



## Datenbrillen – Aktueller Stand von Forschung und Umsetzung sowie zukünftiger Entwicklungsrichtungen

## **Tagungsdokumentation**

# **Datenbrillen – Aktueller Stand von Forschung und Umsetzung sowie zukünftiger Entwicklungsrichtungen**

**Workshop  
vom 20. Juni 2011 in Dortmund**

Dortmund/Berlin/Dresden 2012

Diese Veröffentlichung ist die Tagungsdokumentation anlässlich des Workshops „Datenbrillen - Aktueller Stand von Forschung und Umsetzung sowie zukünftiger Entwicklungsrichtungen“ im Rahmen des Forschungsprojektes F 2288.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Tagungsleitung: Dr. Lars Adolph, Dr. Matthias Wille, Britta Grauel  
Gruppe „Human Factors und Ergonomie“  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelfoto: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Umschlaggestaltung: Rainer Klemm  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herstellung: Bonifatius GmbH, Paderborn

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25, 44149 Dortmund  
Telefon 0231 9071-0  
Fax 0231 9071-2454  
poststelle@baua.bund.de  
www.baua.de

Berlin:  
Nöldnerstr. 40 – 42, 10317 Berlin  
Telefon 030 51548-0  
Fax 030 51548-4170

Dresden:  
Fabricestr. 8, 01099 Dresden  
Telefon 0351 5639-50  
Fax 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

Aus Gründen des Umweltschutzes wurde diese Schrift auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

ISBN 978-3-88261-146-5

# Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Vorwort L. Adolph, M. Wille, B. Grauel	5
2	Head-Mounted Displays – Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes M. Wille, B. Grauel, L. Adolph	6
3	Entwicklung eines Testverfahrens für Datenbrillen P. Hoffmann, H. Baumann, M. Lawo	12
4	Evaluation grafischer Benutzerschnittstellen für die Kommissionierung unter Verwendung von Head Mounted Displays H. Baumann, M. Lawo	19
5	Visual Guided Picking – ergonomische und wirtschaftliche Unterstützung in der Intralogistik M. Ehmman	23
6	Teleoperationsunterstützung über ein HMD und ein kopfbewegungsgesteuertes Stereokamerasystem auf einem entfernten mobilen Roboter J. Hegenberg, L. Cramar, L. Schmidt	29
7	Empirische Untersuchungen zur Suche von Montagefehlern mit konventioneller 2-D-Darstellung an einem TFT-Monitor gegenüber einer stereoskopischen Darstellung an einem kopfbasierten Display B. Odenthal, M. Mayer, C. Schlick	39
8	Vorausgehende Bedingungen für den Einsatz von Head Mounted Displays zur Unterstützung komplexer Aufgaben B. Grauel, M. Wille und L. Adolph	46
	Kontaktadressen der Referenten	53

# 1 Vorwort

Lars Adolph, Matthias Wille, Britta Grauel

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Technologien der „Ambient Intelligence“ bilden seit 2009 einen Forschungsschwerpunkt der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin im Fachbereich für Produkte und Arbeitssysteme. Zu diesen Technologien zählen wir auch innovative Arbeitsassistenzsysteme, wie sie Head Mounted Displays (HMDs) darstellen. In der Fachgruppe für Human Factors und Ergonomie werden HMDs unter den Perspektiven ihrer Einsatzmöglichkeiten, der Gestaltung sowie der Wirkungen auf den Nutzer betrachtet. Die Technologie bietet einerseits faszinierende Möglichkeiten, andererseits ist sie ein Kristallisationspunkt für zahlreiche drängende und auch kritische Forschungsfragen des gesamten Themenfeldes innovativer Mensch-Maschine-Systeme. Letztlich ist die menschengerechte und wettbewerbsförderliche Verwendung dieser und anderer neuer Technologien ein Hauptanliegen der BAuA.

Im Rahmen unserer Forschungsarbeiten zeigte sich schnell, dass sich nicht allzu viele, dafür aber sehr engagierte Wissenschaftler mit ähnlichen oder angrenzenden Fragestellungen beschäftigen.

Dies war der Grund für einen ersten Workshop mit dem Thema „Datenbrillen“ im Jahr 2009. Auf Grund der positiven Resonanz und mehrfachen ausdrücklichen Wunsches veranstalteten wir am 20. Juni 2011 einen Zweiten Workshop „Datenbrillen – Aktueller Stand von Forschung und Umsetzung sowie zukünftige Entwicklungsrichtungen“.

Ziel dieses Workshops war den Teilnehmern aus verschiedenen Disziplinen im Bereich HMDs ein weiterführendes Forum zu bieten und über aktuelle Forschung zu reflektieren. In einem interaktiven Teil des Workshops wurden in Gruppenarbeiten Fragestellungen bezüglich der Anwendungsfelder und geeigneter Aufgabentypen vertieft diskutiert.

Im vorliegenden Band finden sie die von den Referenten bereitgestellten Vorträge. Wir bedanken uns sehr herzlich bei allen Autoren und freuen uns schon auf die Ausrichtung des nächsten Workshops zum Thema Datenbrillen – voraussichtlich 2013.

