

Aus dem Institut für Sportwissenschaft  
der Fakultät für Humanwissenschaften  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

# Arbeitsmedizinische und ophthalmologische Beanspruchungsanalyse beim Einsatz von Head-Mounted-Displays

**D i s s e r t a t i o n**

zur Erlangung des Doktorgrades

Dr. med.

(doctor medicinae)

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

vorgelegt von Sandra Erfurth

aus Magdeburg

Magdeburg 2015

## **Kurzfassung**

**Erfurth, Sandra:** Arbeitsmedizinische und ophthalmologische Beanspruchungsanalyse beim Einsatz von Head-Mounted-Displays. 2015. Diss. 93 Bl., 36 Abb., 3 Tab., 10 Anlagen  
Fakultät für Humanwissenschaften, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Der technische Fortschritt hat wesentlich dazu beigetragen, dass Aufgaben des täglichen Lebens zunehmend durch digitale Anwendungen ergänzt oder ausgetauscht werden. Seit einigen Jahren ist daher die Erforschung der Augmented-Reality(AR)-Technologie ein Schwerpunkt. Die Anwendung erfolgt mit Hilfe sogenannter Head-Mounted-Displays (HMDs).

In der vorliegenden Dissertation sollte die Nutzbarkeit drei unterschiedlicher Head-Mounted-Displays (LitEye, Nikon, Nomad) anhand von Wahrnehmungsparametern überprüft werden. Hierfür wurden Reaktionszeiten, Fehlerraten und die Tiefenwahrnehmung bei einer Suchaufgabe erfasst. Die subjektive Beanspruchung wurde mit Hilfe der Eigenzustandsskala nach Nitsch (1976) in Form eines Fragebogens ermittelt. In Anlehnung an das Untersuchungskonzept von Huckauf et al. (2009) wurde mit einer standardisierten visuellen Suchaufgabe die Informationswahrnehmung an 15 männlichen, ophthalmologisch unauffälligen Probanden getestet.

Die Erfassung des Befindens mit Hilfe des Eigenzustands-Fragebogens nach Nitsch hat gezeigt, dass die Motivation grundsätzlich über den Testverlauf beim Gebrauch von Nikon und LitEye abnimmt. Aufgrund der geringeren Fehlerrate beim Wechsel zwischen realem und virtuellem Handlungsfeld ohne Zeitdruck, ist das Look-Around-HMD Nikon den Optical-See-Through-HMDs (LitEye und Nomad) bei der Informationsaufnahme vorzuziehen. Beim Auftreten eines unvorhersehbaren Ereignisses werden Informationen auf dem Look-Around-HMD jedoch signifikant langsamer und mit einer höheren Fehlerrate erfasst. Außerdem hat die Ermittlung der Tiefenwahrnehmung ergeben, dass die virtuelle Information mit dem HMD Nikon nicht nahtlos in den Handlungsraum des Nutzers integriert werden kann. Daher ist der Einsatz zunächst nicht uneingeschränkt empfehlenswert.

---

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VIII
Anhangsverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Das Auge – Fenster zu einer virtuellen Welt	3
2.2 Visuelle Wahrnehmung	6
2.3 Umgang mit Suchaufgaben in Abhängigkeit von der Aufmerksamkeit	8
2.4 Augmented Reality – Erweiterte Realität	10
2.4.1 Definition AR	10
2.4.2 Anwendungsbereiche AR	12
2.5 Head-Mounted-Display	15
<b>3 Problem und Zielstellung</b>	<b>18</b>
<b>4 Untersuchungskonzept</b>	<b>21</b>
4.1 Probandenkollektiv	21
4.2 Material & Methoden	23
4.2.1 Voruntersuchung	23
4.2.2 Versuchsumgebung	23
4.2.3 HMDs	23
4.2.4 Erfassung der Beanspruchung	24
4.2.5 Versuchsablauf und –durchführung	26
4.2.5.1 Experimente 1 – 3	28

---

4.2.6 Statistik	32
<b>5 Ergebnisse</b>	<b>34</b>
5.1 EZ – Fragebogen	34
5.1.1 Experiment 1	34
5.1.2 Experiment 2	35
5.2 Objektive Daten	36
5.2.1 Experiment 1	36
5.2.1.1 Reaktionszeiten	36
5.2.1.2 Fehlerraten	37
5.2.2 Experiment 2	40
5.2.2.1 Reaktionszeiten	40
5.2.2.2 Fehlerraten	42
5.2.2.3 Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Wechselsequenzen	45
5.2.3 Experiment 3	48
<b>6 Diskussion und Schlussfolgerungen</b>	<b>49</b>
<b>7 Ausblick</b>	<b>55</b>
<b>8 Zusammenfassung</b>	<b>56</b>
<b>9 Literaturverzeichnis</b>	<b>58</b>
<b>Anhang</b>	<b>65</b>
<b>Danksagung</b>	
<b>Erklärung</b>	
<b>Lebenslauf</b>	
<b>Publikationen</b>	

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Horizontalschnitt durch das menschliche Auge (Kebeck 1994, S.20)	4
Abbildung 2: Schema der Sehbahn (Kebeck 1994, S. 24). NGL = Corpus geniculatum laterale. Erläuterung im Text.	5
Abbildung 3: Blindheit durch Nichtaufmerksamkeit. Erläuterung im Text. (Goldstein et al. 2002, S.132)	9
Abbildung 4: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (nach Milgram et al. 1994)	10
Abbildung 5: Google-Glass-HMD (Oled-Info 2014)	11
Abbildung 6: AR-Anwendungsbereiche (In Anlehnung an Weidenhausen 2006)	12
Abbildung 7: In-vivo Visualisierung des Schädels (Schreier 2009, S. 13)	13
Abbildung 8: Anästhesist mit HMD intubiert Dummie (Liu et al. 2009, S. 1137)	14
Abbildung 9: Intubation eines Dummies, HMD blendet Werte wie Herzfrequenz (HR) und Sauerstoffsättigung (SaO <sub>2</sub> ), Blutdruck (NIBP) und CO <sub>2</sub> -Kurve ein (Liu et al. 2009, S. 1137)	14
Abbildung 10: Erstes funktionsfähiges HMD (Sutherland 1968, S. 760)	15
Abbildung 11: OST-HMD, hier LitEye 500 (Wordpress 2011)	16
Abbildung 12: Microvision Nomad (Kampmeier 2007, S. 592)	16
Abbildung 13: Look-Around-HMD, hier Nikon Media Port UP 300x (I4U 2008)	17
Abbildung 14: Links: HMD Nomad Mitte: HMD Nikon Rechts: HMD LitEye	24
Abbildung 15: dreistufige Faktorenhierarchie der EZ-Skala (In Anlehnung an Nitsch 1976, S. 87 )	25
Abbildung 16: Versuchsablauf	27
Abbildung 17: Screenshot der 6x6-Matrix mit Reizen (O-Buchstaben) und Zielreiz (0-Ziffer) sowie „P“ im Zentrum	29

---

Abbildung 18: Bedienung von Computermaus und Tastatur je nach Zielreiz-Darbietung	29
Abbildung 19: Links: Proband mit HMD und Eyetracker; Rechts: Pupillendetektion auf einem Kontrollmonitor	31
Abbildung 20: Experiment 1 (Exp. 1): Vergleich der Stanine-Werte für die Faktoren der EZ-Skala vor und nach dem ersten Experiment mit den HMDs LitEye und Nikon	34
Abbildung 21: Experiment 2 (Exp. 2): Vergleich der Stanine-Werte für die Faktoren der EZ-Skala vor und nach dem zweiten Experiment mit den HMDs LitEye und Nikon	35
Abbildung 22: Experiment 2 (Exp. 2): Vergleich der Stanine-Werte für die Faktoren der EZ-Skala vor und nach dem zweiten Experiment mit dem HMD Nomad	35
Abbildung 23: Experiment 1 (Exp. 1): Reaktionszeiten Monitor vs. LitEye vs. Nikon	36
Abbildung 24: Experiment 1: Fehlerraten (Matrix, missed [m]) Monitor vs. Nikon vs. LitEye	37
Abbildung 25: Experiment 1: Fehlerraten (Matrix, false [fa]) Monitor vs. Nikon vs. LitEye	38
Abbildung 26: Experiment 1: Fehlerraten der Go-NoGo-Aufgabe Monitor vs. Nikon vs. LitEye	39
Abbildung 27: Experiment 2: Reaktionszeiten der Matrix-Aufgabe	40
Abbildung 28: Experiment 2: Reaktionszeiten der Go-NoGo-Aufgabe	41
Abbildung 29: Experiment 2: Fehlerraten der Matrix-Aufgabe (m)	42
Abbildung 30: Experiment 2: Fehlerraten der Matrix-Aufgabe (fa)	43
Abbildung 31: Experiment 2: Fehlerraten der Go-NoGo-Aufgabe	44
Abbildung 32: Experiment 2: Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Sequenz des Mediumwechsels; LitEye vs. Nikon vs. Nomad	45

---

Abbildung 33: Experiment 2: Vergleich der Wechselkosten (LitEye)	46
Abbildung 34: Experiment 2: Vergleich der Wechselkosten (Nomad)	46
Abbildung 35: Experiment 2: Vergleich der Wechselkosten (Nikon)	47
Abbildung 36: Experiment 3 (Vergenzmessung): Abstand relativ zur Monitorebene Nomad vs. Nikon vs. LitEye	48

---

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Vor- und Nachteile von VST- und OST- HMDs (Modifiziert nach Schreier 2009)	17
Tabelle 2:	Probleme beim Einsatz von HMDs (Modifiziert nach Schaer 2007)	18
Tabelle 3:	Gruppencharakteristik der untersuchten Probanden	22



---

## Anhangsverzeichnis

Anhang 1:	Eigenzustandsskala nach Nitsch	65
Anhang 2:	Experiment 1 (Visuelle Suche ohne Wechsel des Mediums): Reaktionszeiten (Varianzanalyse mit Messwiederholung; Bonferroni korrig.; n=10)	66
Anhang 3:	Experiment 1 (Visuelle Suche ohne Wechsel des Mediums): Fehlerrate (Friedman-/Wilcoxontest; n=10)	66
Anhang 4:	Experiment 2 (Visuelle Suche mit Wechsel des Mediums): Reaktionszeiten (t-Test für abhängige Stichproben: LitEye vs. Nikon; t-Test für unabhängige Stichproben: Nomad vs. LitEye und Nomad vs. Nikon; nLitEye=10; nNikon=10, nNomad=11; Mon = Monitor, HMD = Head-Mounted-Display).	67
Anhang 5:	Experiment 2 (Visuelle Suche mit Wechsel des Mediums): Fehlerraten (Friedman-/ Wilcoxontest; n = 10; Med = Median, Int = Interquartilbereich, Mon = Monitor, HMD = Head-Mounted-Display, Lit = LitEye, Nik = Nikon)	68
Anhang 6:	Experiment 2 (Visuelle Suche mit Wechsel des Mediums): Fehlerraten (U-Test; nLiteye=10; nNikon=10, nNomad=11; Med = Median, Int = Interquartilbereich, Mon = Monitor, HMD = Head-Mounted-Display, Lit = LitEye, Nik = Nikon, Nom = Nomad)	69
Anhang 7:	Tabelle Experiment 2 (Visuelle Suche mit Wechsel des Mediums): Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Sequenz des Mediumwechsels (t-Test für abhängige Stichproben: LitEye vs. Nikon; t-Test für unabhängige Stichproben: Nomad vs. LitEye und Nomad vs. Nikon; nLitEye=10; nNikon=10, nNomad=11; Mon = Monitor, HMD = Head-Mounted-Display)	70

---

Anhang 8:	Experiment 2 (Visuelle Suche mit Wechsel des Mediums): Reaktionszeiten innerhalb der einzelnen HMDs in Abhängigkeit der Sequenz des Mediumwechsels (Varianzanalyse mit Messwiederholung, Bonferroni-Korrektur, nLitEye=10; nNikon=10, nNomad=11; Mon =Monitor, HMD = Head-Mounted-Display, h = hit)	71
Anhang 9:	Experiment 3 (Vergenzmessung) Abstand relativ zur Monitorebene (t-Test für abhängige Stichproben: LitEye vs. Nikon; t-Test für unabhängige Stichproben: LitEye vs. Nomad und Nikon vs. Nomad, nLiteye=10; nNikon=10, nNomad=11)	71
Anhang 10:	Probandenaufklärung zur Versuchsdurchführung (Experiment 1-3)	72

---

## Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of variance
AR	Augmented Reality
AV	Augmented Virtuality
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
cr	Correct rejection
CT	Computertomografie
Exp.	Experiment
EZ-Skala	Eigenzustandsskala nach NITSCH
fa	False alarm
FR	Fehlerrate(n)
h	Hits
HMD	Head-Mounted-Display
HMDs	Head-Mounted-Displays
HR	Herzfrequenz
Int	Interquartilbereich
Interq.	Interquartilbereich
LA-HMD	Look-Around-HMD
Lit	LitEye LE 750
LitEye	LitEye LE 750
m	Missed
M	Monitor

---

Med	Median
Mon	Monitor
MR	Mixed Reality
MRT	Magnetresonanztomografie
ms	Millisekunde (n)
NGL	Corpus geniculatum laterale
NIBP	Blutdruck
Nik	Nikon Media Port UP 300x
Nikon	Nikon Media Port UP 300x
Nom	Microvision Nomad ND 2100
Nomad	Microvision Nomad ND 2100
OLED	Organic Light Emitting Diode
OST-HMD	Optical-See-Through-HMD
PDA	Personal Digital Assistant
RT	Reaktionszeit
SaO2	Sauerstoffsättigung
SD	Standardabweichung
VR	Virtual Reality
vs	versus
VST-HMD	Video-See-Through-HMD

# 1 Einführung

Der technische Fortschritt hat wesentlich dazu beigetragen, dass Aufgaben des täglichen Lebens zunehmend durch digitale Anwendungen ergänzt oder ausgetauscht werden. Dieser Trend hin zur Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien wird sich weiter verstärken (Beccue 2011). Seit einigen Jahren ist daher die Erforschung der Augmented-Reality-Technologie in Deutschland ein Schwerpunkt. Augmented Reality (AR) bedeutet, dass die Realität mit zusätzlichen virtuellen Informationen angereichert wird. Dies geschieht kontextabhängig mit Hilfe computergenerierter Information. Die Sinneswahrnehmung des Nutzers wird erweitert (Azuma 1997). Anwendungsbereiche liegen u.a. im industriellen Sektor, in der Medizin und im Entertainmentbereich (vgl. Kapitel 2.4.2). Hier werden verschiedene Head-Mounted-Displays (HMDs) als Assistenzsysteme eingesetzt. HMDs sind bildschirmähnliche Anzeigekomponenten, die in unterschiedliche Systeme, z.B. Brille oder Helm, integriert werden. Sie erlauben dem Nutzer situationsbezogene Informationen in dessen Sichtfeld einzubetten (Huckauf et al. 2009). Beispielsweise unterstützen sie Arbeiter bei Kommissionierungstätigkeiten und ermöglichen eine Prozessoptimierung (Tümler 2009) oder dienen als Lehrunterstützung in der Fabrikplanung (Fahlbusch 2000). Die Anwendung dieser Technologie brachte im Jahr 2010 laut Analysten von ABI-Research<sup>1</sup> (2011) und Juniper Research<sup>2</sup> (2011) einen Umsatz von 21 Millionen Dollar. ABI Senior-Analyst Beccue (2011) prognostiziert für das Jahr 2016 bereits Einnahmen von drei Milliarden Dollar. Diese Prognose stammt nicht aus der AR-Branche selbst. Sie zeigt jedoch, dass die Nachfrage ständig steigt.

Eine Voraussetzung für den Einsatz dieser AR-Assistenzsysteme ist die nutzerzentrierte, anwenderfreundliche Gestaltung für verschiedene Anwendungsbereiche. Hier kommt es besonders darauf an, dass das verwendete Gerät sowohl kostengünstig in der Anschaffung ist, als auch wenig Gewicht hat, eine geringe Größe aufweist sowie eine erhaltene Flexibilität und Mobilität beim Tragen des Gerätes am Kopf bietet. Außerdem muss das Auflösungsvermögen des Displays ausreichend sein, die Datenverarbeitung schnell und auch ein großes Gesichtsfeld des Anwenders gewahrt werden. Die Anwendung sollte einfach zu bewerkstelligen sein und das Tragen keine körperlichen Beschwerden hervorrufen (Zhou et al. 2008). Ziel dieser Dissertation ist es daher, die visuelle Wahrnehmungsbelastung beim Tragen unterschiedlicher Head-Mounted-Displays aus arbeitsmedizinischer und ophthalmologischer Perspektive zu

---

<sup>1</sup> Es handelt sich hier um ein globales Marktforschungsunternehmen.

<sup>2</sup> Es handelt sich hier um eines der führenden Analystenunternehmen im Wireless-Bereich.

prüfen und Erkenntnisse hinsichtlich einer geeigneten Geräteauswahl zu erlangen, um eine Effizienzsteigerung im Arbeitsprozess sowie eine Arbeitserleichterung für den Anwender und damit einhergehend eine größere Nutzerakzeptanz zu erzielen. Es werden 3 unterschiedliche Head-Mounted-Displays (LitEye, Nikon, Nomad) überprüft. Hierfür wurden Reaktionszeiten und Fehlerraten bei der Bearbeitung einer standardisierten visuellen Suchaufgabe registriert sowie die Tiefenwahrnehmung erfasst. Weiterhin wird das Erleben und Befinden der Probanden mit Hilfe der Eigenzustandsskala nach Nitsch in Form eines Fragebogens vor und nach der Arbeit mit HMDs ermittelt.

Interessant sind hierbei die unterschiedlichen Displayvarianten der HMDs. Zwei der verwendeten Systeme überlagern reale und zusätzlich eingespielte Information (Optical-See-Through-HMD), wohingegen das Dritte der verwendeten Systeme reale Information und eingespielte Information trennt (Look-Around-HMD). Der Anwender sieht die Realität nur monokular. Das wirft die Frage auf, ob Reaktionszeiten und Tiefenwahrnehmung beim Bearbeiten der Aufgabe negativ beeinflusst werden im Vergleich zu den anderen HMDs, die binokulares Sehen ermöglichen. Wird die Tiefenwahrnehmung ungünstig beeinflusst, kann eine starke Augenbelastung in Form von Verschwommensehen die Folge sein und auch die Wahrnehmung von Größe, Distanz und Bewegung gestört werden (Patterson et al. 2006).

Es soll abschließend abgeleitet werden, in welchen Anwendungsbereichen das Look-Around-HMD und Optical-See-Through-HMDs bevorzugt eingesetzt werden können und für welchen Einsatz sie eher nur bedingt geeignet sind.

## 2 Theoretische Grundlagen

In der vorliegenden Dissertation spielt die visuelle Wahrnehmung eine wesentliche Rolle. Im folgenden Kapitel werden der Sehapparat und seine Funktion bei der Reizpräsentation sowie die kortikale Signalverarbeitung angerissen. Des Weiteren drehen sich die nachfolgenden Untersuchungen um den Schwerpunkt visueller Suchaufgaben, weshalb näher auf die Anforderung an eine Suchaufgabe eingegangen wird. Da die Suchaufgaben mit Hilfe von HMDs, als eine Anwendungsform der AR, bearbeitet werden, wird diese Technologie in diesem Kapitel vorgestellt.

### 2.1 Das Auge – Fenster zu einer virtuellen Welt

Das menschliche Auge wird oftmals mit einer Kamera verglichen. Die bildentwerfenden Organe sind in diesem Fall die brechenden Medien Hornhaut (Cornea) und Linse. Die Iris kann mit der Kamerablende verglichen werden. Sie regelt den Lichteinfall. Die Bildaufnahme obliegt der Netzhaut (Retina), ähnlich dem Film einer Kamera (Grehn 1998).

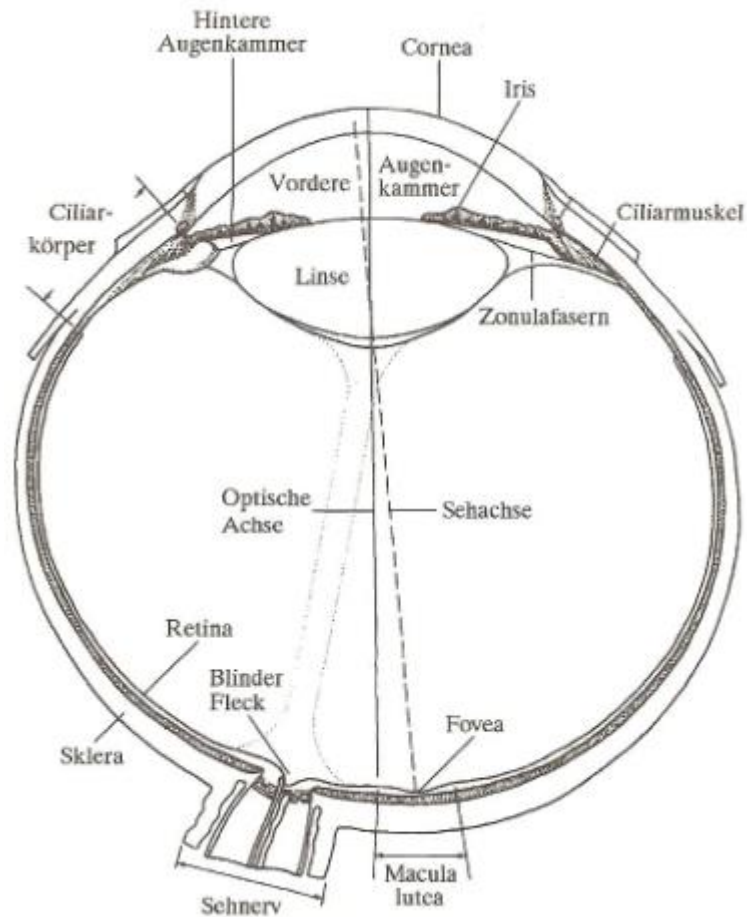
Die Hornhaut verfügt über eine Brechkraft von 43 Dioptrien bei einem horizontalen Durchmesser von 10 – 13 mm und einer sagittalen Achse von 24 mm. Die Linse besitzt eine Brechkraft von 19 Dioptrien. Ihre besondere Fähigkeit liegt in der Variation der Nah- und Ferneinstellung durch Linsenkrümmung, auch Akkommodation genannt, und somit der Brechkraftbeeinflussung. Die Linse wird von den Zonulafasern gehalten. Diese wiederum sind mit dem Ciliarmuskel verbunden (Vgl. Abb. 1). Diese anatomische Anordnung ist für das Verständnis der Akkommodation von Bedeutung (Offe et al. 2012).

#### *Nahakkommodation*

Wird ein Reiz aus der Nähe betrachtet, kontrahiert sich der Ciliarmuskel. Die Zonulafasern entspannen, die Linse krümmt sich bedingt durch ihre hohe Eigenelastizität. Folglich nimmt die Brechkraft zu (Offe et al. 2012).

#### *Fernakkommodation*

Im Umkehrschluss gilt für entferntere Reize, dass sich der Ciliarmuskel nicht kontrahiert. Die Zonulafasern üben Zug auf die Linse aus. Die Brechkraft nimmt ab (Offe et al. 2012).



**Abbildung 1: Horizontalschnitt durch das menschliche Auge (Kebeck 1994, S. 20)**

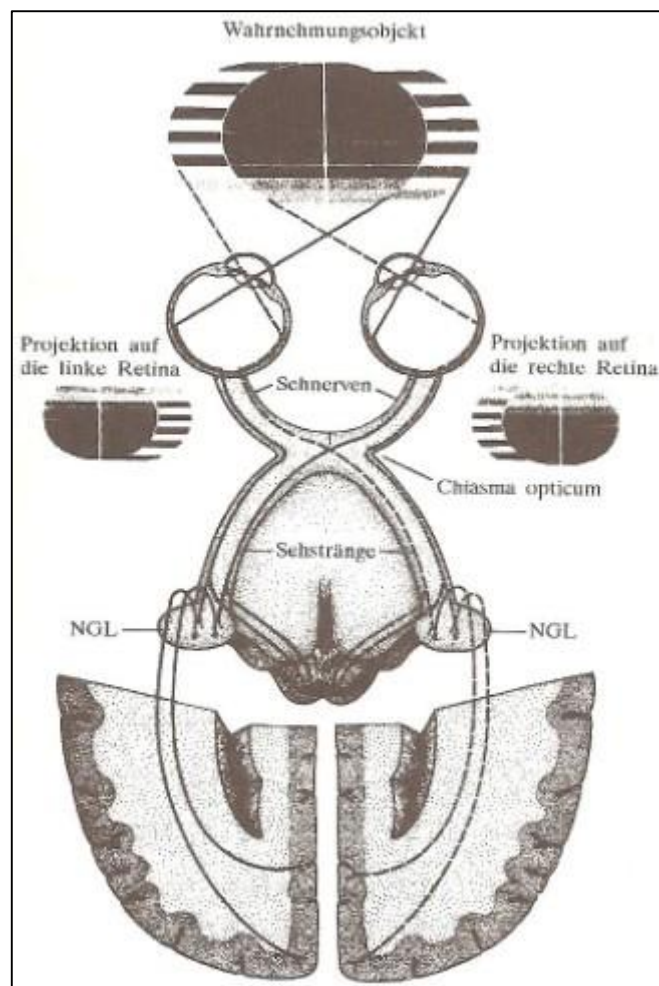
Der präsentierte Reiz trifft auf die Retina. An diesem Ort wird die Information in ein elektrisches Signal transduziert. Dazu tragen u.a. Zapfen und Stäbchen in der Retina bei. Zapfen sind für das sogenannte photopische Sehen verantwortlich. Das heißt, sie ermöglichen das Wahrnehmen von Farben. Stäbchen sind für das Sehen in der Dämmerung oder bei Dunkelheit verantwortlich. Dies bezeichnet man als skotopisches Sehen (Kebeck 1994).

Es lässt sich ein ungleiches Verteilungsmuster nachweisen. An einem Punkt auf der Retina haben Zapfen eine besonders hohe Dichte. Stäbchen fehlen hier völlig. Gemeint ist die Fovea centralis, der Ort des schärfsten Sehens. Das Auge wird beim Fokussieren stets so in Position gebracht, dass der Reiz auf die Fovea projiziert werden kann. Unmittelbar neben der Fovea nimmt die Zahl der Zapfen ab, die Stäbchenanzahl nimmt zu (Kebeck 1994).

Nach erfolgter Signaltransduktion wird das elektrische Signal von dem Sehnerv (Nervus opticus) erfasst. Seine Verbindung mit dem Auge bezeichnet man als blinden Fleck, da an dieser Stelle keine Rezeptoren vorhanden sind.



Der Nervus opticus führt zur Sehnervkreuzung (Chiasma opticum). Hier überkreuzen fünfzig Prozent der Nervenfasern: Die Information auf nasal gelegenen Anteilen der Retina verlaufen durch das Chiasma zur Gegenseite. Die temporal liegende Botschaft kreuzt nicht. Die Nervenfasern werden nun als Tractus opticus bezeichnet (Vgl. Abb. 2). Zehn Prozent der Fasern verlaufen nun zum Colliculus superior. Dieser Ort ist wichtig für reflektorische Augenbewegungen, so genannte Sakkaden (für nähere Erläuterungen siehe 2.2). Neunzig Prozent der Fasern projizieren in das Corpus geniculatum laterale, einem Teil des Thalamus und weiter über die Sehstrahlung (Radiatio optica) zum primär visuellen Cortex im Okzipitallappen, auch Area striata genannt. Am Ende der Übertragung erfolgt in jeder Hirnhälfte die Reizpräsentation beider Augen. Eine räumliche Wahrnehmung wird möglich (Kebeck 1994).



