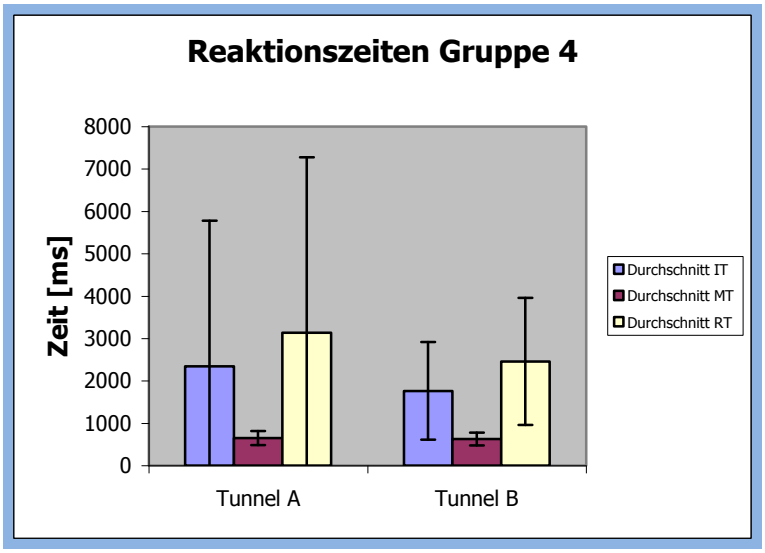

Abbildung 43: Reaktionszeiten - Gruppe 4

Wurde gerade kein Tunnel eingeblendet, als der Landoltring erschien, waren bei Tunnel B kürzere Reaktionszeiten festzustellen (IT 1762,5 / MT 626,2 / RT 2458,5 ms). Initiation Time und Gesamtreaktionszeit zeigten zumindest einen tendenziellen Unterschied auf (Abbildung 43). Die Werte für Tunnel A lagen bei IT 2343,0 / MT 650,2 / RT 3134,7 ms.

Insgesamt zeigten sich längere Reaktionszeiten, wenn kein Tunnel angezeigt wird, gefolgt von der Darstellung des Tunnelsystems in einem anderen Quadranten als dem mit dem Landoltring.
Bei der Darbietung von AF und LR im gleichen Quadranten war die Gesamtreaktionszeit (RT) am kürzesten. Die MT lag bei allen verglichenen Gruppen in einem annähernd gleichen Bereich.

4.3 Leistungsdaten

Als Parameter der Arbeitsleistung der Probanden wurden sowohl die Anzahl der richtig kommissionierten Teile als auch die der Fehler erfasst. Die Auswertung dieser Leistungsdaten der Kommissionieraufgabe (Gesamtzahl der Teile aus den bearbeiteten Joblisten sowie ermittelte Fehlerzahl) zeigte eine signifikant bessere Arbeitsleistung bei der Verwendung der „Attention Funnel". Allerdings war die Anzahl der Fehler bei Tunnel A leicht erhöht, wobei diese Differenz statistisch nicht signifikant ist.

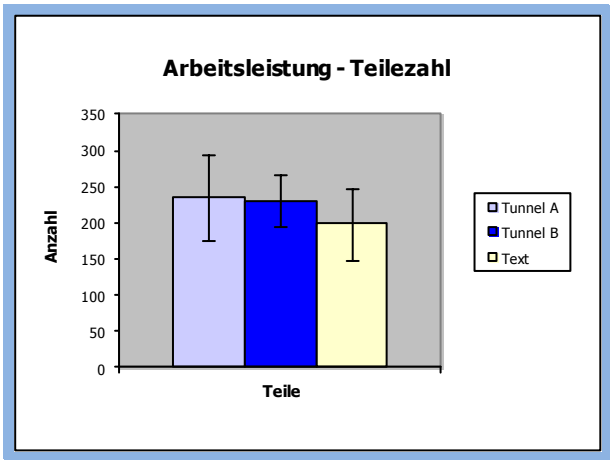

Abbildung 44: Anzahl der bearbeiteten Teile

Hinsichtlich der bearbeiteten Teile stellte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Arbeitsleistung unter Verwendung der „Attention Funnel" im Vergleich zur reinen Textanzeige heraus. Unter Darstellung der Tunnelsysteme wurden nahezu identische Stückzahlen mit 235 (Tunnel A) und 231 (Tunnel B) kommissioniert; ohne Verwendung des Tunnels wurden mit 198 (Text) durchschnittlich weniger Teile bearbeitet (Abbildung 44).

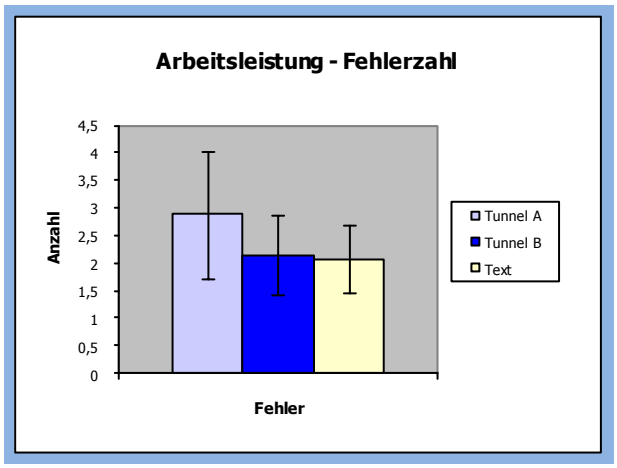

Abbildung 45: Anzahl der Fehler bei den 3 Untersuchungsbedingungen

Die Zahl der gemachten Fehler (falsch, doppelt oder zu wenig gegriffene Teile) zeigte in den drei Versuchsreihen keinen signifikanten Unterschied: Es wurden bei der Darstellung von Tunnel A durchschnittlich mit 2,9 die meisten Fehler gemacht, bei Tunnel B waren es 2,2 und bei der ausschließlichen Textanzeige 2,1 (Abbildung 45).

4.4 Herzfrequenz und HRV

Der Herzfrequenzverlauf zeigte tendenzielle Unterschiede zwischen den drei Visualisierungsarten. Zwischen Tunnel A und B sowie zwischen Tunnel B und Texteinblendung bestanden tendenzielle Differenzen bei den HRV-Parametern.
Die detaillierte Beurteilung findet im Rahmen einer separaten Arbeit zur objektiven Beanspruchung statt.

4.5 Subjektive Beanspruchung

Die Auswertung der subjektiven Beanspruchung (EZ-Skala nach Nitsch, Befindlichkeits-Skala, Beschwerdefragebogen) erfolgte in Bezug auf die 3 Versuchsbedingungen sowie den Ausgangspunkt vor Beginn der Versuchsreihen.

4.5.1 EZ-Skala

Bei der alleinigen Text-Darstellung zeigte sich eine Signifikanz bei der Selbstsicherheit (p=0,038). Auch bei Tunnel B ergaben sich diverse (teils hoch) signifikante Differenzen zwischen vor und nach dem Versuch: Motivation (p=0,036), Aktivation (p=0,001), Tension (p=0,038), Anstrengungsbereitschaft (p=0,012) sowie andere Parameter.
Tendenzielle Unterschiede konnten bei der Visualisierung von Tunnel A festgestellt werden: Motivation (p=0,097), Aktivation (p=0,070), Stimmungslage (p=0,060), Kontaktbereitschaft (p=0,059), Schläfrigkeit (p=0,056).
Die detaillierte Auswertung und Beschreibung der EZ-Skala erfolgt in einer Arbeit zur objektiven Beanspruchung unter Berücksichtigung der Herzfrequenz(variabilität).

4.5.2 BFS

Über den gesamten Versuchsablauf mit allen drei Darstellungsformen in randomisierter Reihenfolge zeigte sich eine (hoch) signifikante Verschlechterung des Befindens anhand des Rohwertes mit p<0,001 und des Staninewertes mit p=0,06 (Abbildung 46). Die Befindlichkeitsskala belegt somit negative Veränderungen des subjektiven Befindens über die vierstündige Dauer der gesamten Versuchsreihen.

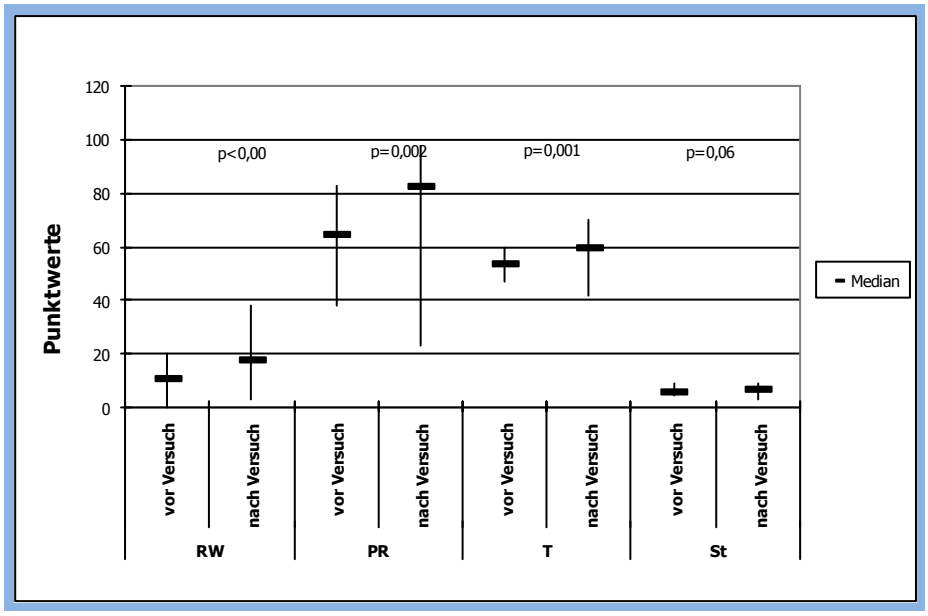

Abbildung 46: Befindlichkeit beim Gesamtversuch

Bezogen auf die einzelnen Versuche zeigten sich lediglich bei Tunnel A tendenzielle Unterschiede (Staninewert: p=0,078).