## **2 Head-Mounted Displays – Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes**

Matthias Wille, Britta Grauel, Lars Adolph

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

### **Einleitung**

Unter Head Mounted Displays (HMDs) versteht man im Allgemeinen alle Formen von am Kopf getragenen elektronischen Anzeigen. Im Speziellen handelt es sich hierbei um Geräte in Brillenform (oft mit zusätzlichem Kopfträger), die dem Nutzer auf kleinen Computermonitoren Informationen direkt vor dem Auge darstellen. Im deutschen Sprachraum findet man daher auch die Bezeichnung „Datenbrillen“ für HMDs.

Bei HMDs lassen sich weiterhin Geräte unterscheiden, die nur vor einem Auge Informationen darstellen („monokular“) oder vor beiden Augen („binokular“), sowie Displaytechniken, die die Informationen halbtransparent darstellen, so dass noch eine Durchsicht auf die Umgebung möglich ist („see through“) und Systemen die keine Durchsicht ermöglichen („look around“ oder „geschlossene Systeme“).

Bei Anwendungen mit virtueller oder augmentierter (erweiterter) Realität, wie sie z. B. bei der virtuellen Produkt- oder Fabrikplanung vorkommen, werden HMDs schon häufiger eingesetzt. Zunehmend erhalten HMDs aber auch Einzug in andere Bereiche der Arbeitswelt. Hier werden HMDs als Arbeitshilfe eingesetzt und stellen z. B. die Informationen dar, die bisher in Handbüchern oder Verfahrensanweisungen in Papierform vorlagen. Beispiele für Anwendungen finden sich z. B. in Bereichen der Montage, Instandhaltung, Kommissionierung, oder Systemüberwachung (für einen Überblick siehe Völker et. al., 2010) Die Verwendung von HMDs als Arbeitshilfe kann die Leistung erhöhen, jedoch auch unerwünschte Effekte auslösen, wie Kopfschmerzen oder Aufgabenunterbrechung. Um die Wirkungsweise von HMDs in solchen Anwendungsgebieten näher zu untersuchen, führt die BAuA ein mehrjähriges Forschungsprojekt durch, das im Folgenden näher vorgestellt wird.

### **Projektstruktur und Fragestellung**

Das Projekt „Head Mounted Displays - Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin ist für einen Zeitraum von 4 Jahren angelegt (Oktober 2010 – Oktober 2014). Im Rahmen des Projektes gibt es mehrere Teilprojekte mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Zu Beginn wurde zunächst eine ausführliche Literaturanalyse und Begriffsdefinition durchgeführt. Es werden dann Methoden der Aufgabenanalyse evaluiert, welche eine sichere Entscheidung ermöglichen, ob HMDs für eine bestimmte Aufgabe geeignet sind. In weiteren Teilprojekten werden die physischen und psychischen Auswirkungen des HMD Einsatzes auf den Nutzer mittels Laborstudien evaluiert. Ein besonderer Augenmerk gilt hierbei den Auswirkungen eines Langzeiteinsatzes von

HMDs, was sich zum einen auf eine Trage- und Bearbeitungszeit von mehreren Stunden am Stück, aber auch auf das wiederholte Tragen von HMDs bezieht. Ebenso sollen vor dem Hintergrund des demographischen Wandels die Auswirkungen auf verschiedene Altersgruppen von Nutzern untersucht werden. Diese Untersuchungen werden zum Teil in Eigen- und zum Teil in Fremdforschung durchgeführt.

Des Weiteren wird der Transfer der Projektergebnisse sichergestellt. Hierbei wird neben wissenschaftlichen Veröffentlichungen auch eine Entscheidungshilfe für Anwender bereitgestellt, bei welchen Aufgabenstellungen sich ein HMD Einsatz lohnt und bei welchen Tätigkeiten eher auf andere Hilfsmittel zurückgegriffen werden sollte.

Die zentralen Fragestellungen des Gesamtprojektes lauten:

- Welche Anforderungen an die neuen Technologien als Arbeitsassistent gibt es?
- Welche Aufgaben profitieren am besten von der Unterstützung?
- Welche physischen Beanspruchungen kommen auf den Nutzer zu?
- Mit welchen psychischen Beanspruchungen ist zu rechnen?
- Wie wirkt sich der Langzeiteinsatz von HMDs aus?
- Wie wirken sich Personenmerkmale (z. B. Alter) aus?

## **Eingrenzung des Anwendungsbereiches**

Die Obergruppe der HMDs unterscheidet sich sehr deutlich hinsichtlich ihres technischen Aufbaus und ihres Anwendungsbereiches. Bei dieser großen Diversität des Untersuchungsbereiches ist es nötig einige Einschränkungen zu treffen, um zu konkreten, belastbaren Aussagen zu kommen.

Die Basis dieser Konkretisierungen des Untersuchungsbereiches bildet zum einen die durchgeführte Literaturanalyse und zum anderen eine Reihe von Experteninterviews, bei denen am Telefon Forscher und Entwickler mit Expertenwissen im Bereich HMD befragt wurden<sup>1</sup>.

Im Rahmen des Projektes werden HMDs als zusätzliche Arbeitsassistent gesehen und nicht als direktes Werkzeug oder Produktionsmittel, das zur Erledigung der Aufgabe notwendig ist. Somit sind Anwendungen im Bereich der virtuellen Produktplanung z. B. nicht im Fokus des Projektes, denn hier wird das HMD dauerhaft als Anzeigeelement für die Inhalte und sämtliche an diesen vorgenommenen Manipulationen genutzt (siehe z. B. Runde, 2007). Diese Anwendung unterscheidet sich stark von der Nutzung als Assistenzsystem, bei der die eigentlichen Inhalte der Tätigkeit extern vom HMD stattfinden.

