

Ergonomische Gestaltung und Bewertung kopfbasierter Displays für Arbeitsassistenzsysteme



Brewster-Stereoskop (1844)

Christopher M. Schlick

Lehrstuhl und Institut für
Arbeitswissenschaft

RWTH Aachen University
Bergdriesch 27
52062 Aachen

Telefon: 0241-80 99 440

E-Mail: c.schlick@iaw.rwth-aachen.de

Einordnung kopfbasierter Displays

Elektronische Informationsdisplays (EID)

Stationär

- Computermonitore
- Projektionswände
- Workbench

...



Produktintegriert

- Automaten-Touchscreens
- Head-Up Displays
- Textildisplays

...



Benutzerintegriert

Head-Mounted Display (HMD)
(am Kopf getragen)



Vorteile :

- Information stets im Sichtfeld
- Stereoskopische Darstellung
- Möglichkeit der Integration zusätzlicher Technologie zur Benutzerzustandserfassung



Hand-Held Display (HHD) (in der Hand gehalten)

- Smartphone
- Tablet PC

...

Body-Worn (am Körper getragen)

- Armband-Displays
- Kleidungs-Displays

...



Anwendungsbereiche

Service und Wartung



Quelle: AVILUS

Kommissionierung



Quelle: VDTC

Architektur und Design



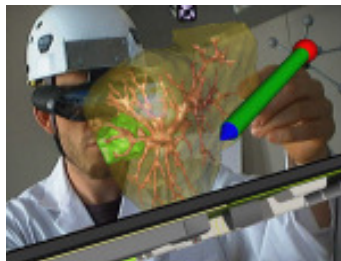
Quelle: University College London

Marketing



Quelle: Topps

Medizin: Bildgeführte OPs



Quelle: TU Graz

Therapie von Phobien



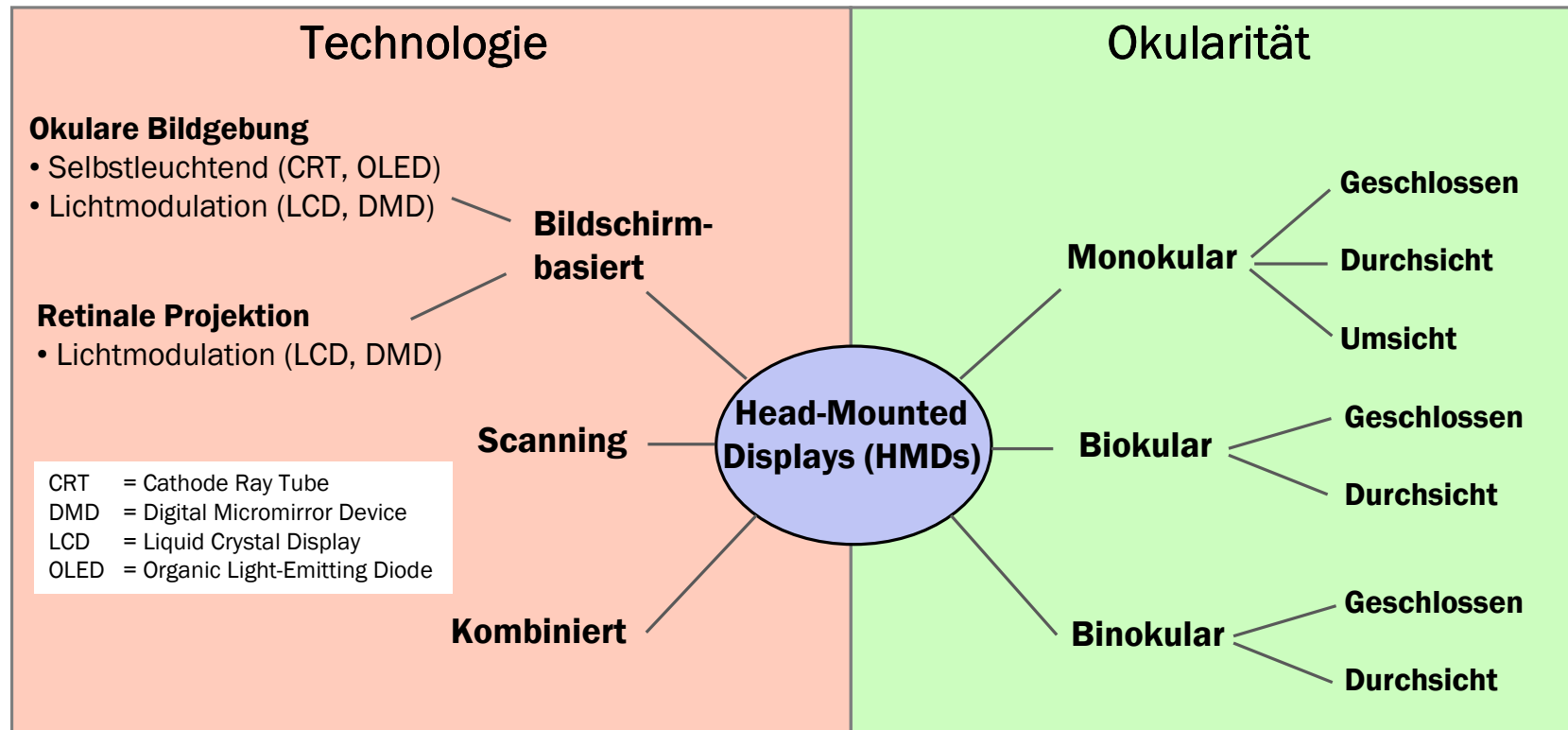
Quelle: HITLab Washington

Edutainment



Quelle: TU Wien

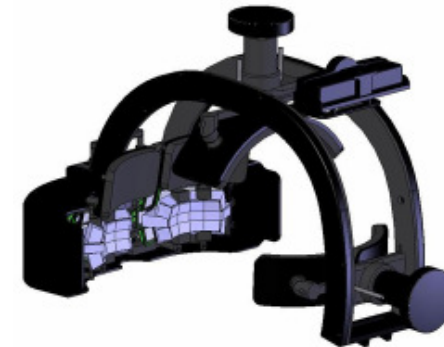
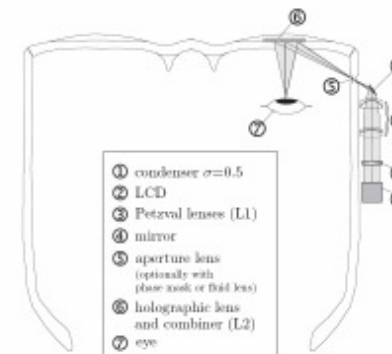
Differenzierung kopfbasierter Displays



Quelle: von Waldkirch 2005

Technologien: Okulare Head-Mounted Displays