4.5.3 Beschwerde-Fragebogen

Die Angaben zu den subjektiven Beschwerden lieferten folgende Ergebnisse:
Bei der Darstellung des Textes ohne Tunnel traten signifikant vermehrt Augenschmerzen (AS) auf: p=0,014. Weiterhin zeigte sich eine Tendenz zu Augenermüdungserscheinungen (AE, p=0,063). Bei Tunnel B traten vermehrt Kopfschmerzen auf (p=0,048).

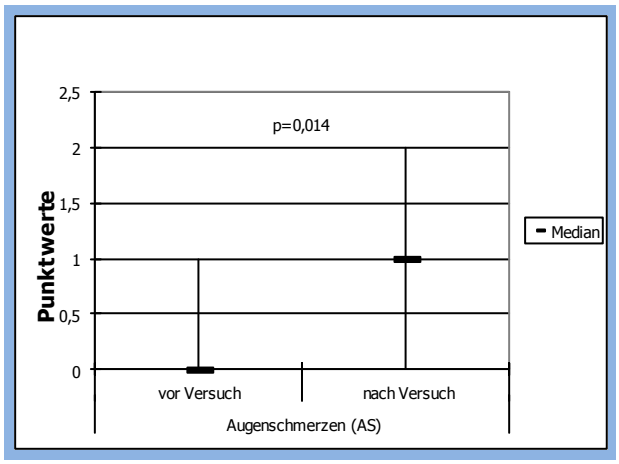

Abbildung 47: Augenschmerzen im Vergleich vor und nach dem Versuch bei der Textausgabe

Exemplarisch sind aus den angegebenen Beschwerden Augenschmerzen bei reiner Textanzeige (Abbildung 47) sowie Kopfschmerzen bei Visualisierung von Tunnel B (Abbildung 48) dargestellt.

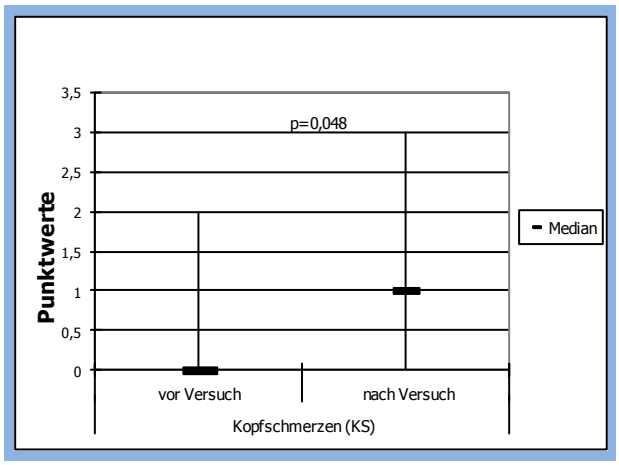

Abbildung 48: Kopfschmerzen im Vergleich vor und nach dem Versuch bei Tunnel B

Über den Gesamtversuch von fast 4 Stunden ohne Berücksichtigung der Reihenfolge der Visualisierungen stellte sich ein hoch signifikantes Auftreten von Kopfschmerzen ($p<0,001$) dar (Abbildung 49).

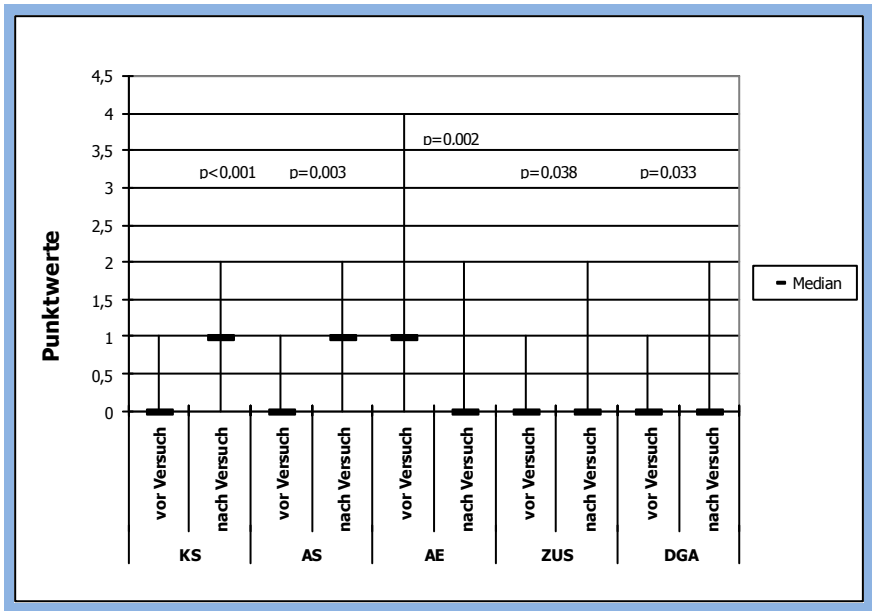

Abbildung 49: Ergebnisse aus dem Beschwerdefragebogen beim Gesamtversuch

Weiterhin ergaben sich sehr signifikante Unterschiede bezüglich Augenschmerzen (p=0,003) und Augenermüdung (p=0,002) sowie Signifikanzen bezüglich zeitweisem Unscharfsehen (ZUS, p=0,038) und Druckgefühl am Auge (DGA, p=0,033).

5 Diskussion

Einen aktuellen Forschungsschwerpunkt stellt Augmented Reality in Deutschland und vielen anderen Ländern weltweit dar - sie wird in zahlreichen Bereichen von Industrie über Medizin, Architektur, Militär und Marketing bis hin zu Unterhaltung und anderen Gebieten angewendet und weiterentwickelt. AR soll beispielsweise als unterstützende Maßnahme in der Automobilindustrie verwendet werden, um bei der Bewältigung heutiger Herausforderungen Herstellungsprozesse zu optimieren.
Mittels AR wird eine reale Situation durch Darstellung virtueller Informationen anhand von computergesteuerten Anzeigegeräten ergänzt, wodurch sich die Möglichkeit zur Interaktion des Anwenders mit den realen und virtuellen Elementen in Echtzeit ergibt.

Die Abgrenzung der AR innerhalb des Reality-Virtuality-Kontinuum nach Milgram [Milgram 1994] sowie die verschiedenen Technologien (diverse Eingabe-, Verarbeitungs- und Ausgabesysteme) zeigen die Möglichkeiten und Grenzen der jeweiligen Systeme auf. Bei den Ausgabegeräten kommen insbesondere die Anzeigegeräte mit kontextadaptiver Visualisierung auf Basis der Definition nach Tümler zur Anwendung [Tümler 2009].

Anwendungsbezogene Fragestellungen gewinnen bei der Entwicklung von AR-Technologien stetig wachsendes Interesse. Somit sind neben der Analyse der Eignung neuer Arbeitsmittel zu Effizienz- und Effektivitätssteigerungen auch deren Auswirkungen auf den Menschen zu erforschen. Bei der Entwicklung neuer Technologien sollen folglich auch die Effekte auf das Gesundheits- und Unfallrisiko beachtet werden.
Zur Evaluation nutzerbezogener Aspekte gehört die Erforschung arbeitsphysiologischer Fragestellungen wie Beanspruchung, Motivation und Aufmerksamkeit sowie ergonomischer und organisatorischer Gesichtspunkte. Diese sollen die Gestaltung der AR-Systeme nach technologischen und effizienzbasierten Betrachtungsweisen unter Berücksichtigung industrieller Anforderungen unterstützen [Grubert 2010, Tümler 2009].

Aspekte der Aufmerksamkeit bei AR-gestützter manueller Tätigkeit wurden im Vergleich verschiedener Darstellungsarten der virtuellen Information bei den Ausgabegeräten eruiert. Dabei wurden als übergeordnete Faktoren sowohl die Effizienz in der industriellen Nutzung

berücksichtigt wie auch die Beanspruchungssituation des Nutzers bei der Anwendung des Systems.
Die primäre Aufgabe eines Werkers liegt in der realen Welt. AR-Technologien erweitern diese Realität mit virtuellen Informationen und dienen der Parallelisierung von Informationsaufnahme, Aufgaben und Handlungen bei hoher Mobilität des Anwenders. Faktoren wie Fehlervermeidung, Effizienzsteigerung und Wirtschaftlichkeit spielen für den industriellen Gebrauch eine wesentliche Rolle [Schwerdtfeger 2007, Gude 2004]. Der AR obliegt dabei die Aufgabe eines Hilfsmittels, wobei unter Verwendung des AR-Systems die Aufmerksamkeit des Nutzers für die Interaktion beeinflusst wird. Zur Steigerung der Benutzerfreundlichkeit sowie der Effizienz stellt die Reduktion der Zusatzinformationen auf ein optimiertes Maß ein wesentliches Kriterium bei der Entwicklung des Anzeigegerätes dar [Oehme 2004].

Für die Versuchsreihen zu dieser Arbeit wurden zwei „Attention Funnel"-Darstellungen auf dem Ausgabegerät - mit verschiedener Breite und unterschiedlicher Anzahl der dargestellten Ringe - untereinander sowie mit einer Darstellung ohne Tunnel (alleinige Textanzeige) verglichen. Die Untersuchung der Aufmerksamkeit galt der Wahrnehmung peripherer Objekte, was bei einem realen Fabrikeinsatz bedeutsam ist und Aspekte der subjektiven Beanspruchung sowie des Gesundheitsschutzes beinhaltet. Anhand von randomisiert eingeblendeten Landoltringen wurde diese Aufmerksamkeitsleistung eruiert.

Die Primäraufgabe der Probanden simulierte den mehrstündigen Einsatz eines HMD bei der Kommissionierung von Kleinteilen in der Automobilindustrie.
Die Verwendung eines optimierten AR-Systems erwirkt durch Effizienzverbesserung und Parallelisieren von Tätigkeiten eine Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit und damit der Leistung [Alt 2002, Reif 2009]. Dies zeigt sich beispielsweise bei Kommissioniertätigkeiten unter Einsatz von AR-Technologie in verkürzten Auffindungszeiten von Lagerorten und damit erhöhten Leistungen beim Kommissionieren entsprechender Teile. Weiterhin zeigt sich ein hohes Potenzial zur Fehlervermeidung.