**Abbildung 2: Schema der Sehbahn (Kebeck 1994, S. 24). NGL = Corpus geniculatum laterale. Erläuterung im Text.**

## 2.2 Visuelle Wahrnehmung

„In jeder Sekunde erreichen 10 Mio. Bit das Auge, aber höchstens 60 Bit / sec können im Gehirn verarbeitet werden. Schon in der Netzhaut werden deshalb die Signale auf Relevanz geprüft und ausgewählt“ (Grehn 1998, S.14).

Anhand dieser Aussage wird deutlich, dass die visuelle Wahrnehmung ein komplexer Prozess ist. Es bedeutet, dass ein Reiz als solcher erkannt werden muss. Hierfür werden Informationen gefiltert, interpretiert und integriert. Der optische Apparat macht sich dafür verschiedene Formen von Augenbewegungen zu Nutze, die im Folgenden erläutert werden sollen (Goldstein et al. 2002).

Um den Reiz auf die Fovea centralis, den Ort des schärfsten Sehens, zu lenken, verfügt das Auge über sechs äußere Augenmuskeln. Durch sie kann sich der optische Apparat ruckartiger Blickbewegungen, Sakkaden genannt, bedienen. Diese Blickbewegung wandert direkt von einem Fixationspunkt zum nächsten. Im Mittel bedarf es für zehn Grad Ortsveränderung im Gesichtsfeld 40 ms. Latour (1962) und Volkman et al. (1969) haben herausgefunden, dass das Sehen während einer Sakkade für 50 bis 80 ms stark abgeschwächt wird.

Eine weitere Art der Augenbewegung ist eine Folgebewegung. Mit diesem Manöver kann ein sich bewegender Reiz in der Fovea fixiert werden.

Konvergenz- und Divergenzbewegungen der Augen spielen eine Rolle für die unter 2.1 beschriebene Nah- und Fernakkommodation. Es handelt sich hierbei um Ein- bzw. Auswärtsdrehungen beider Augen um ein gemeinsames Objekt zu fixieren. Die Bewegung erfolgt langsamer als bei Sakkaden. Konvergenz und Akkommodation im Zusammenspiel ermöglichen eine Abstandsbestimmung für Distanzen, die kleiner als 1,5 Meter sind und tragen so zur räumlichen Tiefenwahrnehmung bei (Goldstein et al. 2002).

Doch wie lässt sich die Frage klären, warum es nicht bei jeder visuellen Wahrnehmung zu einer Reizüberflutung kommt? Sobald der Reiz auf die Retina trifft, arbeiten dort neben bereits erwähnten Photorezeptoren andere spezialisierte Zellen, die Ganglienzellen. Diese sind u.a. für die Informationsselektion verantwortlich. Die M-Ganglienzelle feuert in Salven, die P-Ganglienzelle feuert anhaltend. Die Informationsweitergabe erfolgt selektiv an verschiedene Lokalisationen im Corpus geniculatum laterale. Die Information für registrierte Bewegungen wird an die Magnoschicht weitergegeben. Reize, die Farben, Muster, feine Texturen oder

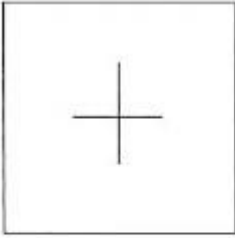
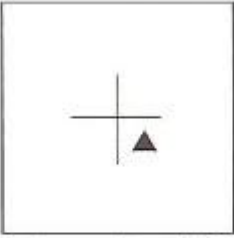

Informationen bezüglich räumlicher Tiefe enthalten, werden an die Parvoschicht geleitet (Goldstein et al. 2002) und weiter an unterschiedliche Regionen im primären visuellen Cortex. Dieser sendet das Signal an extrastriatale Zentren. Ungerleider & Mishkin (1982) und Mishkin et al. (1983) konnten an Affen nachweisen, dass die *Objekterkennung* im Temporallappen erfolgt und die *Objektlokalisierung* im Parietallappen, was mit der Erkenntnis von Lee et al. (1998), Lennie (1998) und Pollen (1999) bezüglich sogenannter Feedbackbahnen in Zusammenhang gebracht werden kann. Nach einer Reizpräsentation und erster Analyse von 40 – 80 ms erfolgt die verspätete Signalantwort nach 80 – 300 ms, je nach Abhängigkeit der auf höherer Ebene auszuwertenden Kontextinformationen. Bevor unser Organismus auf Gesehenes reagieren kann, wird zuvor auch noch ein Bezug zu Gedächtnisinhalten hergestellt (Goldstein et al. 2002). Diese Kenntnisse sind wichtig für das später beschriebene Untersuchungskonzept, wobei die Versuchsteilnehmer für die Beantwortung einer Suchaufgabe 1800 ms Zeit hatten bevor ein Alarmsignal ertönte.

### 2.3 Umgang mit Suchaufgaben in Abhängigkeit von der Aufmerksamkeit

Für das Erfassen von Wahrnehmungsleistungen können sogenannte Suchaufgaben Anwendung finden. Hierfür spielen die Anzahl der korrekt erfassten Antworten und die Dauer bis zum Auffinden der richtigen Lösung eine Rolle. Dies wiederum ist eng an die Aufmerksamkeit des Beobachters gekoppelt (Treisman & Gelade 1980). Dieser Prozess soll nachfolgend näher erläutert werden.

Nach Goldstein et al. (2002) handelt es sich bei Aufmerksamkeit um einen Prozess der Auswahl und aktiven Zuwendung. Bei der Konstruktion von Suchaufgaben muss beispielsweise das Phänomen der unterdrückten Aufmerksamkeit (attentional blink) beachtet werden, um die aktive Zuwendung des Beobachters zu erhalten. Dieses Phänomen besagt, dass ein zweites Reizmuster in einer größeren Anzahl von kurzzeitig präsentierten Stimuli nicht ausgemacht werden kann. Shapiro et al. (1997) fanden heraus, dass während einer schnellen seriellen visuellen Darbietung (rapid serial visual presentation) eine zweite Ziffer erst 500 ms nach Präsentation der ersten Ziffer erkannt werden kann. Dieses „Aufmerksamkeitsloch“ steht im Zusammenhang mit der Fokussierung auf zunächst ein Detail, so dass neue Inhalte erst nach einer kritischen Zeitspanne wahrgenommen werden können. Levin & Simons (1997) fanden zudem heraus, dass es auch ein Phänomen der Blindheit für Veränderungen (change blindness) gibt. Dieses bezeichnet das Unvermögen, Veränderungen in einer Situation zu sehen, die nicht mit Aufmerksamkeit verfolgt werden.

Ein weiteres Beispiel, das die Bedeutung der Aufmerksamkeit zeigen soll, ist der von Mack & Rock (1998) erkannte Effekt der Blindheit durch Nichtaufmerksamkeit: In einer Versuchsanordnung (Vgl. Abb. 3) wurde den Probanden ein Fadenkreuz dargeboten. Die Aufgabe war es zu erkennen, welcher Arm des Kreuzes länger ist. In einem weiteren Durchgang wurde den Probanden zusätzlich eine geometrische Figur dargeboten. In einem dritten Durchlauf sollten sie diesen geometrischen Körper wiedererkennen. Dies war den Versuchspersonen jedoch nicht möglich, da sie dem zusätzlichen Objekt keine Aufmerksamkeit schenkten und nur auf das Kreuz reagierten.

Was die Testperson sieht		3-4 weitere ... Durchgänge		
Aufgaben der Testperson	Welche Linie ist länger: die horizontale oder die vertikale?	Durchgang ohne Aufmerksamkeitshinlenkung	Welche Linie ist länger?	Wiedererkennen
			Welches Objekt wurde dargeboten?	

**Abbildung 3: Blindheit durch Nichtaufmerksamkeit. Erläuterung im Text. ( Goldstein et al. 2002, S.132)**

Diese Beispiele zeigen, dass die bewusste Wahrnehmung der Umgebung von der Aufmerksamkeit abhängig ist und man auf die aktive Mitarbeit der Probanden angewiesen ist.

Treisman & Gelade (1980) haben die selektive Aufmerksamkeit mittels Suchaufgaben untersucht und stellten fest, dass man zwischen Anwesenheits- und Abwesenheitssuche eines Reizes unterscheiden muss. Bei der Suche nach einem vorhandenen Zielreiz werden kürzere Reaktionszeiten benötigt als bei der Suche nach einem fehlendem Stimulus. Dies erklären sie damit, dass bei der Reizsuche, nach der Verarbeitung der Hälfte aller Objekte, der Zielreiz gefunden wird. Die Suche wird abgebrochen. Zur Feststellung der Abwesenheit eines Stimulus werden jedoch alle Objekte vollständig abgesucht.

Wichtig ist also zum einen, dass bei der Untersuchung die Spanne zwischen zwei Reizdarbietungen mehr als 500 ms betragen muss, damit das „Aufmerksamkeitsloch“ umgangen wird und zum anderen, dass der Teilnehmer aufmerksam und interessiert ist.

## 2.4 Augmented Reality – Erweiterte Realität

Grundsätzlich gilt die Erweiterung der Realität im Sinne der AR für *alle* Sinne des Menschen. Der derzeitige Gegenstand der Forschung beschäftigt sich jedoch primär mit der visuellen Wahrnehmung. In diesem Zusammenhang gibt es diverse Definitionsansätze für den Begriff Augmented Reality.

### 2.4.1 Definition AR

AR bedeutet, dass die Realität mit zusätzlichen Informationen angereichert wird. Dies geschieht kontextabhängig mit Hilfe computergenerierter Information. Die Sinneswahrnehmung des Benutzers wird ergänzt (Azuma 1997, Rolland 1998).

Schaer & Thum (2007) beschreiben AR als junge Disziplin, die ihre Wurzeln in der Forschung zur Virtuellen Realität hat.

Betrachtet man Realität auf der einen Seite und Virtualität auf der anderen, trifft man auf den Begriff des „Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums“ (Milgram et al. 1994, Milgram & Kishino 1994). In diesem Kontinuum steht im Zentrum die gemischte Realität (Mixed Reality). Sie setzt sich zusammen aus erweiterter Realität, in der es mehr reale als künstliche Objekte gibt, und aus erweiterter Virtualität (Augmented Virtuality), in der es mehr künstliche als reale Objekte gibt (Vgl. Abb. 4).



Abbildung 4: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (nach Milgram et al. 1994 )

Eine weitere AR-Definition, die sich jedoch nur auf technische Attribute stützt, ist die von Azuma (1997). Nach ihm bedarf AR dreierlei Anforderungen: Reale und virtuelle Welt werden miteinander verbunden, die Interaktivität verläuft in Echtzeit und die Registrierung erfolgt in 3D. Eine weitere Definition von Weidenhausen (2006) berücksichtigt zudem, dass die

Anwendung von AR-Systemen auf eine speziell verwendete Hardwaretechnologie angewiesen ist. Gemeint ist eine Ausgabereinheit, die es ermöglicht, eine virtuelle Information direkt in das Blickfeld des Betrachters einzublenden, um eine Koexistenz von realer Welt und virtuellen Objekten zu suggerieren.

Als Ausgabereinheit und somit für die visuelle Präsentation, werden häufig Datenbrillen, sogenannte Head-Mounted-Displays, verwendet (Vgl. Abb. 5). Für nähere Erläuterungen siehe Kapitel 2.5.



**Abbildung 5: Google-Glass-HMD (Oled-Info 2014)**

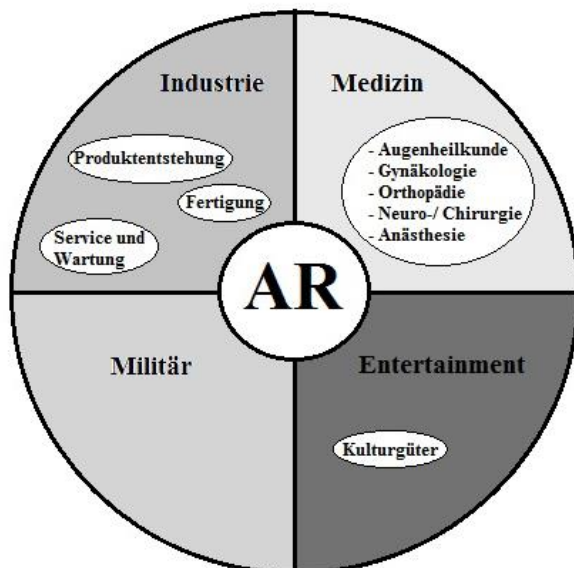
Abgesehen von der am Kopf befestigten Variante, die Mobilität und flexiblen Einsatz der Hände ermöglicht, existiert die Kategorie der handgeführten Displays (engl. Handheld-Displays). Diese müssen sich nicht zwangsläufig vor dem Auge des Betrachters befinden. Hierzu zählen beispielsweise Tablet-PCs oder persönliche digitale Assistenten (Personal Digital Assistant, PDA). Beide dienen der Interaktion. Sie verfügen u.a. über berührungsempfindliche Displaysysteme (Touchscreens) über die Eingaben getätigt werden können (Geiger et al. 2001). Eine weitere Kategorie stellen Projektor-basierte AR-Systeme dar. Mittels Projektor wird ein virtuelles Bild auf eine ebene Oberfläche in Blickrichtung des Betrachters projiziert (Weidenhausen 2006). Dies hat den Vorteil, dass mehrere Personen an der Darstellung teilhaben können.

Neben der Ausgabereinheit, dem Darstellungssystem, sind als weitere Bestandteile des AR-Systems ein Computer sowie eine entsprechende Softwaretechnik erforderlich, letzteres für die weitergehende Synthese zwischen realer und virtueller Welt (Weidenhausen 2006). Außerdem wird ein Tracking-System benötigt (Tümler 2009), um die exakte Übereinstimmung von realer

und virtueller Umgebung zu realisieren. So können später virtuelle Informationen lagerichtig in das Sichtfeld des Nutzers eingebettet werden.

### 2.4.2 Anwendungsbereiche AR

AR-Anwendungen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat ein Fördervolumen von rund 39 Millionen bis 2011 für Verbundprojekte wie AVILUS, AVILUSplus und VIERforES bereitgestellt (BMBF 2008). Hierdurch sollen die Technologien weiterentwickelt und anwendbar gemacht werden. Die Anwendungsmöglichkeiten von AR-Systemen sind sehr vielfältig. Abbildung 6 gibt einen schematischen Überblick.



**Abbildung 6: AR-Anwendungsbereiche (In Anlehnung an Weidenhausen 2006)**

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützte 2004 das Projekt ARVIKA. In diesem Projekt wurden AR-Technologien zur Arbeitsprozessunterstützung erforscht und auch umgesetzt. Dies galt für die Bereiche Service sowie Produktentwicklung und -entstehung im Hinblick auf Hallen- und Fabrikplanung, Automobilmontage und Kommissionierungstätigkeiten (Friedrich 2004).

Im militärischen und zunehmend auch im zivilen Luftfahrtbereich werden AR-Systeme benutzt, um den Piloten Informationen wie Flugkurs, -höhe sowie -geschwindigkeit einzublenden (Livingston et al. 2002).



Im privaten Bereich kann man AR-Anwendungen beim Gebrauch von Spielkonsolen, beispielsweise Nintendo Wii, entdecken. Aber auch immer stärker in den Alltag drängende Smartphones machen von der AR-Technologie Gebrauch.

Daneben spielt AR in der Medizin eine zunehmende Rolle. Bei chirurgischen und orthopädischen Eingriffen macht man sich AR zunutze, indem man beispielsweise anatomische Gegebenheiten virtuell auf das Operationsgebiet projiziert (Hiramatsu et al. 2005, Shenai et al. 2011, Suthau et al. 2002). Dabei werden CT<sup>3</sup>- oder MRT<sup>4</sup>-Aufnahmen des Patienten verwendet (Vgl. Abb. 7). In der Gynäkologie wird diese Technologie beim Einsatz ultraschallgestützter Feinnadelbiopsie eines Mamma-Tumors erprobt (z.B. Rolland & Fuchs 2000).

Beim perioperativen Monitoring in der Anästhesie gibt es ebenso Forschungsansätze (Liu et al. 2009, vgl. Abb. 8 und 9) und in der Augenheilkunde wird die Anwendung von AR-Systemen geprüft, um das Sichtfeld von Patienten mit peripherem oder zentralem Gesichtsfeldverlust zu vergrößern und um bei der Rehabilitation behilflich zu sein (Peli et al. 2007). Auch im Bereich endoskopischer Eingriffe werden Anwendungsszenarien erprobt (Nakamoto et al. 2012).



**Abbildung 7: In-vivo Visualisierung des Schädels (Schreier 2009, S. 13)**

---

<sup>3</sup> Computertomografie

<sup>4</sup> Magnetresonanztomografie



Abbildung 8: Anästhesist mit HMD intubiert Dummie (Liu et al. 2009, S. 1137)

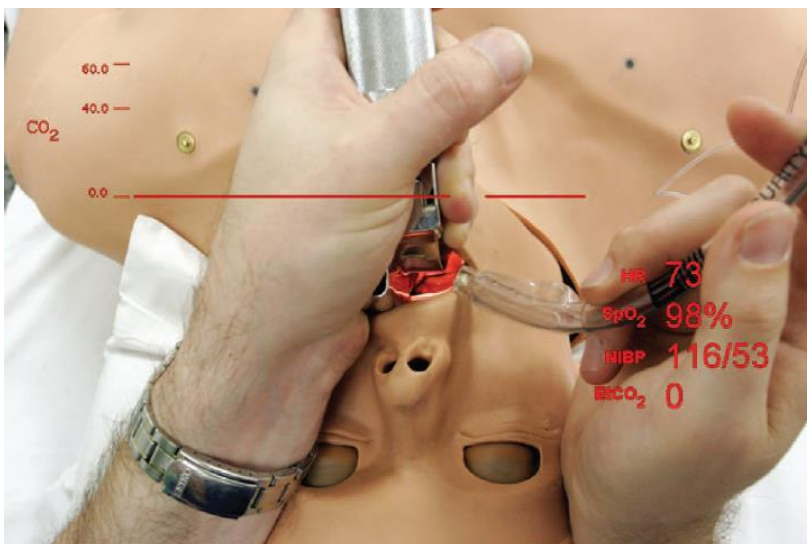
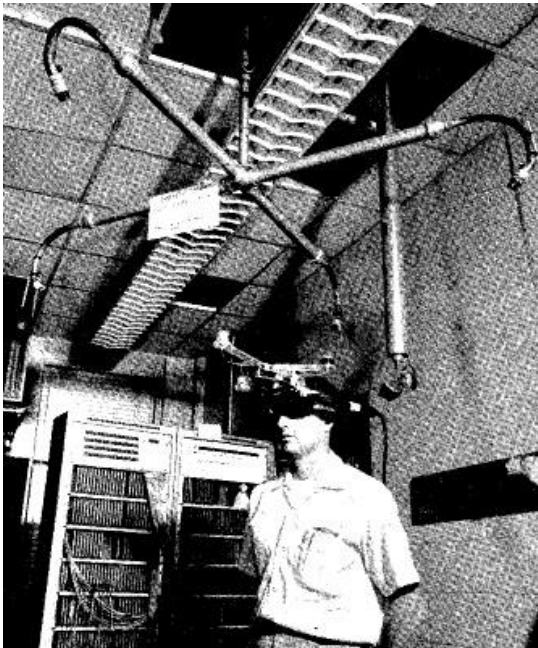


Abbildung 9: Intubation eines Dummies, HMD blendet Werte wie Herzfrequenz (HR) und Sauerstoffsättigung (SaO<sub>2</sub>), Blutdruck (NIBP) und CO<sub>2</sub>-Kurve ein (Liu et al. 2009, S. 1137)

## 2.5 Head-Mounted-Display

AR-Anwendungen ermöglichen es, die reale Welt mit zusätzlichen Informationen zu bereichern. Dies geschieht unter anderem mit Hilfe von HMDs. Hierbei handelt es sich um bildschirmähnliche Anzeigekomponenten, die in unterschiedliche Systeme, z.B. Brille oder Helm, integriert werden. Sie erlauben dem Nutzer kontextbezogene Informationen lagerichtig in dessen Sichtfeld einzubetten (Huckauf et al. 2009).

Das erste funktionstüchtige HMD wurde 1968 von Ivan Sutherland an der Harvard Universität konstruiert um dreidimensionale Grafiken zu präsentieren. Auf Grund des enormen Gewichtes wurde es an der Decke montiert (Vgl. Abb. 10). Als Display dienten dabei zwei Kathodenstrahlröhren. Für die Projektion des Bildes benutzte er zwei Glaslinsen. Diese Konstruktion erinnert heute nur noch entfernt an ein HMD.



**Abbildung 10: Erstes funktionsfähiges HMD (Sutherland 1968, S.760)**

Heute stehen dem Nutzer verschiedene HMD-Technologien zur Verfügung: Man kann dabei optische Systeme - Optical-See-Through-HMD (OST- HMD)- von videobasierten Systemen - Video-See-Through-HMD (VST- HMD)- unterscheiden (Rolland und Fuchs 2000).



**Abbildung 11: OST-HMD, hier LitEye 500 (wordpress 2011)**

Bei einem OST-HMD (Vgl. Abb. 11) behält der Nutzer die freie Sicht auf die reale Umgebung, da das Display durchsichtig ist. Eine Möglichkeit, die virtuelle Information einzuspielen, ist über einen semitransparenten Spiegel. Der reale Lichtstrahlengang wird bis zum Auge des Betrachters durchgelassen (Rolland 2000, Schaer & Thum 2007). Neuere Modelle, wie z.B. das HMD Nomad der Firma Microvision (Vgl. Abb. 12), verzichten auf eine Anzeigefläche und projizieren die Information mittels Laserstrahl und Umlenkspiegel direkt auf die Retina (Azuma et al. 2001, Patterson et al. 2006, Kampmeier et al. 2007). Ein integrierter Sensor reguliert je nach Helligkeit des Hintergrundes die Intensität des Lasers. Für das verwendete monochrom rote Licht gibt es 16 Helligkeitsstufen. Außerdem kann beim HMD Nomad über einen Regler die Akkommodationsweite, je nach Arbeitsabstand, reguliert werden (30 cm bis 2 m), um eine Belastung der Augen durch zusätzliches Akkommodieren zu vermeiden (Kampmeier et al. 2007).



**Abbildung 12: Microvision Nomad (Kampmeier 2007, S. 592)**

Das VST-HMD ist dadurch gekennzeichnet, dass der Hintergrund vollständig ausgeblendet wird, die Transparenz fehlt. Die reale Welt wird durch ein Videobild ersetzt. Hierfür ist eine Kamera nötig, die das Blickfeld des Nutzers aufzeichnet und digitalisiert. Außerdem wird das Bild mit virtuellen Informationen überlagert und im Anschluss auf dem Display präsentiert (Azuma 1997, Weidenhausen 2006).

Eine Mischform aus beiden Varianten ist das sogenannte Look-Around-HMD (Vgl. Abb. 13). Hierbei wird ein kleines, nicht-durchsichtiges Videodisplay benutzt, welches nur einen geringen Teil des Blickfeldes abdeckt, so dass man bei Bedarf auf das Display fokussieren kann oder daran vorbeischaut (Schmidt et al. 2005, Weidenhausen 2006).



**Abbildung 13: Look-Around-HMD, hier Nikon Media Port UP 300x (IAU 2008)**

Tabelle 1 gibt einen Überblick bezüglich der Vor- und Nachteile von VST- und OST-HMD.

**Tabelle 1: Vor- und Nachteile von VST- und OST- HMDs (Modifiziert nach Schreier 2009)**

	VST- HMD	OST- HMD
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• exaktere sowie raschere Synchronisation bei der Überlagerung von realen und computergenerierten Objekten</li> <li>• bessere Immersion<sup>5</sup></li> <li>• stärkerer Kontrast</li> <li>• Möglichkeit die Sicht auf die reale Welt auszublenden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• reale Bildqualität mit guter Auflösung (Wahrnehmung der realen Welt)</li> <li>• Lichtdurchlässigkeit</li> <li>• besseres Sichtfeld</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schlechtere Auflösung der realen Welt</li> <li>• keine Echtzeitwahrnehmung der realen Welt</li> <li>• leicht verzögerte Bildanpassung bei Bewegung des HMD</li> <li>• Bei Ausfall des Systems droht Sichtverlust</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• höhere Anforderung an das Trackingsystem (Latenz führt zu Deckungsproblemen von realer und virtueller Information)</li> <li>• Synchronisation verzögert (Videobild wird verzögert bis Trackingergebnis vorliegt)</li> </ul>

<sup>5</sup> Immersion beschreibt das Eintauchen in eine virtuelle Welt und Identifikation mit dieser.

### 3 Problem und Zielstellung

Durch eingeblendete Zusatzinformationen in einem HMD wird eine Parallelisierung von Informationsaufnahme und Tätigkeit ermöglicht. Trotz dieses arbeitserleichternden Vorteils findet die AR-Technologie an der Schnittstelle Mensch-Computer noch nicht den gewünschten Einsatz. Probleme stellen oftmals die ergonomische Gestaltung, wie Gewicht, Größe, Bedienung, die Integrierung in den Arbeitsablauf, hohe Anschaffungskosten und die nahtlose Synchronisation zur fehlerfreien Überlagerung von realen und computergenerierten Objekten dar (Ullmann 2006, Schaer 2007, Schreier 2009). Neben diesen technologischen Problemen spielen auch menschliche Faktoren, wie beispielsweise Nutzerakzeptanz, eine wesentliche Rolle (Vgl. Tabelle 2). Hier kommt es besonders darauf an, dass die Anwendung einfach zu bewerkstelligen sein sollte und dass das Tragen keine körperlichen Beschwerden hervorruft (Zhou et al. 2008). Außerdem sollte das verwendete Gerät Flexibilität und Mobilität beim Tragen des Gerätes am Kopf bieten. Des Weiteren muss das Auflösungsvermögen des Displays ausreichend sein, die Datenverarbeitung schnell und auch ein großes Gesichtsfeld des Anwenders gewahrt werden (Schaer 2007, Schmidt et al. 2005).

**Tabelle 2: Probleme beim Einsatz von HMDs (Modifiziert nach Schaer 2007)**

Technologische Probleme	Menschliche/wahrnehmungsbezogene Probleme
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registrierungsprobleme</li> <li>• Größe des Displays</li> <li>• Gewicht</li> <li>• Herstellungs- sowie Anschaffungskosten</li> <li>• Auflösung (im Display)</li> <li>• Verzerrung (reale Umgebung versus eingeblendete Zusatzinformation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzerakzeptanz</li> <li>• Gesichtsfeldeinschränkung</li> <li>• Frage nach gegebener Sicherheit</li> <li>• Körperliche Beschwerden, z.B. Kopfschmerz und Augenbrennen nach dem Tragen (Tümler et al. 2008)</li> <li>• Mobilität</li> <li>• Sichtfeld der realen Umgebung</li> <li>• Tiefenwahrnehmung</li> <li>• Akkommodations-Konvergenz-Konflikt</li> </ul>

Vordringliches Interesse dieser Dissertation ist es, die visuelle Wahrnehmung beim Tragen unterschiedlicher Head-Mounted-Displays (OST-HMD vs. LA-HMD) aus arbeitsmedizinischer und ophthalmologischer Perspektive zu prüfen und Erkenntnisse hinsichtlich einer geeigneten, benutzerfreundlichen Geräteauswahl zu erlangen, als eine notwendige Voraussetzung für den Einsatz dieser AR-Systeme für unterschiedliche Anwendungsbereiche. Prozessabläufe könnten so effektiver gestaltet sowie die

Arbeitsorganisation erleichtert werden. Daraus ergäbe sich, dass die AR-Technologie produktiv-industriell, und wünschenswerterweise auch in der Medizin, vermehrt eingesetzt werden könnte.