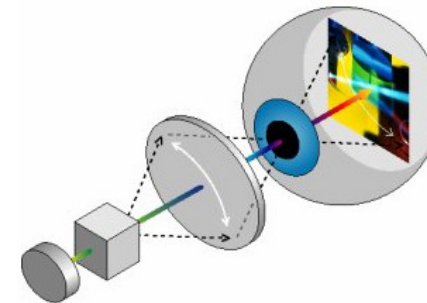
- In monokularer, biokular (2D) und binokularer (3D) Variante
- Ausführungen: geschlossen, Durchsicht (See-Through) und Umsicht (Look-Around)
- Akkommodationsebene durch Einbringen einer zusätzlichen Linse (Okular) verschiebbar.
- Tiefenschärfe durch Einbringen einer zusätzlichen Blende unabhängig vom Durchmesser der Pupille steigerbar.
- Gängiges Sichtfeld (FOV): 60° bis 90° diagonal pro Auge
- Gängige Auflösung: 1280*1024 Bildpunkte pro Auge
- Ergonomische Probleme:
 - Anstrengend durch Dauer-Nahakkommodation u. geringe Auflösung
 - Behinderung/Ermüdung durch Masse und Verkabelung
 - Akkomodations-Vergenz-Konflikt
 - Einschränkung des Sichtfeldes



Quelle: Sensics

Technologien: Virtual Retinal Displays (VRD)

- Prinzip: Laser wird über zwei Spiegel zeilen- und spaltenweise abgelenkt und über eine Projektionslinse auf die Netzhaut projiziert.
- Bildinformationen werden über die Modulation der Intensität des Lasers übertragen. Auflösung hängt von Strahlcharakteristik des Lasers ab.
- Verwendung eines einzelnen Lasers kann nur ein monochromatisches Bild auf der Netzhaut erzeugen (typischerweise rot-schwarz).
- Kompakte Bauform möglich, da direkte Projektion auf die Retina.
- Gute Erkennbarkeit der eingeblendeten Informationen auch bei hellem Tageslicht geeignet für Fahrzeug- und Flugzeugführung.
- Tiefenschärfe ist unabhängig vom Pupillendurchmesser
- Geringer Stromverbrauch gut geeignet für mobilen Einsatz.
- Akzeptanzprobleme bei Nutzern.