Zur Optimierung des verwendeten AR-Systems wurden die drei beschriebenen Darstellungsformen am HMD (Tunnel A und B sowie Text) auch in Bezug auf die Leistungen der Versuchsteilnehmer verglichen. Die erhobenen Leistungsdaten aus Teile- und Fehlerzahl ergaben eine signifikant höhere Arbeitsleistung bei der Verwendung der „Attention Funnel" sowie eine statistisch nicht signifikant geringere Fehlerzahl bei Tunnel B sowie bei der reinen

Textdarstellung. Dies zeigt die Überlegenheit der AF hinsichtlich der Arbeitsleistung gegenüber der alleinigen Visualisierung der Teilenummer auf. Eine Tendenz zur Fehlervermeidung kann in der Darstellung mit reduzierter „Tunneldichte" gesehen werden.

Bei der zeitgleich zu der Kommissionierung (Arbeitsleistung) durchzuführenden Diskriminierungsaufgabe wurde die Aufmerksamkeitsleistung ermittelt und dabei die Zahl der Fehler registriert. Weiterhin wurden die Reaktionszeiten in Bezug auf die Darstellung des Tunnelsystems und der Landoltringe in den vier verschiedenen Quadranten berücksichtigt, um die Ablenkung der Aufmerksamkeit durch die Darstellung des Tunnelsystems zu ermitteln.
Eine signifikante Differenz der Reaktionszeiten wurde zwischen der Darstellung der reinen Textdarstellung im Vergleich zu beiden Tunneln ermittelt, es waren bei der ausschließlichen Visualisierung des Textes höhere Zeiten gemessen worden. Daraus lässt sich schließen, dass bei der alleinigen Anzeige der Teilenummern die Aufmerksamkeit auf das Lesen des Textes gerichtet ist und somit Verzögerungen verursacht. Der AF kann folglich als nützliche Visualisierungsform gewertet werden.

Aufgeschlüsselt nach der Darstellung von AF und Landoltring in gleichen oder verschiedenen Quadranten (Gruppen 1 bis 4 → 4.2.3) konnte eine Signifikanz in der Reaktionszeit lediglich bei der Anzeige von Tunnel und Landoltring im gleichen Quadranten unter Darbietung von Tunnel B festgestellt werden - hier wurden deutlich kürzere Reaktionen (IT und folglich RT) gemessen. Ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Verwendung der einzelnen Darstellungsformen bezüglich aller vier Quadranten konnte nicht nachgewiesen werden. Es zeigte sich, dass die Aufmerksamkeitsleistung etwas erhöht war, wenn die Aufmerksamkeit in den gleichen Bereich des Gesichtsfeldes gelenkt wurde, in dem auch die Diskriminierungsaufgabe zu erfüllen war. Dagegen konnte nicht festgestellt werden, dass durch die gelenkte Aufmerksamkeit in einen entfernten Quadranten schlechtere Ergebnisse erzielt wurden.
Bezüglich der Fehlerzahl bei der Diskriminierungsaufgabe zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den drei verglichenen Darstellungsformen.

Ein Effekt von „Blindheit" durch Nichtaufmerksamkeit konnte demnach nicht ermittelt werden: Es wurden weder erhöhte Reaktionszeiten noch vermehrt Fehler durch Aufmerksamkeitslenkung nachgewiesen. Folglich besteht kein erhöhtes Unfallrisiko durch einen Effekt von gelenkter Aufmerksamkeit bei der Darstellung von AF am HMD.

Während der Versuchsreihen vorangegangener Arbeiten mit HMDs traten mitunter Beschwerden wie Kopf- und Augenschmerzen auf [Senft 2010, Roggentin 2009b, Böckelmann 2011b]. Dies deutet auf die Notwendigkeit einer verbesserten Gestaltung der HMDs hinsichtlich Tragekomfort und Gewicht hin, erfordert allerdings auch die Untersuchung ophthalmologischer sowie beanspruchungsbezogener Aspekte.

Eine ophthalmologische Untersuchung diente zum Ausschluss morphologischer und funktioneller Schäden des visuellen Systems (→ Ausschlusskriterien). Diese beinhaltete die Untersuchung von Sehschärfe, Phorie, Stereosehen, Kontrastwahrnehmung, dynamischem Sehen, Augeninnendruck, Farbensehen und Gesichtsfeld. Die Probanden dieser Studie erzielten dabei gute bis sehr gute Ergebnisse. Durch Refraktionsanomalien, Farbsehschwächen und gering eingeschränktes Stereo- und Kontrastsehen konnte in dieser Studie kein Einfluss auf die Leistungsdaten ermittelt werden. Natürlich ist dieser Aspekt unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien zu werten. Inwieweit Pathologien dieser Art die Leistungen tatsächlich beeinflussen, bedarf weiterer Untersuchungen.
Die Untersuchung der peripheren Wahrnehmung ergab bei den Versuchsteilnehmern ebenfalls sehr gute Messwerte. Zum Vergleich: In der Verkehrspsychologie gelten Werte unter 120° als problematisch für das Führen eines Kraftfahrzeugs. Für Berufskraftfahrer gilt ein Blickwinkel im gesamten Gesichtsfeld von 140° als Mindestanforderung (mindestens 70° nach links und rechts). Unsere Probanden erfüllten mit einem Blickwinkel von 177° im Schnitt deutlich die Normwerte.

Die Ergebnisse des Beschwerde-Fragebogens sowie der Befindlichkeits-Skala zeigen die subjektive Beanspruchung der Probanden auf. Dabei stellten sich bei der Auswertung der subjektiv angegebenen Beschwerden über den Gesamtversuch unabhängig von der Reihenfolge der drei verschiedenen Visualisierungen vor allem Kopfschmerzen dar. Ebenso traten vermehrt Augenschmerzen und –ermüdungserscheinungen sowie Druckgefühl am Auge und unscharfes Sehen auf. Dies bestätigt die Angaben von Versuchsteilnehmern vorangegangener Langzeit-Versuche zur Anwendung von AR [Roggentin 2009b, Rottenkolber 2002, Schega 2011].
Die Beurteilung der einzelnen Versuchsreihen ergab bei der Textdarstellung ohne AF das gesteigerte Eintreten von Augenschmerzen und –ermüdung. Bei Tunnel-B-Darstellung stellten sich vermehrt Kopfschmerzen ein.
Die EZ-Skala liefert Informationen zur Motivations- und Beanspruchungslage über den Versuchsverlauf. Verschlechterungen von Motivation und Aktivation fielen bei Tunnel B

signifikant, bei Tunnel A tendenziell auf. Bei reiner Text-Darstellung stellte sich eine Reduktion der Selbstsicherheit heraus, was womöglich im erhöhten Fehlerpotential beim Lesen der Teilenummern begründet ist und sich im Ergebnis hinsichtlich Leistung und Fehler beim Kommissionieren widerspiegelt. Detaillierte Aspekte zu den Ergebnissen aus der EZ-Skala werden in einer separaten Arbeit zur objektiven Beanspruchung mit Beurteilung der Herzfrequenz(variabilität) ausgewertet und diskutiert.

Die BFS-Skala zeigt eine Verschlechterung der Befindlichkeit über den Gesamtversuch von zirka 4 Stunden auf, was sich bereits bei der Auswertung des Beschwerde-Fragebogens zeigte. In vorherigen Arbeiten wurde allerdings belegt, dass auch unter der Verwendung herkömmlicher Papierlisten die subjektive Beanspruchung im Vergleich zum Dauer-Einsatz eines AR-Systems höher empfunden wurde als vor dem Versuch [Roggentin 2009b, Böckelmann 2011a]. Befindlichkeit und subjektive Beschwerden verschlechtern sich demnach bei Verwendung eines HMD nicht signifikant in Gegenüberstellung zur Tätigkeit ohne AR-Technologie. Die Beschwerden treten folglich gegenüber dem üblichen Maß bei konventioneller Tätigkeit nicht nachweislich verstärkt auf.

Es ist anzunehmen, dass hierbei zusätzlich der Aspekt der Benutzererfahrung mit virtuellen Systemen zu berücksichtigen ist [Schmidt 2007, Schega 2011], was gegebenenfalls auch die Veränderungen der Motivations- und Aktivationslage laut EZ-Skala erklärt. Dies könnte als mögliche Ursache der angegebenen Kopfschmerzen angesehen werden, die bei allen vierstündigen Gesamtversuchen sowie insbesondere bei Tunnel B auftraten.

Eine weiter optimierte Darstellung der AF könnte womöglich die subjektiven Beschwerden künftig reduzieren.

Ein bedeutsamer Aspekt liegt im Zusammenspiel von Konvergenz und Akkommodation der menschlichen Augen mit dem Akkommodations-Konvergenz-Konflikt in virtuellen Umgebungen [Veron 1990]. Bei Akkommodation werden durch Brechkraftveränderungen Objekte in verschiedenen Entfernungen scharf auf der Netzhaut abgebildet [Kohnen 2008]. Die Akkommodationsdifferenz (AD) bedingt womöglich durch ständige Veränderungen von Akkommodation und Konvergenz die Augenbeschwerden unter der Verwendung von HMDs. Bei der Darstellung der AF muss der Anwender allerdings die einzelnen Ringe nicht genau fokussieren, also „scharf stellen". Somit sind weniger Akkommodationsänderungen notwendig, der Blick richtet sich ständig auf das Zielobjekt in der Ferne. Beim Lesen der Textdarstellung muss der Anwender hingegen auf diese fokussieren, um Zahlen und Buchstaben lesen zu können. Unter Umständen sind damit die weniger stark ausgeprägten Augenschmerzen bei Darstellung der AF im Gegensatz zur alleinigen Textanzeige zu

begründen. AF bieten auf diese Weise die Reduktion asthenopischer Beschwerden, wenn auch bei Tunnel B vermehrt Kopfschmerzen auftraten. Weitere Untersuchungen zu diesem Aspekt in Gegenüberstellung zu konventioneller Tätigkeit sind anzustreben.