Des Weiteren werden im Projekt vorrangig monokulare HMDs verwendet, da diese für Anwendungen als Assistenzsystem gut geeignet sind und bereits häufig verwendet werden. Binokulare HMDs werden aber nicht komplett aus der Betrachtung ausgeschlossen.

HMDs bilden nur eine Möglichkeit elektronische Inhalte zur Unterstützung der Arbeitstätigkeit darzustellen. Eine weitere Möglichkeit sind z. B. Smart phone oder Tablet PCs, wie sie derzeit sowohl im Consumerbereich, als auch in der Arbeitswelt weit verbreitet sind. Von daher wird in den Untersuchungen immer ein Tablet PC, der die gleichen Informationen darstellt, als Vergleich herangezogen.

---

<sup>1</sup> Basis: 12 Telefoninterviews, durchgeführt Dezember 2010 - März 2011.

Augmented Reality ist kein Schwerpunkt des Projektes. Unter Augmented Reality (AR) versteht man die direkte Überlagerung der realen Welt mit virtuellen Inhalten wie es bei „see-through“ HMDs möglich ist. Allerdings bedingt AR auch immer eine exakte Lagebestimmung („tracking“) des HMDs, um die Überlagerung der Darstellung exakt ausführen zu können. Beim Tracking unterscheidet man zwischen „markerbased“ und „markerless“ Tracking. Beim markerbased Tracking werden geografische schwarzweiß Muster an bestimmten Orten im Raum angebracht, die von einer am HMD befestigten Kamera ausgelesen und von einer Software erkannt werden, so dass eine sehr exakte Lagebestimmung möglich ist. Beim markerless Tracking werden keine Marker verwendet und es wird auf andere Positionsinformationen (wie z. B. GPS) zurückgegriffen, was nur eine grobe Lagebestimmung zulässt. Während das markerbased tracking genau genug ist, um auch relevante Arbeitsinhalte zu unterstützen (z. B. Hervorheben einer bestimmten Schraube in einem technischen Gerät) ist das markerless tracking zwar im Consumerbereich bereits weit verbreitet, um z. B. Lage und Entfernung eines bestimmten Geschäftes anzuzeigen, als Arbeitsassistent ist es aber zumeist ungeeignet, da z. B. bestimmte Rohrleitungen bei der Instandhaltungstätigkeit nicht zuverlässig identifiziert werden können. Da markerbased tracking aber nur in vorher mit Markern ausgestatteten Räumen oder Arbeitsinhalten stattfinden kann und weiterhin mit großem Programmieraufwand und wiederholter Kalibrierung des Systems durch den Nutzer möglich ist, sehen wir keine flächendeckende Anwendung in der industriellen Praxis innerhalb der nächsten Jahre. Somit fokussiert das Projekt Anwendungen, die ohne Augmented Reality auskommen.

## **Geplante Studien**

Im Folgenden werden die geplanten Studien der Teilprojekte näher beschrieben. Hierbei wird sich auf den aktuellen Stand der Planung bezogen, der bereits seit dem Workshop vorangeschritten ist.

## **Aufgabenanalyse**

Ein Anliegen des Projektes ist es, neben den Auswirkungen des HMD Einsatzes auf den Nutzer geeignete Tätigkeiten für den HMD Einsatz zu spezifizieren und deren Charakteristika herauszuarbeiten. In diesem Zusammenhang muss die Arbeitshilfe zunächst definiert werden. Nach Harless (1986, S.108) ist eine Arbeitshilfe „Ein Mechanismus der Informationen außerhalb des Nutzers speichert, durch den Arbeitsablauf führt, und folgende Kriterien erfüllt: Es kann in Realzeit eingesetzt werden; es gibt dem Nutzer Signale wann die Aufgabe zu erfüllen ist (Stimuli) und wie (Response) und reduziert die Menge oder Zeit in der Informationen behalten werden müssen“. Hierfür eignet sich ein HMD als Anzeigeeinheit für Informationen prinzipiell gut. Um aber zu entscheiden, bei welchen Tätigkeiten der Einsatz von HMDs sinnvoll ist, werden im Projekt Aufgabenanalysen in Zusammenarbeit mit Industriepartnern durchgeführt. Hierbei kommen verschiedene Analysemethoden zum Einsatz, wie z. B. die hierarchische Aufgabenanalyse (Shepherd, 2001) und die kognitive Aufgabenanalyse (Vincente, 1999) und werden hinsichtlich ihrer Ergebnisse verglichen. Hieraus können dann Aufgabenmerkmale abgeleitet werden, die für oder gegen einen HMD Einsatz sprechen.

Die Ergebnisse der Aufgabenanalyse werden dann wiederum in einer Studie experimentell überprüft.



## **Physische Auswirkungen des HMD Einsatzes**

Die physischen Auswirkungen des HMD Einsatzes beziehen sich vor allem auf das Muskel-Skelett-System, das visuelle und das motorische System. Dieses Teilprojekt ist extern vergeben und wird von einem Konsortium vom Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE) und dem Institut für Arbeitswissenschaften der RWTH-Aachen (IAW) durchgeführt.