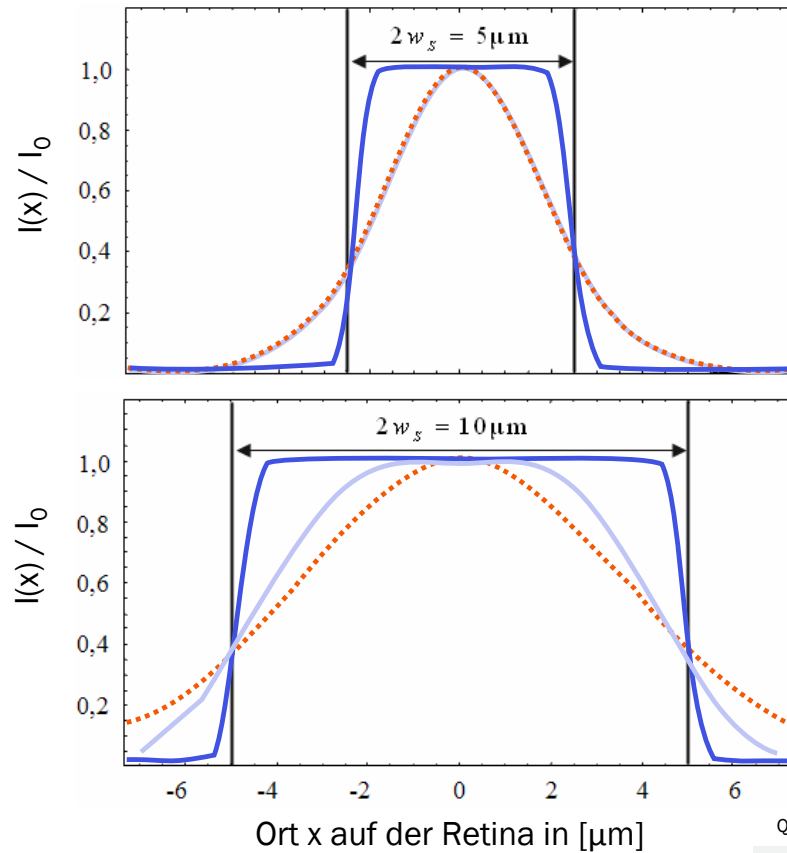


Quelle: Microvision

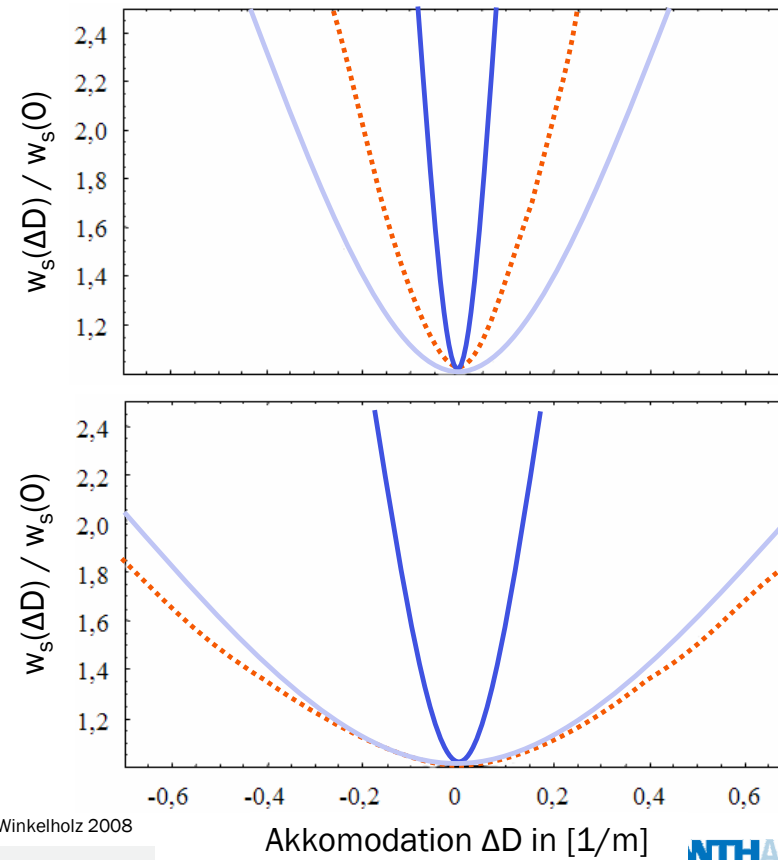
Vergleich der Tiefenschärfe: Okular ↔ Retinal