Weitere beeinflussende Gesichtspunkte liegen in der Farbdarstellung, der Leuchtdichte sowie den Kontrastverhältnissen der am HMD eingeblendeten Informationen [Livingston 2009]. Durch Kopf- und Kamerabewegungen sind ständig schnelle Wechsel der Bedingungen zu verzeichnen. Diese können ebenso wie Blendeffekte die Wahrnehmung beeinflussen und möglicherweise Augenbeschwerden verursachen. Ferner nehmen die Kontrastbedingungen sowie die Leuchtdichten der Umgebung Einfluss auf Wahrnehmung, Leistung und subjektive Beanspruchung [Oehme 2004].
Aufgrund variierender Umgebungsbedingungen im tatsächlichen industriellen Einsatz sollten Farb-, Helligkeits- und Kontrasteinstellungen der Anzeige am HMD zur individuellen Anpassung justierbar sein. Wahrscheinlich sind bezüglich Darstellungsgröße und –dichte der einzelnen Ringe des AF ebenfalls spezifische Einstellmöglichkeiten sinnvoll, um asthenopische Probleme reduzieren zu können.

Individuelle Voraussetzungen des Anwenders hinsichtlich der untersuchten ophthalmologischen Parameter (Visus, Kontrast- und Farbwahrnehmung, Gesichtsfeld und periphere Wahrnehmung, Phorie und Stereosehen sowie dynamisches Sehen) haben zweifelsohne ebenfalls einen Einfluss auf die Handhabbarkeit der HMD-Technologie. Bei den eingeschlossenen Versuchsteilnehmern konnten keine differierenden Arbeits- oder Aufmerksamkeitsleistungen bezüglich dieser Parameter eruiert werden. Es erscheint allerdings sinnvoll, Standards für die visuellen Funktionen festzulegen. Gegebenenfalls sind dafür neben der weiteren Verbesserung der AR-Technologie Untersuchungen zur Abgrenzung der erforderlichen Mindestsehleistungen indiziert.

Unter Berücksichtigung von Empfehlungen aus vorangegangenen Arbeiten wurde eine Optimierung des AR-Systems angestrebt, viele Vorschläge konnten bereits umgesetzt werden. Zusätzliche Verbesserungsmöglichkeiten zur Handhabbarkeit und folglich Effizienz für den angestrebten industriellen Vollschichteinsatz des Systems liegen in

- Gewichtsreduktion der Geräte, Besserung des Tragekomforts
- Optimierung von Tracking und Kalibrierung
- Verbesserung der Interaktion und damit Mobilität
- Fehlsichtkorrigierbarkeit / Brillentauglichkeit

- Ausreifung der Darstellung
- Justierbarkeit von Helligkeit und Kontrast
- Verstellmöglichkeit der visualisierten Tunnelsysteme
- Robustheit und Wegklappbarkeit

[Roggentin 2009b, Oehme 2004, Schmidt 2005].

Ergonomische Gestaltungskriterien (nicht nur von AR-Systemen) ermöglichen eine Entlastung des Anwenders. Arbeitsprozesse werden durch Parallelisierung von Informationsaufnahme, Arbeitsaufgaben und Nebentätigkeiten effizienter bewerkstelligt. Somit können Fehler im Arbeitsablauf vermieden sowie krankheitsbedingte Arbeitsausfälle reduziert werden [Luczak 2004, Schlick 2010, Schwerdtfeger 2007].

Eine Zentrierung auf anwenderbezogene Aspekte ist bei der Entwicklung von AR-Technologien für den industriellen Gebrauch unabdingbar, um die Vorteile dieser Systeme optimal an die Erfordernisse der Anwender sowie die Arbeitsprozesse anzupassen. Hier besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf.

6 Zusammenfassung

Augmented Reality bietet die situationsgerechte Anreicherung einer realen Umgebung mit virtuellen Informationen. Der Anwender vermag mit realen und simulierten Elementen in Echtzeit zu interagieren. Unzählige Anwendungsmöglichkeiten werden weltweit für Industrie, Marketing, Medizin, Militär, Katastrophenmanagement, Architektur, Navigationssysteme, Verkehrs- und Flugsimulatoren, Schulen, Unterhaltungszwecke und andere Bereiche erforscht.

Als unterstützendes AR-Hilfsmittel bei Kommissioniertätigkeiten in der Automobilindustrie wurden zwei verschiedene visuell dargebotene trichterartige Tunnelsysteme („Attention Funnel") untereinander und mit einer alleinigen Textdarbietung (Teilenummer) verglichen. Bezüglich dieser Anwendung wurden die Lenkung der Aufmerksamkeit mit daraus folgendem Fehlerpotential sowie visuelle, ergonomische und leistungsbezogene Aspekte bei der Arbeit mit AR-Technologien eruiert. Für den geplanten industriellen Einsatz beinhaltet dies Perspektiven zur Unfallvermeidung und zum Gesundheitsschutz für den Anwender.
Als Arbeitshypothese wurde das Auftreten von durch Aufmerksamkeitslenkung nicht wahrgenommenen Bereichen im Gesichtsfeld der Versuchsteilnehmer bei der Darbietung der visualisierten Zusatzinformationen zu Grunde gelegt.
Die von der Industrie geforderte Effizienzerhöhung zur gesteigerten Wirtschaftlichkeit wurde im Hinblick auf optimierte Leistungen beim Kommissionieren von Teilen sowie auf ein erhöhtes Potenzial zur Fehlervermeidung bei dieser Tätigkeit untersucht.

Als ein Resultat der durchgeführten Versuche zeigte sich eine signifikant erhöhte Arbeitsleistung mittels Visualisierung der „Attention Funnel". Bei der Darstellung mit reduzierter „optischer Dichte" (Tunnel B) wurden tendenziell weniger Fehler gemacht, ebenso bei alleiniger Textdarbietung der Teilenummer. AF bieten somit eine Effizienzsteigerung durch erhöhte Leistungsdaten, da unter optimierter Darstellung eine höhere Arbeitsleistung unter nahezu unveränderter Fehlerzahl möglich ist.
Bei der Ermittlung der Aufmerksamkeitsleistung mittels sporadischer Visualisierung von Landoltringen in einem der vier Quadranten stellten sich signifikant erhöhte Reaktionszeiten bei reiner Textdarstellung im Vergleich zu beiden Tunneln dar. Die Ursache für diese Verzögerungen bei der Diskriminierungsaufgabe liegt mutmaßlich in der auf das Lesen des Textes gerichteten Aufmerksamkeit. Wurden die Tunnel visualisiert, ergaben sich kürzere

Reaktionen, was für die Zweckmäßigkeit der AF als virtuelles Hilfsmittel gewertet werden kann.

Die Beurteilung der Aufmerksamkeit unter Darbietung von AF und Landoltring in gleichen oder verschiedenen Quadranten (Gruppen 1 bis 4 → 5.2.3) ergab lediglich bei Tunnel B mit Visualisierung von Tunnel und Landoltring im gleichen Feld kürzere Reaktionen.

Bei der Darstellung von Landoltring und AF in verschiedenen Quadranten zeigte sich keine signifikante Differenz der Reaktionszeiten. Somit ergaben sich keine schlechteren Ergebnisse durch die Lenkung der Aufmerksamkeit in einen entfernten Quadranten. Die Anzahl der Fehler bei diesem Aufmerksamkeitstest zeigte ebenfalls keine signifikanten Differenzen. Ein erhöhtes Unfallrisiko durch einen Effekt von „Blindheit" durch Nichtaufmerksamkeit bei der Visualisierung von AF am HMD konnte in der Versuchsanordnung nicht nachgewiesen werden.

Subjektive Beschwerden waren bei der Textdarstellung ohne AF durch Auftreten von Augenschmerzen und –ermüdung sowie in Form von Kopfschmerzen über den Gesamtversuch, insbesondere unter Visualisierung von Tunnel B, zu verzeichnen. Möglicherweise liegt die Ursache für die Beschwerden bei der reinen Textanzeige in den ständigen Änderungen von Akkommodation und Konvergenz, da der Anwender beim Lesen der Teilenummer auf diese fokussiert. Durch Visualisierung von AF muss der Anwender den Tunnel nicht genau fokussieren, also die einzelnen Ringe „scharf stellen". Sein Blick bleibt vorherrschend auf das Zielobjekt in der Ferne gerichtet, er akkommodiert weniger.

Die bei Tunnel B vermehrt aufgetretenen Kopfschmerzen können womöglich unter dem Aspekt der fehlenden Anwendererfahrung sowie der Notwendigkeit der Optimierung des Tunnelsystems gewertet werden. In weiteren Untersuchungen sollte das Potential zur Reduktion asthenopischer Beschwerden durch AF-Visualisierung ebenso gegenüber konventioneller Tätigkeit geprüft werden.

Diese Ergebnisse zeigen erneut die Notwendigkeit ergonomischer Kriterien unter Berücksichtigung psychischer Aspekte bei der Entwicklung von AR-Technologien auf.

Die Vorteile der Visualisierung von AF wurden hinsichtlich Steigerung der Arbeitsleistung mit Potential zur Fehlervermeidung bestätigt. Der vermutete Effekt von „Blindheit" durch Nichtaufmerksamkeit bei der Darstellung von AF wurde nicht belegt, folglich besteht kein erhöhtes Unfallrisiko für den Anwender.

Die anwenderbezogene Optimierung der AR-Systeme ermöglicht eine effizientere Gestaltung von Arbeitsprozessen im industriellen Einsatz sowie die Reduktion von Gesundheitsrisiken und sollte den Gegenstand weiterer Forschung darstellen.