Die visuelle Wahrnehmung soll im Fokus stehen, da sich in anderen Studien bereits gezeigt hat, dass das visuelle System durch diese Technologien belastet wird (Yamazoe et al. 2010; Huckauf et al. 2009; Tümler et al. 2008; Patterson, Winterbottom & Pierce 2006). Nach Huckauf et al. (2009) ist das Zusammenspiel von Vergenz und Akkomodation bei Verwendung von HMDs gestört. Es gilt die Größenordnung dieser Beeinträchtigung über die Zeit zu quantifizieren.

In dieser Arbeit werden mittels Reaktionszeitenmessung, Fehlerratenanalyse und Messung der Tiefenwahrnehmung weiterführende Erkenntnisse für den Einsatz und die Nutzbarkeit der unterschiedlichen Gerätetypen getroffen. Des Weiteren wird die Beanspruchung des Nutzers vor und nach dem Tragen verschiedener Anzeigesysteme mit Hilfe eines psychologischen Fragebogens erfasst. In Orientierung auf die Humanzentrierung sollte ein Gerät gefunden werden, welches die Beanspruchung nach Möglichkeit gering hält.

**Allgemeine Frage:** Treten bei der Arbeit mit unterschiedlichen HMDs Leistungseinbußen auf im Vergleich zu der Arbeit ohne AR-Gerät und falls dies der Fall ist, bei welchem Gerät fällt diese Einbuße am größten aus?

Zur Überprüfung der allgemeinen Frage wurden folgende **spezielle Fragen** formuliert und entsprechende **Hypothesen** aufgestellt:

**Frage 1:** Erfordert die mittlere Bearbeitungsdauer einer Suchaufgabe auf dem AR-Gerät mehr Zeit als auf dem Monitor?

**Hypothese 1:** *Die Anwendung eines AR-Gerätes für die Bearbeitung einer Suchaufgabe führt im Vergleich zur Bearbeitung am Monitor zu einer signifikant höheren Bearbeitungsdauer, gemessen anhand von Reaktionszeiten.*

**Frage 2:** Inwieweit lenkt die Verarbeitung von Reizen auf dem AR-Gerät von der Wahrnehmung realer Reize ab und umgekehrt?

**Hypothese 2:** *Die präsentierten Reize der Suchaufgabe werden auf unterschiedlichen Medien dargestellt. Es wird angenommen, dass bei der Bearbeitung Wechselkosten, gemessen an Reaktionszeiten, entstehen. Die Wechselkosten führen dazu, dass*

---

*ein Gefahrensignal übersehen wird. Hierfür werden Fehlerraten bei der Bearbeitung der Suchaufgabe erfasst und analysiert.*

**Frage 3:** Falls es Wechselkosten beim Übergang von AR-Gerät zu Monitor und umgekehrt gibt, wodurch entstehen die Wechselkosten?

**Hypothese 3:** *Es wird angenommen, dass mögliche Wechselkosten entstehen, da ein auf dem HMD dargebotener Reiz mit dem realen Hintergrund nicht zur Deckung gebracht werden kann und bereits geringe Tiefenunterschiede vom visuellen System registriert werden. Um dies zu verifizieren, wird die Tiefenwahrnehmung durch eine Blickregistrierung, einem sogenannten Eyetracker (ExeLink II; SR Research), erfasst.*

**Frage 4:** Fühlt sich der Nutzer bei der Verwendung eines AR-Gerätes belastet?

**Hypothese 4:** *Im Vorher-Nachher-Vergleich nimmt die Belastung, erfasst durch den standardisierten EZ-Fragebogen, bei der Arbeit mit den HMDs generell zu.*



## 4 Untersuchungskonzept

Im Rahmen des Verbundprojektes AVILUS (Angewandte Virtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittellebenszyklus), welches durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde, wurden drei Versuchsanordnungen (im Folgenden Experiment 1-3 genannt) entwickelt. In den Experimenten werden 3 unterschiedliche HMDs (Nikon, LitEye, Nomad) bei der Bearbeitung einer Suchaufgabe untersucht sowie die Tiefenwahrnehmung erfasst. Außerdem wird das Befinden der Probanden durch einen standardisierten Fragebogen dokumentiert. Die Experimente konnten in den Versuchsräumen des Instituts für Sportwissenschaft an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg durchgeführt werden. Die Untersuchungen erfolgten, nach dem Vorliegen des positiven Votums durch die Ethikkommission, im Zeitraum von Dezember 2009 bis Oktober 2010. Die 3 Versuche wurden von 15 Probanden durchgeführt. Vorher erfolgte eine augenmedizinische Untersuchung in den Räumen der Universitätsaugenklinik, um eine Farb- oder Fehlsichtigkeit vor Experimentbeginn auszuschließen.

### 4.1 Probandenkollektiv

An den Untersuchungen nahmen 15 ophthalmologisch und neurologisch unauffällige Männer zwischen 20 und 30 Jahren teil (siehe Tabelle 3). Die Probanden waren anamnestisch normalsichtig. Dies wurde auch klinisch untersucht (Vgl. 4.2.1), da ein Ausschlusskriterium die Fehlsichtigkeit darstellte. In einer Studie von Ullmann (2006) konnte gezeigt werden, dass bei bestehender korrigierter Fehlsichtigkeit, z.B. durch das Nutzen einer Gleitsichtbrille, Informationen auf dem HMD nicht optimal erkannt werden konnten. Die Teilnehmer waren Rechtshänder, um Auswirkungen unterschiedlicher Händigkeit auf die Ergebnisse zu vermeiden (Peters & Ivanoff 1999).

Bei allen Probanden handelte es sich um freiwillig teilnehmende Studenten technischer oder medizinischer Fachrichtungen ohne Erfahrung mit AR-Systemen. Sie wurden durch öffentliche Aushänge oder durch gezieltes Ansprechen der Versuchsleiterin auf die Studie aufmerksam gemacht. Da die Experimente an unterschiedlichen Tagen erfolgten, nahmen von den **insgesamt** 15 Teilnehmern davon nur 10 an Experiment 1 und 2 teil für die Testungen mit Nikon und LitEye, 11 Probanden bei der Testung mit dem HMD Nomad sowie 10 Teilnehmer bei Experiment 3 (Erfassung der Tiefenwahrnehmung mit Nikon, LitEye und Nomad).

**Tabelle 3: Gruppencharakteristik der untersuchten Probanden**

	Probanden n	Alter (Jahre)	
		$\bar{x}$	SD
Experiment 1 (LitEye/Nikon)	10	24	1,58
Experiment 2 (LitEye/Nikon)	10	25	2,05
Experiment 2 (Nomad)	11	26	3,32
Experiment 3	10	25	1,93

Die Probanden wurden über Inhalt und Ziel der Studie informiert. Hierfür erhielten sie eine schriftliche Probandeninformation (siehe Anhang 10) und eine Einverständniserklärung zur Unterschrift. Nach der Teilnahme an der Studie erhielten sie eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 10 € / Stunde.

## 4.2 Material & Methoden

### 4.2.1 Voruntersuchung

Da eine Bedingung für die Teilnahme der Probanden Normalsichtigkeit war, wurden das Farbsehen, das Stereosehen und die Sehschärfe mit standardisierten Tests geprüft. Das Farbsehen wurde mit Farbtafeln nach Velhagen getestet. Erfasst wurden Blau- und Gelb-Unterscheidungsprobleme. Das Stereosehen wurde mit dem TNO-Test<sup>6</sup> geprüft, beruhend auf Rot-Grün-Trennungsfähigkeit. Die Sehschärfe wurde mit dem Freiburger-Visus-Test erfasst. Außerdem wurde das Gesichtsfeld der Probanden untersucht per computergesteuerter Perimetrie. Das Gerät zur Erfassung wurde von einer Orthoptistin der Universitätsaugenklinik bedient.

### 4.2.2 Versuchsumgebung

Bei jedem Versuchsablauf bestanden die gleichen Licht- und Geräuschverhältnisse. Um das Selbstleuchten der eingeblendeten Information auf dem HMD zu minimieren, wurde als realer Hintergrund ein 17-Zoll-Computermonitor verwendet, in Anlehnung an das Untersuchungskonzept von Huckauf et al. (2009). Eine am Tisch befestigte Kinnstütze (Vgl. Abb. 14 und Abb. 19) wurde konzipiert, um den Abstand zwischen Monitor und Proband konstant bei 100 cm zu halten. Hinter dem Monitor befand sich eine leere weiße Wand, um Ablenkungen zu vermeiden.

### 4.2.3 HMDs

Für die Versuche wurden verschiedene HMDs verwendet. Für die Gruppe der OST-HMDs kamen zum einen das LitEye LE 750 (LitEye) und zum anderen das Microvision Nomad ND 2100 (Nomad) zum Einsatz. Beide unterscheiden sich hinsichtlich ihres technologischen Ansatzes. Beim HMD LitEye (800 x 600 Pixel) wird mittels OLED<sup>7</sup> (Organic Light Emitting Diode) das Bild auf einem halbtransparenten Microdisplay dargestellt (Rolland 2000, Schaer & Thum 2007), wohingegen das Bild beim HMD Nomad mit Hilfe eines Laserstrahles direkt auf die Retina projiziert werden kann (Azuma et al. 2001, Patterson et al. 2006, Kampmeier et al. 2007). Zur Anschauung dient Abbildung 14.

---

<sup>6</sup> Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek

<sup>7</sup> Organisches halbleitendes Dünnschichtbauelement mit anorganischer Leuchtdiode



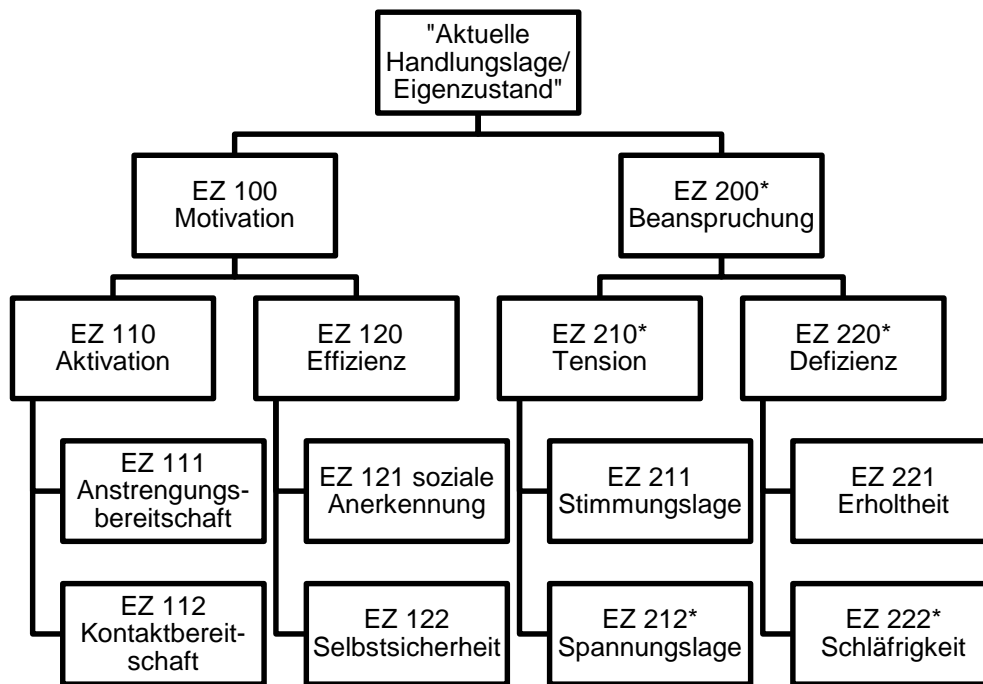
**Abbildung 14:** Links: HMD Nomad Mitte: HMD Nikon Rechts: HMD LitEye

Für die Variante Look-Around-HMD wurde die Nikon Media Port UP 300x (Nikon) verwendet (600 x 480 Pixel). Wie im Kapitel 2.5 beschrieben, wurde ein kleines, nicht-durchsichtiges Videodisplay benutzt, welches nur einen geringen Teil des Blickfeldes abdeckte (Schmidt et al. 2005, Weidenhausen 2006), so dass man bei Bedarf auf das Display fokussieren konnte oder daran vorbeischaute (Abb. 13 / Abb.14).

#### 4.2.4 Erfassung der Beanspruchung

*Fragebogen (Eigenzustandsskala nach Nitsch, 1976)*

Das Untersuchungsinstrument wendet sich der Befindlichkeitsbeschreibung und der Beanspruchungsmessung zu. Es ist als standardisiertes Testverfahren anerkannt (Apenburg & Häcker 1984). Gegenüber dem zeitaufwändigen Gespräch stellt es eine ökonomische Alternative zur Erfassung von aktuellem Wohlbefinden dar (Mayring, 1991). Den Probanden wurden nacheinander 40 Eigenschaftswörter eingeblendet (siehe Anhang 1). Als Beispiele sind „abgehetzt“ und „zufrieden“ zu nennen. Auf einer Ordinalskala mussten sich die Teilnehmer selbst beurteilen und einordnen. Diese wurde mehrfach abgestuft und reichte von 1 „kaum“ bis 6 „völlig“. Der Fragebogen wurde sowohl vor als auch nach der ersten und zweiten Versuchsanordnung beantwortet. Für die Interpretation wurden die 40 Eigenschaftswörter nach Nitsch zu 14 Binärfaktoren zusammengefasst. Es ergibt sich eine Hierarchie bestehend aus 3 Ebenen (Abbildung 15). Dabei wird die erste Ebene nach Motivation und Beanspruchung unterteilt. Zum besseren Verständnis sei noch erläutert, dass die Binärfaktoren „Aktivation“ für die Initiative des Probanden und „Effizienz“ für das Selbstwertgefühl stehen. „Tension“ meint die emotionale Anspannung und „Defizienz“ die Ermüdung.



**Abbildung 15: dreistufige Faktorenhierarchie der EZ-Skala (In Anlehnung an Nitsch 1976, S. 87 )**

#### 4.2.5 Versuchsablauf und -durchführung

Der Versuch gliedert sich in 3 Experimente, die an unterschiedlichen Tagen stattfanden (Vgl. Versuchsablauf in Abb. 16). Um das subjektive Befinden zu ermitteln, wurde den Probanden vor und nach dem ersten und zweiten Experiment die Eigenzustandsskala in Fragebogenform am Computer vorgelegt. Ein zeitlicher Rahmen für die Bearbeitung war nicht vorgegeben. In der Regel wurde eine Bearbeitungszeit von 10 Minuten benötigt.

In Experiment 1 wurde die Suchaufgabe einzeln entweder vor dem Monitor oder nur mit einem HMD bearbeitet. In Experiment 2 wurde die gleiche Aufgabe wie in 1 bearbeitet. Hier wurde die Aufgabe aber *abwechselnd* auf dem Monitor oder dem HMD während *eines* Durchlaufs dargeboten. Die HMDs LitEye und Nikon wurden am gleichen Tag getestet. Experiment 2 mit dem HMD Nomad erfolgte mit teilweise anderen Probanden an einem anderen Tag. In Experiment 3 wurden die Pupillen mit einem Eyetracker verfolgt. Auch hier wurden HMDs LitEye und Nikon an einem und das HMD Nomad an einem anderen Tag untersucht.

In Anlehnung an den Untersuchungsablauf von Huckauf et al. (2009) wurde mit einer standardisierten visuellen Suchaufgabe die Informationswahrnehmung der Probanden in Abhängigkeit des Mediums getestet: Monitor (M) versus LitEye versus Nikon (Experiment 2 und 3 auch Nomad). Die Reihenfolge der Medien wurde randomisiert, um Lerneffekte ausschließen zu können. Der Testablauf und die Handhabung der Computermaus wurden den Versuchspersonen kurz erläutert. Sie wurden instruiert, während der gesamten Untersuchung möglichst ruhig zu sitzen und nicht zu sprechen, um die Untersuchungsergebnisse dadurch nicht zu beeinflussen. Alle HMDs wurden vor dem rechten Auge positioniert. Eine Ausnahme bildete Experiment 1. Wenn der Reiz nur auf dem Monitor präsentiert wurde, wurde kein HMD getragen. Das linke Auge blickte immer auf den Monitor.

Vor Beginn des Versuches wurde darauf Wertgelegt, dass im Sichtfeld des Nutzers Monitor und HMD kongruent waren. Hierfür wurden 3 Kreuze simultan auf Monitor und HMD dargeboten. Der Nutzer musste durch positionsausgleichende Kopfbewegungen die Kreuze übereinander bringen.

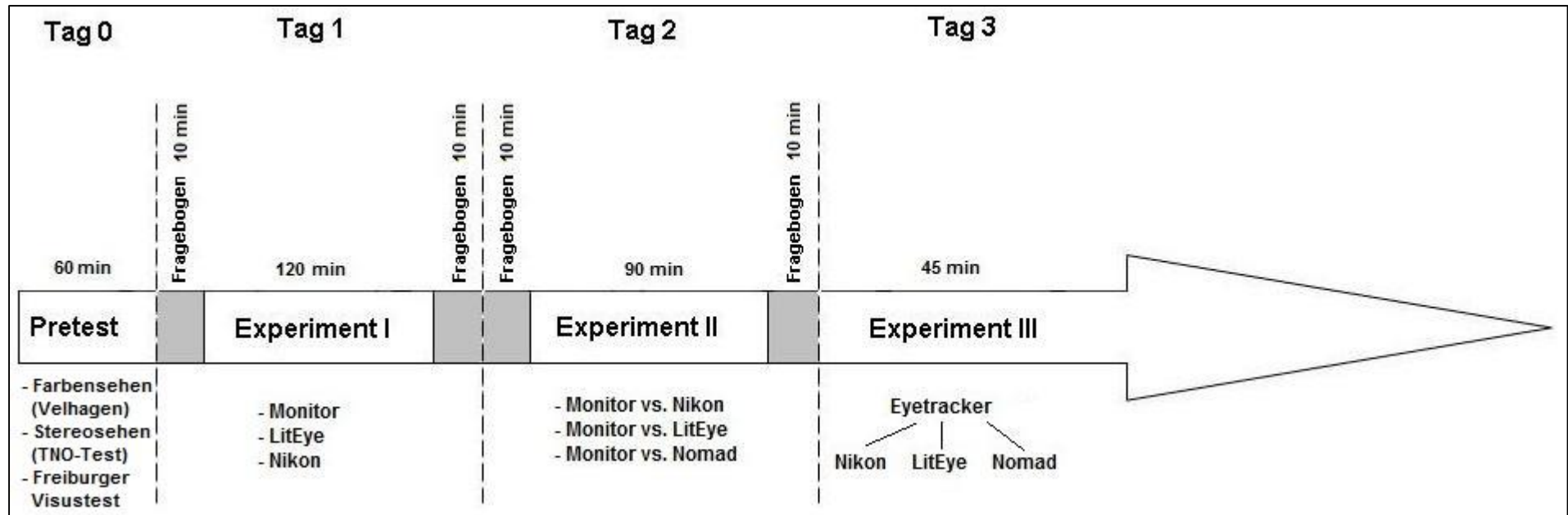


Abbildung 16: Versuchsablauf

#### 4.2.5.1 Experimente 1 – 3

##### *Experiment 1*

In einem ersten Experiment wurde in einer 6x6-Matrix ein definierter Zielreiz „P“ im Zentrum randomisiert eingeblendet (Abb. 17). Auf ein „P“ war mittels Zeigefingerdruck auf die Leertaste zu reagieren (Abb. 18). Außerdem konnte anstelle des „P“ auch ein „R“ im Zentrum erscheinen. Dieses sollte ignoriert werden. Diese Aufgabe hatte höchste Priorität und wird im Folgenden als „Go-NoGo“-Aufgabe bezeichnet.

In einer parallelen Aufgabe im gleichen Experiment wurde in der 6x6-Matrix randomisiert aus einem O (Buchstabe) eine 0 (Ziffer). Diese wurde nur im inneren Bereich –auf der 4x4-Matrix– präsentiert und nur in 50% der Durchgänge dargeboten (Abb.17). Wurde der Zielreiz gefunden, sollte mittels Tastendruck der linken Maustaste (Abb. 18) durch den linken Daumen die Bestätigung erfolgen. Ging der Proband davon aus, dass keine 0 dargeboten wurde, so sollte mit dem rechten Daumen auf die rechte Maustaste gedrückt werden (Abb. 18). Für jede Reaktion auf den Zielreiz standen maximal 1800 ms zur Verfügung. Bei Überschreiten des vorgegebenen Zeitrahmens ertönte ein Alarmsignal. Ertönte dieses, wurde eine neue Suchaufgabe eingeblendet. Zwischen der Darbietung zweier Matrizen vergingen 1000 ms. Die Suchaufgabe bzw. Go-NoGo-Aufgabe wurde in Experiment 1 randomisiert entweder nur auf dem Monitor oder nur auf dem jeweiligen HMD (LitEye / Nikon) durchgeführt. Dabei war die Darstellungsgröße der Matrix mit einem Sehwinkel von  $9.8^\circ \times 6.6^\circ$  auf Monitor und HMD identisch. Die erste Versuchseinheit nahm bei jedem Probanden 1,5 – 2 Stunden in Anspruch. Reaktionszeiten und Fehlerraten wurden registriert, um die Verarbeitung der visuellen Information auf dem jeweiligen Medium zu beurteilen. Pro verwendetem Medium ergab sich jeweils ein Block bestehend aus 10 Durchläufen. Wobei bei jedem neu verwendeten Medium zunächst zwei Probedurchläufe (128 Stimuli) erfolgten. Für jede der drei Bedingungen waren es 587 erfolgreiche Versuche.



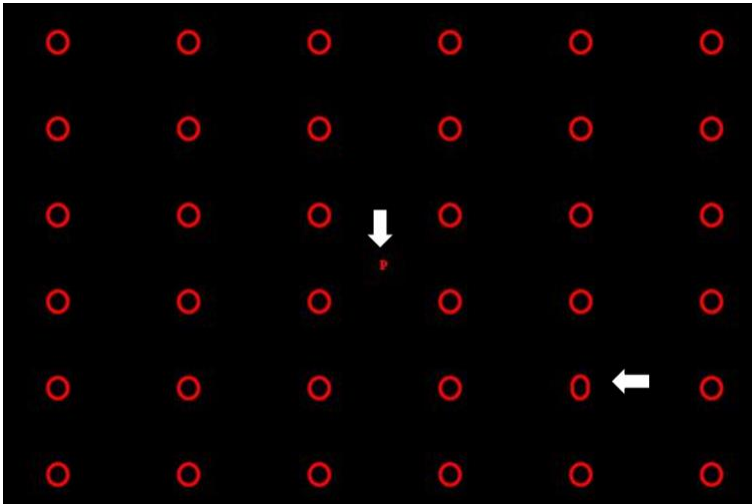


Abbildung 17: Screenshot der 6x6-Matrix mit Reizen (O-Buchstaben) und Zielreiz (0-Ziffer) sowie „P“ im Zentrum

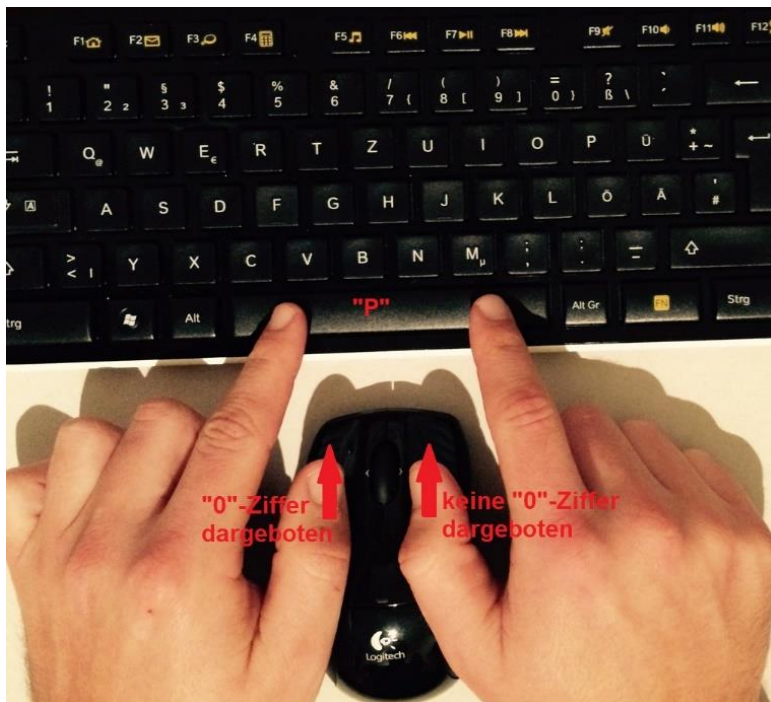


Abbildung 18 : Bedienung von Computermaus und Tastatur je nach Zielreiz-Darbietung

Bei der Reaktion auf die Matrix werden folgende Situationen unterschieden:

- Hits (h): Es wurde korrekt auf den Zielreiz der Matrix reagiert,
- Correct rejection (cr): Es wurde kein Zielreiz gezeigt, eine richtige Reaktion wurde registriert,
- Missed (m): Es wurde ein Zielreiz gezeigt, eine falsche Reaktion wurde registriert,

- False alarm (fa): Es wurde kein Zielreiz gezeigt, eine falsche Reaktion wurde registriert.

Die berechneten relativen Fehler (m und fa) bzw. die Reaktionszeiten auf die Matrix (h) werden in Abhängigkeit der Go-NoGo-Situationen betrachtet:

- Ein „P“ wurde gezeigt (P),
- Ein „R“ wurde gezeigt (R),
- Weder ein „P“ noch ein „R“ wurde gezeigt (noPR).

Bei isolierter Betrachtung der „Go-NoGo“-Aufgabe lassen sich die Reaktionszeiten auf das „P“ oder fehlerhafte Reaktionen auf ein „P“ bzw. „R“ auswerten.

### *Experiment 2*

Zur Bestimmung der zeitlichen Kosten beim Wechsel zwischen den Medien wurden in einem zweiten Experiment die gleichen Reize wie in Experiment 1 randomisiert im Wechsel auf dem HMD oder dem Monitor präsentiert: Nikon + Monitor vs. LitEye + Monitor vs. Nomad + Monitor. Analog zu den in Experiment 1 beschriebenen Kennwerten, werden diese in Abhängigkeit des Mediums (HMD und Monitor) analysiert. Ergänzend werden die Reaktionszeiten der h-Situationen in Unterscheidung der Wechselsequenzen der Medien separat für jedes HMD bzw. im Vergleich der HMD geprüft:

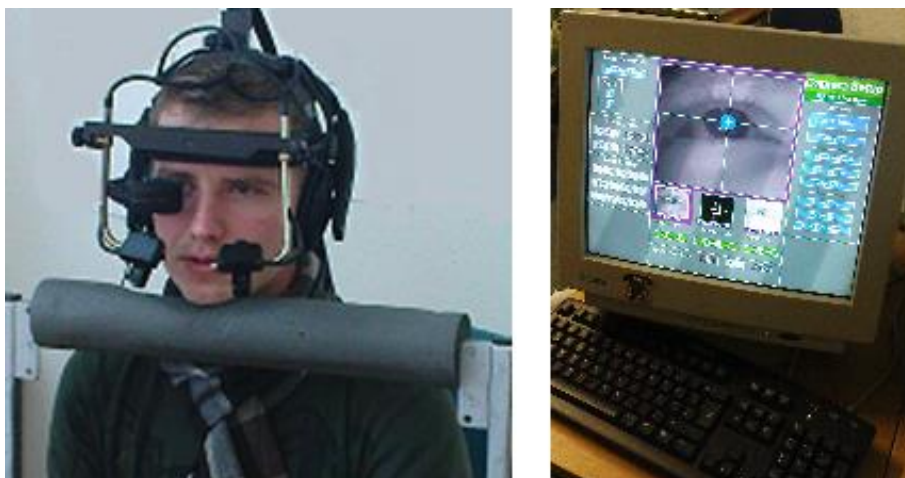
- Vorgänger-Matrix wurde auf dem Monitor, die nachfolgende auch auf dem Monitor gezeigt (Mon>Mon),
- Vorgänger-Matrix wurde auf dem Monitor, die nachfolgende auf dem HMD gezeigt (Mon>HMD),
- Vorgänger-Matrix wurde auf dem HMD, die nachfolgende auch auf dem HMD gezeigt (HMD>HMD) und
- Vorgänger-Matrix wurde auf dem HMD, die nachfolgende auf dem Monitor gezeigt (HMD>Mon).