Unterschiede zwischen Laserdisplays und Okular displays bei helladaptierter und dunkeladaptierter Pupille

Intensitätsverteilung im Fokus



Vergrößerung des Bildpunktes



Quelle: Winkelholz 2008

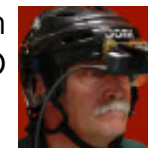
Eigene Forschungsarbeiten (I): Navigation urbanes Gelände

Untersuchungsgegenstand:
3 Display-Typen

Xybernaut MA IV
OST-LCD-TFT
HMD



Microvision
VRD



Xybernaut
HHD

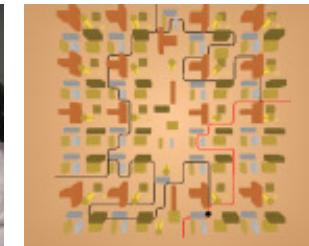


Forschungsfragen:

1. Welches Display ermöglicht die beste Leistung bei Navigationsaufgaben im urbanen Gelände?
2. Welches Display verursacht die geringste Beanspruchung, vor allem bei Dauereinsatz?

Versuchsdesign:

48 Probanden (16 für jeden Display-Typ)
Hauptaufgabe: Abfahren einer Route gemäß Vorgabe (24 insges.)
Nebenaufgabe: Zahlen Erkennen im periph. Sichtfeld (feste Zeit)
Dauer: 1,5 Stunden je Proband



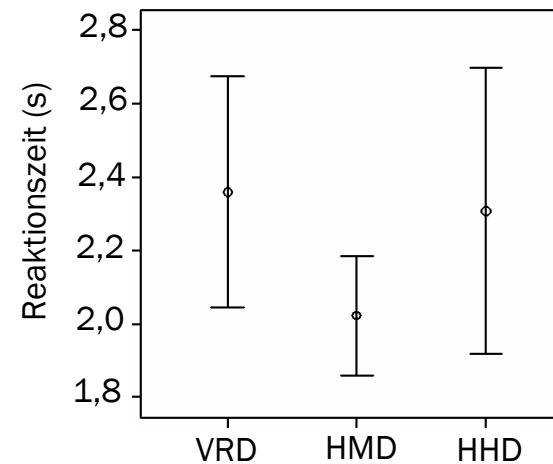
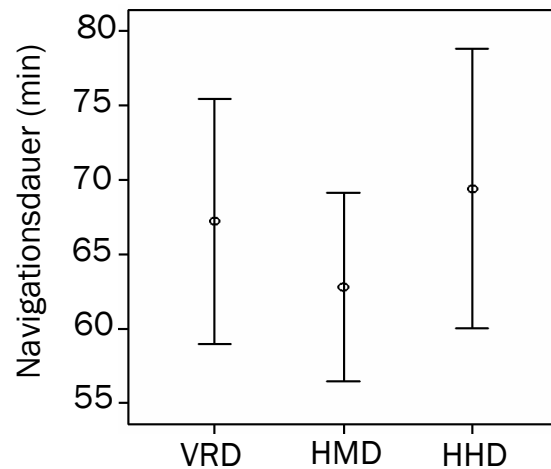
Messgrößen:

1. Objektiv: Navigationsdauer bei Hauptaufgabe
2. Objektiv: Reaktionszeit und Erkennungsgenauigkeit bei Nebenaufgabe
3. Subjektiv: Visuelle Ermüdung (VFQ), allgemeine Beanspruchung (NASA-TLX), Simulatorkrankheit (SSQ-D)

Ergebnisse:

Okulares HMD am besten bzgl. Navigationsdauer, Reaktionszeit und Erkennungsgenauigkeit
Prinzipielle Eignung aller Displays für $T < 1,5$ Std., Okul. HMD und HHD jedoch besser bei Dauerbelastung

Eigene Forschungsarbeiten (I): Display-Vergleich



Quelle: Pfendler et al. 2007

- Die niedrigsten Mittelwerte für Navigationsdauer und Reaktionszeit mit TFT HMD
- Mit VRD im Mittel schneller als mit HHD bei der Navigationsaufgabe, aber langsamer bei der Stimuli-Erkennungsaufgabe
- Die besten Stimuli-Erkennungsraten mit dem HHD, am wenigsten Auslassungen und die höchste Erkennungsgenauigkeit mit dem HMD
- Ergebnisse sind auf einem Niveau von $\alpha=0,05$ statistisch nicht signifikant

Eigene Forschungsarbeiten (II): Navigation urbanes Gelände

Untersuchungsgegenstand:

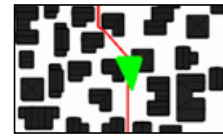
- 2 Display-Typen
- 3 Karten-Typen



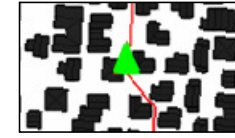
Liteye-OST-AMOLED-HMD



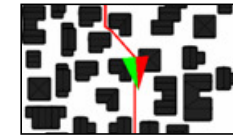
PDA



Geozentrisch



Egozentrisch



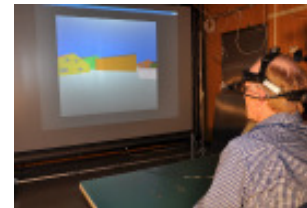
Ökologisch

Forschungsfragen:

1. Welcher Display-Typ ermöglicht die bessere Leistung, welcher die geringere Beanspruchung?
2. Welcher Kartentyp ermöglicht die schnellste Orientierung bei peripherer Wahrnehmung?

Versuchsdesign:

- 30 Probanden (10 für jeden Karten-Typ)
- Hauptaufgabe: Abfahren einer Route gemäß Vorgabe (24 insges.)
- Nebenaufgabe: Zahlen Erkennen im periph. Sichtfeld (var. Zeit)
- Dauer: 1,5 Stunden je Proband



Messgrößen:

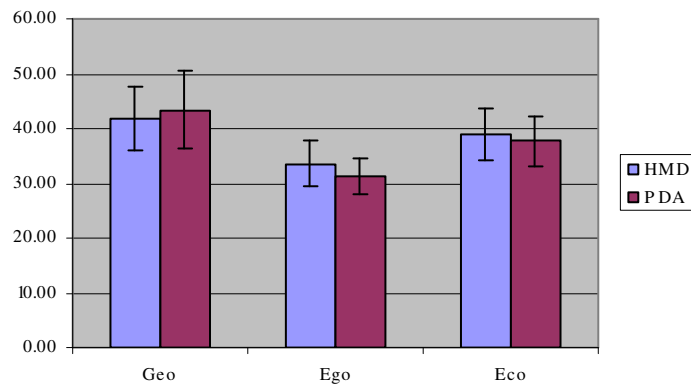
1. Objektiv: Navigationsdauer bei Hauptaufgabe
2. Objektiv: Reaktionszeit und Erkennungsgenauigkeit bei Nebenaufgabe
3. Subjektiv: Visuelle Ermüdung (VFQ), mentale Beanspruchung (NASA-TLX), Simulatorkrankheit (SSQ-D)

Ergebnisse:

- HMD und PDA in Leistung vergleichbar, jedoch Beanspruchung mit PDA signifikant geringer
- Schnellste Navigation mit egozentrischer Karte, beste periphere Wahrnehmung mit ökologischer Karte