7 Literaturverzeichnis

[1] Alt T (2002): Augmented Reality in der Produktion. Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg/Fakultät für Maschinenbau und Volkswagen AG Wolfsburg

[2] Armbrüster C (2008): Virtuelle Realität in der experimentellen Psychologie – Forschungsmethode versus Forschungsgegenstand, Untersuchungen aus den Bereichen Wahrnehmung und Psychomotorik. Studienreihe Psychologische Forschungsergebnisse, Band 131, Verlag Dr. Kovac, Hamburg

[3] Azuma R T (1997): A Survey of Augmented Reality. Teleoperators and Virtual Environments, Cambridge; 6:355-385

[4] Azuma R T et al. (1998): Making augmented reality work outdoors requires hybrid tracking. Proceedings of the First International Workshop on Augmented Reality, Band 1, Citeseer

[5] Bach M, Wesemann W, Kolling G, Bühren J, Krastel H, Schiefer U (2008): Photopisches Kontrastsehen. Der Ophthalmologe, 105: 46-59

[6] Biocca F, Tang A, Owen C, Fan X (2006): The Omnidirectional Attention Funnel – A Dynamic 3D Cursor for Mobile Augmented Reality Systems. Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Science – Volume 1, IEEE Computer Society

[7] Böckelmann I, Schenk D, Rößler Th, Adler S, Senft B, Grubert J, Mecke R, Huckauf A, Urbina M, Tümler J, Darius S (2011a): Physiologische Beanspruchungsreaktionen bei der Anwendung von kopfgetragenen AR-Displays. Vortrag. 51. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM), 9.-12., Heidelberg (im Druck)

[8] Böckelmann I (2011b): Ergebnisse arbeitsmedizinischer Untersuchungen mobiler AR Werkerassistenzsysteme. Vortrag. 2. Statustagung, AVILUS, Braunschweig, 26.-27.01.2011

[9] Brau H, Ullmann C, Duthweiler M, Schulze H (2005): Gestaltung von Augmented Reality Applikationen für Kommissionieraufgaben. Zustandserkennung und Systemgestaltung 6. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme 13. – 15. Oktober 2005, Fortschritt-Berichte, Band 22, VDI Verlag

[10] Bruns F W (2003): Lernen in Mixed Reality. Forschungszentrum artec - Arbeit, Umwelt, Technik, Universität Bremen, In: ABWF (Ed.): Kompetenzentwicklung 2003, Waxmann, Berlin; 71-112

[11] Comport A I, Marchand É, Chaumette F (2003): A real-time tracker for markerless augmented reality. Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality IEEE Computer Society Washington, DC, USA

[12] Comport A I, Marchand É, Pressigout M, Chaumette, F (2006): Real-time Markerless Tracking for Augmented Reality: The Virtual Visual Servoing Framework. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics; 12(4):615-628

[13] Cornelis K, Pollefeys M, Van Gool L (2001): Tracking Based Structure and Motion Recovery for Augmented Video Productions. VRST '01 – Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology: 74, New York, USA

[14] Darius S, Rößler Th, Schenk D, Böckelmann I (2011): Beurteilung der Kontrast-empfindlichkeit – ein Methodenvergleich. Praktische Arbeitsmedizin; 21: 28-31

[15] Dünser A, Grasset R, Billinghurst M (2008): A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies. Human Interface Technology Laboratory New Zealand, Technical Report TR-2008-02

[16] Ehrenstein W H (2003): Basics of seeing motion: fundamentos da visao de movimento, Arq. Bras. Oftalmol., 66: 44-52

[17] Eissele M, Siemoneit O, Ertl T (2006): Transition of Mixed, Virtual and Augmented Reality in Smart Production Environments – An Interdisciplinary View. IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics
[18] Encarnacao J, Pöppel E, Schipanski D et al. (1997): Wirklichkeit versus Virtuelle Realität – Strategische Optionen, Chancen und Diffusionspotentiale. Nomos Verlagsgesellschaft Baden-Baden
[19] Fahrenberg J (1969): Die Bedeutung individueller Unterschiede für die Methodik der Aktivierungsforschung. Huber-Verlag Bern; 95-122
[20] Feisst M, Fontaine J, Christ A (2007): Study of protocols and realisation of an augmented mobile virtual reality system, Dissertation Université Louis Pasteur, Strasbourg
[21] Friedrich W: ARVIKA (2004): Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis Corporate Publishing Verlag Erlangen
[22] Fritzsche L (2006): Eignung von Augmented Reality für den Vollschichteinsatz in der Automobilproduktion, Technische Universität Dresden, Diplomarbeit
[23] Fründ J, Gausemeier, J, Grafe M et al. (2004): Augmented Reality as a Newer Unser Interface for the Layout Planning of Manufacturing Systems. Ong S K, Nee A Y C [Hrsg.]: Virtual and Augmented Reality Applications in Manufact. Springer; 169-182
[24] Fuchs H et al. (1998): Augmented reality visualization for laparoscopic surgery. Proc First International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Lecture Notes In Computer Science 01; 934-943
[25] Gabbard J L, Swan, J E (2008): Usability Engineering for Augmented Reality: Employing User-Based Studies to Inform Design. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 14; 3:513-525
[26] Genc Y, Sauer F, Wenzel F et al. (2000): Optical See Through HMD Calibration: A Stereo Method validated with a Video-See-Through System. Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality; 165-174
[27] Genc Y, Tuceryan M, Khamene A et al. (2001): Optical See Through Calibration with Vision-Based Trackers: Propagation of Projection Matrices. International Symposium on Augmented Reality; 0:147
[28] Goldstein E B, Plata G [Hrsg.] (2008): Wahrnehmungspsychologie. Springer-Verlag, 7. Auflage
[29] Grubert J, Hamacher D, Mecke R, Böckelmann I, Schega L, Huckauf A, Urbina M, Schenk M, Doil F, Tümler J (2010): Extended Investigations of User-Related Issues in Mobile Industrial Augmented Reality. Konferenzbeitrag. The 9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Science and Technology Proceedings. Oct. 13-16.2010, Seoul, Korea; 229-230
[30] Gude D (2004): Prospektive Ergonomie beim Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz – Unterstützungspotential virtueller Realität. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 54; 326-334
[31] Haniff D J, Baber C (2003): User evaluation of Augmented Reality Systems. 7th International Conference on Information Visualization
[32] Hou M (2001): User experience with alignment of real and virtual objects in a stereoscopic augmented reality interface. Proceedings of the 2001 conference of the Centre for Advance Studies on Collaborative research, Toronto, Canada, IBM Press
[33] Huckauf A et al. (2009): Besonderheiten der Wahrnehmung bei AR-basierten Ausgabegeräten. Tagungsband der 12. IFF Wissenschaftstage
[34] Jacko A J (2009): Human-Computer Interaction: Interacting in Various Applications Domains. Ebooks Corporation, Lecture Notes in Computer Science – Information Systems and Applications; 5613
[35] Jendrusch G (2006): Leistungsbezogene Leistungen des visuellen Systems. In: Bartmus U et al. [Hrsg.]: In memoriam Horst de Marées, Verlag Strauß Köln; 55-75
[36] Jung C, Vollweiler S (2011): Augmented Reality als Instrument der Raumplanung -

Anwendung am Beispiel Stadtgalerie Kaiserslautern. Bachelorarbeit. Technische Universität Kaiserslautern, Lehrgebiet CPI, Fachbereich ARUBI - Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen

[37] Kammergruber F, Walch D, Steghafner A, Günthner W (2010): Durchgängige Ermittlung der Mitarbeiterbelastung in der Kommissionierung – Von der Virtual Reality bis zur Visualisierung über Augmented Reality. In: Schenk, M. [Hrsg.]: Digitales Engineering und virtuelle Techniken zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme. Magdeburg, Fraunhofer IFF

[38] Kampmeier J, Cucera A, Fritzsche L, Brau H, Duthweiler M, Lang G K (2007): Eignung monokularer „Augmented Reality" - Technologien in der Automobilproduktion. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde 7; 590-596

[39] Kanski J J (2008): Untersuchungen des Auges. In: Klinische Ophthalmologie – Lehrbuch und Atlas. Urban & Fischer Verlag, 6. Auflage

[40] Kastsian M (2008): Genauigkeit Mobiler Augmented Reality Systeme – Untersuchungen am Referenzarbeitsplatz. Diplomarbeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fraunhofer IFF Magdeburg

[41] Kato H, Billinghurst M (1999): Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System. IWAR '99: Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality; 85

[42] Kloke W B, Jaschinski W, Rinkenauer G (2007): Beidäugige Koordination in Sehbedingungen von Head-up-Displays in Kraftfahrzeugen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft; 61:225-233

[43] Kohnen T, Baumeister M, Strenger A (2008): Akkommodationsprüfung. In: Kroll P, Küchle M, Küchle H J, Straub W [Hrsg.] Augenärztliche Untersuchungsmethoden, Thieme Verlag, 3. Aufl.; 102-106

[44] Krueger H (1972): Kontinuierliche objektive Messung der Akkommodation des menschlichen Auges. Optica acta, Vol. 19; 5:351-353

[45] Liu Sh et al. (2008): An optical see-through head mounted display with addressable focal planes. 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR); 33-42

[46] Livingston M A (2006): Quantification of visual capabilities using Augmented Reality displays. IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR); 86-95

[47] Livingston M A, Barrow J H, Sibley C M (2009): Quantification of Contrast Sensitivity and Color Perception using Head-worn Augmented Reality Displays. IEEE Virtual Reality; 115-122

[48] Löllgen H (1999): Herzfrequenzvariabilität - Neue Methoden in der kardialen Funktionsdiagnostik. Dtsch Arztebl 96 (31-32): A2029-A2032

[49] Luczak H, Schmidt L, Koller F [Hrsg.] (2004): Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented-Reality-Systemen. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22, Band 17

[50] Lüder A, Böckelmann I (2010): Beurteilung des Zusammenhangs zwischen dem dynamischen Sehen und den Parametern statischer Visus sowie Kontrastempfindlichkeit. Praktische Arbeitsmedizin; 21:22-27

[51] Malik M, Camm J (1993): Components of Heart Rate Variability – what they really mean and what we really measure. The American Journal Of Cardiology; 72:821-822

[52] Marescaux, J et al. (2004): Augmented-Reality-Assisted Laparoscopic Adrenalectomy. JAMA – The Journal of the American Medical Association; 292(18):2214-2215