In der geplanten Studie werden Probanden an einem Motor mehrere Tätigkeiten durchführen, wobei sie die Montageanweisungen dazu auf einem HMD oder vergleichsweise auf einem fest montierten Monitor sehen. Hierbei werden die Probanden jeweils mehrere Stunden arbeiten, um so die Langzeitauswirkungen des HMD Einsatzes zu untersuchen, wie sie im normalen Arbeitsalltag dann auch vorzufinden wären.

Erhoben werden verschiedene Altersklassen von Nutzern, sowie verschiedene Körperpositionen (stehend/sitzend) bei der Durchführung und die Assistenz durch ein „see through“, sowie ein „look around“ HMD, beide in monokularer Ausführung.

Das Projekt ist im Dezember 2011 gestartet und befindet sich derzeit noch in der Phase der Konkretisierung der Planung. Für die Erfassung der physischen Auswirkungen auf das Muskel-Skelett System wird neben Beschwerdefragebögen die Electromyografie (EMG) eingesetzt. Für die visuelle Beanspruchung werden neben einem Fragebogen zur visuellen Ermüdung (Bangor, 2000) derzeit noch geeigneten Verfahren zur kurzfristigen Beeinflussung des visuellen Systems geprüft. Des Weiteren wird auch die mentale Beanspruchung mittels der subjektiven Verfahren NasaTLX (Hart & Staveland, 1988) und Rating Scale of Mental Effort (Zijlstra, 1993) erfasst.

## **Psychische Auswirkungen des HMD Einsatzes**

Eine weitere Studie wird in der BAuA durchgeführt und hat einen Schwerpunkt in der mentalen Beanspruchung der Nutzer beim HMD Einsatz im Vergleich zur Assistenz durch einen Tablet PC. Auch diese Studie fokussiert den Langzeiteinsatz, so dass die Probanden hier zu drei Terminen jeweils vier Stunden mit dem HMD, bzw. mit dem Tablet arbeiten.

Als Arbeitsinhalt werden vollständige Aufgaben durchgeführt, die Planung, Durchführung und Kontrolle einer Tätigkeit beinhalten. Konkreter Arbeitsinhalt wird z. B. die Konstruktion von Lego-Technik Bausätzen anhand der Aufbauanleitung sein. Hierbei sollen die Probanden parallel eine Monitoring Aufgabe durchführen, in der sie auf veränderte grafische Signale am Bildschirmrand mit Tastendruck reagieren müssen, wobei die Reaktionszeit erhoben wird.

Die mentale Beanspruchung der Probanden wird dabei sowohl mit objektiven, als auch mit subjektiven Verfahren erfasst. Als objektives Verfahren wird die Herzrate und die Herzratenvariation nach dem Freiburger Monitoring System erhoben (Myrtek et. al., 2001). Als subjektive Verfahren werden auch hier der Nasa TLX (Hart & Staveland, 1988) und der RSME (Zijlstra, 1993) herangezogen. Ebenso wird die visuelle Ermüdung mittels Fragebogen erfasst (Bangor, 2000). Diese Verfahren werden also in beiden Studien gleich gehalten, um so auch Studienübergreifende Vergleiche anstellen zu können. Hierbei ist besonders die gleichzeitige Nutzung von NasaTLX und RSME von Interesse, da es noch keinen direkten Vergleich dieser beiden Verfahren zur subjektiven Beanspruchungsmessung gibt. Der Hauptunterschied beider Verfahren liegt darin, dass der Nasa TLX die Beanspruchung auf 6 Subskalen erhebt, die

untereinander gewichtet werden, während der RSME die mentale Beanspruchung auf nur einer Skala erhebt. Dies macht die Durchführung des RSME wesentlich einfacher und erlaubt auch die Erhebung zu verschiedenen Zeitpunkten während des laufenden Versuches, da die Ablenkung der Probanden geringer ist. Auf der anderen Seite können durch das Wegfallen der Subskalen wichtige Informationen über die Natur der Beanspruchung verloren gehen. Ein Vergleich des noch relativ neuen RSME Verfahrens mit etablierten Verfahren der subjektiven Beanspruchungsmessung wie dem SWAT (Reid & Nygren, 1988) wurde bereits durchgeführt und konnte dem RSME eine hohe Reliabilität und Validität zusichern (Verwey & Veltman, 1996). Ein Vergleich mit dem ebenfalls etablierten Verfahren Nasa TLX steht aber noch aus. Wenn dies im Rahmen des Projektes ebenfalls geleistet werden kann, so wirkt sich dies positiv auf den methodischen Transfer aus. Denn ein Verfahren wie der RSME kann mit geringerem Aufwand eingesetzt werden und ist auch von Anwendern besser durchführbar um mentale Beanspruchung in konkreten Situationen zu erheben. Neben den erwähnten Verfahren wird auch die Akzeptanz der HMD Technologie erhoben. Hierzu wird ein Verfahren von Kollmann (1998) verwendet, das speziell dazu geeignet ist die zukünftige Akzeptanz von neuen Technologien abzuleiten, da die Akzeptanz bei Erstkontakt meist gering ist und im Laufe der Zeit und der Erfahrung mit dem neuen System zunimmt.