Die Bedingungen der visuellen Suchaufgabe entsprechen denen in Experiment 1. Für jede Reaktion auf den Zielreiz standen maximal 1800 ms zur Verfügung. Bei Überschreiten des vorgegebenen Zeitrahmens ertönte ein Alarmsignal.

Die zweite Versuchseinheit nahm bei jedem Probanden 1 Stunde - 1,5 Stunden in Anspruch. Um Lerneffekte zu vermeiden, wurden die Experimente an unterschiedlichen Tagen durchgeführt. Es wurden Reaktionszeiten und Fehlerraten detektiert.

### *Experiment 3*

In der dritten Versuchseinheit galt es die Tiefenwahrnehmung bei Blick auf den M & OST-HMD sowie M & LA-HMD und M & Nomad zu bestimmen. Diese Untersuchung erfolgte mit einem Eyetracker (ExeLink II; SR Research). Hierfür wurde die Blickregistrierung zusammen mit jeweils einem HMD am Kopf befestigt (Abb. 19). Die Registrierungseinheit wurde so positioniert, dass das System die Pupillen des Probanden in horizontaler Nullachse erkennen konnte (Vgl. Abb. 19 rechts). Im Anschluss daran befand sich die optische Sicht der Probanden auf HMD und M in einer räumlichen Deckung. Um die Schnittpunkte beider Blickachsen zu ermitteln, musste der Eyetracker zunächst kalibriert werden. Hierfür wurden dem Nutzer am M neun Punkte nacheinander angezeigt. Der Proband war aufgefordert, diesen Punkten mittels Augenbewegung zu folgen ohne dabei den Kopf zu bewegen. Daher kam wie auch bereits in den beiden vorausgehenden Versuchseinheiten eine Kinnstütze (Vgl. Abb. 19 links) zur Fixierung zum Einsatz. Um die Tiefenwahrnehmung zu erfassen, erschien im zentralen Blickfeld für eine Minute ein Kreuz. Dieses wurde zufällig im randomisierten Wechsel auf dem HMD oder dem M jeweils 10 Mal dargeboten und war für eine Dauer von einer Sekunde zu fixieren. Dabei wurde die Vergenz 750 ms nach Wechsel des Mediums registriert. Die Durchführung der dritten Versuchseinheit nahm 30 - 45 Minuten in Anspruch (Versuchsablauf siehe Abbildung 16).



**Abbildung 19: Links:** Proband mit HMD und Eyetracker; **Rechts:** Pupillendetektion auf einem Kontrollmonitor

#### 4.2.6 Statistik

Zur Datenverarbeitung wurden alle Messwerte in Microsoft Office Excel 2010 erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte unter Verwendung der Software SPSS 15.0 für Windows. Die Testentscheidungen stützten sich auf ein Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$ . Die Prüfung auf Normalverteilung der Datensätze erfolgte mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Testes. Als Maß der zentralen Tendenz dienten bei normalverteilten Daten der Mittelwert ( $\bar{x}$ ) und die Standardabweichung (SD), bei nicht normalverteilten Daten Median (Med) und Interquartilbereich (Interq.).

Für den Vergleich der Reaktionszeiten wurde die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen (analysis of variance- *ANOVA*) in Experiment 1 (Faktor Display) und in Experiment 2 für die Bedingung „Wechsel zum Monitor“ und „Wechsel zum HMD“ (Faktor Display) separat durchgeführt. Anschließend wurden t-Tests für (un-)abhängige Stichproben berechnet, um die Unterschiede zwischen den Bedingungen näher zu charakterisieren. Zur Vermeidung von zufälligen Signifikanzen bei Gruppenvergleichen mit mehreren Variablen wurde das Signifikanzniveau mittels Alpha-Adjustierung angepasst. Dabei wurde entsprechend den vorliegenden Variablen das Signifikanzniveau mit Hilfe der Bonferroni-Korrektur erhöht.

Für die Analyse der Fehlerraten wurden der Friedman-Test und im Post-Hoc-Test der Wilcoxon-Test verwendet. Beim Vergleich der Fehlerraten für unabhängige Stichproben fand der Mann-Whitney-U-Test Anwendung.

Für die Auswertung der Tiefenwahrnehmung in Experiment 3 wurde der t-Test für eine abhängige Stichprobe verwendet, wenn Nikon und LitEye miteinander verglichen wurden. Für den Vergleich mit dem HMD Nomad wurde der t-Test für unabhängige Stichproben angewendet.

Die Auswertung des EZ-Fragebogens beinhaltetete eine  $z'$ -Transformation der Einzelbewertungen der Adjektive, die dann zusammengefasst und deren Summe in Stanine-Werten beschrieben wurden. Es ergaben sich Werte von 1 bis 9, wobei hohe Werte für ein positives Gesamtfinden sprechen. Eine Besonderheit ergibt sich für die sogenannten „umgepolten Faktoren“. Sie beschreiben Antonyme und sind in Abbildung 15 mit „\*“ markiert. Umgepolte Faktoren sind: „Beanspruchung“ (EZ 200), „Tension“ (EZ 210), „Defizienz“ (EZ 220), „Spannungslage“ (EZ 212) und „Schläfrigkeit“ (EZ 222). So beschreibt beispielsweise

ein hoher Stanine-Wert für den Faktor EZ 222 „Schläfrigkeit“ das genaue Gegenteil: Der Proband fühlt sich wach.

Für die statistische Auswertung der Fragebögen aus Experiment 1 und 2 wurde der nicht-parametrische Wilcoxon-Test für den paarweisen Vergleich der Attribute (vorher-nachher) für die HMDs Nikon und LitEye verwendet.

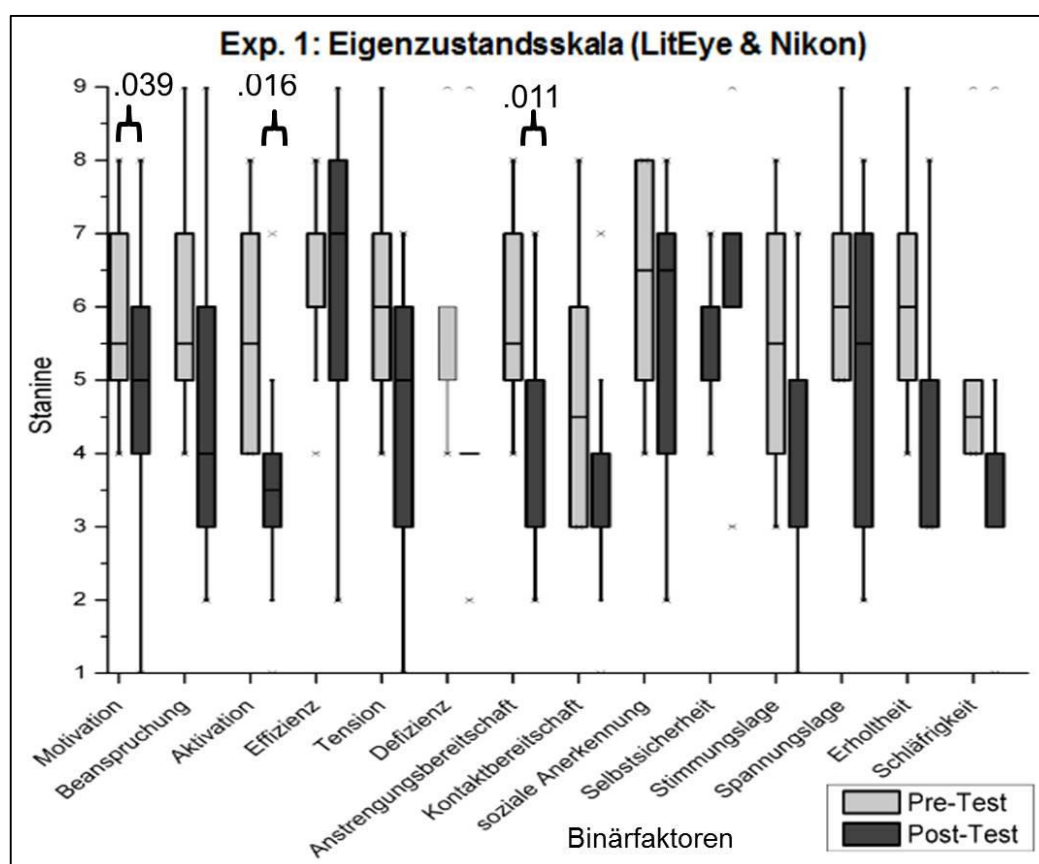
Für die Auswertung des Fragebogens aus Experiment 2 für das HMD Nomad wurde der t-Test für eine gepaarte Stichprobe verwendet.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 EZ – Fragebogen

#### 5.1.1 Experiment 1

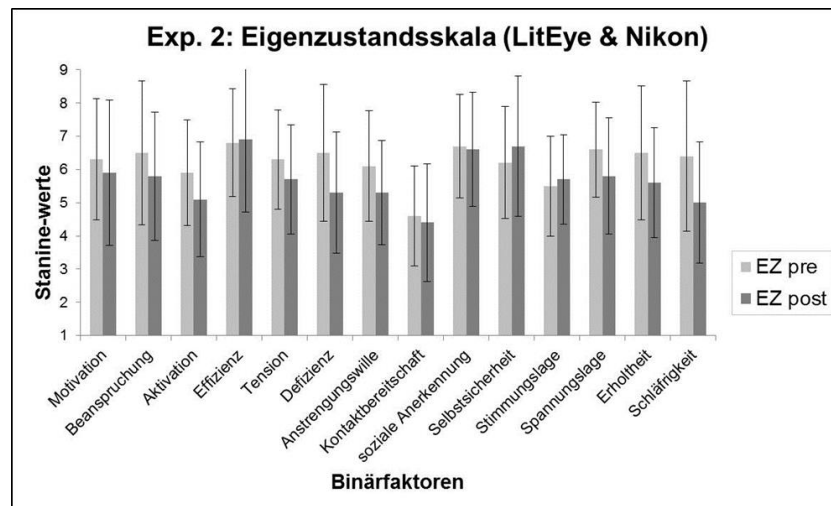
Die Auswertung der Fragebögen vor und nach dem ersten Experiment ergibt eine signifikante Motivationsabnahme ( $p = .039$ ) im Vorher-Nachher-Vergleich. Zusätzlich lassen sich signifikante Abfälle für die Faktoren „Aktivation“ ( $p = .016$ ) und „Anstrengungsbereitschaft“ ( $p = .011$ ) feststellen (Abb. 20).



**Abbildung 20: Experiment 1 (Exp. 1): Vergleich der Stanine-Werte für die Faktoren der EZ-Skala vor und nach dem ersten Experiment mit den HMDs LitEye und Nikon**

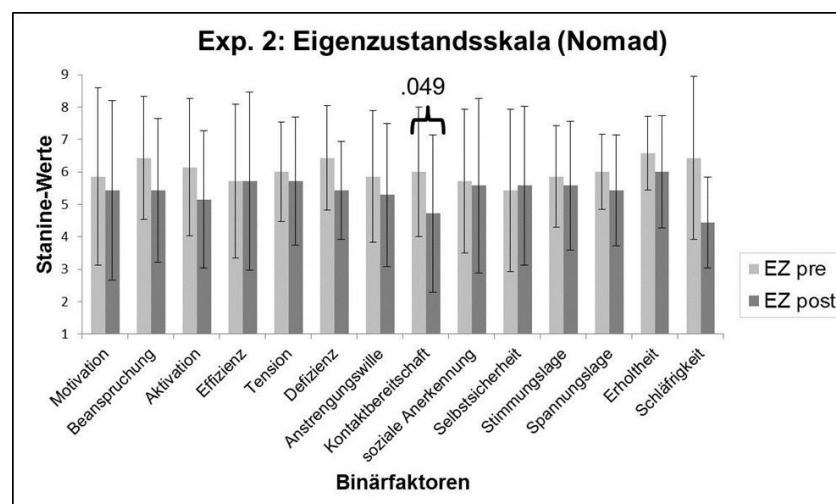
### 5.1.2 Experiment 2

Die Auswertung der Fragebögen vor und nach dem zweiten Experiment mit den HMDs LitEye und Nikon ergibt keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Belastung beim Wechsel zwischen den Medien (Abb. 21).



**Abbildung 21: Experiment 2 (Exp. 2): Vergleich der Stanine-Werte für die Faktoren der EZ-Skala vor und nach dem zweiten Experiment mit den HMDs LitEye und Nikon**

Betrachtet man für das zweite Experiment die Fragebögen der Probanden, die das Nomad getestet haben, ergibt sich eine signifikante Abnahme ( $p = .049$ ) nur für den Parameter „Kontaktbereitschaft“ (Abb. 22).



**Abbildung 22: Experiment 2 (Exp. 2): Vergleich der Stanine-Werte für die Faktoren der EZ-Skala vor und nach dem zweiten Experiment mit dem HMD Nomad**

## 5.2 Objektive Daten

### 5.2.1 Experiment 1

#### 5.2.1.1 Reaktionszeiten

Zunächst werden die Reaktionszeiten (RT) bei der visuellen Suche ohne Wechsel des Mediums betrachtet. Bei der Aufgabe „Matrix“ gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen Monitor, LitEye und Nikon, sofern kein „P“/„R“ oder ein R eingeblendet wurden. Erschien jedoch zeitgleich ein „P“ in der Matrix, so erfolgte eine signifikant langsamere Reaktion ( $p = .048$ ) auf die Matrix beim HMD LitEye (RT = 1147,4 ms) im Vergleich zum HMD Nikon (RT = 1004,3 ms). Bei der Aufgabe „Go-NoGo“ lässt sich ein signifikanter Unterschied der Reaktionszeit ( $p = .007$ ) zwischen Monitor (RT = 950,3 ms) und Nikon (RT = 1073,1 ms) bei der Reaktion auf das „P“ feststellen (Abb. 23, Anhang 2). Die Probanden waren bei der Reaktion auf den Monitor schneller.

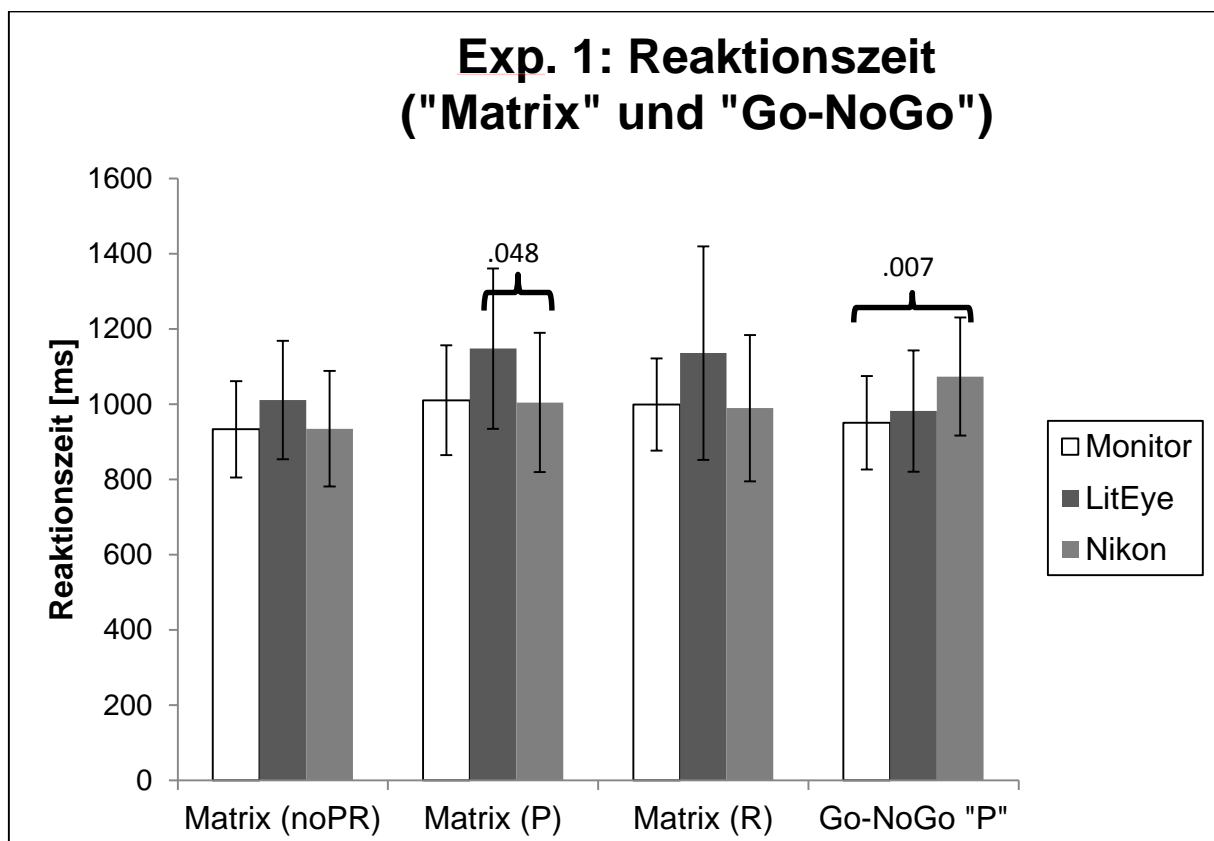
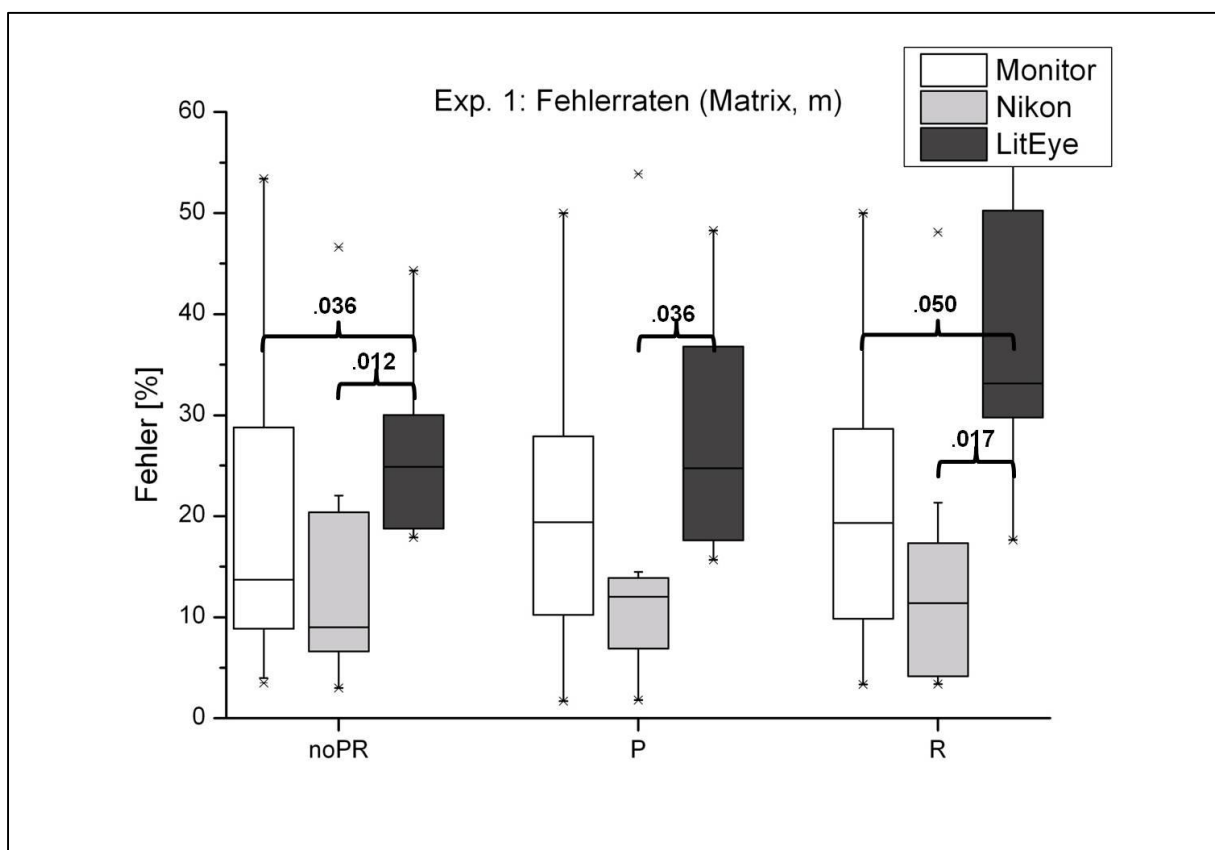


Abbildung 23: Experiment 1 (Exp. 1): Reaktionszeiten Monitor vs. LitEye vs. Nikon



### 5.2.1.2 Fehlerraten

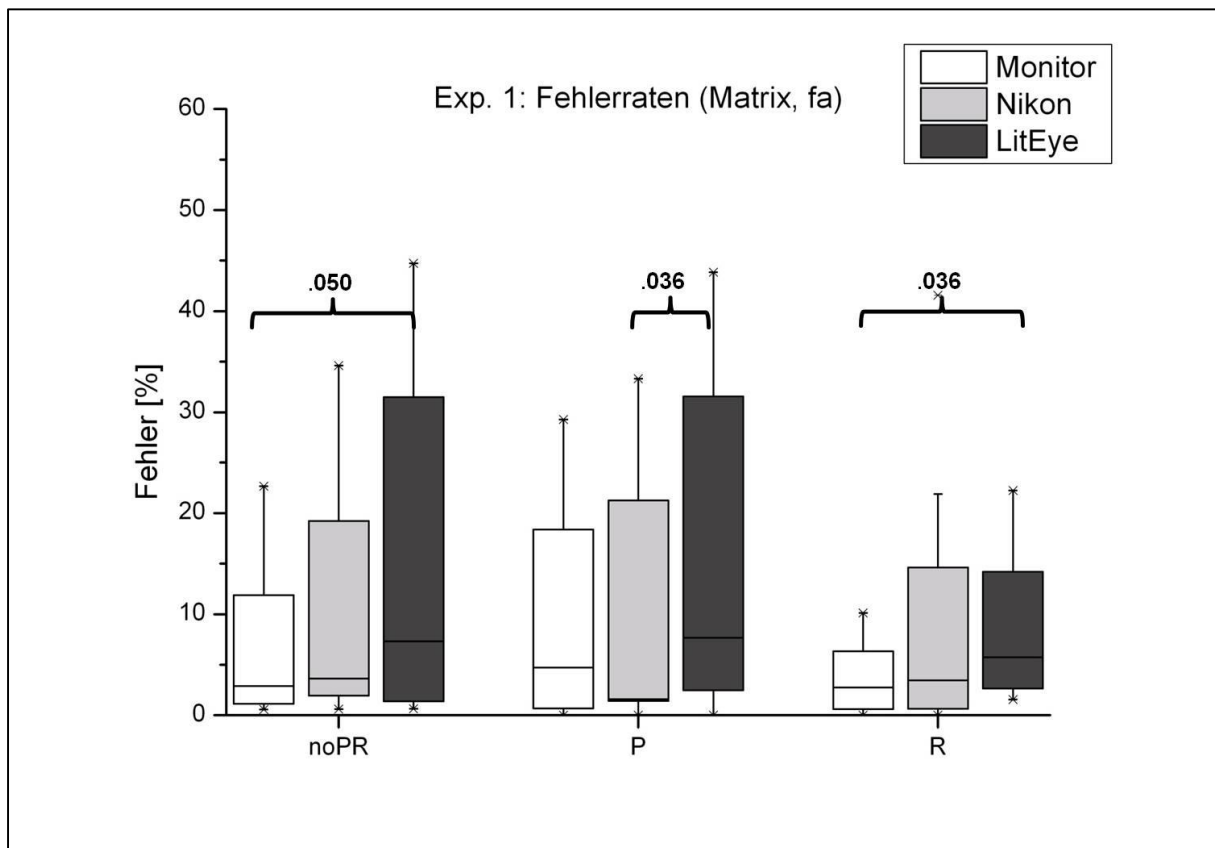
Im Folgenden werden die Fehlerraten bei der visuellen Suche ohne Wechsel des Mediums analysiert. Anhand der Abbildung 24 (vgl. Anhang 3) wird die Aufgabe „Matrix“ für den Parameter „missed“ betrachtet. Wurden in die Matrix weder „P“ noch „R“ eingeblendet, ergibt sich ein signifikanter Unterschied ( $p = .036$ ) zwischen Monitor (Fehlerrate 13,1 %) und LitEye (Fehlerrate 24,9 %) und eine Abweichung zwischen LitEye (Fehlerrate 24,9 %) und Nikon (Fehlerrate 9 %) mit einer Signifikanz  $p = .012$ . Erschien in der Matrix ein „P“, so wurde nach dem Anzeigen des Zielreizes (0 – Ziffer) beim Tragen des HMD Nikon signifikant ( $p = .036$ ) weniger häufig falsch (Fehlerrate 12 %) gedrückt als beim HMD LitEye (Fehlerrate 24,7%). Bei Einblendung des Reizes „R“ ergibt sich ebenfalls eine signifikante Differenz ( $p = .017$ ) bezüglich der Fehlerrate im Vergleich der HMDs LitEye (Fehlerrate 33,1%) und Nikon (Fehlerrate 11,4%).



**Abbildung 24: Experiment 1: Fehlerraten (Matrix, missed [m]) Monitor vs. Nikon vs. LitEye**

Nachfolgend wird die Aufgabe „Matrix“ für den Parameter „fa“ anhand der Abbildung 25 (vgl. Anhang 3) betrachtet. Im Vergleich Monitor und LitEye kann ein signifikanter Unterschied ( $p$

= .050) bei der Reaktion auf „no PR“ festgestellt werden. Die Fehlerrate beträgt auf dem Monitor 2,9 % und auf dem LitEye 7,3 %. Wurde in die Matrix ein „P“ eingeblendet, ergibt sich auf dem LitEye eine Fehlerrate von 7,7 % und auf dem HMD Nikon 1,6 % ( $p = .036$ ) bei der Reaktion auf den Zielreiz (0 – Ziffer). Eine weitere Abweichung in den Fehlerraten ließ sich finden, sobald ein „R“ eingeblendet wurde und auf die Matrix reagiert werden sollte ( $p = .036$ ). Die Probanden zeigten bei der Bearbeitung auf dem Monitor eine Fehlerrate von 2,7 %. Bei der Bearbeitung auf dem HMD LitEye konnte eine Fehlerquote von 5,7 % ermittelt werden.