[53] McGarrity E et al. (2001): Evaluation of calibration for Optical See-Through Augmented Reality Systems. Euroimage International Conference on Augmented, Virtual Environments and Three-Dimensional Imaging (ICAV3D), Mykonos, Greece

[54] Milgram P, Colquhoun H (1999): Mixed realitymerging real and virtual worlds. - A taxonomy of real and virtual world display integration. Citeseer; 1-16

[55] Milgram P, Takemura H, Utsumi A, Kishino F (1994): Augmented reality: A class of

displays on the reality-virtuality continuum. Proc. SPIE Vol. 2351, Telemanioulator and Telepresence Technologies

[56] Mizell D (2001): Boeing's wire bundle assembly project. Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. Lawrence Erlbaum Associates Inc.; 447-470

[57] Navab, Nassir et al. (2007): Action- and Workflow-Driven Augmented Reality for Computer-Aided Medical Procedures. In: IEE Computer Graphics and Applications, Heft September/Oktober 2007

[58] Nitsch J R (1976): Die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) – Ein Verfahren zur hierarchisch-mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung

[59] Oehme O (2004): Ergonomische Untersuchungen von kopfbasierten Displays für Anwendungen der erweiterten Realität in Produktion und Service. Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung 61. Shaker Verlag

[60] Owen L (2010): The development of network enabled augmented reality mobile applications. Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Dissertation

[61] Papagiannakis G, Gurminder S, Magnenat-Thalmann, N (2008): A Survey of Mobile and Wireless Technologies for Augmented Reality Systems. Naval Postgraduate School Monterey, Ca - Center For The Study Of Mobile Devices And Communication, Ft. Belvoir - Defense Technical Information Center

[62] Pfendler C (2007): Bewertung mobiler Displays zur Darstellung von Karten für geografische Orientierungsaufgaben. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Band 15; 234-244

[63] Pfendler C, Widdel H, Schlick C (2005): Bewertung eines Head-Mounted- und eines Hand-Held-Displays bei einer Zielerkennungsaufgabe. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Band 59; 13-22

[64] Pfister E A (2005): Arbeitsmedizin - für die Aus-/Fort-/Weiterbildung – Studienheft Arbeitsmedizin. Medizinische Fakultät Magdeburg

[65] Pfister E A, Böckelmann I, Seibt R, Stoll R, Weippert M (2007): Arbeitsmedizinische Bedeutung der Herzfrequenzvariabilität. Zbl. Arbeitsmed. 57(6):158-166

[66] Pfister E A, Böckelmann I, Rüdiger H et al. (2006): Herzrhythmusanalyse in der Arbeitsmedizin – Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM)

[67] Poppelreuter S, Mierke K (2008): Psychische Belastungen am Arbeitsplatz: Ursachen-Auswirkungen-Handlungsmöglichkeiten. Erich Schmidt

[68] Regenbrecht H et al. (2004): ARVIKA – Abschlussbericht, Research and Technology – Virtual and Augmented Environments (REI/IV), DaimlerChrysler AG, Ulm

[69] Reif R (2009): Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten Kommissioniersystems. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München, Dissertation

[70] Reimann C (2009): Mobile Augmented Reality Anwendungen – Performance-orientierung im Entwurf und zur Laufzeit. Shaker Verlag, Aachen, Bd. 28

[71] Reinhart G, Zäh M F, Patron C et al. (2003): Augmented Reality in der Produktionsplanung. wt – Werkstatttechnik; 93:651-653

[72] Richter G: Psychische Belastung und Beanspruchung (2000): Streß, psychische Ermüdung, Monotonie, psychische Sättigung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsanw., Fa 36, Wirtschaftsverlag NW

[73] Roggentin A, Tümler J, Mecke R, Pfister E A, Böckelmann I (2009a): Beanspruchungsanalyse bei der Arbeit mit modernen Technologien. Konferenzbeitrag. In 49. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., Aachen; 435-437

[74] Roggentin A (2009b): Arbeitsphysiologische Beanspruchungsanalyse beim Einsatz von Mobilen Augmented-Reality-Systemen. Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Bereich Arbeitsmedizin, Magdeburg

[75] Rolland J P, Fuchs H (2000): Optical versus Video e-Through Head-Mounted Displays in Medical Visualisation. Teleoperators and Virtual Environment, Cambridge; 9(3):287-309

[76] Rottenkolber B (2002): Untersuchungen zu ergonomischen und physiologischen Aspekten beim Einsatz von Head Mounted Displays in der Montage, Fachhochschule Aalen, Diplomarbeit

[77] Schega L, Hamacher D, Böckelmann I, Mecke R, Huckauf A, Urbina M, Tümler J (2011): Wirkung unterschiedlicher mobiler Augmented Reality Systeme auf die Beanspruchung im industriellen Arbeitsprozess. Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.; 46: 402-410

[78] Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010): Arbeitswissenschaft. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin

[79] Schmidt L, Oehme O (2007): Physiologische Grenzen der menschlichen Wahrnehmung in virtuellen Umgebungen. Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitssystemen, GfA Press, Dortmund; 299-302

[80] Schmidt L, Wiedenmaier S, Oehme O, Luczak H (2005): Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented Reality in der Produktion. Mensch und Computer 2005: Kunst und Wissenschaft – Grenzüberschreitungen in der interaktiven ART, Oldenbourg Verlag München; 51-60

[81] Schreier S (2009): Nutzung von Head Mounted Displays in der Medizin: Bericht über den aktuellen Stand. Hausarbeit, Institut für Medizinische Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München

[82] Schreiber W (2005): Augmented Reality - eine Schnittstelle zwischen der realen und virtuellen Fabrik. 8. IFF Wissenschaftstage Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung Magdeburg, Fraunhofer IRB Verlag

[83] Schreiber W (2008): Angewandte virtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittellebenszyklus AVILUS. Tagungsband der 11. IFF Wissenschaftstage: Virtual Reality und Augmented Reality zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme; 133-140

[84] Schreiber W, Zimmermann P (2011): Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld. Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen. Springer Verlag

[85] Schwerdtfeger B, Alt T, Klinker G (2007): Augmented Reality/ Mobile Vision zur aktiven Fehlervermeidung. In: Günthner, W A [Hrsg.]: Neue Wege in der Automobillogistik. Die Vision der Supra-Adaptivität, Reihe: VDI-Buch, Springer Verlag

[86] Senft B (2010): Wahrnehmungsphysiologische Aspekte der Augmented Reality, Universität Paderborn/Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik/Institut für Informatik, Bachelorarbeit

[87] Sielhorst T, Feuerstein M, Navab, N (2008): Advanced Medical Displays: A Literature Review of Augmented Reality. IEEE/OSA Jpurnal of Display Technology, Special Issue on Medical Displays; 4:451-467

[88] Suthau T (2006): Augmented Reality – Positionsgenaue Einblendung räumlicher Informationen in einem See Through head Mounted Display für die Medizin am Beispiel der Leberchirurgie. Dissertation, Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik / Fakultät VI – Planen Bauen Umwelt, TU Berlin

[89] Swan J E, Gabbard J L (2005): Survey of User-Based Experimentation in Augmented Reality. 1st International Conference on Virtual Reality, Las Vegas, Nevada

[90] Swan J E, Jones A, Kolstad E, Livingston M A, Smallman H S (2007): Egocentric Depth Judgments in Optical See-Through Augmented Reality. IEEE transactions on visualization and computer graphics 13; 3:429

[91] Tegtmeier A (2007): Augmented Reality als Anwendungstechnologie in der Automobilindustrie, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Diplomarbeit

[92] Tümler J, Doil F, Mecke R, Paul G, Schenk M, Pfister E A, Huckauf A, Böckelmann I, Roggentin A (2008a): Mobile Augmented Reality in industrial applications:

Approaches for solution of user-related issues. Proceedings of the 2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality; 87-90

[93] Tümler J (2009): Untersuchungen zu nutzerbezogenen und technischen Aspekten beim Langzeiteinsatz mobiler Augmented Reality Systeme in industriellen Anwendungen, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Dissertation

[94] Tümler J, Mecke R, Xu J (2007): See-Through-Kalibrierverfahren für mobile Augmented Reality Assistenzsysteme. Augmented and Virtual Reality in der Produktentstehung 6; 233-247

[95] Tümler J, Roggentin A, Mecke R, Doil F, Huckauf A, Urbina M, Pfister E A, Böckelmann I (2008b): Subjektive Beanspruchung beim Einsatz mobiler Augmented Reality Systeme. Ergo-Med 5, Band 32; 130 – 141

[96] Tümler J, Sauer S, Berndt D, Mecke R (2008c): Bildverarbeitung und Augmented Reality für industrielle Anwendungen. Augmented und Virtual Reality in der Produktentstehung Bd. 7, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, HNI Verlagsschriftenreihe

[97] Tümler J, Scharf C, Mecke R, Paul G (2008d): Berücksichtigung der Nutzerpräferenz zur Informationsdarstellung bei Augmented Reality gestützten manuellen Tätigkeiten. Simulation and visualization 2008, SCS Publ. House Erlangen

[98] Urbina M, Tümler J, Böckelmann I, Doil F, Huckauf A (2009): Visuelle Leistungen bei AR-basierten Ausgabegeräten. 51. Tagung experimentell arbeitender PsychologInnen, 29.03.-01.04.2009, Jena

[99] Urbina M, Tümler J, Mecke R, Böckelmann I, Köpsel A, Huckauf A (2011): Zum Einfluss von Brennweite und Betrachtungsabstand bei Ost-Geräten. Poster, 53. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, 13.-16.03.2011, Halle (Saale)

[100] Veron H, Southard D A, Leger J R, Conway J L (1990): 3D Displays for Battle Management. Belvoir Defense Technical Information Center Mitre Corp. Bedford MA

[101] Ververs P M, Wickens C D (1998): Head-Up Displays: Effect of Clutter, Display Intensity, and Display Location on Pilot Performance. International Journal of Aviation Psychology 8; 4:377-403

[102] Völker K, Adolph L, Pacharra M, Windel A (2010): Datenbrillen – Aktueller Stand von Forschung und Umsetzung sowie zukünftige Entwicklungsrichtungen. Plenarvortrag 61, GfA [Hrsg.], Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten

[103] Waechter C A L, Pustka D, Klinker G (2009): Vision based People Tracking for Ubiquitous Augmented Reality Applications, International Symposium on Mixed and Augmented Reality ISMAR 2009: 221-222

[104] Watson B A, Hodges L F (1995): Using Texture Maps to correct for Optical Distortion in Head-Mounted Displays. Proceedings of VRAIS 95, IEEE Virtual Reality Annual Symposium

[105] Wiedenmaier S (2004): Unterstützung manueller Montage durch Augmented Reality-Technologien. Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung 58. Shaker Verlag,

[106] Wilhelm H (2008): Kontrastsehen – weshalb man es prüfen sollte. Z. Prakt. Augenheilkunde; 29: 405-407

[107] Wist E R, Ehrenstein W H, Schrauf M (1998): A computer-assisted test for the electrophysiological and electrophysical measurement of dynamic visual function based on motion contrast. Journal of Neuroscience Methods; 80:41-47.