## Erwartete Ergebnisse

Am Ende des Projektes sollen die physischen und psychischen Auswirkungen der HMD Nutzung für spätere Anwender herausgearbeitet werden und in verständlicher Form eine Entscheidungshilfe gegeben werden, wann der Einsatz von HMDs sinnvoll ist und unter welchen Bedingungen damit auch längerfristig gearbeitet werden kann.

## Literatur

- Bangor, A. W. (2000). Display technology and ambient illumination influences on visual fatigue at VDT Workstations. Dissertation an der Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.
- Harless, J. (1986). Guiding performance with job aids. In: D. Brethower (Ed.), Introduction to Performance Technology, 1, 106-124. Washington, DC: The National Society for Performance and Instruction.
- Hart, S.G., & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), Human mental workload (pp. 139–183). Amsterdam: North-Holland.
- Kollmann, T. (1998). Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme. Wiesbaden: Gabler.
- Myrtek, M., Foerster, F., Brüchner, G. (2001). Freiburger Monitoring System. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Reid, G.B., & Nygren, T.E. (1988). The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload. In: P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), Human mental workload (pp. 185–218). Amsterdam: North-Holland.

- Runde, C. (2007). Konzeption und Einführung von Virtueller Realität als Komponente der Digitalen Fabrik in Industrieunternehmen. Dissertation, Universität Stuttgart. Verfügbar unter: <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2007/3131/> [Juli 2011].
- Shepherd, A. (2001). Hierarchical Task Analysis. London: Taylor & Francis.
- Verwey, W. & Veltman, H. (1996). Detecting short periods of elevated workload: A comparison of nine workload assessment techniques. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, Vol. 2, No. 3, 270-285.
- Vicente, K. J. (1999). *Cognitive Work Analysis. Towards Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work*. Mahwah: L. Erlbaum Associates.
- Völker, K., Adolph, L., Pacharra, M., Windel, A. (2010). Datenbrillen – Aktueller Stand von Forschung und Umsetzung sowie zukünftige Entwicklungsrichtungen. In *Neue Arbeits- und Lebenswelten. Bericht zum 56. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 24. – 26. März 2010 an der Technischen Universität Darmstadt*. (S.61-65) Dortmund: GfA-Press.
- Zijlstra, F.R.H. (1993). *Efficiency in work behaviour: a approach for modern tools*. PHD Thesis, Delft University of Technology. Verfügbar unter: <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid:d97a028b-c3dc-4930-b2ab-a7877993a17f/> [Juli 2011].

### **3 Entwicklung eines Testverfahrens für Datenbrillen**

Peter Hoffmann, Hannes Baumann, Michael Lawo

Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik

#### **Standardisierung eines Testverfahrens für Datenbrillen: Ziele**

Eine Datenbrille ist bei rein technischer Betrachtung nichts anderes als ein Monitor in einem Computersystem. Während klassische Datenanzeigergeräte in der Regel an nur einem Ort benutzt werden, ist die Datenbrille dazu gedacht, dass sie vom Benutzer während seiner Arbeit am Computersystem mitgenommen wird. Um den Benutzer bei seiner Bewegung nicht zu behindern, unterscheidet die Datenbrille sich von den klassischen Datenanzeigergeräten dadurch, dass ihre Konstruktion ein möglichst geringes Gewicht und eine möglichst geringe Größe aufweist. Daneben sind weitere zentrale Parameter, ob die Anzeige der Datenbrille auf einem oder auf beiden Augen erfolgen soll, es sich um Look-around oder See-through-Geräte handelt und ob diese Geräte kabellos oder kabelgebunden arbeiten.

Die besonderen Charakteristika von Datenbrillen gegenüber klassischen Monitoren führen sowohl zu einer Vielzahl unterschiedlicher Bauweisen als auch zu einer großen Bandbreite neuer Anwendungen von Computersystemen. Wo solche bisher aufgrund des fehlenden visuellen Rückkanals nicht genutzt werden konnten, eröffnet der Gebrauch von Datenbrillen die Option, zu jeder Zeit und von jedem Ort auf visuelle Informationen zugreifen zu können. Dies hat die Auswirkung, dass die Umgebungsbedingungen, die Geräteausprägungen sowie die Gestaltung der Benutzungsschnittstellen in sehr enger Wechselwirkung stehen.