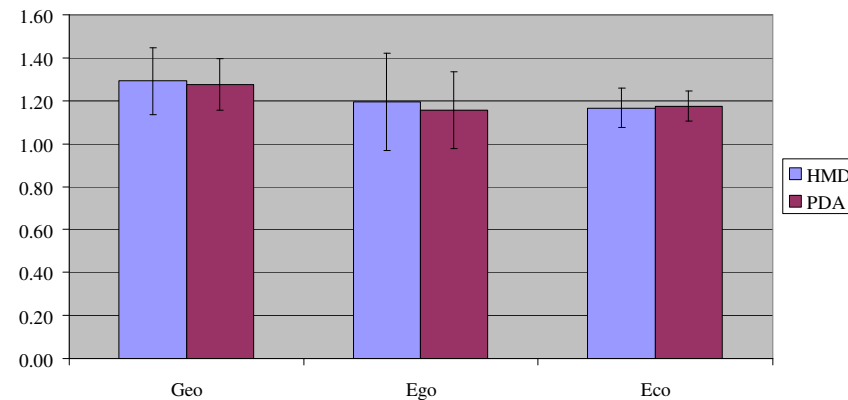
Eigene Forschungsarbeiten (II): Display-Kartentyp-Vergleich

Navigationsdauer (min)



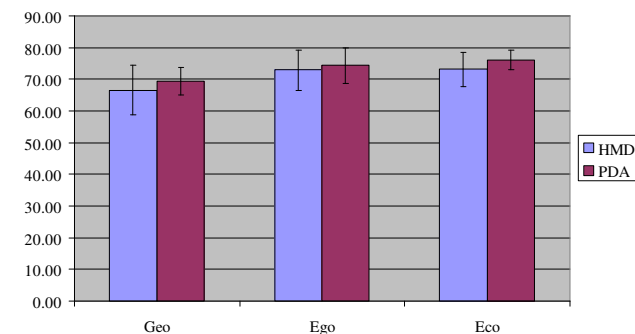
Quelle: Pfendler et al. 2010

Reaktionszeit (s)



- Die niedrigsten Mittelwerte für Navigationsdauer und Reaktionszeit bei egozentrischer Karte
- HMD nur bei der Navigationsaufgabe mit georeferenzierter Karte schneller, sonst langsamer als PDA
- Die höchsten Stimuli-Erkennungsraten mit dem PDA für alle drei Kartentypen

Erkennungsrate Nebenaufgabe



Eigene Forschungsarbeiten (III): Mensch-Roboter-Kooperation Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen **I²AW**

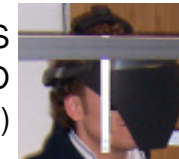
Untersuchungsgegenstand:

AR-Modus und VR-Modus eines OST-HMD bei der virtuellen Mensch-Roboter-Kooperation:

Stereoskop. NVIS
OST-LCOS-HMD
(See-Through)



Stereoskop. NVIS
OST-LCOS-HMD
(Undurchl.)



Forschungsfragen:

1. Welcher Modus erlaubt schnelleres und präziseres Arbeiten in Kooperation mit einem virtuellen Roboter?
2. Welcher Modus verursacht die geringste körperliche und mentale Beanspruchung?
3. Welcher Modus wird von den Versuchsteilnehmern subjektiv bevorzugt?

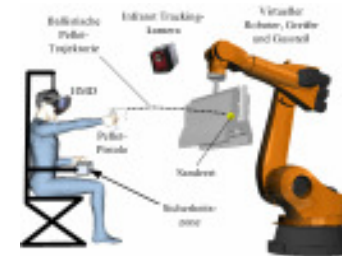
Versuchsdesign:

40 Probanden (jeder arbeitet sowohl in AR als auch in VR)

Hauptaufgabe: CO₂-Abstrahlen von 20 Sandresten in AR und VR

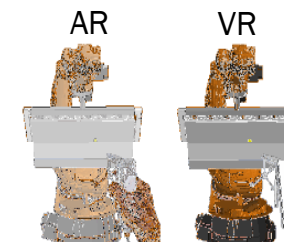
Nebenaufgabe: Interaktives Triggern der Roboterbewegungen

Dauer: 45 Minuten je Proband



Messgrößen:

1. Objektiv: Benötigte Zeit bis zum Abtreffen der einzelnen Sandrest
2. Objektiv: Anzahl benötigter virtueller Pellets bis zum Abtreffen der einzelnen Sandreste
3. Subjektiv: Allgemeine Beanspruchung (NASA-TLX), Persönliche Präferenz (AR oder VR)