[108] Zerssen D, Koeller D M (1976): Die Befindlichkeits-Skala. Manual. Parallelformen BF-S und BF-S'. Beltz Test Gesellschaft mbH, Weinheim

[109] Zhou F, Duh H B-L, Billinghurst M (2008): Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A review of ten years of ISMAR. 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR); 193–202

[110] http://www.avilus.de

[111] http://www.schuhfried.at/wiener-testsystem-wts/alle-testverfahren-von-a-z/test/pp-periphere-wahrnehmung/

8 Anhang

PN:

Angewandte **Vi**rtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittellebenszyk**lus** (AVILUS)
„Mobile Augmented Reality (AR) in industriellen Anwendungen"

- Psychophysiologische Beanspruchungsuntersuchungen an einem Modellarbeitsplatz -

E I N W I L L I G U N G S E R K L Ä R U N G

Name und Vorname des Probanden/der Probandin:

Auf freiwilliger Basis haben Sie sich bereit erklärt, als Proband/Probandin an einer Studie zur Aufmerksamkeitsleistung bei der Verwendung mobiler AR-Systeme teilzunehmen. Hierzu finden am Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg und am Bereich Arbeitsmedizin der Otto-v.-Guericke-Universität Magdeburg (BAM, Dr. med. habil. Irina Böckelmann) psychophysiologische Untersuchungen statt. Es werden dabei moderne Head Mounted Displays (HMDs) getragen und dabei mittels eines EKG-Langzeitrekorders und Brustwand-Klebeelektroden Herzaktionen von Ihnen erfasst, die später einer Herzratenvariabilitätsanalyse unterzogen werden. Im Zuge dieser Untersuchungen im IFF wird im BAM eine medizinische Statusuntersuchung von Ihnen vorgenommen, die ein EKG, eine Blutdruckmessung sowie verschiedene Sehtests beinhaltet.

Die Teilprojektleitung erklärt, dass

- gesundheitliche Risiken bei den Untersuchungen nicht bestehen,
- die Daten streng vertraulich behandelt werden (Schweigepflicht und medizinischer Datenschutz),
- die Ergebnisse nur zum Zwecke der Forschung verwendet werden und
- Ihnen bei einem eventuellen gewünschten Ausscheiden vor Untersuchungsende keinerlei Nachteile entstehen.

Mit Ihrer Unterschrift erklären Sie, dass Sie informiert sind über:

- den Zweck der Untersuchung,
- die Freiwilligkeit der Teilnahme und
- den bestehenden Unfallschutz durch die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg als eingeschriebener Student/eingeschriebene Studentin bei der An- und Abreise zu den beiden Untersuchungsorten IFF und BAM.

Magdeburg, den

Unterschrift Untersuchungsleitung Unterschrift Proband/Probandin

Angewandte **Vi**rtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittellebenszyk**lus** (AVILUS)
„Mobile Augmented Reality (AR) in industriellen Anwendungen"

- Aufmerksamkeitsuntersuchungen und psychophysiologische Beanspruchungsuntersuchungen an einem Modellarbeitsplatz -

Probandenaufklärung

Sie sind als freiwilliger Proband darüber informiert, dass die vorgesehenen Untersuchungen im Rahmen des AVILUS - Projektes das Ziel verfolgen, Aussagen über ihre Aufmerksamkeitsleistung und damit auch Aussagen über Arbeitsplatzsicherheit und Fehler während des Arbeitsprozesses zu treffen.
Die Untersuchungen erfolgen an einem Referenzarbeitsplatz im Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und - automatisierung IFF, Magdeburg.

Die Hauptaufgabe besteht in einer Kommissionierungstätigkeit (Einsammeln von Teilen aus einer Gesamtmenge), die bis dreieinhalb, von Pausen unterbrochene, Stunden andauert. Für die Kommissionierung werden Sie technische Geräte mit sich führen, die ihnen ebenfalls vom Versuchsleiter erklärt werden.
Zu diesen Geräten zählt unter anderem ein am Kopf befestigter, kleiner Bildschirm (HMD – Head Mounted Display) auf dem Informationen angezeigt werden, die ihnen bei der Kommissionierung helfen.
Neben diesen Informationen wird immer wieder ein Ring mit einer Öffnung (Landoltring) an einer der vier Bildschirmecken kurz eingeblendet.
Die Öffnung des Ringes zeigt entweder nach oben, links, unten oder rechts.
Ihre Aufgabe ist es einen Knopf auf einer WiiMote - Fernbedienung zu betätigen, wenn ein Ring erscheint und danach über Drücken eines Steuerkreuz die Richtung der Ringöffnung anzugeben. In den Pausen sollen sie mehrere Fragebögen ausfüllen, die ihre subjektive Beanspruchungslage erfassen.
Danach kommt es zu einer kurzen Ruhephase, die sie sitzend verbringen sollen.

Es erfolgt eine statistische Auswertung, um zu sehen bei welchen Konfigurationen des HMDs die Leistungen besser, die Beanspruchung geringer ist.
Wir müssen bei den Versuchspersonen Ein- und Ausschlusskriterien beachten.
Als Einschlusskriterien gelten neben der freiwilligen Teilnahme ein Lebensalter zwischen 20 - 40 Jahren. Wir müssen Sie als Proband von der Studie ausschließen, wenn Sie eine Herz-Kreislauf- Erkrankung oder einen Hypertonus (Bluthochdruck) haben und wenn Sie Medikamente einnehmen, die die Herztätigkeit beeinflussen. Das ist wichtig, da wir die vegetative Beanspruchung über die Herzschlagfolge bestimmen (Heart Rate Variability Analyse). Als Ausschluss für die Studie gilt ein von uns festgestellter Fernvisus schlechter als 0,63 (ggf. mit Brille oder Kontaktlinse korrigiert), Brillenträger mit einem besseren Visus werden nicht ausgeschlossen. Ferner werden Sie an dem Versuchstag von dem Modellarbeitsplatzversuch ausgeschlossen, wenn Sie nicht ausgeruht zur Untersuchung erscheinen oder wenn Sie unter Zeitdruck stehen bzw. andere Belastungen das Versuchsergebnis beeinflussen können.

An Zeit müssen Sie einplanen:

- Für medizinische Statusuntersuchungen und ophthalmologische Untersuchungen im Institut für Arbeitsmedizin oder in der Augenklinik der Magdeburger Universitätsklinik etwa eine Stunde und
- für den Modellarbeitsplatzversuch im IFF Magdeburg ca. vier Stunden, wobei davon ca. 3 Stunden eine direkte EKG Erfassung bei der Kommissionierungsarbeit erfolgt und die restliche Zeit für Vor- und Nachbereitung (Einführungsgespräch, Fragebogenausfüllung, Elektronenapplikation, Ruhephase) eingeplant ist.

Es ist zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung für Sie mit einer Gesundheitsgefährdung zu rechnen. Sie erklären ihre freiwillige Bereitschaft durch ihre Unterschrift auf einer Einwilligungserklärung.
Dort unterschreiben wir als Versuchsleiter auch die Einhaltung des Datenschutzes.

Im Namen der Studienleitung
Dr. med. habil. Irina Böckelmann Magdeburg, im August 2010

Anamnesebogen

Ophthalmologische Untersuchungen

Allgemeine Angaben

Untersucher: _____

Probandennummer: _____

Gruppe: _____

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich

Geb. am: _____

Untersuchungsdatum / Uhrzeit: _____

Angaben zur Sehschärfe

Visus: R _____ L _____

Brillenträger: ☐ ja ☐ nein

Brillendaten: R _____ L _____

Augenerkrankungen ☐ ja ☐ nein

- Falls ja, welche? _____

Erkrankungen

Diabetes mellitus ☐ ja ☐ nein

Arterielle Hypertonie ☐ ja ☐ nein

Epilepsie ☐ ja ☐ nein

Allergien ☐ ja ☐ nein

Andere Erkrankungen ☐ ja ☐ nein

Medikamenteneinnahme: ☐ ja ☐ nein

- Falls ja, welche? _____

Gewohnheiten / allgemeine Angaben

Ich trinke _____ Tassen Kaffee. Wie oft? _____

Ich trinke _____ Tassen schwarzen Tee. Wie oft? _____

Alkohol

Ich trinke im allgemeinen Alkohol. ☐ ja ☐ nein

	täglich	3-4 x pro Woche	1-2 x pro Woche	ca. 1 x im Monat	seltener oder nie
Bier	☐	☐	☐	☐	☐
Wein / Sekt	☐	☐	☐	☐	☐
Spirituosen	☐	☐	☐	☐	☐

Wie viel Bier (0,5 l) pro Trinksituation? _____ Glas

Wie viel Wein / Sekt (0,2 l) pro Trinksituation? _____ Glas

Wie viel Spirituosen (2 cl) pro Trinksituation? _____ Glas

Rauchen

- Ich rauche ☐ ja ☐ nein
- Falls ja, wie viel Zigaretten pro Tag? _____
- Falls nein, Passivraucher? ☐ ja ☐ nein

  ca. _____ h / Tag

- Ich rauche nicht mehr:
  - ▫ seit wann aufgehört? _____
  - ▫ Wie lange geraucht? _____
  - ▫ Wie viel geraucht? _____