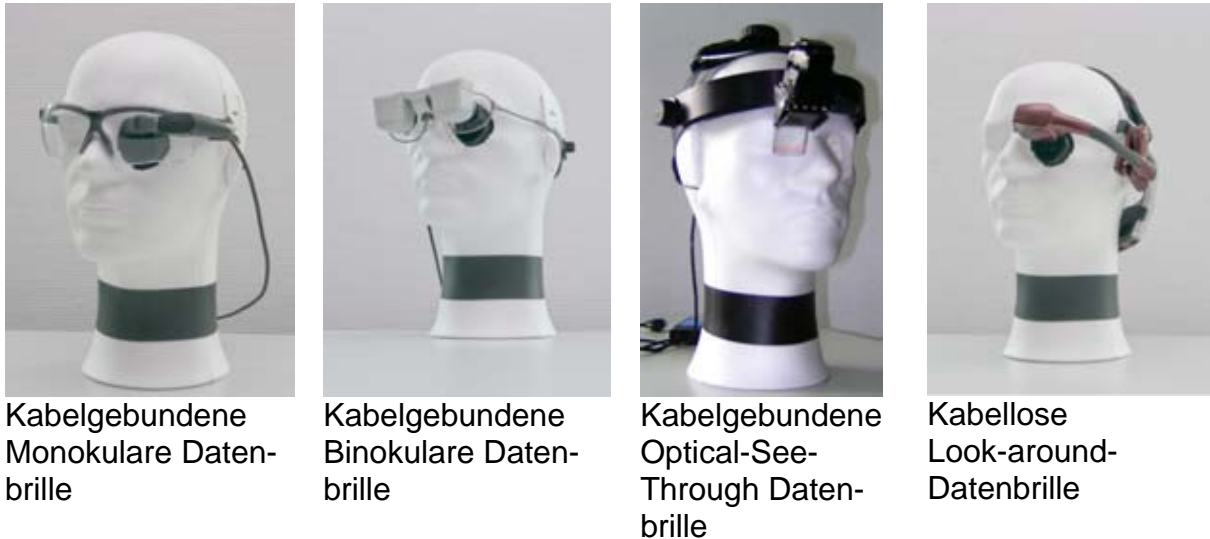
Eine starke Heterogenität der Parameter und die Vielfalt der Beteiligten sind eine zusätzliche Herausforderung. Benutzer von Datenbrillen, Entwickler von Anwendungen, die Datenbrillen als visuellen Kanal nutzen und Entscheider, die eine Auswahl aus möglichen Geräten für reale Einsatzzwecke treffen sollen müssen gemeinsam das passende Gerät für einen Einsatzzweck finden. Der Ansatz einer standardisierten Beschreibung der Eigenschaften einer Datenbrille hätte den Vorteil, dass die Auswahl auf der Grundlage einer einheitlichen und damit vergleichbaren Beschreibung getroffen werden könnte. Je nach Anwendungsfall, Umgebungs- und Einsatzbedingungen ließen sich die Geräte vergleichen, ohne auf die uneinheitliche Beschreibung der Gerätehersteller angewiesen zu sein.

#### **Festlegung von Parametern für Test und Bewertung von Datenbrillen**

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, beeinflussen verschiedene Parametergruppen die Beschreibung, Charakterisierung und Bewertung von Datenbrillen. Dies muss für einen Test zur Bewertung dieser Geräte und für die Standardisierung eines solchen Tests berücksichtigt werden. Dazu erscheint es sinnvoll, die Standardisierung zunächst in zwei Hauptkategorien aufzuteilen.

## Technische Parameter

Die erste grundsätzliche Kategorie umfasst die Beschreibung technischer Geräteparameter. Sie beginnt mit einer Klassifizierung der Datenbrillen, die beschreibt, ob es sich um ein bi- oder monokulares Gerät handelt. Diese wird kombiniert mit der Unterscheidung in Look-around- und See-Through-Geräte, wobei bei letzteren noch detaillierter zwischen Optical- und Video-See-Through unterschieden werden kann.



Kabelgebundene  
Monokulare Daten-  
brille

Kabelgebundene  
Binokulare Daten-  
brille

Kabelgebundene  
Optical-See-  
Through Daten-  
brille

Kabellose  
Look-around-  
Datenbrille

**Abb. 3.1** Beispiele für Geräteklassen

Über die Klassifizierung hinaus ist eine technische Beschreibung des jeweiligen Gerätes erforderlich. Diese umfasst - neben Gewicht und Größe sowohl des gesamten Gerätes als auch des oder der integrierten Monitore - auch die Beschreibung der Monitorart, der Befestigung der eigentlichen Datenbrille am Kopf des Benutzers sowie die Art und Güte der Energieversorgung und eine Beschreibung der Datenübertragungs- und Anschlussmöglichkeiten. Als gerätebezogene Parameter können weiterhin solche Informationen angesehen werden, die z. B. beschreiben, unter welchen Umgebungs- und Klimabedingungen und in welchen Benutzungssituationen das Gerät genutzt werden kann. Weitere technische Eigenschaften können darüber hinaus die Auflösung der Monitore der Datenbrille sein wie auch konstruktive Details wie die Anpassungsmöglichkeiten an die Bedürfnisse von links- und rechtssichtigen Benutzern.

Neben solchen unmittelbar gerätebezogenen Charakteristika kann die Aufnahme weiterer technischer Parameter sinnvoll sein, wenn z. B. das Gerät „Datenbrille“ mit einer speziellen Anwendung so gekoppelt ist, dass beide nicht getrennt werden können. Dann sollten Fragen nach Art und Ausprägung der Benutzungsschnittstelle, den Darstellungsmodi und -möglichkeiten in Bezug auf die darstellbaren Medien und nach eventuellen Interaktionsmöglichkeiten beantwortet werden.

## Benutzer- und benutzungsspezifische Parameter

Die zweite grundsätzliche Kategorie beschreibt benutzer- und benutzungsspezifische Parameter. Damit sollen solche Eigenschaften in die Bewertung einer Datenbrille einbezogen werden, die im Zusammenhang mit dem Menschen als Benutzer und der Tätigkeit des Benutzers stehen.