**Abbildung 25: Experiment 1: Fehlerraten (Matrix, false [fa]) Monitor vs. Nikon vs. LitEye**

Weiterhin wurde die Aufgabe „Go-NoGo“ bezüglich der Fehlerrate betrachtet (Abb. 26 / Anhang 3). Dabei bedeutet der Parameter „error P“, dass das Einblenden des „P“ ignoriert wurde. „Error R“ besagt, dass „R“ nicht missachtet wurde. Bei letzterem Parameter konnten keine signifikanten Diskrepanzen festgestellt werden. Die visuelle Suche ohne Wechsel des Mediums ergab für den Parameter „error P“ hinsichtlich des Monitors eine Fehlerrate von 4 % und für das HMD LitEye 6 % ( $p = .012$ ). Vergleicht man Monitor und Nikon (Fehlerrate 6 %), so ergibt sich ein signifikanter Unterschied ( $p = .049$ ).

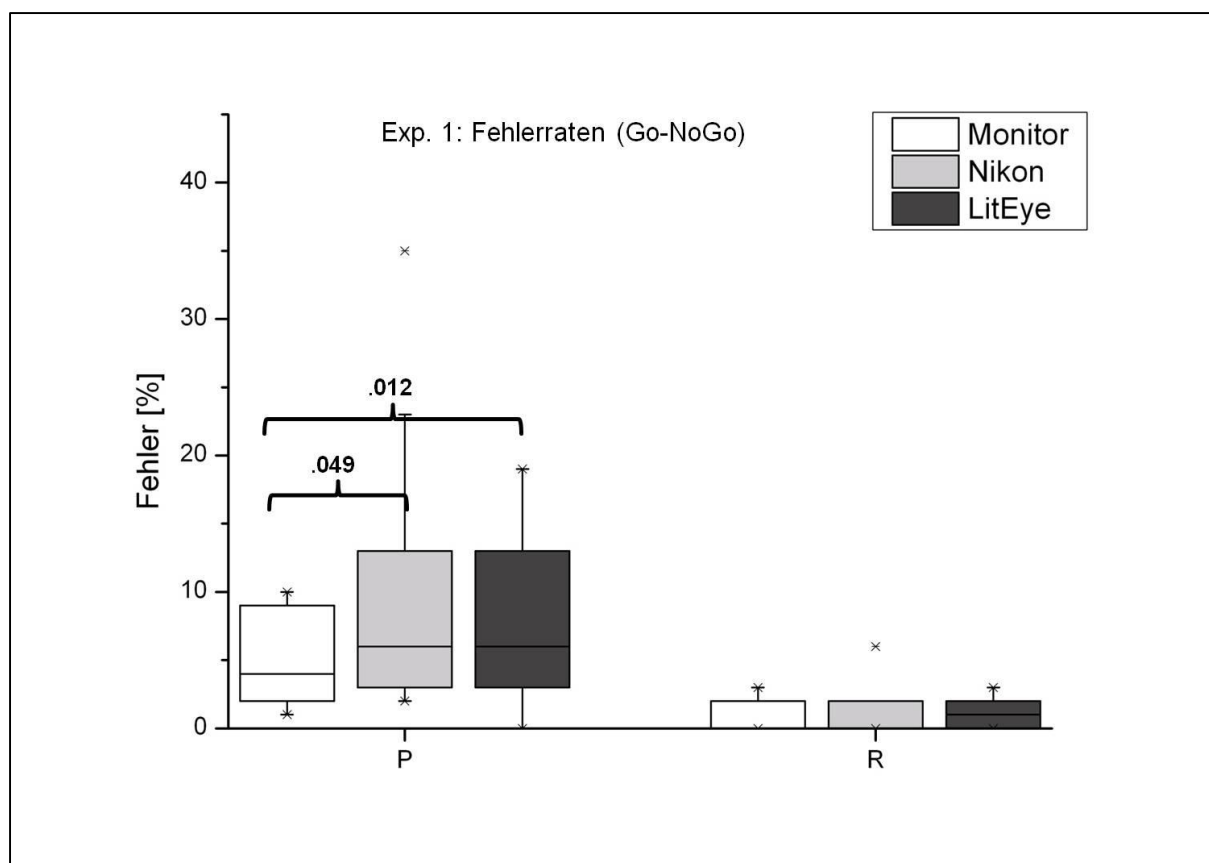


Abbildung 26: Experiment 1: Fehlerraten der Go-NoGo-Aufgabe Monitor vs. Nikon vs. LitEye

## 5.2.2 Experiment 2

In einem zweiten Experiment wurden ebenfalls Reaktionszeiten und Fehlerraten in Bezug auf die Zielaufgabe der Probanden ermittelt. Dabei wechselte die Darbietung der Aufgabe randomisiert zwischen Monitor versus LitEye, Monitor versus Nikon, Monitor versus Nomad.

### 5.2.2.1 Reaktionszeiten

Nachfolgend wurden die Reaktionszeiten bei einem zufälligen Wechsel der Medien im Hinblick auf die unterschiedlichen HMDs verglichen (Abb. 27 / Anhang 4). In den Reaktionszeiten auf die Matrix konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Für die Aufgabe „Go-NoGo“ (Abb. 28 / Anhang 4) konnte gezeigt werden, dass im Versuch „Nikon vs. Monitor“ die Reaktionszeit bei Einblendung des „P“ auf den Monitor signifikant ( $p = .016$ ) langsamer war ( $RT = 989,5$  ms) als im Versuch „Nomad vs. Monitor“ ( $RT = 870,5$  ms). Ebenso war im Versuch „Nikon und Monitor“ die Reaktionszeit bei Einblendung des „P“ auf dem HMD signifikant ( $p = .009$ ) langsamer ( $RT = 978,8$  ms) als im Versuch „LitEye vs. Monitor“ ( $RT = 860,3$  ms).

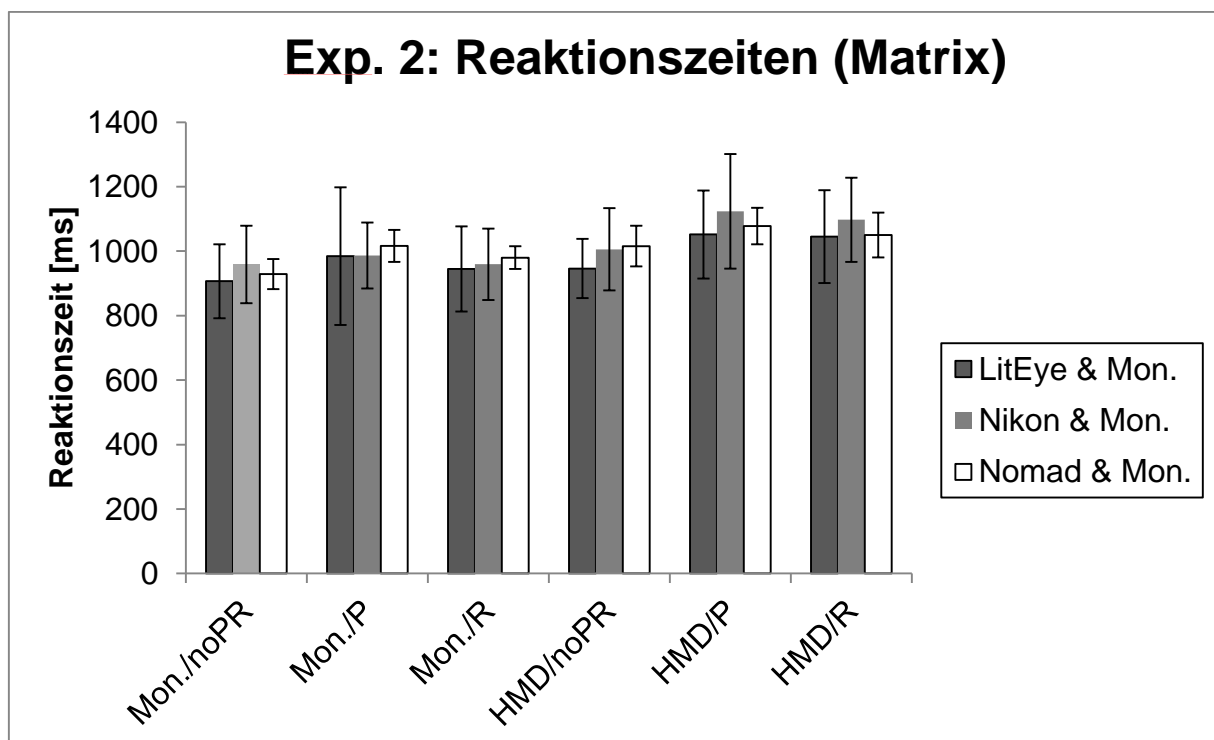


Abbildung 27: Experiment 2: Reaktionszeiten der Matrix-Aufgabe

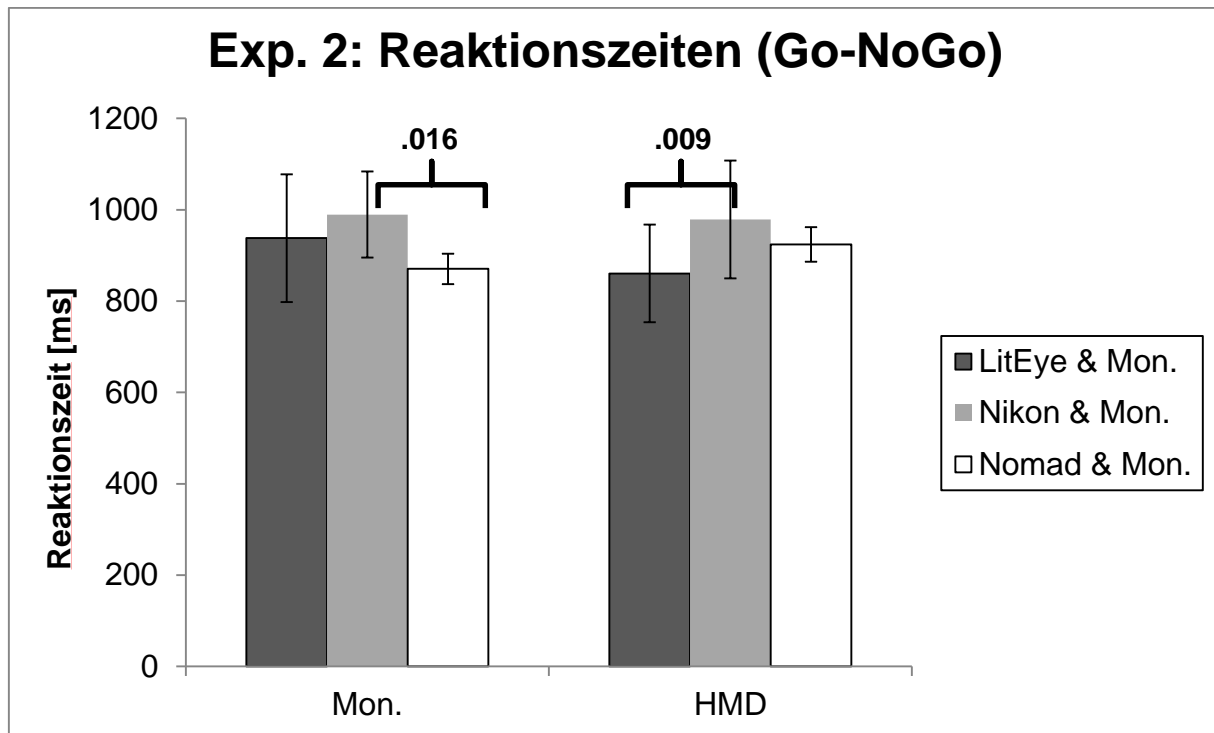
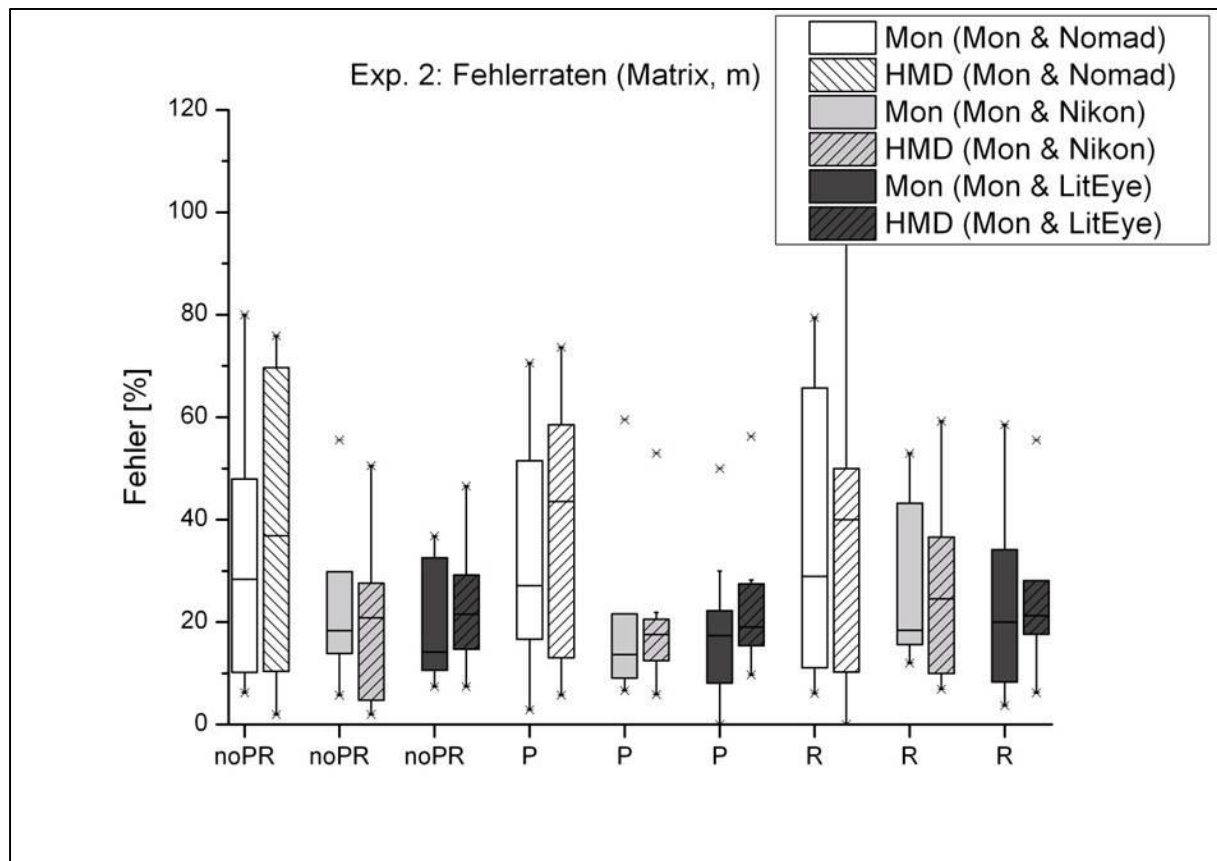


Abbildung 28: Experiment 2: Reaktionszeiten der Go-NoGo-Aufgabe

### 5.2.2.2 Fehlerraten

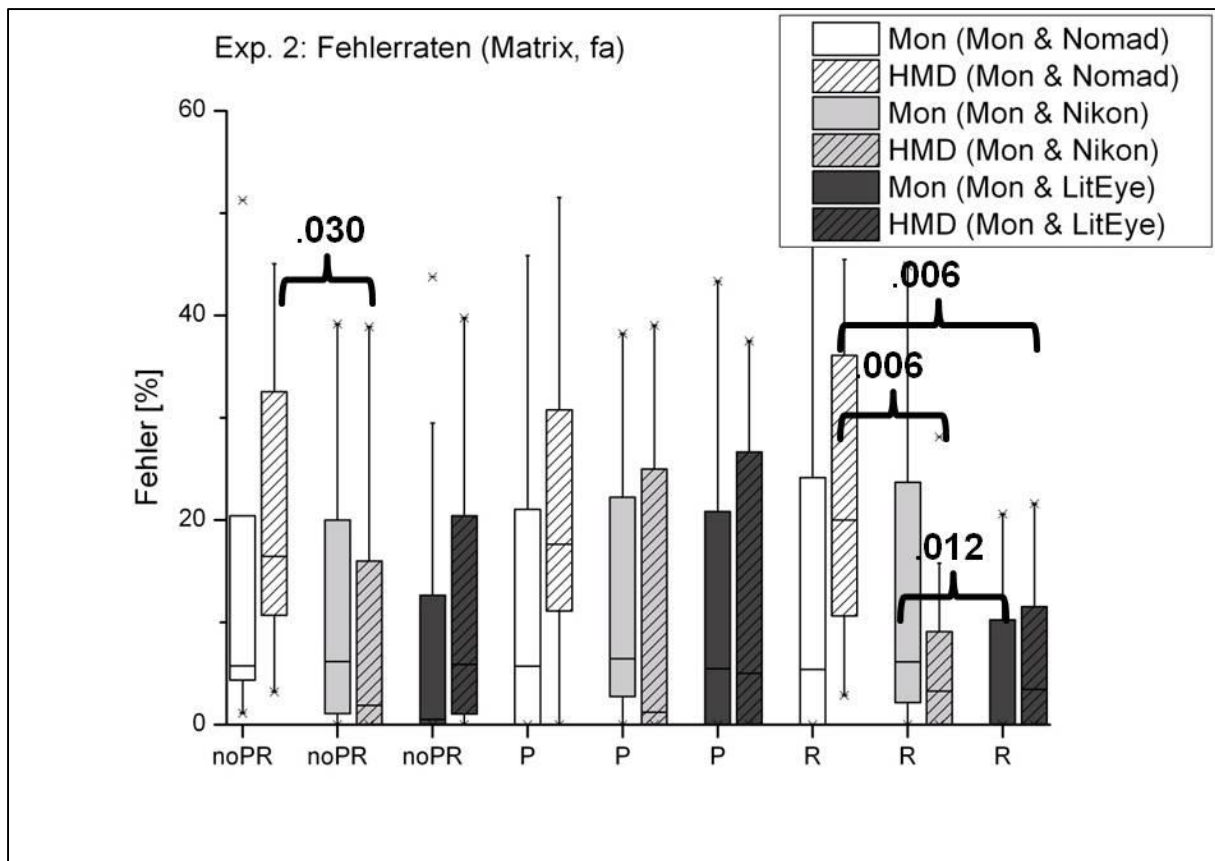
Die Fehlerraten werden separat für „Matrix“ und „Go-NoGo“-Aufgabe evaluiert.

Für den Fehlertyp „m“ im Hinblick auf die Matrix können keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Abb. 29/ Anhang 5 und Anhang 6).



**Abbildung 29: Experiment 2: Fehlerraten der Matrix-Aufgabe (m)**

Bei der visuellen Suche mit Wechsel der Medien ergab sich innerhalb der Aufgabe „Matrix“ für den Fehlertyp „fa“ (Abb. 30/ Anhang 5 und Anhang 6) eine signifikant ( $p = .030$ ) geringere Fehlerrate auf der Nikon falls nur der Zielreiz (0 - Ziffer) allein eingeblendet wurde (FR = 1,9 %) im Vergleich zum HMD Nomad (FR = 16,5 %). Für den Fall, dass zusätzlich ein „R“ aufgezeigt wurde, konnten signifikante Abweichungen auf dem LitEye (FR = 3,5 %) im Vergleich zum Nomad ( $p = .006$ ; FR = 20,0 %) ermittelt werden. Außerdem besteht eine signifikant niedrigere Fehlerrate beim Nikon (FR = 3,3 %) als beim Nomad (FR = 20,0 %;  $p = .006$ ). Beim Wechsel vom LitEye auf den Monitor wurden bei dieser Aufgabe keine Fehler für den Monitor registriert. Beim Wechsel von der Nikon auf den Monitor, kam es zu einer Falschantwort von 6,2% ( $p = .012$ ) für den Monitor.



**Abbildung 30: Experiment 2: Fehlerraten der Matrix-Aufgabe (fa)**

Für die Aufgabe „Go-NoGo“ (Abb. 31 / Anhang 5 und Anhang 6) ergaben sich für die visuelle Suche mit einem Wechsel der Medien für Nomad und Nikon signifikante Abweichungen. Vergleicht man die Fehlerraten der Monitore bei der Reaktion auf „R“, wurde eine Fehlerdifferenz von 12,8 % (Monitor [Nikon] 15,5 %, Monitor [Nomad] 2,7 %;  $p = .024$ ) ermittelt. Stellt man die Fehlerraten der HMDs gegenüber, zeigt sich eine höhere Fehlerrate auf der Nikon (FR = 16,0 %) im Vergleich zum Nomad (FR = 2,7 %;  $p = .004$ ).

Im Vergleich der Fehlerraten bei eingeblendetem „R“ für die HMDs LitEye und Nikon lassen sich ebenfalls signifikante Abweichungen zum einen für die Fehlerrate auf dem Monitor (Monitor [LitEye] 1,5 %, Monitor [Nikon] 15,5 %;  $p = .041$ ) und zum anderen im Vergleich der HMDs (LitEye 1,5 %, Nikon 16,0 %;  $p = .008$ ) miteinander feststellen. Beim HMD Nikon ist insgesamt eine höhere Fehlerrate zu verzeichnen.

Bei eingeblendetem „P“ zeigen sich im Vergleich LitEye versus Nikon sowohl für die Fehlerrate auf dem Monitor (2,0 % versus 8,5 %;  $p = .005$ ) als auch in der Gegenüberstellung der HMDs (Liteye 1,5 %, Nikon 7,5 %;  $p = .028$ ) signifikant höhere Fehlerraten beim HMD Nikon.

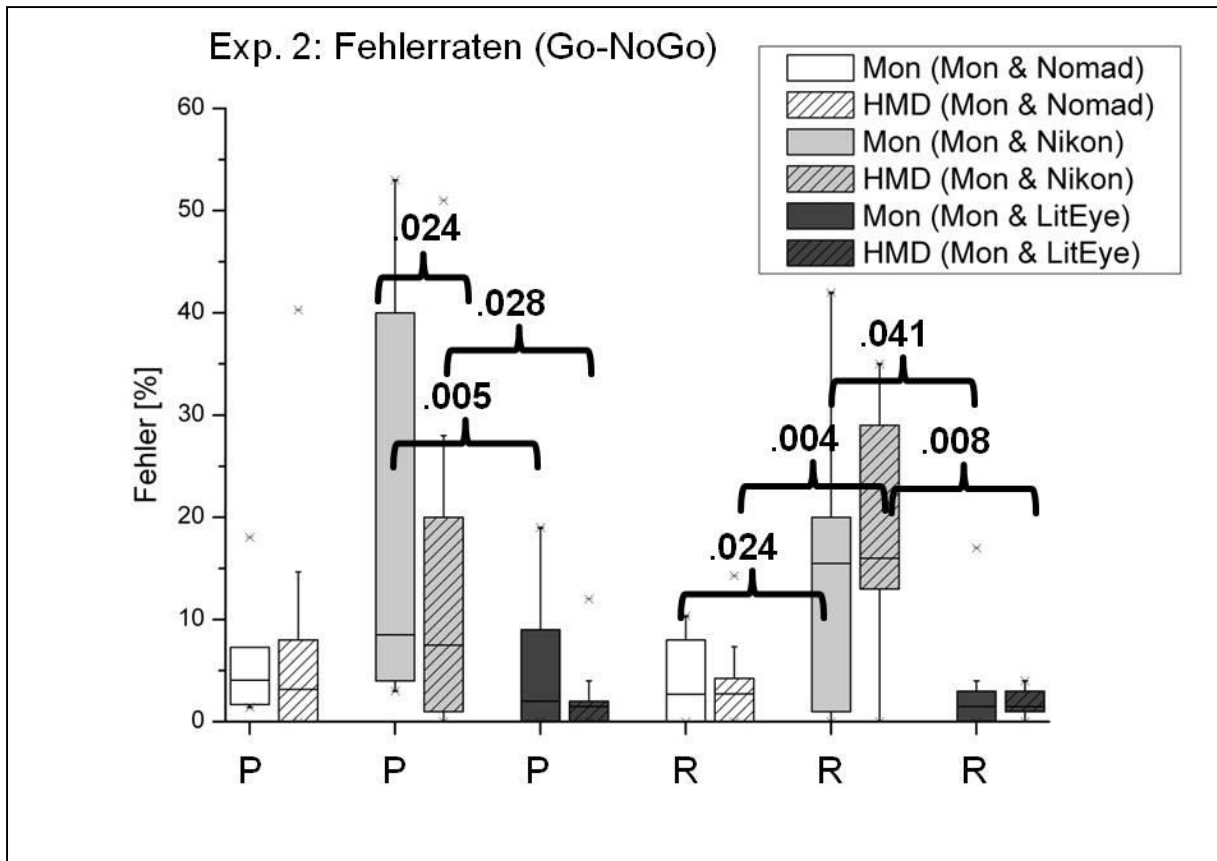


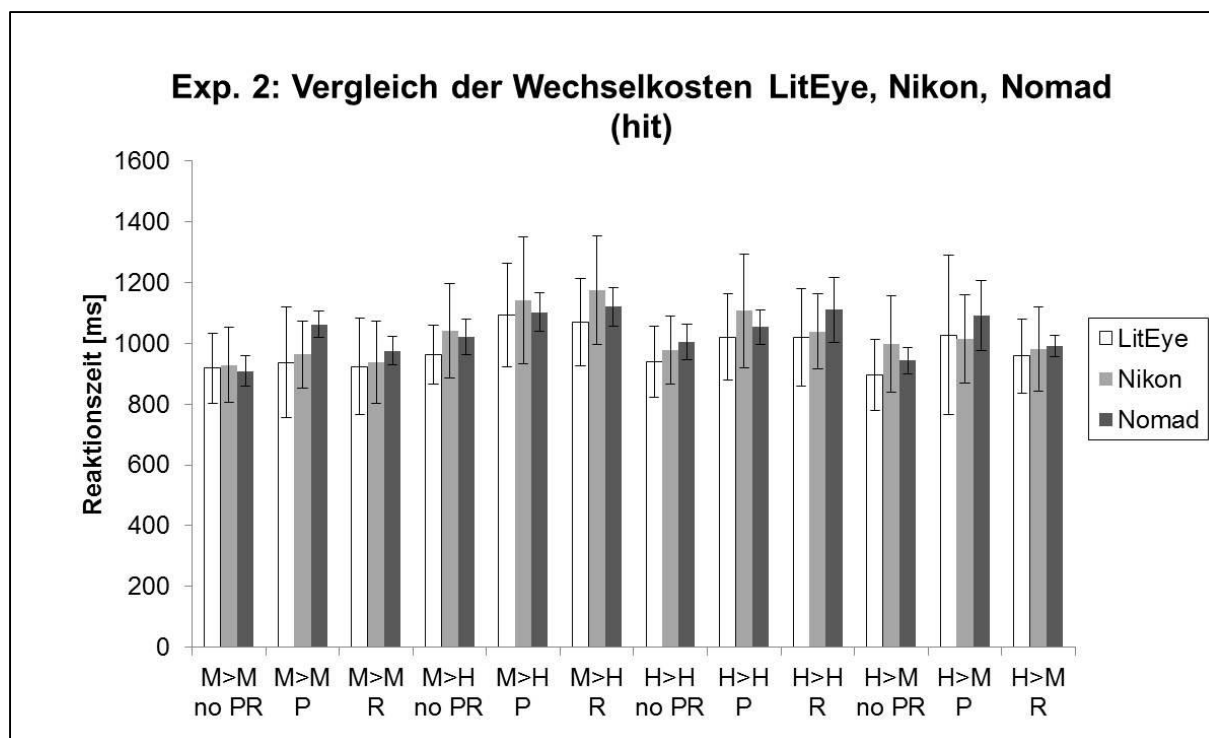
Abbildung 31: Experiment 2: Fehlerraten der Go-NoGo-Aufgabe



### 5.2.2.3 Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Wechselsequenzen

In diesem Abschnitt werden die Reaktionszeiten der h-Situationen in Unterscheidung der Wechselsequenzen der Medien separat für jedes HMD bzw. im Vergleich der HMDs geprüft.