Drogen

- Ich nehme Drogen ☐ ja ☐ nein
- Falls ja, welche? _____
- an wie vielen Tagen pro Woche? _____
- durchschnittlicher Konsum pro Tag? _____
- Menge bei hohem Konsum? _____
- an wie vielen Tagen pro Woche? _____
- Menge bei geringem Konsum? _____
- an wie vielen Tagen pro Woche? _____
- Tage ohne Drogenkonsum? _____

Prob.-Nr.: Datum: vorher □/ nachher □

Beschwerden-Fragebogen

- Verfahren zur Beurteilung der **aktuellen** Beschwerden -

Fragen	überhaupt nicht	ein wenig	mittelmäßig	stark	sehr stark	Bestehen die Beschwerden nach dem Versuch weiter ?
	0	1	2	3	4	
Kopfschmerzen						
Augenschmerzen						
Augenbrennen						
Lichtempfindlichkeit						
Augenermüdung						
Trockenheitsgefühl im Auge						
zeitweise unscharf sehen						
Doppeltsehen						
Scheinbewegungen der Buchstaben						
Gesichtsfeldausfälle						
Verspannung der Hals- und Schultermuskulatur						
„weiße Flecken" beim Lesen						
Druckgefühl im Auge						
Wörter/Zeilen überspringen						
andere Augenbeschwerden						
Gesamt						

Prob.-Nr.: Datum: vorher □/ nachher □

E Z - S k a l a nach Nitsch

auf meinen augenblicklichen Zustand zutreffend:

	kaum (1)	**etwas (2)**	**einiger-maßen (3)**	**ziemlich (4)**	**über-wiegend (5)**	**völlig (6)**
gespannt						
schläfrig						
beliebt						
kraftvoll						
gutgelaunt						
routiniert						
anstrengungsbereit						
unbefangen						
energiegeladen						
geachtet						
heiter						
ausdauernd						
sorgenfrei						
selbstsicher						
ausgeruht						
überlegen						
erholungsbedürftig						
zufrieden						
unternehmungslustig						
abgehetzt						
ruhig						
kontaktbereit						
müde						
anerkannt						
fröhlich						
nervös						
geübt						
konzentrationsfähig						
harmonisch						
sicher						
matt						
mitteilsam						
gelassen						
aktiv						
gefestigt						
erholt						
nützlich						
arbeitsfreudig						
vergnügt						
verausgabt						

Prob.-Nr.: Datum: vorher □/ nachher □

Befindlichkeits-Skala BFS

- Verfahren zur Beurteilung des aktuellen Befindens -

Ich fühle mich jetzt eher:

Eigenschaft	⇐	weder - noch	⇒	Eigenschaft
frisch				matt
teilnahmslos				teilnahmsvoll
froh				schwermütig
erfolgreich				erfolglos
gereizt				friedlich
entschlusslos				entschlussfreudig
lustig				weinerlich
gutgelaunt				verstimmt
appetitlos				appetitfreudig
gesellig				zurückgezogen
minderwertig				vollwertig
entspannt				gespannt
glücklich				unglücklich
scheu				zugänglich
sündig				rein
sicher				bedroht
verlassen				umsorgt
ausgewogen				innerlich getrieben
selbstsicher				unsicher
elend				wohl
beweglich				starr
müde				ausgeruht
zögernd				bestimmt
ruhig				unruhig
schwunglos				schwungvoll
nutzlos				unentbehrlich
schwerfällig				lebhaft
überlegen				unterlegen

9 Erklärung

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

Vergleich verschiedener Navigationsarten von kopfgetragenen Augmented-Reality-Displays: Visuelle Leistungen und „Blindheit" durch Nichtaufmerksamkeit

im Bereich Arbeitsmedizin der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

mit Unterstützung durch Frau Priv.-Doz. Dr. med. habil. Irina Böckelmann,
Frau Dr. med. Sabine Darius und
Herrn Daniel Schenk

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind Rechte Dritter nicht verletzt worden.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht.

Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien meiner Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Magdeburg, 8. Dezember 2011

Unterschrift

10 Lebenslauf

Persönliche Daten	Thoralf Rößler geboren am 12. März 1976 in Schlema	
Aktuelle Tätigkeit	seit 03/2008	Assistenzarzt, Universitätsaugenklinik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Studium	04/1997 – 07/1998	Medizin, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen
	10/1998 – 05/2007	Medizin, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Gesamtnote: befriedigend
Praktische Ausbildung	09/2002 - 10/2004	Famulaturen: Pathologisches Institut und Klinik für Augenheilkunde der FSU Jena sowie Kinderarztpraxis
	04/2006 – 03/2007	Praktisches Jahr: Medizinische Klinik, Klinik für Kinder- und Jugendmedizin und Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie Saalfeld
Wehr-/Zivildienst	10/1994 – 12/1994	Graf-Zeppelin-Kaserne, Calw
	12/1994 – 12/1995	DRK-Pflegeheim Sondershausen
Schulausbildung	1982 – 1990	POS „Anton Saefkow" Sondershausen
	1990 – 1991	Leistungsklasse Käthe-Kollwitz-Schule Sondershausen
	1991 – 1994	Gymnasium „Prof. Dr. Irmisch" Sondershausen, Abschluss: Abitur
Sprachkenntnisse		Englisch, Russisch, Latein (Schulkenntn.)

11 Publikationen

Originalarbeiten

1. Böckelmann I, Schenk D, **Rößler T**, Adler S, Senft B, Grubert J, Mecke R, Huckauf A, Urbina M, Tümler J, Darius S (2011): Physiologische Beanspruchungsreaktionen bei der Anwendung von kopfgetragenen AR-Displays. Konferenzbeitrag. In: Tagungsband zur 51. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM), Heidelberg (im Druck)
2. Darius S, **Rößler T**, Schenk D, Böckelmann I (2011): Beurteilung der Kontrastempfindlichkeit – ein Methodenvergleich. Praktische Arbeitsmedizin 21: 28-31
3. **Rößler T**, Tuchen S, Hofmüller W, Wecke T, Vorwerk C K, Mawrin C, Behrens-Baumann W (2011): Morbus Horton (Arteriitis temporalis, Riesenzellarteriitis) - Klinik, Diagnostik, Histologie, Therapie. In: Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde (im Druck)

Vorträge

4. Böckelmann I, Schenk D, **Rößler T**, Adler S, Senft B, Grubert J, Mecke R, Huckauf A, Urbina M, Tümler J, Darius S (2011): Physiologische Beanspruchungsreaktionen bei der Anwendung von kopfgetragenen AR-Displays. Vortrag. 51. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM), 9.-12. März 2011, Heidelberg; Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed. 46:178
5. Schenk D, **Rößler T,** Mecke R, Grubert J, Darius S, Böckelmann I (2011): Einfluss der Blindheit durch Nichtaufmerksamkeit auf die Arbeitssicherheit bei der Anwendung von kopfgetragenen AR-Displays. Vortrag, 15. Symposium Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft für Nachwuchswissenschaftler, 11.-13.11.2011, Dresden
6. **Rößler T**, Viestenz A, Meltendorf S, Behrens-Baumann W (2011): YAG-Membranotomie einer subhyaloidalen Blutung. Vortrag. 57. Magdeburger Augenärztliche Fortbildung MAF, 11. Mai 2011, Magdeburg
7. **Rößler T**, Wecke T, Behrens-Baumann W (2010): Chorioretinopathia hämorrhagica Rieger. Vortrag. 19. Jahrestagung der Gesellschaft der Augenärzte Sachsen-Anhalts und Thüringens e.V., 17.-18. September 2010, Erfurt
8. **Rößler T**, Wecke T, Behrens-Baumann W (2010): 2 Fallvorstellungen - Neovaskularisationen bei Myopie auf vorbestehendem Aderhautnaevus und Schieß-scheibenmakulopathie bei Zapfen-(Stäbchen-)Dystrophie. Vortrag. Angio Kolleg der 19. Jahrestagung der Gesellschaft der Augenärzte Sachsen-Anhalts und Thüringens e.V., 17.-18. September 2010, Erfurt
9. **Rößler T**, Viestenz A, Wecke T, Behrens-Baumann W (2009): Arteriitis temporalis – ein multifaktorielles Krankheitsbild. Vortrag. 18. Jahrestagung der Gesellschaft der Augenärzte Sachsen-Anhalts und Thüringens e.V., 6.-7. November 2009, Magdeburg
10. **Rößler T**, Wecke T, Behrens-Baumann W (2009): 2 Fallvorstellungen - Chorioretinopathia hämorrhagica Rieger und Vitroretinales Traktionssyndrom. Vortrag. Angio Kolleg der 18. Jahrestagung der Gesellschaft der Augenärzte Sachsen-Anhalts und Thüringens e.V., 6.-7. November 2009, Magdeburg

12 Danksagung

Mein Dank gilt den Mitarbeitern des Bereichs Arbeitsmedizin der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, im Besonderen meinen Mentoren Frau PD Dr. med. habil. Irina Böckelmann und Frau Dr. med. Sabine Darius. Die Bereitstellung dieses interessanten Themas, ihre kontinuierliche sowie fortwährend engagierte und umfassende Betreuung haben maßgeblichen Anteil am Gelingen dieser Arbeit.

Danken möchte ich daneben den Mitarbeitern des Fraunhofer Institutes für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) Magdeburg für die konstruktive Unterstützung bei der Versuchsplanung und -gestaltung. Insbesondere die Zusammenarbeit mit Jens Grubert, Andreas Müller und Mario Winter ermöglichte den reibungslosen Ablauf der Versuche am IFF.

Desgleichen danke ich meinem Co-Doktoranden Daniel Schenk für die einfallsreiche Zusammenarbeit in dem teilweise gemeinsam durchgeführten Projekt.

Allen Versuchsteilnehmern gebührt Dank für ihre Bereitschaft und die Zeit zur Teilnahme an den zweiteiligen Versuchen.