Ergebnisse:

VR-Modus besser sowohl in der Bearbeitungszeit als auch im Verbrauch virtueller Pellets

AR- und VR-Modus vergleichbare, geringe subjektive Beanspruchung

persönliche Präferenz: 62,5% bei AR

Eigene Forschungsarbeiten (III): AR-VR-Vergleich, objektiv

- Ausführungszeiten und Pellet-Verbrauch

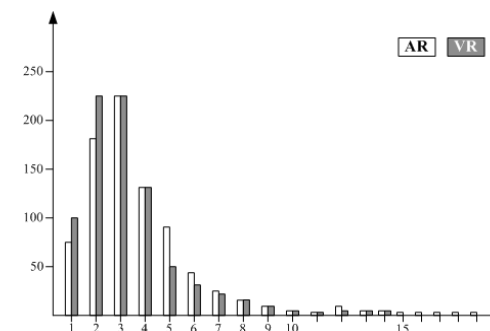
		Augmented Reality		Virtual Reality	
		Mittelwert	Std.abw.	Mittelwert	Std.abw.
Insgesamt (N=40)	Ausführungszeit [ms]	3378.04	896.55	3306.56	925.39
	Benötigte Pellets [num]	3.71	1.01	3.17	0.99
3D erfahren (N=22)	Ausführungszeit [ms]	3134.69	741.28	3067.66	751.7
	Benötigte Pellets [num]	3.59	0.87	3.05	1.05
3D unerfahren (N=18)	Ausführungszeit [ms]	3681.45	995.57	3598.61	1049.94
	Benötigte Pellets[num]	3.86	1.18	3.30	0.94

Quelle: Neuhöfer et al. 2009

- Probanden trafen in VR nur unsignifikant schneller als in AR
- Pellet-Verbrauch in AR signifikant höher als in VR (Grund: Unsicherheit bei visuellem Feedback)
- 3D-Erfahrung (CAD, Spiele) brachte nur unsignifikanten Leistungsvorteil (Hand-Auge-Koordination)

- Pellet-Verteilung

- Gros der Sandreste in AR und VR mit 2 bis 4 Pellets getroffen
- Häufigkeitsverteilung bei AR leptokurtischer (hochspitziger, spitzer) als bei VR
- Mehr und extremere Ausreisser bei AR (häufigerer Bedarf an extremen Einsatz von Pellets)



Eigene Forschungsarbeiten (III): AR-VR-Vergleich, subjektiv

- Subjektiv empfundene Beanspruchung

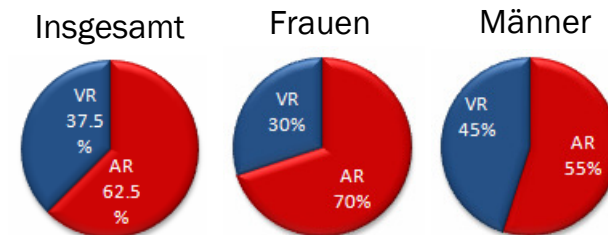
	NASA-TLX Subscales											
	Mental		Körperlich		Zeitlich		Performanz		Aufwand		Frustration	
	MW	Std.a bw.	MW	Std.a bw.	MW	Std.a bw.	MW	Std. abw.	MW	Std.a bw.	MW	Std. abw.
Insgesamt (N=40)	2.9	2.1	2.3	1.9	4.1	2.5	5.4	1.8	5.1	2.0	2.5	2.1
Nur AR (N=20)	2.8	2.3	2.4	2.1	3.9	2.4	4.9	2.1	4.8	2.4	2.8	2.5
Nur VR (N=20)	3.0	2.0	2.2	1.7	4.4	2.6	5.8	1.3	5.4	1.6	2.2	1.5

Quelle: Neuhöfer et al. 2009

- Gering empfundene mentale und körperliche Belastung (Gründe: kurze Dauer, HMD fixiert, Systemdesign)
- Geringe Frustration trotz kleiner, weit entfernter Ziele
- Kein signifikanter Unterschied im Rating der Beanspruchung zwischen AR und VR