In Unterscheidung der Wechselsequenzen sind beim Vergleich LitEye vs. Nikon vs. Nomad keine Unterschiede signifikant (Abb. 32, Anhang 7).



**Abbildung 32: Experiment 2: Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Sequenz des Mediumwechsels; LitEye vs. Nikon vs. Nomad**

Beim Vergleich innerhalb der einzelnen HMDs gibt es signifikante Differenzen in den Reaktionszeiten innerhalb der verschiedenen Wechselsequenzen.

Beispielsweise ist für das LitEye (Abb. 33, Anhang 8) unter der Bedingung „R“ die Sequenz Mon→Mon vs. Mon→HMD hervorzuheben ( $p = .005$ ). Bei dem HMD Nomad (Abb. 34, Anhang 8) gibt es unter der Bedingung „NoPR“ ebenfalls signifikante Unterschiede ( $p = .002$ ) und zusätzlich für die Sequenz Mon→Mon vs. HMD→HMD ( $p = .036$ ). Falls ein „R“ gezeigt wurde, liegt ein signifikanter Unterschied für das HMD Nomad in der Sequenz Mon→HMD vs. HMD →Mon ( $p = .023$ ) vor.

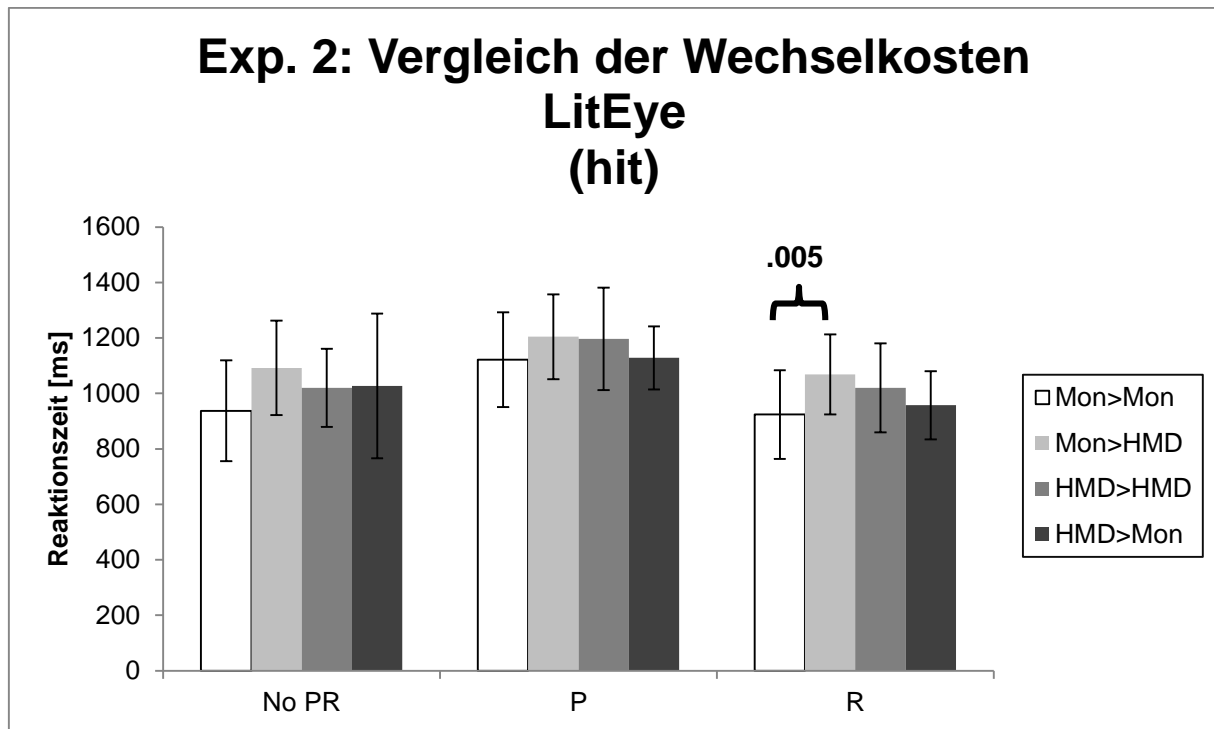


Abbildung 33: Experiment 2: Vergleich der Wechselkosten (LitEye)

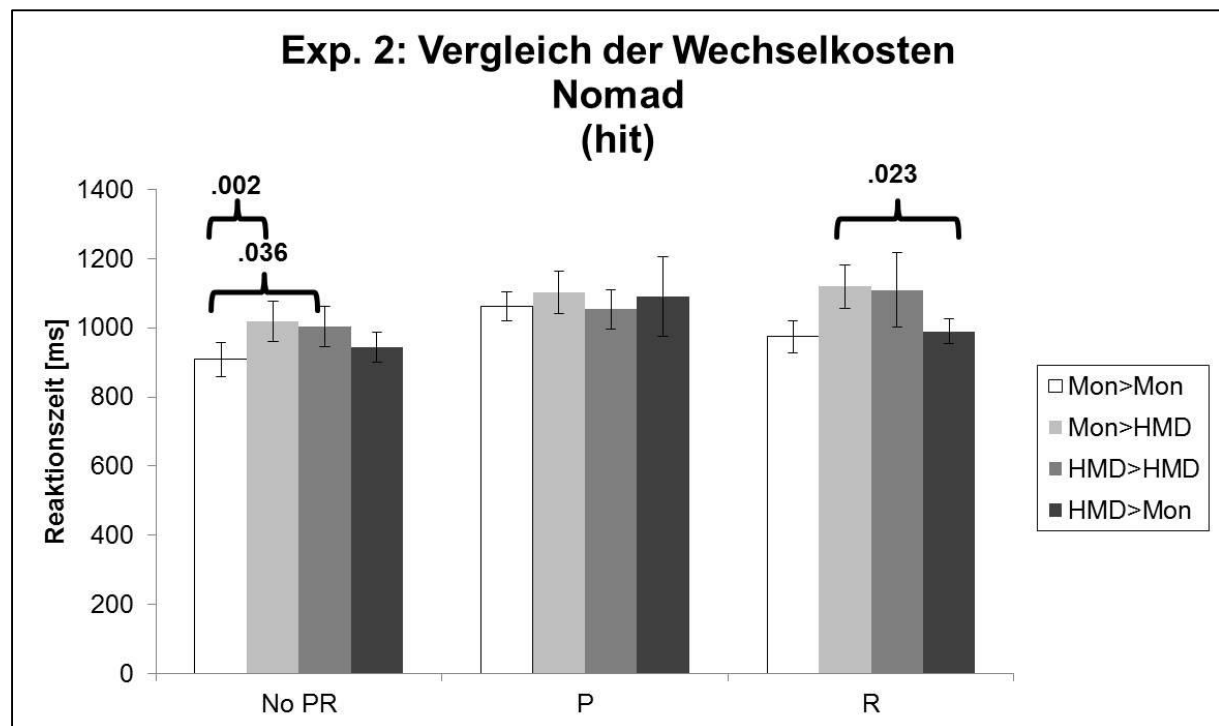
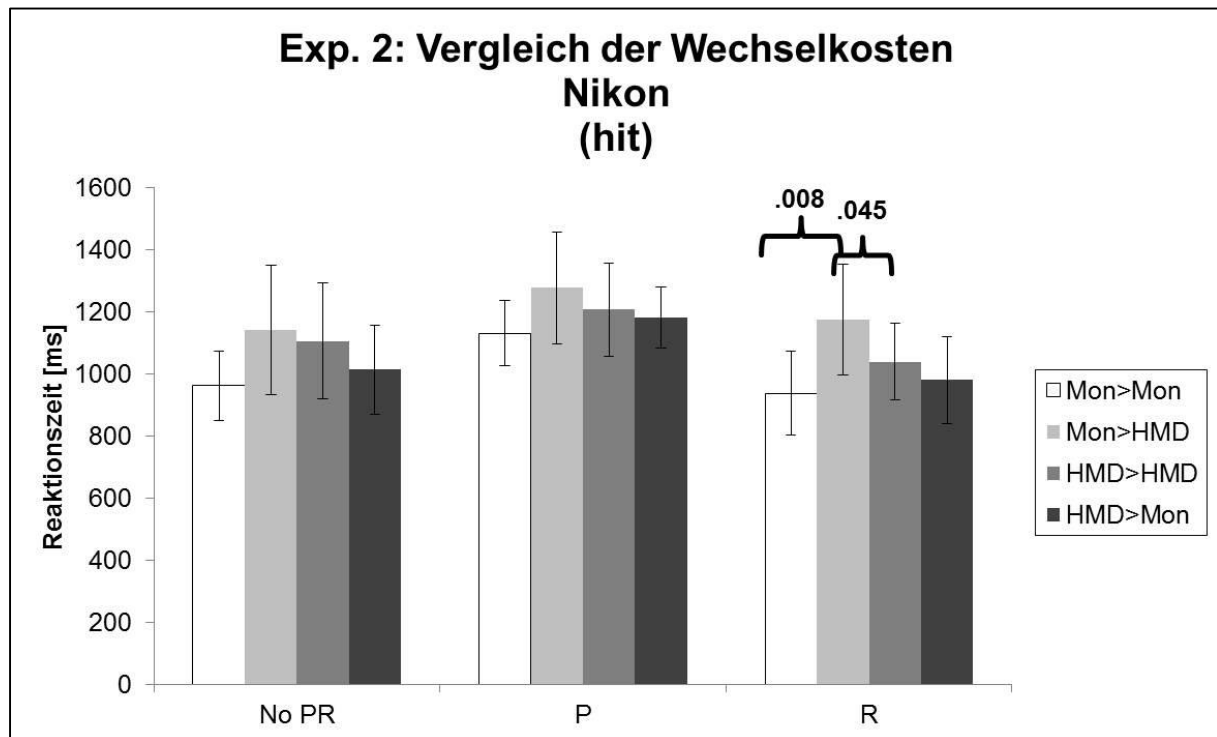


Abbildung 34: Experiment 2: Vergleich der Wechselkosten (Nomad)

Für das HMD Nikon (Abb. 35, Anhang 8) ist bei der Reaktion auf die Matrix unter der Bedingung „R“ die Sequenz Mon→Mon vs. Mon→HMD hervorzuheben ( $p = .008$ ) und zusätzlich liegt ein signifikanter Unterschied für die Sequenz Mon→HMD vs. HMD→HMD ( $p = .045$ ) vor.



**Abbildung 35: Experiment 2: Vergleich der Wechselkosten (Nikon)**

### 5.2.3 Experiment 3

Nachdem die Vergenz mittels Eyetracker bestimmt werden konnte, ergeben sich bei dem HMD Liteye (25,9 mm) und Nikon (124,25 mm) signifikante Unterschiede in der Tiefenwahrnehmung ( $p = .049$ ). Des Weiteren lassen sich signifikante Differenzen ( $p = .038$ ) im Vergleich Nikon versus Nomad (22,04 mm) feststellen. Die virtuellen Informationen werden mit dem HMD Nikon deutlich vor der Bildebene, somit dichter am Probanden, erfasst (vgl. Abb. 36, Anhang 9).

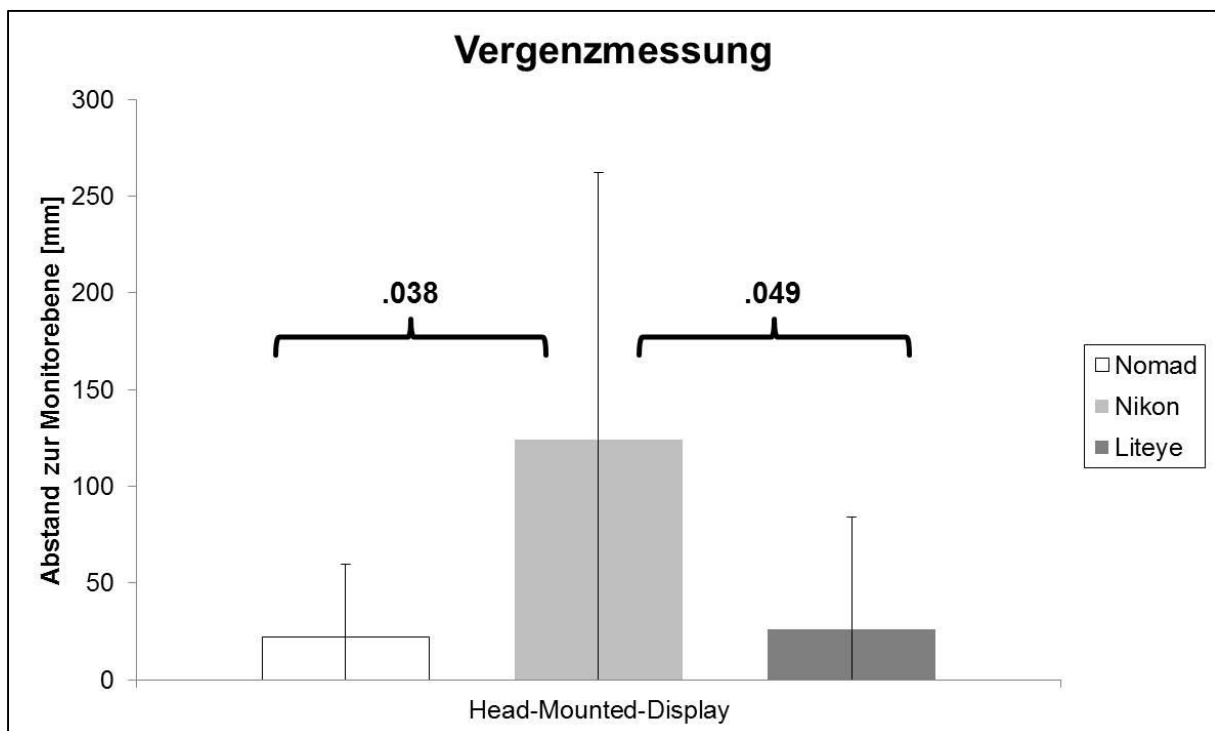


Abbildung 36: Experiment 3 (Vergenzmessung): Abstand relativ zur Monitorebene Nomad vs. Nikon vs. LitEye

## 6 Diskussion und Schlussfolgerungen

Um die Einbettung von AR-Assistenzsystemen in Arbeitsabläufe weiter voranzutreiben, müssen zunächst Aussagen über den Einsatz und die Nutzbarkeit dieser Systeme getroffen werden. Für die Optimierung eines Arbeitsprozesses gilt es daher ein geeignetes HMD auszuwählen, das sowohl dem technischen Anspruch als auch der Nutzerakzeptanz genügt. Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der drei getesteten HMDs soll dies im folgenden Kapitel anhand der erarbeiteten Hypothesen diskutiert werden.

**Frage 1:** Erfordert die mittlere Bearbeitungsdauer einer Suchaufgabe auf dem AR-Gerät mehr Zeit als auf dem Monitor?

*Hypothese 1: Die Anwendung eines AR-Gerätes für die Bearbeitung einer Suchaufgabe führt im Vergleich zur Bearbeitung am Monitor zu einer signifikant höheren Bearbeitungsdauer, gemessen anhand von Reaktionszeiten.*

Tritt ein unerwartetes Ereignis auf, sind lediglich die Reaktionszeiten bei Verwendung des Nikon im Vergleich mit dem Monitor signifikant größer. Ähnliches gilt auch beim Wechsel der Medien. Bei der Reaktion auf die Matrix können keine signifikanten Unterschiede in den Reaktionszeiten gezeigt werden. Die Hypothese kann daher nur teilweise bestätigt werden, da es nicht bei allen verwendeten AR-Geräten zu signifikant höheren Reaktionszeiten kommt.

Des Weiteren konnte in Experiment 1 gezeigt werden, dass die Reaktionszeit auf dem LitEye im Durchschnitt 10 % länger ist als auf der Nikon, jedoch nur solange bis eine für die Probanden unerwartete Situation auftauchte, hier die Einblendung des „P“. In diesem Fall benötigten die Probanden eine längere Bearbeitungsdauer auf der Nikon. Eine Ursache, dass die Probanden zunächst auf dem OST-HMD mehr Zeit benötigten, ist die erhöhte Umgebungshelligkeit im Zusammenhang mit der Durchlässigkeit des HMD (Azuma 1997). Je durchlässiger das Display ist, desto weniger gelingt die kontraststarke Darstellung virtuell eingepflegter Reize. Die Displaytransparenz des LitEye erschwert eine schnelle Reaktion auf die eingespielte Information (Patterson et al. 2006). Für die verlängerte Bearbeitungsdauer bei unerwarteten Situationen auf der Nikon, auch besonders in Bezug auf einen Wechsel zwischen verschiedenen Medien, ist ein Zusammenhang mit dem Gesichtsfeld anzunehmen (Drascic & Milgram 1996,

Schaer & Thum 2007). Während auf dem LA-HMD die Informationen vor einem schwarzen Hintergrund mit begrenztem Gesichtsfeld dargestellt werden, ist auf dem OST-HMD ein größeres Gesichtsfeld gegeben, was bei unerwarteten Reizen ein Vorteil ist. Studien von Lessels & Ruddle (2005) sowie von Ruddle & Jones (2001) zeigten, dass bei zunehmend kleinerem Gesichtsfeld Aufgaben langsamer und unsicherer bearbeitet wurden. In gleichem Zusammenhang ist auch das Verhältnis von Auflösung (OST-HMD 800 x 600 Pixel, LA-HMD 600 x 480 Pixel) und dem Gesichtsfeld von Bedeutung (Cakmakci & Rolland 2006, Drascic & Milgram 1996, Oehme 2004, Schaer & Thum 2007).

**Frage 2:** Inwieweit lenkt die Verarbeitung von Reizen auf dem AR-Gerät von der Wahrnehmung realer Reize ab und umgekehrt?

***Hypothese 2:** Die präsentierten Reize der Suchaufgabe werden auf unterschiedlichen Medien dargestellt. Es wird angenommen, dass bei der Bearbeitung Wechselkosten, gemessen an Reaktionszeiten, entstehen. Die Wechselkosten führen dazu, dass ein Gefahrensignal übersehen wird. Hierfür werden Fehlerraten bei der Bearbeitung der Suchaufgabe erfasst und analysiert.*

Bei der Analyse der Fehlerrate („Matrix“) im ersten Experiment ergab sich im Gesamtdurchschnitt eine circa 60 % höhere FR für das HMD LitEye. Es wird vermutet, dass die hohe FR beim OST-HMD ebenfalls auf die nicht-ausreichende Kontrastierung im Display selbst zurückgeführt werden kann (Friedrich 2004).

Auch hier sollte man das unerwartete Auftreten des Reizes „P“ bei der Go-NoGo-Aufgabe losgelöst betrachten. Den Probanden bereitet dies mit beiden HMDs Probleme. Evident an den FR schneidet der Monitor grundsätzlich am besten ab. Wie bereits in einer Studie von Huckauf et al. (2010) vermutet wurde, könnte dieser Effekt darauf zurückzuführen sein, dass die Probanden im Umgang mit Monitoren vertraut sind. Bei längerer Tragedauer der HMDs sollte sich jedoch ein Lerneffekt einstellen, was eine Studie von Schmidt et al. (2005) belegt.

Im Experiment 2 ließen sich keine signifikanten Unterschiede in den Reaktionszeiten für die Aufgabe „Matrix“ nachweisen. Jedoch wird auch hier wieder einmal deutlich, dass bei unerwarteter Reizeinblendung (Aufgabe „Go-NoGo“) inklusive Wechsel der Medien (beispielsweise ein Wechsel der Anzeige vom M auf das HMD) zeitliche Kosten (besonders für das HMD Nikon) entstehen. So benötigt die Reaktion mit Mediumwechsel in der Versuchsreihe

Nikon 12 % länger als bei den HMD Nomad und LitEye. Dies liegt darin begründet, dass im Gegensatz zum OST-HMD die reale Welt nicht einfach durch das Display gesehen werden kann. Vielmehr wird der Nutzer dazu aufgefordert, das Auge zu rotieren, damit er um das Display „herumsehen“ kann (Rolland & Fuchs 2000, Schmidt et al. 2005). Dieses Umfokussieren könnte zu einer zeitlichen Verzögerung führen (Holloway 1997). So beschreibt Azuma et al. (2001), dass eben diese zeitlichen Verzögerungen die meisten Registrierfehler hervorrufen. Bezüglich der Fehlerrate kann erneut bestätigt werden, dass die FR mit Auftreten eines unerwarteten Signals (Aufgabe „Go-NoGo“) beim HMD Nikon über den FR der anderen HMDs lag. Ein Grund für dieses Ergebnis könnte sein, dass sich in der Realität Objekte normalerweise in verschiedenen Distanzen zum Betrachter präsentieren. Die Anwendung der Augmented Reality sieht es jedoch auf dem HMD vor, virtuelle Objekte in gleicher Distanz digital zu projizieren (Azuma 1997). Die zu interpretierenden Reize sind daher nicht exakt zur Deckung zu bringen, was den Nutzer zwangsläufig anstrengen muss (Schmidt et al. 2005) und in der Konsequenz zu Fehlern führt. Yamazoe et al. (2010) untermauern dies, indem sie darauf hinweisen, dass monokulare HMDs das Stereosehen erschweren oder gar unmöglich machen und Parallaxenfehler auftauchen. Cakmakci & Rolland (2006), Drasic & Milgram (1996) sowie Rall et al. (2006) sprechen von einem sogenannten „Akkommodations-Vergenz-Konflikt“. Nach Rall lässt sich der Konflikt wie folgt erklären: Betrachtet man einen Gegenstand in der realen Welt, sind die Augen auf diesen fokussiert (Akkommodation, vgl. Kapitel 2.1) und konvergiert (vgl. Kapitel 2.2). Die Akkommodations- und die Konvergenz-Ebenen stimmen überein. Beim Anblick eines virtuellen Gegenstandes durch ein Displaysystem jedoch werden die Augen auf dem Display fokussiert und außerhalb des Bildschirms konvergiert. Das ist ein wesentlicher Unterschied zwischen dem gewohnten Sehen und dem Displaysehen. Dieser aus der gewohnheitsmäßigen Akkommodation-Vergenz-Beziehung resultierende Konflikt ist eine Ursache für die Überanstrengung der Augen, die sich beim Wechsel der Medien ergibt. (Cakmakci & Rolland 2006).

Somit kann auch diese Hypothese nur teilweise bestätigt werden, da nicht nur die Wechselkosten allein zu einer höheren Fehlerrate führen. Die Untersuchungen liefern Ansätze, dass die Reizverarbeitung auf dem AR-Gerät multifaktoriell beeinflusst werden kann.

**Frage 3:** Falls es Wechselkosten beim Übergang von AR-Gerät zu Monitor und umgekehrt gibt, wodurch entstehen die Wechselkosten?

**Hypothese 3:** *Es wird angenommen, dass mögliche Wechselkosten entstehen, da ein auf dem HMD dargebotener Reiz mit dem realen Hintergrund nicht zur Deckung gebracht werden kann und bereits geringe Tiefenunterschiede vom visuellen System registriert werden. Um dies zu verifizieren, wird die Tiefenwahrnehmung durch eine Blickregistrierung, einem sogenannten Eyetracker (ExeLink II; SR Research), erfasst.*

Im dritten Experiment konnten wesentliche Unterschiede in der Tiefenwahrnehmung bei dem HMD Nikon ermittelt werden. Die virtuelle Information kann nicht nahtlos in den Handlungsraum des Nutzers integriert werden. Dies deckt sich mit den Untersuchungen von Huckauf et al. (2009), die ebenfalls feststellten, dass eine Diskrepanz in der Vergenz bezüglich M und HMD besteht. Die Hypothese wird somit bestätigt.

**Frage 4:** Fühlt sich der Nutzer bei der Verwendung eines AR-Gerätes belastet?

**Hypothese 4:** *Im Vorher-Nachher-Vergleich nimmt die Belastung, erfasst durch den standardisierten EZ-Fragebogen, bei der Arbeit mit den HMDs generell zu.*

Die Erfassung des Befindens mit Hilfe des Eigenzustand-Fragebogens nach Nitsch hat gezeigt, dass die Motivation grundsätzlich über den Testverlauf abnimmt. Die vorliegende Dissertation bestätigt, was bereits in anderen Studien gezeigt werden konnte: Das subjektive Befinden hat sich nach geleisteter Arbeit verschlechtert (Fritzsche 2006; Pfendler 2007; Roggentin 2009; Tümler et al. 2008). Entgegen den eigenen Annahmen ist jedoch hervorzuheben, dass der Binärfaktor „Beanspruchung“ keinerlei signifikante Unterschiede im Vorher-Nachher-Vergleich aufweist. Dies stimmt mit den Studienergebnissen von Roggentin (2009) überein. Diese haben gezeigt, dass sich bei einem zweistündigen HMD-Einsatz bei einer Kommissionierungstätigkeit keine ausgeprägte Verschlechterung der subjektiven Beanspruchung einstellt. Die Hypothese 4 wird somit abgelehnt.



## Schlussfolgerungen

Treten bei der Arbeit mit unterschiedlichen HMDs Leistungseinbußen auf im Vergleich zu der Arbeit ohne AR-Gerät und falls dies der Fall ist, bei welchem Gerät fällt diese Einbuße am größten aus?

Eine einheitliche Auswirkung bei der Bearbeitung der visuellen Suchaufgabe mit den verwendeten HMDs fehlte. Es konnten nur geringe Effekte beobachtet werden.

Schlussfolgernd kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der geringeren FR beim Wechsel zwischen realem und virtuellem Handlungsfeld ohne Zeitdruck, das HMD Nikon dem HMD LitEye vorzuziehen ist. Kommt es jedoch zu einem nicht vorhersehbaren Ereignis (hier: „Go-NoGo“), respektive eine Gefahrensituation, werden Informationen auf dem LA-HMD verglichen mit LitEye und Nomad jedoch signifikant langsamer und mit einer höheren FR erfasst. Eine zeitnahe und differenzierte Reaktion scheint mit diesem HMD erschwert. Daher ist der Einsatz des LA-HMD zunächst nicht uneingeschränkt empfehlenswert.

Studien von Hakkinen (2003, Hakkinen 2004) weisen darauf hin, dass monokulare HMDs mit undurchlässigem Display, ähnlich dem Typus des LA-HMD, maximal 5 Minuten verwendet werden sollen, da seines Erachtens eine Rivalität zwischen beiden Augen und deren verschiedenen visuellen Inputs entsteht. Dies führe zu einer Wahrnehmungsinstabilität (Patterson et al. 2006, Peli 1990). Auch Cakmakci & Rolland (2006) sowie Laramee & Ware (2002) erwähnen eine derartige Rivalität bei verschiedenen visuellen Inputs in ihren Arbeiten. Dies könnte zur Konsequenz haben, dass es beim Einsatz des LA-HMD häufiger zu Doppelsehen, Augenüberanstrengung, Verschwommensehen und Kopfschmerz kommen kann (Cakmakci & Rolland 2006). Diese und weitere Symptome wurden u.a. auch von Ullmann (2006) festgestellt.