Es erscheint sinnvoll, das Gerät „Datenbrille“ über die rein technischen Eigenschaften und die Klassifizierung hinaus, z. B. durch die Beschreibung der Gerätekonstruktion, bewerten zu können. Dazu zählen Einstellmöglichkeiten des Gerätes an die individuell unterschiedlichen physiologischen Eigenschaften des Benutzers wie Kopf- und Körpergröße, Augenabstände, usw. Zudem sollten auch Anpassungsmöglichkeiten an persönliche Bedürfnisse und an körperliche Beeinträchtigungen in die Bewertung der Geräte einfließen. Insbesondere Einstellmöglichkeiten zum Ausgleich von Augenerkrankungen sind hier zu nennen. Physiologische Faktoren beeinflussen in nicht geringem Maße benutzungspsychologische Faktoren. Wenn fehlende Einstellmöglichkeiten die Individualisierung des Gerätes an den Benutzer nicht zulässt, kann dies zur sinkenden Akzeptanz des Gerätes führen.

Darüber hinaus spielt auch das Wahrnehmungsverhalten eine nicht unerhebliche Rolle. Damit ist nicht alleine die nicht natürliche Kombination aus realweltlicher Wahrnehmung mit erweiterten, virtuellen (augmentierten) Informationen gemeint. Vielmehr spielt hier die Gestaltung der Benutzungsschnittstelle und der durch die Datenbrille übertragenen Medien eine wichtige Rolle. Hiermit ist ebenso die Anpassungsmöglichkeit der Datenbrille an unterschiedliche Medien wie Text, Bild, Film, usw. gemeint als auch die Handhabung dieser Anpassungsmöglichkeiten an dem Gerät. Letztlich haben Handhabung und Ausstattung des Gerätes auch Auswirkung auf die sicherheitstechnische Eignung des Gerätes, im Besonderen dann, wenn das Gerät im Arbeitsumfeld genutzt werden soll.

## **Ansatz für einen standardisierten Eignungs- und Bewertungstest von Datenbrillen**

Die oben aufgeführte Kategorisierung von Parametern, die zur Bewertung und Klassifizierung von Datenbrillen herangezogen werden können, bildet die Grundlage für einen Ansatz eines Bewertungstestes. Das sogenannte Baumann-Verfahren besteht aus zwei Teilen:

- Baumann-Test, Teil 1 zur Aufnahme technischer Parameter
- Baumann-Test, Teil 2 zur Aufnahme benutzungsspezifischer Parameter

In beiden Teilen werden neben der Aufnahme allgemeiner beschreibender Eigenschaften Szenarien entwickelt, die zum Ziel haben, die Ergebnisse der Bewertungen auch an anderer Stelle und für andere Anwender zu reproduzieren. Dies ist wichtig für eine spätere weitreichendere allgemeingültige Standardisierung.

### **Baumann-Test, Teil 1: Technische Parameter**

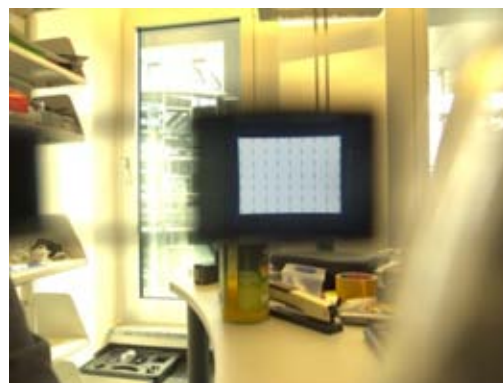
Durch die Ergebnisse dieses Testes werden allgemeine und spezielle technische Parameter der einzelnen Datenbrille gesammelt und bewertet. Nach Eigenschaften wie Gerätekategorie, Gewicht, Abmessungen werden hiermit die „äußeren“ Eindrücke des Gerätes aufgenommen. Die Datenbrille wird dazu auf einem anthropoiden Trägerkopf so angebracht, wie es der realen Benutzung entspricht. Es wird dabei betrachtet, welche Anbringungs- bzw. Trageform die Datenbrille hat, wie sie sich am Kopf (während des Tragens) einstellen und an die Physiologie anpassen lässt.

Des Weiteren lassen sich Faktoren wie gleichseitige Gewichtsbelastung, Verrutschen des Gerätes, Kabelführungen usw. untersuchen. Im Gegensatz zur subjektiven Beschreibung durch einen menschlichen Benutzer ist diese äußere Betrachtung neutraler und objektiver.

Nach den äußeren Eindrücken nimmt der Test die „inneren“ Eindrücke auf. Auch dazu wird der anthropoide Trägerkopf genutzt, um die Ergebnisse nicht durch subjektive Beschreibungen zu beeinflussen. Im Trägerkopf befindet sich dazu in einem Auge eine Kamera, die aus der Sicht des Trägers auf bzw. durch die Datenbrille schaut. Auf diesem Wege werden konstruktive Eigenschaften wie die Positionierungs-, die Einstellungs- und Fokussierungsmöglichkeiten untersucht. Darüber hinaus wird die Qualität der optischen Wiedergabe der Datenbrille mit Parametern wie Helligkeit, Kontrast, Farbwiedergabe, Homogenität, Auflösung betrachtet. Letztlich wird durch die Aufnahme der inneren Eindrücke auch die Größe der Datenbrille im Sichtbereich des Trägers und damit der Verdeckung des realweltlichen Hintergrundes sowie das Verhältnis zwischen der nutzbaren Bildschirmgröße und der Gesamtgröße der Datenbrille im Sichtbereich des Trägers dokumentiert. Um vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten ist es notwendig, eine einheitliche und möglichst homogene Beleuchtungssituation bei der Durchführung zu schaffen.