- Persönliche Präferenz

- Tendenz Richtung AR, besonders bei Frauen
- Gründe für VR: Konsistenter Gesamteindruck, besseres Zielen
- Gründe für AR: Realitätsnähe, keine Latenz bei Bewegungen



Zusammenfassung und Ausblick

- Head-Mounted Displays: „hands-free“, ggf. stereoskopische Informationsdarstellung im Sichtfeld
- Okulare HMDs weit entwickelt und in unterschiedl. Ausführungen, jedoch mit ergonomischen Defiziten
- Virtual Retinal Displays mit kontrastreicher Darstellung und geringem Gewicht, jedoch u.U. geringe Tiefenschärfe sowie erhebliche Akzeptanzprobleme
- Forschungsbeispiele zur HMD-Ergonomie: Navigation & Orientierung, Mensch-Roboter-Kooperation

- Verminderung von Gewicht, Druck- und Reibkräften für bessere Ergonomie
- Steigerung von Auflösung und Sichtbereich für größere Anwendungsvielfalt
- Senkung des Energiebedarfs bzw. ggfs. Eigenversorgung für bessere Mobilität
- Konzeption und Entwicklung akkomodationsunabhängiger Displays
- Langfristig direkte Ansteuerung des Sehnervs, Retinal-Implantate



Quelle: Intelligent Medical Implants

Literatur und Quellen

- AVILUS** (2009): Angewandte Virtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittellebenszyklus. <http://www.avilus.de>
- HITLab Washington** (2009): VR Therapy for Spider Phobia. <http://www.hitl.washington.edu/projects/exposure/>
- Intelligent Medical Implants** (2009): Intelligent Medical Implants GmbH. <http://www.imidevices.com/de/imi-retina-implantat-system.html>
- Microvision** (2009): Microvision Wearable Displays. http://www.microvision.com/wearable_displays/index.html
- Neuhöfer, J. A.; Kausch, B.; Schlick, C. M.** (2009): Embedded Augmented Reality Training System for Dynamic Human-Robot Cooperation. In: Proceedings of NATO HFM-169 Workshop on Human Dimensions in Embedded Virtual Simulation. 22-22 Oktober, Orlando, Florida, USA.
- Pfendler, C.; Park, M.; Thun, J.; Schlick, C.; Grandt, M.** (2007): Geographic Orientation with Electronic Displays. In: Proceedings of Work With Computing Systems WWCS Conference 2007, 21.-24.5.2007, Stockholm, Sweden.
- Schlick, C. M.; Ziefle, M.; Park, M.; Luczak, H.** (2006): Visual Displays. In: Jacko, J. A.; Sears, A. (Hrsg.): The Human-Computer Interaction Handbook – Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications, Second Edition. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sensics** (2007): Sensics piSight – Ultra-Panoramic HMD. <http://sensics.com/products/pisightSection/>
- Topps** (2009): Topps Augmented Reality 3D Live Baseball Card Campaign. <http://www.topps.com/>
- TU Graz** (2009): Institut für Maschinellen Sehen und Darstellen (ICG). <http://www.informatik.tugraz.at/cs/de/aboutus/institutes/icg/index.html>
- TU Wien** (2009): Construct3D - An Application and Framework for using Augmented Reality in Mathematics and Geometry Education. Institut für Softwaretechnologie und interaktive Systeme. <http://www.ims.tuwien.ac.at/research/construct3d/>
- Universität Stuttgart** (2009): VALIDATE - Virtual Automotive Lab for Integrated Digital Automation Technologies. <http://www.validate-stuttgart.de/>
- University College London** (2004): ARTHUR - Augmented Round Table for Architecture and Urban Planning. <http://www.vr.ucl.ac.uk/projects/arthur/>
- VDTC** (2009): Virtual Training and Development Center, Magdeburg. <http://www.vdvc.de/>
- Waldkirch, M. v.** (2005): Retinal Projection Displays for Accommodation-Insensitive Viewing. Unveröffentlichte Dissertation. ETH Zürich, Schweiz.
- Winkelholz, C.** (2008): Theoretische Betrachtungen zur Schärfentiefe eines Retinal Scanning Displays. In: Schmidt, L.; Schlick, M. C.; Grosche, J. (Hrsg.): Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. Springer Verlag, Berlin.