Betrachtet man zum einen die vorliegenden Ergebnisse und zum anderen die Anforderungen an ein nutzerfreundliches HMD (vgl. Zhou et al. 2008) vor dem Hintergrund von Tabellen 1 und 2 auf den Seiten 17 und 18, erfüllt das HMD Nomad die meisten humanzentrierten Kriterien. Es verfügt über ein ergonomisches Design. Außerdem wiegt es nur 220g (Kampmeier et al. 2007). Es erfüllt neben quantitativen Anforderungen (geringere Reaktionszeiten) auch die qualitativen (niedrigere Fehlerraten). Anhand der vorliegenden Ergebnisse zeigt sich, dass die Tiefenwahrnehmung mit dem HMD Nomad im Vergleich zum HMD Nikon weniger

problematisch erscheint. Die virtuelle Information kann nahezu nahtlos in den Handlungsraum des Nutzers integriert werden. Der transparente Plexiglasspiegel erhält das Gesichtsfeld und die natürliche Sicht des Nutzers. Zusammenfassend sind diese Dinge von besonders großer Notwendigkeit in Situationen, die eine hohe Aufmerksamkeit verlangen. Von Vorteil ist, dass der Nutzer beim HMD Nomad die Akkommodation manuell einstellen kann, so dass sich für ihn ein geringerer Akkommodations-Konvergenz-Konflikt als mit anderen HMDs ergibt. Des Weiteren lassen sich, je nach Lichteinfall, 16 Helligkeitsstufen darstellen, so dass entsprechend auf die Bedürfnisse des Nutzers eingegangen werden kann.

Abschließend kann jedoch kein endgültiges Urteil über die generelle Bevorzugung eines HMDs getroffen werden. Weiterführende Untersuchungen mit längerer, kontinuierlicher Tragedauer und anderen Aufgabenschwerpunkten im Hinblick auf die Langzeitwirkung beim Einsatz eines HMDs sind notwendig.

## 7 Ausblick

Vor dem Ziel, das Potenzial der AR zur Verminderung der Beanspruchung des Anwenders zu nutzen, ist eine konsequente Fortführung der hier begonnenen Arbeiten notwendig. Wie die vorliegenden Untersuchungen gezeigt haben, beeinträchtigen die zur Verfügung stehenden HMDs teilweise noch grundlegende Aspekte der Sehfunktion. Untersuchungen zur optimalen Informationsdarstellung müssen angestrebt werden. Um die Nutzerfreundlichkeit weiterhin zu verbessern, muss künftig zunehmend am ergonomischen Design geforscht werden. Dies könnte im Gegenzug die Nutzerakzeptanz steigern. Infolgedessen wäre langfristig die Entwicklung neuer HMDs ökonomischer und diese könnten einem breiten Markt, z.B. der Automobilindustrie, für Kommissionierungstätigkeiten, als medizinische Anwendung in operativen Gebieten und in der rehabilitativen Medizin etc., zugänglich gemacht werden. Es sollte eine Standardisierung hinsichtlich der Nutzeranforderungen an ein optimales HMD erfolgen.

So haben sich mit der vorliegenden Arbeit bereits Hinweise ergeben, welches HMD trotz Auftreten von Störfaktoren oder Gefahrensituationen eher geeignet erscheint und man dennoch auf notwendige Informationen zur Ausführung der Arbeitsschritte sofort und jederzeit über das HMD zugreifen kann.

Langfristig ist eine Beschäftigung mit folgenden Fragen ebenso erstrebenswert:

- Wie dürfen die Maße eines Displays beschaffen sein ohne Auswirkungen auf das Gesichtsfeld zu haben bzw. ohne binokulare Rivalität zu erzeugen und können so pathologische, physische Reaktionen verhindert werden?
- Wie müsste das ideale Transparenzniveau des Displays aussehen, um die reale und virtuelle Welt effektiv zu überlagern bzw. ist es technisch möglich, dass sich die Transparenz, bzw. die Leuchtdichte des Displays, je nach Umgebungshelligkeit automatisch anpassen?

## 8 Zusammenfassung

Ziel dieser Dissertation war es, die visuelle Wahrnehmungsbelastung beim Tragen drei unterschiedlicher Head-Mounted-Displays (Nikon, LitEye, Nomad) aus arbeitsmedizinischer und ophthalmologischer Perspektive zu prüfen und Erkenntnisse hinsichtlich einer geeigneten Geräteauswahl zu erlangen. An der Untersuchung nahmen 15 ophthalmologisch unauffällige Männer zwischen 20 und 30 Jahren teil. Um die Informationswahrnehmung in Abhängigkeit von differierenden Medien zu testen, wurden die Probanden mit einer standardisierten visuellen Suchaufgabe in zwei Experimenten konfrontiert sowie in einem dritten Experiment die Tiefenwahrnehmung erfasst.

Zunächst konnte gezeigt werden, dass die Reaktionszeit mit dem LitEye im Durchschnitt 10 % länger ist als mit dem HMD Nikon, wenn keine unerwartete Situation auftauchte. In diesem Fall benötigten die Probanden dann eine längere Bearbeitungsdauer auf der Nikon. Bei der Analyse der Fehlerrate ergab sich im Gesamtdurchschnitt eine circa 60 % höhere FR für das HMD LitEye. Außerdem wurde deutlich, dass bei unerwarteter Reizeinblendung inklusive Wechsel der Medien (beispielsweise ein Wechsel der Anzeige vom Monitor auf das HMD) zeitliche Kosten, besonders für das HMD Nikon, entstehen. So benötigt die Reaktion mit Wechsel in der Versuchsreihe Nikon länger als bei den HMDs Nomad und LitEye. Bezüglich der Fehlerrate kann erneut bestätigt werden, dass die FR mit Auftreten eines unerwarteten Signals beim HMD Nikon über den FR der anderen HMDs lag. Außerdem konnten wesentliche Unterschiede in der Tiefenwahrnehmung bei dem HMD Nikon ermittelt werden. Die virtuelle Information kann nicht nahtlos in den Handlungsraum des Nutzers integriert werden. Die Informationen auf dem LA-HMD wurden signifikant näher vor dem Bildschirm wahrgenommen im Vergleich zu den beiden OST-HMDs (LitEye  $p = .049$  und Nomad  $p = .038$ ). Die Erfassung der subjektiven Daten mit Hilfe der Eigenzustandsskala nach Nitsch hat gezeigt, dass die Motivation grundsätzlich über den Testverlauf abnimmt. Entgegen den eigenen Annahmen ist jedoch hervorzuheben, dass es bei dem Binärfaktor „Beanspruchung“ keinerlei signifikante Unterschiede im Vorher-Nachher-Vergleich gibt.

Wirken kaum relevante Störgrößen auf den Probanden ein bzw. ist kein häufiger, zeit-sensitiver Wechsel in der Aufnahme von virtueller und realer Information notwendig, kann aufgrund vergleichbarer Reaktionszeiten und teilweise geringerer Fehlerraten bei Verwendung des HMDs Nikon dieses HMD bevorzugt eingesetzt werden.

Ist von Störfaktoren oder Gefahrensituationen auszugehen, die eine differenzierte, zeitnahe Reaktion fordern, sollte das Nikon-HMD nicht eingesetzt werden.

Positiv hervorzuheben ist das HMD Nomad. Es erfüllt neben quantitativen Anforderungen (geringere Reaktionszeiten) auch die qualitativen (niedrigere Fehlerraten). Anhand der vorliegenden Ergebnisse zeigt sich, dass die Tiefenwahrnehmung mit dem Nomad weniger problematisch erscheint im Vergleich zur Nikon. Die virtuelle Information kann nahezu nahtlos in den Handlungsraum des Nutzers integriert werden.

Abschließend kann jedoch kein endgültiges Urteil über die generelle Bevorzugung *eines* HMD getroffen werden. Weiterführende Untersuchungen mit längerer, kontinuierlicher Tragedauer und anderen Aufgabenschwerpunkten im Hinblick auf die Langzeitwirkung beim Einsatz eines HMDs sind notwendig. Untersuchungen zur optimalen Informationsdarstellung müssen angestrebt werden. Um die Nutzerfreundlichkeit weiterhin zu verbessern, muss künftig zunehmend am ergonomischen Design geforscht werden.

## 9 Literaturverzeichnis

1. ABI-Research Website. Online verfügbar unter URL: <http://www.abiresearch.com/about.jsp> , 2011. Zuletzt abgerufen am: 15.03.2012
2. Apenburg, E. & Häcker, H. (1984): *Untersuchungen zur Modifikation der Eigenzustandsskala von Nitsch*. Wuppertal: Bergische Univ., Gesamthochschule, Fachbereich 3. (3/1984).
3. Azuma, R. T. (1997): A survey of augmented reality. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 (4), S. 355-385.
4. Azuma, R.; Bailiot, Y.; Behringer, R. et al. (2001): Recent advances in augmented reality. In: *IEEE Computer Graphics and Applications* 21 (6), S. 34–47.
5. Beccue, M. (2011): Augmented Reality-Enabled Mobile Apps Are Key to AR Growth. Hg. v. Allied Business Intelligence (ABI)- Research. New York. Online verfügbar unter <http://www.abiresearch.com/press/3614>, zuletzt abgerufen am 15.03.2012.
6. BMBF- Bundesministerium für Bildung und Forschung Website (2008): Pressemitteilung: „BMBF fördert Projekte zur Virtuellen Realität in den Neuen Ländern“ Online verfügbar unter URL: [http://www.bmbf.de/media/press/pm\\_20080625-112.pdf](http://www.bmbf.de/media/press/pm_20080625-112.pdf) Zuletzt abgerufen am: 19.11.2014
7. Cakmakci, O. and Rolland, J. (2006): Head-worn displays: A review. *Display Technology*, 2(3): S. 199–216, Sep. 2006.
8. Drascic, D. & Milgram, P. (1996): Perceptual issues in augmented reality. In: *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* 2653, S. 123–134.
9. Fahlbusch, M. (2000): Einsatz von Simulation und Virtual Reality als Lehrunterstützung in der Fabrikplanung. In: Schulze, T.; Lorenz, P.; Hinz, V. (Hrsg.): Tagungsband Simulation und Visualisierung 2000, Magdeburg. SCS, Erlangen, Gent, S. 361-369.
10. Friedrich, Wolfgang (Herausgeber): ARVIKA Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis Corporarte Publishing Verlag, Erlangen, 1. Auflage, 2004.

11. Fritzsche L. (2006): Eignung von Augmented Reality für den Vollschichteinsatz in der Automobilproduktion- Eine Laboruntersuchung zur psychischen Belastung und Beanspruchung bei der Arbeit mit einem monokularen Head Mounted Display. Diplomarbeit, Fak. Mathematik und Naturwissenschaft, TU Dresden; 2006.
12. Geiger, C.; Kleinjohann, B.; Reimann, C. and Stichling, D. (2001): Mobile AR4ALL. In: *Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR'01) ISAR '01*, 2001, S. 181-182.
13. Goldstein, E. B.; Ritter, M.; Herbst, G. (2002): Wahrnehmungspsychologie. 2. Aufl. Heidelberg [u.a.]: Spektrum, Akad. Verlag 2002. S. 84; 132; 187-188; 208-212; 226-239; 348-360.
14. Grehn, F. (1998): Augenheilkunde. 27. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1998. S. 5;14.
15. Hakkinen, J. (2003): Ergonomics of head-worn virtual displays. *Nokia Research and Venturing*, S. 1-4.
16. Hakkinen, J. (2004). A virtual display for mobile use. In *Society for Information Display international symposium digest of technical papers*, Vol. 35 (S. 1586-1589). San Jose, CA: Society for Information Display.
17. Hiramatsu, K.; Inui, T.; Okada, M. et al. (2005): New device for endoscopic image display during microsurgical clipping of cerebral aneurysms - Technical note. In: *Neurologia Medico-Chirurgica* 45 (9), S. 487-490.
18. Holloway, R.L. (1997): Registration error analysis for augmented reality. In: *Presence* 6(4), 2006, S. 413 - 432.
19. Huckauf, A.; Urbina, M.; Böckelmann, I. et al.(2009): Besonderheiten der Wahrnehmung bei AR-basierten Ausgabegeräten. In: *Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme*. Magdeburg: IFF, S. 377-384.
20. Huckauf, A. ; Urbina, M.; Grubert, J.; Böckelmann; I.; Doil, F.; Schega, L.; Tümler, J. (2010): Perceptual issues in optical-see-through displays. In: *Proceedings of the 7th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization - APGV '10 (2010)*: ACM Press, S. 41-48.
21. I4U Website. Online verfügbar unter URL: [www.i4u.com/24479/nikon-media-port-up300x-and-up300-hmd-unveiled](http://www.i4u.com/24479/nikon-media-port-up300x-and-up300-hmd-unveiled) , 2008. Zuletzt abgerufen am 10.10.2014

22. Juniper research Website. Online verfügbar unter URL: [www.juniperresearch.com/about-us.php](http://www.juniperresearch.com/about-us.php) , 2011. Zuletzt abgerufen am 10.10.2014
23. Kampmeier, J.; Cucera, A.; Fritzsche, L. et al. (2007): Potentials of monocular augmented reality technology in automobile production. Eignung monokularer "augmented reality"-Technologien in der Automobilproduktion. In: *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 224 (7), S. 590–596.
24. Kebeck, G. (1994): Wahrnehmung. Theorien, Methoden und Forschungsergebnisse der Wahrnehmungspsychologie. Weinheim [u.a.]: Juventa-Verlag 1994. S. 20-29.
25. Laramee, R., & Ware, C. (2002): Rivalry and interference with a headmounted display. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 9(3), 2002, S. 238–251.
26. Latour, P.L. (1962): Visual thresholds during eye movements. *Vision Research*, 2, S. 261-262.
27. Lee, T. S.; Mumford, D.; Romero, R. & Lamme, V. A. F. (1998): The role of the primary visual cortex in higher level vision. *Vision Research*, 38, S. 2429-2454.
28. Lennie, P. (1998): Single units and visual cortical organization. *Perception*, 27, S. 889-935.
29. Lessels, S.; Ruddle, R. A. (2005): Movement around real and virtual cluttered environments. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 14 (5), S. 580–596.
30. Levin, D. & Simons, D. (1997): Failure to detect changes in attended objects in motion pictures. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4, S. 501-506.
31. Liu, D.; Jenkins, S. A.; Sanderson, P. M. et al. (2009): Monitoring with head-mounted displays: Performance and safety in a full-scale simulator and part-task trainer. In: *Anesthesia and Analgesia* 109 (4), S. 1135–1146.
32. Livingston, M. A.; Rosenblum, L. J.; Julier, S. J.; Brown, D.; Baillot, Y.; Swan II, J. E.; Gabbard, J.L.; Hix, D. (2002): An Augmented Reality System for Military Operations in Urban Terrain. In: *Proc. Interservice / Industry Training, Simulation, & Education Conference (I/ITSEC '02)*, Orlando, FL, 2002, 9 S..
33. Mack, A. & Rock, I. (1998): *Inattentional blindness*. Cambridge, MA: MIT Press.



34. Mayring, P. (1991). Die Erfassung subjektiven Wohlbefindens. In A. Abele & P. Becker (Hrsg.), *Wohlbefinden. Theorie, Empirie, Diagnostik* Weinheim: Juventa. S. 51-70.
35. Milgram, P. & Kishino, F. (1994): A taxonomy of mixed reality visual displays, *IE-ICE Trans. on Information and Systems (Special Issue on Networked Reality)*, vol. 77, no.12, S. 1321-1329, 1994.
36. Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A. and Kishino, F. (1994): Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: *Proc. SPIE Conf. Telemanipulator and Telepresence Technologies*, vol. 2351(4), S. 282-292.
37. Mishkin, M.; Ungerleider, L. G. & Macko, K. A. (1983): Object vision and spatial vision: Two central pathways. *Trends in Neuroscience*, 6, S. 414-417.
38. Nakamoto, M.; Ukimura, O.; Faber, K.; Gill, I. S. (2012): Current progress on augmented reality visualization in endoscopic surgery. In: *Current Opinion in Urology: Volume 22 (2)*, S. 121–126.
39. Nitsch, J. R. (1976). Die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) - Ein Verfahren zur hierarchisch-mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung. In: J.R. Nitsch, I. Udrys (Hrsg.): *Beanspruchung im Sport, Beiträge zur psychologischen Analyse sportlicher Leistungssituationen* (81–102). Limpert, Bad Homburg.
40. Oehme, O. (2004): Ergonomische Untersuchung von kopfbasierten Displays für Anwendungen der erweiterten Realität in Produktion und Service. Dissertation, RWTH Aachen. Aachen: Shaker-Verlag, 2004.
41. Offe, J.; Wolf, C.; Mathies, L. (2012): Akkommodation. Hg. v. DocCheck Medical Services GmbH. Online verfügbar unter <http://flexikon.doccheck.com/de/Akkommodation>, zuletzt geprüft am 15.03.2012.
42. OLED-Info-Website. Online verfügbar unter URL: [www.oled-info.com/google-use-microoleds-oled-microdisplays-next-gen-google-glass](http://www.oled-info.com/google-use-microoleds-oled-microdisplays-next-gen-google-glass), 2014. Zuletzt geprüft am 10.10.2014
43. Patterson, R.; Winterbottom, M. D.; Pierce, B. J. (2006): Perceptual issues in the use of head-mounted visual displays. In: *Human Factors* 48 (3), S. 555–573.
44. Peli, E. (1990): Visual issues in the use of a head-mounted monocular display. In: *Optical Engineering*, vol. 29, 1990, S. 883-892.

45. Peli, E.; Luo, G.; Bowers, A.; Rensing, N. (2007): Applications of Augmented Vision Head-Mounted Systems in Vision Rehabilitation. In: *Journal of the Society for Information Display* 15 (12), S. 1037–1045.
46. Peters, M. & J. Ivanoff (1999): Performance Asymmetries in Computer Mouse Control of Right-Handers, and Left-Handers with Left and Right-Handed Mouse Experience. *Journal of Motor Behavior* 31 (1): S. 86–94.
47. Pfendler C. (2007): Bewertung mobiler Displays zur Darstellung von Karten für geographische Orientierungsaufgaben. *Z Arb Wiss* 2007; 61: S. 235-244.
48. Pollen, D. A. (1999): On the neural correlates of visual perception. *Cerebral Cortex*, 9, S. 4-19.
49. Rall, K.; Yu, D.; Drewes, P. (2006): Optimale Kamera-Konfiguration eines binokularen Visionsystems für die Telepräsenz. In *wt Werkstattstechnik online* 96 (10), S. 782-790 (2006).
50. Roggentin A. (2009): Arbeitsphysiologische Beanspruchungsanalyse beim Einsatz von Mobilien Augmented-Reality-Systemen. Dissertation, Medizinische Fakultät, O-v-G-Universität Magdeburg; 2009.
51. Rolland, J.P. (1998): Mounted Displays. *Optics and Photonics News*, Vol. 9, Issue 11, S. 26-30 (1998).
52. Rolland, J.P. und Fuchs, H. (2000): Optical Versus Video Seethrough Head-Mounted Displays in Medical Visualization. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 9, Nr. 3, Juni 2000, S. 287-309.
53. Ruddle, R. A.; Jones, D. M. (2001): Movement in Cluttered Virtual Environments. In: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 10 (2001), Nr. 5, S. 511–524.
54. Shapiro, K. L.; Arnell, K. M. & Raymond, J. E. (1997): The attentional blink: A view on attention and glimpse on consciousness. *Trends in Cognitive Science*, 1, S. 291-296.
55. Schaer, P.; Thum, M. (2007): State-of-the-Art. Interaktion in Erweiterten Realitäten. *Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik*, 10/2007. S. 1-106.

56. Schmidt, L.; Wiedenmaier, S.; Oehme, O. et al. (2005): Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented Reality in der Produktion. In: C. Stary (Hg.): Mensch & Computer 2005: Kunst und Wissenschaft - Grenzüberschreitungen der interaktiven Art. München: Oldenbourg, S. 51-60.
57. Schreier, S. (2009): Nutzung von Head Mounted Displays in der Medizin: Bericht über den aktuellen Stand. Ludwig-Maximilians-Universität München, München. Medizinische Informatik.
58. Shenai, M.; Dillavou, M.; Shum, C.; Ross, D.; Tubbs, R. S.; Shih, A.; Guthrie, B. (2011): Virtual Interactive Presence and Augmented Reality (VIPAR) for Remote Surgical Assistance. In: *Neurosurgery*: Volume 68, S. 200–207.
59. Suthau, T., Vetter, M., Hassenpflug, P., Meinzer, H.-P., Hellwich, O.(2002): Konzeption und Einsatz von Augmented Reality in der Leberchirurgie, 12 S., DGPF.
60. Sutherland, I. E. (1968): A head-mounted three dimensional display. In: Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I on - AFIPS '68 (Fall, part I): ACM Press, S. 757 - 760.
61. Treisman, A. M. & Gelade, G.(1980): *A Feature-Integration Theory of Attention*. Cognitive Psychology, 12, S. 97-136.
62. Tümler, J.; Doil, F.; Mecke, R. et al. (2008): Mobile augmented reality in industrial applications: approaches for solution of user-related issues. In: *Proceedings - 7th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008, ISMAR 2008*, S. 87–90.
63. Tümler (2009): Untersuchungen zu nutzerbezogenen und technischen Aspekten beim Langzeiteinsatz mobiler Augmented Reality Systeme in industriellen Anwendungen. Dissertation, Fakultät für Informatik, O.-v.-G.-Universität Magdeburg; 2009.
64. Ullmann C. (2006): Nutzerakzeptanz von Augmented Reality: Eine Fallstudie zum Vollschiefeinsatz in der Automobilproduktion. Diplomarbeit, Universität Hamburg; 2006.
65. Ungerleider, L. G. & Mishkin, M. (1982): Two cortical visual systems. In D.J. Ingle, M. A. Goodale & R.J. Mansfield (Hrsg.), *Analysis of visual behavior* (S. 549 – 580). Cambridge: MIT Press.
66. Volkman, F. C.; Schick, A. M. L.; & Riggs, L. A. (1969): Time course of visual inhibition during voluntary saccades. *Journal of the Optical Society of America*, 58, S. 562-569.

67. Weidenhausen, J.-M. (2006): Mobile Mixed Reality Platform, Dissertation, Fachbereich Informatik, Technische Universität Darmstadt . 2006.
68. Wordpress (2011): Graphic cards Website. Online verfügbar unter URL: [graphiccards.wordpress.com/2011/11/09/liteye-500-see-thru-head-mount/](http://graphiccards.wordpress.com/2011/11/09/liteye-500-see-thru-head-mount/), 2011. Zuletzt abgerufen am: 10.10.2014
69. Yamazoe, T.; Kishi, S.; Shibata, T. et al. (2010): Improved visibility of monocular head-mounted displays through the bright control of backlighting. In: *IEEE/OSA Journal of Display Technology* 6 (9), S. 367–373.
70. Zhou, F.; Duh, H. B.-L.; Billinghurst, M. (2008): Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. In M. A. Livingston, O. Bimber, and H. Saito, editors, *ISMAR '08: Proc. 7th Int'l Symp. on Mixed and Augmented Reality*, S.. 193–202, Cambridge, UK, Sep. 15-18 2008. IEEE CS Press. ISBN 978-1-4244-2840-3.

# Anhang

## Anhang 1: Eigenzustandsskala nach Nitsch

	Kaum (1)	Etwas (2)	Einigermaßen (3)	Ziemlich (4)	Überwiegend (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						

**Anhang 2: Experiment 1 (Visuelle Suche ohne Wechsel des Mediums): Reaktionszeiten (Varianzanalyse mit Messwiederholung, Bonferroni korrig.; n=10)**

Aufgabe		Monitor		LitEye		Nikon		F df p			Monitor vs. LitEye		Monitor vs. Nikon		LitEye vs. Nikon	
		$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]				p	p	p	p		
Matrix	No PR	933,0	127,9	1010,4	157,4	934,4	153,7	1,191	2,16	0,329	0,770	1,000	0,698			
	P	1010,2	145,8	1147,4	212,9	1004,3	185,0	4,118	2,16	0,036	0,253	1,000	0,048			
	R	998,6	122,5	1135,7	283,8	989,2	194,2	2,052	2,16	0,161	0,568	1,000	0,355			
Go-NoGo		950,3	123,9	981,7	161,1	1073,1	157,0	6,371	2,16	0,009	1,000	0,007	0,085			

**Anhang 3: Experiment 1 (Visuelle Suche ohne Wechsel des Mediums): Fehlerrate (Friedman-/Wilcoxon-Test; n=10)**

Aufgabe Parameter			Monitor		LitEye		Nikon		X <sup>2</sup> df p			Monitor vs. LitEye		Monitor vs. Nikon		LitEye vs. Nikon	
			Median [%]	Interq. [%]	Median [%]	Interq. [%]	Median [%]	Interq. [%]				Z	P	Z	p	Z	p
Matrix	false alarm	No PR	2,9	11,9	7,3	35,5	3,6	21,6	3,250	2	,197	-1,960	,050	-1,400	,161	-1,120	,263
	missed	No PR	13,1	22,8	24,9	11,9	9,0	15,2	10,750	2	,005	-2,100	,036	-1,540	,123	-2,521	,012
	false alarm	P	4,7	21,5	7,7	34,2	1,6	20,1	5,871	2	,053	-1,859	,063	-,420	,674	-2,100	,036
	missed	P	19,4	19,7	24,7	22,3	12,0	8,0	4,750	2	,093	-,700	,484	-1,540	,123	-2,100	,036
	false alarm	R	2,7	7,4	5,7	13,8	3,5	17,9	4,710	2	,095	-2,100	,036	-,840	,401	-,338	,735
	missed	R	19,3	21,4	33,1	21,4	11,4	15,6	5,250	2	,072	-1,960	,050	-,840	,401	-2,380	,017
Go-NoGo	error	P	4,0	9,0	6,0	15,5	6,0	13,0	7,52	2	0,023	-2,524	0,012	-1,973	0,049	-1,614	0,106
	error	R	0,0	2,0	0,0	4,0	1,0	2,0	0,08	2	0,961	-0,962	0,336	-0,322	0,748	-0,597	0,551

**Anhang 4: Experiment 2 (Visuelle Suche mit Wechsel des Mediums): Reaktionszeiten (t-Test für abhängige Stichproben: LitEye vs. Nikon; t-Test für unabhängige Stichproben: Nomad vs. LitEye und Nomad vs. Nikon; nLitEye=10; nNikon=10, nNomad=11; Mon = Monitor, HMD = Head-Mounted-Display).**

			Liteye		Nikon		Nomad		LitEye vs. Nikon			LitEye vs. Nomad			Nomad vs. Nikon		
			$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	t	df	p	t	df	p	t	df	p
<b>Matrix</b>	Mon	no PR	906,7	114,5	958,8	120,0	928,8	46,7	-1,707	9	0,122	-0,3681	19,000	0,716	-0,4929	19,00	0,627
	Mon	P	984,6	213,4	986,5	102,4	1016,0	49,6	-0,03	9	0,977	-0,3802	19,000	0,708	0,4878	19,00	0,631
	Mon	R	944,8	131,9	959,2	110,5	979,8	35,1	-0,431	9	0,677	-0,6452	19,000	0,526	0,4139	19,00	0,683
	HMD	no PR	946,2	91,5	1005,7	127,5	1015,6	63,0	-1,749	9	0,114	-1,0005	13,967	0,334	0,1322	16,74	0,896
	HMD	P	1051,5	137,0	1123,8	177,7	1077,7	56,5	-1,582	9	0,148	-0,3678	18,224	0,717	-0,5776	19,00	0,570
	HMD	R	1045,3	143,9	1097,5	130,6	1049,9	69,8	-0,998	9	0,344	-0,0548	15,480	0,957	-0,5873	14,61	0,566
<b>Go- NoGo</b>	Mon	P	937,8	140,0	989,5	94,5	870,5	33,2	-1,016	9	0,336	1,2313	19,000	0,233	-2,6452	19,00	0,016
	HMD		860,3	106,9	978,8	128,7	923,9	37,7	-3,333	9	0,009	-1,2468	19,000	0,227	-0,9904	19,00	0,334

**Anhang 5: Experiment 2 (Visuelle Suche mit Wechsel des Mediums): Fehlerraten (Friedman-/Wilcoxonstest; n = 10; Med = Median, Int = Interquartilbereich, Mon = Monitor, HMD = Head-Mounted-Display, Lit = LitEye, Nik = Nikon)**

			Monitor-LitEye				Monitor-Nikon							LitEye		Nikon		Monitor		HMD	
			Monitor		HMD		Monitor		HMD					Mon vs. HMD		Mon vs. HMD		Lit vs. Nik		Lit vs. Nik	
			Med	Int	Med	Int	Med	Int	Med	Int	X <sup>2</sup>	df	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
			[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]											
Matrix	fa	No PR	0,5	16,9	5,9	19,8	6,2	23,2	1,9	16,9	7,8	3	0,051	-1,4	0,161	-1,5	0,123	-1,0	0,327	-1,4	0,161
			14,1	23,6	21,6	19,1	18,4	22,9	20,8	26,4	1,2	3	0,753	-1,7	0,092	-0,5	0,646	-1,2	0,241	-1,0	0,332
	m	P	5,5	24,3	5,0	27,6	6,4	21,9	1,2	25,4	3,1	3	0,381	-0,2	0,859	-1,5	0,138	-0,2	0,859	-1,5	0,128
			17,4	16,2	19,0	13,4	13,7	20,9	17,6	9,9	3,2	3	0,355	-1,2	0,213	-0,4	0,721	-0,7	0,507	-0,1	0,959
	fa	R	0,0	10,7	3,5	12,1	6,2	23,4	3,3	10,8	10,8	3	0,012	-1,4	0,176	-2,0	0,050	-2,5	0,012	-0,7	0,483
			20,0	29,0	21,2	16,3	18,4	30,2	24,5	29,0	0,6	3	0,893	-0,1	0,959	-0,6	0,575	-1,3	0,202	-0,1	0,959
Go- NoGo	P	2,0	9,8	1,5	2,5	8,5	37,0	7,5	21,3	21,0	3	0,0001	-1,6	0,104	-2,3	0,024	-2,8	0,005	-2,2	0,028	
		1,5	3,3	1,5	2,3	15,5	20,8	16,0	20,0	13,5	3	0,0037	-0,4	0,666	-1,1	0,283	-2,0	0,041	-2,7	0,008	



**Anhang 6: Experiment 2 (Visuelle Suche mit Wechsel des Mediums): Fehlerraten (U-Test; nLiteye=10; nNikon=10, nNomad=11; Med = Median, Int = Interquartilbereich, Mon = Monitor, HMD = Head-Mounted-Display, Lit = LitEye, Nik = Nikon, Nom = Nomad)**

			Monitor-LitEye				Monitor-Nikon				Monitor-Nomad				Monitor		HMD		Monitor		HMD	
			Monitor		LitEye		Monitor		Nikon		Monitor		Nomad		Lit vs. Nom		Lit vs. Nom		Nom vs. Nik		Nom vs. Nik	
			Med	Int	Med	Int	Med	Int	Med	Int	Med	Int	Med	Int	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
			[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]								
Matrix	fa	No PR	0,5	16,9	5,9	19,8	6,2	23,2	1,9	16,9	5,7	16,1	16,5	21,8	-1,9	0,061	-1,8	0,072	-0,6	0,604	-2,2	0,030
			14,1	23,6	21,6	19,1	18,4	22,9	20,8	26,4	28,4	37,8	36,9	59,2	-1,0	0,349	-0,8	0,467	-0,3	0,809	-1,2	0,251
	m	P	5,5	24,3	5,0	27,6	6,4	21,9	1,2	25,4	5,7	21,1	5,0	27,6	-0,2	0,863	-1,7	0,098	-0,3	0,756	-2,0	0,051
			17,4	16,2	19,0	13,4	13,7	20,9	17,6	9,9	27,1	34,8	43,6	45,5	-1,3	0,197	-1,3	0,223	-1,1	0,281	-1,5	0,132
	fa	R	0,0	10,7	3,5	12,1	6,2	23,4	3,3	10,8	5,4	24,1	20,0	25,5	-1,3	0,223	-2,7	0,006	-0,2	0,863	-2,7	0,006
			20,0	29,0	21,2	16,3	18,4	30,2	24,5	29,0	20,0	29,0	40,0	39,7	-0,8	0,426	-0,6	0,557	-0,1	0,972	-0,8	0,426
Go-NoGo	P	2,0	9,8	1,5	2,5	8,5	37,0	7,5	21,3	4,1	5,6	3,2	8,0	-0,8	0,426	-1,2	0,251	-1,8	0,072	-1,1	0,314	
		1,5	3,3	1,5	2,3	15,5	20,8	16,0	20,0	2,7	8,0	2,7	4,2	-0,4	0,704	-0,7	0,467	-2,3	0,024	-2,8	0,004	

**Anhang 7: Experiment 2 (Visuelle Suche mit Wechsel des Mediums): Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Sequenz des Mediumwechsels (t-Test für abhängige Stichproben: LitEye vs. Nikon; t-Test für unabhängige Stichproben: Nomad vs. LitEye und Nomad vs. Nikon; nLitEye=10; nNikon=10, nNomad=11; Mon = Monitor, HMD = Head-Mounted-Display).**

Wechsel		LitEye		Nikon		Nomad		LitEye vs. Nikon			Nomad vs. LitEye			Nomad vs. Nikon		
		$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	t	df	p	t	df	p	t	df	p
Mon→Mon	NoPR	917,4	116,0	928,8	122,6	908,6	50,0	-0,366	9	0,723	0,140	19,000	0,890	-0,315	19,000	0,756
Mon→Mon	P	937,1	181,8	962,2	111,5	1061,6	42,5	-0,453	9	0,662	-1,764	19,000	0,094	1,781	19,000	0,091
Mon→Mon	R	923,8	159,9	936,6	134,8	974,3	46,7	-0,583	9	0,574	-0,735	19,000	0,471	0,592	19,000	0,561
Mon→HMD	NoPR	962,2	97,4	1040,7	153,7	1019,5	58,5	-1,713	9	0,121	-0,867	15,031	0,400	-0,276	19,000	0,786
Mon→HMD	P	1092,1	170,2	1140,9	207,8	1102,1	62,4	-0,724	9	0,487	-0,120	19,000	0,906	-0,429	19,000	0,673
Mon→HMD	R	1068,3	144,0	1174,6	179,2	1119,2	62,7	-1,583	9	0,148	-0,657	18,000	0,520	-0,656	18,000	0,520
HMD→HMD	NoPR	938,9	116,9	977,0	110,9	1004,0	57,5	-1,152	9	0,279	-0,952	16,790	0,355	0,401	16,312	0,694
HMD→HMD	P	1020,0	141,0	1105,9	187,3	1053,2	57,2	-1,632	9	0,137	-0,458	18,333	0,653	-0,640	19,000	0,530
HMD→HMD	R	1019,8	160,2	1038,8	123,7	1109,7	106,5	-0,370	9	0,720	-0,762	12,875	0,460	0,625	11,385	0,545
HMD→Mon	NoPR	896,8	116,8	997,2	159,5	943,0	43,6	-2,205	9	0,055	-0,800	19,000	0,434	-0,817	19,000	0,424
HMD→Mon	GoNoGo P	1027,1	260,8	1013,4	144,1	1091,2	115,2	0,178	9	0,863	-0,445	19,000	0,662	0,628	13,019	0,541
HMD→Mon	GoNoGo R	957,2	122,8	979,7	138,9	989,6	35,6	-0,372	9	0,719	-0,617	19,000	0,544	0,177	19,000	0,861

**Anhang 8: Experiment 2 (Visuelle Suche mit Wechsel des Mediums): Reaktionszeiten innerhalb der einzelnen HMDs in Abhängigkeit der Sequenz des Mediumwechsels (Varianzanalyse mit Messwiederholung, Bonferroni-Korrektur, nLitEye=10; nNikon=10, nNomad=11; Mon =Monitor, HMD = Head-Mounted-Display, h = hit)**

		Mon>Mon		Mon>HMD		HMD>HMD		HMD>Mon		df	F	p	Mon> Mon vs. Mon> HMD	Mon> Mon vs. HMD> HMD	Mon> Mon vs. HMD> Mon	Mon> HMD vs. HMD> HMD	Mon> HMD vs. HMD> Mon	HMD> HMD vs. HMD> Mon	
		$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]	$\bar{x}$ [ms]	SD [ms]				Mon> HMD	HMD> HMD	HMD> Mon	HMD> HMD	HMD> Mon	HMD> Mon	
LitEye	h	No																	
		PR	937,1	181,9	1092,1	170,2	1020,0	141,0	1027,1	260,8	3	1,830	0,166	0,573	1,000	1,000	1,000	0,262	1,000
		P	1121,4	170,5	1204,5	153,0	1196,7	184,9	1128,4	113,7	2,219	2,550	0,099	0,083	0,800	0,542	0,952	1,000	1,000
	R	923,8	159,9	1068,3	144,0	1019,8	160,2	957,2	122,8	3	6,827	0,001	0,005	0,195	1,000	1,000	0,068	0,753	
Nikon	h	No																	
		PR	962,2	111,5	1140,9	207,8	1105,9	187,3	1013,4	144,1	2,063	3,040	0,071	0,120	0,670	0,836	0,075	1,000	1,000
		P	1131,3	104,1	1276,7	179,2	1207,5	149,7	1181,1	98,4	3	3,319	0,035	0,176	0,436	1,000	1,000	0,680	0,990
	R	936,6	134,8	1174,6	179,2	1038,8	123,7	979,7	138,9	3	7,202	0,001	0,008	0,233	1,000	0,045	0,143	1,000	
Nomad	h	No																	
		PR	908,6	49,97	1019,5	58,5	1004,0	57,50	943,0	43,6	3,000	6,334	0,002	0,002	0,036	1,000	1,000	0,246	0,507
		P	1061,6	42,49	1102,1	62,4	1053,2	57,15	1091,2	115,2	1,510	0,253	0,718	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	R	974,3	46,66	1119,2	62,7	1109,6	106,5	989,6	35,5	1,626	3,019	0,087	0,115	0,771	1,000	1,000	0,023	1,000	

**Anhang 9: Experiment 3 (Vergenzmessung) Abstand relativ zur Monitorebene (t-Test für abhängige Stichproben: LitEye vs. Nikon; t-Test für unabhängige Stichproben: LitEye vs. Nomad und Nikon vs. Nomad, nLitEye=10; nNikon=10, nNomad=11)**

LitEye		Nikon		Nomad		LitEye vs. Nikon			LitEye vs. Nomad			Nikon vs. Nomad		
$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	t	df	p	t	df	p	t	df	p
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]									
25,905	58,124	124,251	138,034	22,038	37,481	2,374	7	0,049	-0,171	16	0,866	-2,256	16	0,038

**Anhang 10: Probandenaufklärung zur Versuchsdurchführung (Experiment 1-3)**

**OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG**

Institut für Sportwissenschaft  
Fakultät für Humanwissenschaften



Studie  
**„Arbeitsmedizinische und ophthalmologische  
Beanspruchungsanalyse beim Einsatz von Head-Mounted-  
Displays“**

Leiter: Priv.-Doz. Dr. phil. habil. L. Schega

**Probandenaufklärung**

Sehr geehrter Teilnehmer,

Sie sind als freiwilliger Proband darüber informiert, dass die vorgesehene Untersuchung im Rahmen dieser Studie das Ziel verfolgt, den Aussagegehalt ophthalmologischer und wahrnehmungspsychologischer Parameter beim Einsatz von Head-Mounted-Displays (HMD) zu prüfen.

Die Untersuchung nimmt im Einzelfall ca. **2 h** in Anspruch und liefert durch den Einsatz der unterschiedlichen Messinstrumente Auskünfte über Ihre Reaktionszeit virtuelle Informationen in die reale Umgebung zu integrieren.

Die Hauptkomponenten eines HMDs sind eine Displayeinheit und eine HMD-Optik. Im Rahmen dieser Studie werden als HMD Liteye (Optical-See-Through) und Nikon UP300x (Look-Around) verwendet.

Die Displayeinheit liefert das Bild aus einer angeschlossenen Datenquelle (PC). Die HMD-Optik leitet das Bild weiter und projiziert es vor das Auge, so dass die Wahrnehmung der realen Umgebung kaum beeinträchtigt ist. Eventuelle Beeinträchtigungen ergeben sich lediglich durch Einschränkungen des Sichtfeldes aufgrund der Anbringung des Projektionssystems am Kopf, außerdem muss die Anzeige bei Fehlsichtigen (Kurz- oder Weitsichtigen) dem Auge angepasst werden.

Bei der Versuchsanordnung handelt es sich um eine visuelle Suchaufgabe, bei der zu entscheiden ist, ob sich in einer Menge von Reizen ein vorher definierter Zielreiz befindet (P oder R). Hierbei kann die Menge der Reize entweder auf einem oder auf zwei Medien dargeboten werden, um Effekte des Wechsels zwischen Medien quantifizieren zu können. Der Monitor wird dabei in Auflösung und Farbe an das AR-Gerät angeglichen.

Die Aufgabe ist es, mittels Tastendruck so schnell und so genau wie möglich anzugeben, ob sich im Display eine P bzw. R befindet oder nicht, hierfür stehen Ihnen 1,8 Sekunden bis zur Reaktion zu, wobei bei Überschreiten dieser Zeit ein Alarmsignal ertönt.

Sollten sich Probleme gleich welcher Art während der Untersuchung einstellen, können Sie nach Information des Untersuchungsleiters den Versuch jederzeit abbrechen.

Sie sind als Proband in der Studie herzlich willkommen, wenn sie freiwillig teilnehmen möchten, zwischen 20 und 30 Jahre alt und männlichen Geschlechts sind.

Als Voraussetzung für die Teilnahme an dieser Untersuchung ist darüber hinaus dringend zu beachten, dass Sie möglichst keine Brille oder Kontaktlinsen tragen sollten, da dadurch verhindert werden soll, dass die Anzeige bei Fehlsichtigen (Kurz- oder Weitsichtigen) dem Auge angepasst werden muss.

Zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung ist für Sie mit einer Gesundheitsgefährdung zu rechnen. Außerdem wird der gesamte Ablauf überwacht und Sie können den Versuch jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen. Sie erklären Ihre freiwillige Bereitschaft durch Ihre Unterschrift auf einer Einwilligungserklärung. Durch Unterschrift der Versuchsleitung auf derselben Einwilligungserklärung wird Ihnen die Einhaltung des Datenschutzes garantiert.

Magdeburg, Dezember 2009

Sandra Erfurth  
Versuchsleitung

Im Namen der Studienleitung  
Priv.-Doz. Dr. phil. habil. Lutz Schega



Studie  
**„Arbeitsmedizinische und ophthalmologische  
Beanspruchungsanalyse beim Einsatz von Head-Mounted-  
Displays“**

Leiter: Priv.-Doz. Dr. phil. habil. L. Schega

## Probandenaufklärung

Magdeburg, Dezember 2009

Sehr geehrter Teilnehmer,

Sie sind als freiwilliger Proband darüber informiert, dass die vorgesehene Untersuchung im Rahmen dieser Studie das Ziel verfolgt, den Aussagegehalt ophthalmologischer und wahrnehmungspsychologischer Parameter beim Einsatz von Head-Mounted-Displays (HMD) zu prüfen.

Die Untersuchung nimmt im Einzelfall ca. **90 Minuten** in Anspruch und liefert durch den Einsatz der unterschiedlichen HMD Auskünfte über die Zeit, die Sie benötigen, um virtuelle Informationen in die reale Umgebung zu integrieren (Reaktionszeit).

Die Hauptkomponenten eines HMDs sind eine Displayeinheit und eine HMD-Optik. Im Rahmen dieser Studie werden als HMD Liteye, Nomad (Optical-See-Through) und Nikon UP300x (Look-Around) verwendet.

Die Displayeinheit liefert das Bild aus einer angeschlossenen Datenquelle (PC). Die HMD-Optik leitet das Bild weiter und projiziert es vor das Auge, so dass die Wahrnehmung der realen Umgebung kaum beeinträchtigt ist. Eventuelle Beeinträchtigungen ergeben sich lediglich durch Einschränkungen des Sichtfeldes aufgrund der Anbringung des Projektionssystems am Kopf, außerdem muss die Anzeige bei Fehlsichtigen (Kurz- oder Weitsichtigen) dem Auge angepasst werden.

Bei der Versuchsanordnung handelt es sich um eine visuelle Suchaufgabe, bei der zu entscheiden ist, ob sich in einer Menge von Reizen ein vorher definierter Zielreiz befindet (P oder R). Hierbei kann der Reiz entweder auf dem Monitor **oder** auf dem HMD

dargeboten werden, um Effekte des **Wechsels zwischen beiden Medien** quantifizieren zu können. Der Monitor wird dabei in Auflösung und Farbe an das HMD angeglichen. Die Aufgabe ist es, mittels Tastendruck so schnell und so genau wie möglich anzugeben, ob sich im Display eine P bzw. R befindet oder nicht. Hierfür stehen Ihnen 1,8 Sekunden bis zur Reaktion zu, wobei bei Überschreiten dieser Zeit ein Alarmsignal ertönt.

Sollten sich Probleme gleich welcher Art während der Untersuchung einstellen, können Sie nach Information des Untersuchungsleiters den Versuch jederzeit abbrechen.

Sie sind als Proband in der Studie herzlich willkommen, wenn sie freiwillig teilnehmen möchten, zwischen 20 und 30 Jahre alt und männlichen Geschlechts sind.

Als Voraussetzung für die Teilnahme an dieser Untersuchung ist darüber hinaus dringend zu beachten, dass Sie möglichst keine Brille oder Kontaktlinsen tragen sollten, da dadurch verhindert werden soll, dass die Anzeige bei Fehlsichtigen (Kurz- oder Weitsichtigen) dem Auge angepasst werden muss.

Zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung ist für Sie mit einer Gesundheitsgefährdung zu rechnen. Außerdem wird der gesamte Ablauf überwacht und Sie können den Versuch jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen. Sie erklären Ihre freiwillige Bereitschaft durch Ihre Unterschrift auf einer Einwilligungserklärung. Durch Unterschrift der Versuchsleitung auf derselben Einwilligungserklärung wird Ihnen die Einhaltung des Datenschutzes garantiert.

Sandra Erfurth  
Versuchsleitung

Im Namen der Studienleitung  
Priv.-Doz. Dr. phil. habil. Lutz Schega



Studie  
**„Arbeitsmedizinische und ophthalmologische  
Beanspruchungsanalyse beim Einsatz von Head-Mounted-  
Displays“**

Leiter: Priv.-Doz. Dr. phil. habil. L. Schega

## Probandenaufklärung

Magdeburg, Dezember 2009

Sehr geehrte Herren,

Sie sind als freiwilliger Proband darüber informiert, dass die vorgesehene Untersuchung im Rahmen dieser Studie das Ziel verfolgt, den Aussagegehalt ophthalmologischer und wahrnehmungspsychologischer Parameter beim Einsatz von Head-Mounted-Displays (HMD) zu prüfen.

Die Untersuchung nimmt im Einzelfall ca. **30 Minuten** in Anspruch. Durch den Einsatz eines Blickregistriergerätes im Zusammenhang mit den HMD werden Informationen über die Tiefenwahrnehmung des visuellen Systems erfasst.

Ihnen wird neben dem HMD eine Blickregistrierung EyeLink II (SR Research) am Kopf befestigt. Nachdem Sie das HMD und den Monitor in räumliche Übereinstimmung gebracht haben, besteht die Testaufgabe in der Fixierung eines eingblendeten Kreuzes welches zentral auf dem Monitor und auf dem HMD präsentiert wird. Aufgrund der Anbringung des Projektionssystems am Kopf ergeben sich eventuelle Beeinträchtigungen lediglich durch Einschränkungen des Sichtfeldes.

Sollten sich Probleme gleich welcher Art während der Untersuchung einstellen, können Sie nach Information des Untersuchungsleiters den Versuch jederzeit abbrechen.

Sie sind als Proband in der Studie herzlich willkommen, wenn sie freiwillig teilnehmen möchten, zwischen 20 und 30 Jahre alt und männlichen Geschlechts sind.

Als Voraussetzung für die Teilnahme an dieser Untersuchung ist darüber hinaus dringend zu beachten, dass Sie möglichst keine Brille oder Kontaktlinsen tragen sollten, da dadurch



verhindert werden soll, dass die Anzeige bei Fehlsichtigen (Kurz- oder Weitsichtigen) dem Auge angepasst werden muss.

Zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung ist für Sie mit einer Gesundheitsgefährdung zu rechnen. Außerdem wird der gesamte Ablauf überwacht und Sie können den Versuch jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen. Sie erklären Ihre freiwillige Bereitschaft durch Ihre Unterschrift auf einer Einwilligungserklärung. Durch Unterschrift der Versuchsleitung auf derselben Einwilligungserklärung wird Ihnen die Einhaltung des Datenschutzes garantiert.

Sandra Erfurth  
Versuchsleitung

Im Namen der Studienleitung  
Priv.-Doz. Dr. phil. habil. Lutz Schega

# Danksagung

Herrn Prof. Priv.-Doz. Dr. phil. habil. Schega möchte ich für die freundliche Überlassung des hochinteressanten Themas und die Bereitstellung des Arbeitsplatzes herzlich danken. Ich verdanke ihm darüber hinaus jede erdenkliche, hilfreiche Unterstützung. Sein steter Ansporn sowie kompetenter Rat trugen maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit bei.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. phil. Daniel Hamacher. Jederzeit gewährte er mir bei der Planung, Durchführung und Auswertung der vorliegenden Arbeit sachkundige und wertvolle Unterstützung. Dankbar anerkennen will ich auch seine immer freundliche und geduldige Bereitschaft, mir sein großes technisches Wissen weiterzugeben.

Ein außerordentliches Dankeschön gebührt meinen unermüdlichen Probanden, auch dafür, sich selbst an Weihnachten für die Untersuchungen bereitgestellt zu haben.

Ich danke meinen Freunden, die mich auch in angespannter und gestresster Laune ertrugen. Hervorheben möchte ich hier auch Jana Tegelbeckers und Cassandra Fölsch. Wenn mich SPSS mal wieder verzweifeln ließ, wusstet ihr mich aufzumuntern sowie Franziska Fettke, danke für deine fantastischen Sprachkünste bei so mancher Übersetzung ins Englische.

Zum Schluss möchte ich dem wichtigsten Menschen danken, meinem Freund Konstantin Rost. Du hast mir stets Mut zugesprochen, mich angetrieben und mich in meiner Arbeit bestärkt. Du hast stets an mich geglaubt. Hättest du mich nicht so liebevoll unterstützt, wäre meine Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen, daher widme ich dir diese Arbeit. Danke!

Sandra Erfurth

# Erklärung

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

**„Arbeitsmedizinische und ophthalmologische Beanspruchungsanalyse beim Einsatz von  
Head-Mounted-Displays“**

im Institut für Sportwissenschaft der Fakultät für Humanwissenschaften der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg mit Unterstützung durch Herrn Prof. Priv.-Doz. Dr. phil. habil. Lutz Schega und Herrn Dr. phil. Daniel Hamacher sowie der Orthoptistin der Magdeburger Universitätsaugenklinik, Juliane Reupsch, 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, den 23.02.2015

Sandra Erfurth

# Lebenslauf

## Persönliche Daten

Vorname, Name: Sandra Erfurth  
Geburtsdatum/-ort: 11.04.1986, Magdeburg

## Schulausbildung:

09/1992 – 08/1996 Grundschule Am Neustädter See, Magdeburg  
09/1996 – 07/1998 Johann-Gottfried-Herder-Gymnasium, Magdeburg  
08/1998 – 04/2005 Wilhelm-Raabe-Gymnasium, Magdeburg  
Abschluss: Abitur

## Berufsausbildung/Studium:

10/2005 bis 10/2012 Studium der Medizin an der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

## Berufliche Tätigkeiten:

### Famulatur

- Klinik St. Marienstift  
(Gynäkologie 08/2009 – 09/2009)  
(Pädiatrie 02/2010 – 03/2010)
- Klinik „Pfeiffersche Stiftungen“  
(Anästhesie 08/2010 – 09/2010)
- Klinikum Magdeburg  
(Pädiatrie 09/2010 )
- Gemeinschaftspraxis Radiologie  
(Radiologie 09/2010 – 10/2010)
- Universitätsklinikum  
(Kinderchirurgie 02/11 – 03/11)
- Kinderarztpraxis Am Domplatz  
(Pädiatrie 03/2011)

### Praktisches Jahr

- Klinik „Pfeiffersche Stiftungen“  
(Innere Medizin 15.08.2011 – 04.12.2011)
- Universitätsklinikum Magdeburg  
(Pädiatrie 05.12.2011 – 25.03.2012)
- Medigreif Kreiskrankenhaus Burg  
(Chirurgie 26.03.2012 – 15.07.2012)

### Ärztliche Weiterbildung

12/2012 bis heute Weiterbildungsassistentin in der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin des Aneos Klinikums Halberstadt

## Promotion im Institut für Sportwissenschaft der Fakultät für Humanwissenschaften, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (12/2009 – 02/2015)

„Arbeitsmedizinische und ophthalmologische Beanspruchungsanalyse beim Einsatz von Head-Mounted-Displays“

Magdeburg, den 23.02.2015

## Publikationen

**Erfurth, S.; Hamacher, D.; Huckauf, A.; Urbina, M.; Schega, L.**

Eignung des Aussagegehalts wahrnehmungspsychologischer Parameter zur Bewertung des Einsatzes von Head-Mounted Displays. In: K. Kluthe (Hrsg.), Forum Arbeitsphysiologie - Sonderband zum 14. Symposium Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft für Nachwuchswissenschaftler, 3.-5. Dezember 2010 in Olpe. Siegen: Uniprint Siegen; Abstract

**Hamacher, D.; Erfurth, S.; Urbina, M.; Schega, L.**

Nutzerzentrierte Prüfung des Low-Cost Head-Mounted Display Nikon Media Port UP 300x für den Einsatz in mobilen Augmented-Reality-Systemen.

In: Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin, 45 (6), 370-371

**Hamacher, D.; Erfurth, S.; Urbina, M.; Schega, L.**

Nutzerzentrierte Prüfung des Low-Costs Head-Mounted Displays Nikon Media Port UP300x für den Einsatz in mobilen Augmented-Reality-Systemen

In: Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin : Dokumentation // Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. . - Aachen : Geschäftsstelle der Dt. Ges. für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, ISBN 978-3-9811784-3-2, S. 750-751; Abstract

**Schega, L.; Hamacher, D.; Erfurth, S.; Behrens-Baumann, W.; Reupsch, J.; Hoffmann, M. B.**

Differential effects of head-mounted displays on visual performance

In: Ergonomics. - London [u.a.] Taylor & Francis, Bd. 57. 2014, 1, S. 1-11

## Vorträge und Poster

**Erfurth, S.; Hamacher, D.; Huckauf, A.; Urbina, M.; Schega, L.**

Eignung des Aussagegehalts wahrnehmungspsychologischer Parameter zur Bewertung des Einsatzes von Head-Mounted Displays. *Vortrag*. 14. Symposium Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft für Nachwuchswissenschaftler vom 3.- 5. Dezember 2010 in Olpe.

**Hamacher, D.; Erfurth, S.; Urbina, M.; Schega, L.**

Nutzerzentrierte Prüfung des Low-Cost Head-Mounted Display Nikon Media Port UP 300x für den Einsatz in mobilen Augmented-Reality-Systemen. *Poster*. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. 50. Jahrestagung, 16.-19. Juni 2010, Dortmund.