**Abb. 3.2** Baumann-Test, Teil 1: „äußere“ Eindrücke

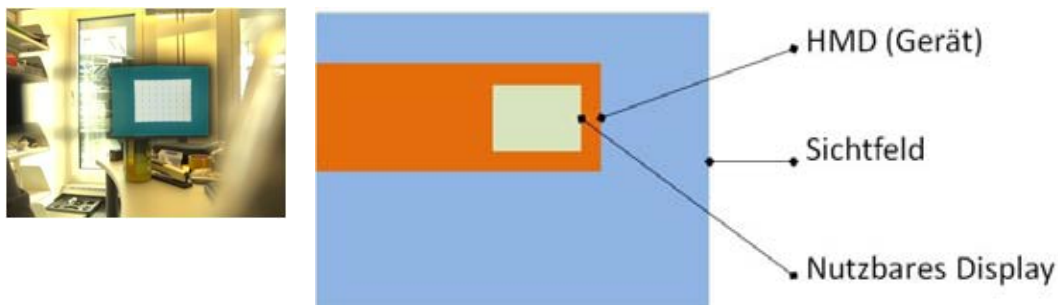


**Abb. 3.3** Baumann-Test, Teil 1: „innere“ Eindrücke

### Verallgemeinerungsansätze:

Für eine größere Objektivität der Gerätebewertung kann es in Zukunft sinnvoll sein, die Ergebnisse des ersten Teiles des Baumann-Tests zu wichten und formal zu bewerten.

So ist ein Wichtungssystem vorstellbar welches berücksichtigt, in welchen Regionen des Sichtbereiches (z. B. peripheres, inneres) sich das Gerät befindet und wie groß die Störung dieser Region ist. Die Störung selbst kann ebenso gewichtet werden (z. B. Verdeckung = 2, Abdeckung = 1, ohne Störung = 0) oder in absoluten Werten (z. B. in prozentualen Werten) angegeben werden.



**Abb. 3.4** Verallgemeinerungsansätze

### Baumann-Test, Teil 2: Benutzungsspezifische Parameter

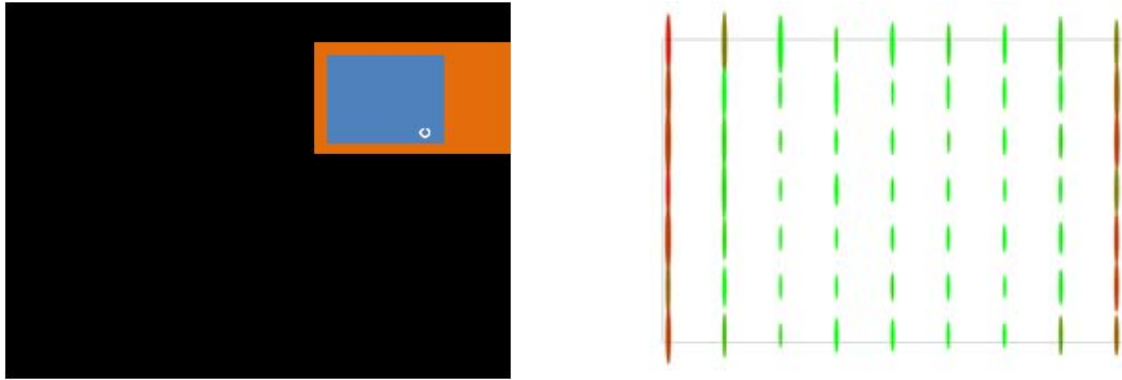
Dieser Test wendet sich der anwendungsbezogenen Bewertung der Datenbrille zu. In diesem Teil stehen nicht die technischen Eigenschaften, sondern vielmehr die medialen und kognitiven Eigenschaften bei der Benutzung im Fokus. Bei der Definition dieses Teils des Testverfahrens wurde berücksichtigt, dass eine Datenbrille in der Regel nicht als ein primäres, dem klassischen Monitor vergleichbares Ausgabesystem genutzt wird. Vielmehr ist die Datenbrille in der Regel für die Ausführung einer sogenannten Sekundäraufgabe notwendig:

Die Primäraufgabe des Benutzers besteht in der Lösung einer realweltlichen Aufgabe (z. B. Montage- oder Instandhaltungsaufgaben). Zur Lösung der Primäraufgabe benötigt der Benutzer Informationen, die ihm mit Hilfe der Datenbrille visuell angeboten werden. Die Sekundäraufgabe des Benutzers besteht darin, die benötigten Informationen abzurufen und zu rezipieren. Für den Abruf dieser Informationen ist eine Interaktion mit einem Computer-/ Informationssystem notwendig, deren Beurteilung nicht Teil des Baumann-Testes ist.

Bei der Durchführung von Teil 2 des Baumann-Testes hat der Benutzer auf einem normalen Monitor eines Arbeitsplatzrechners eine Lese- und Verständnisaufgabe zu bearbeiten. Diese Aufgabe stellt die Primäraufgabe dar.

In der Datenbrille wird in unregelmäßigen zeitlichen Abständen ein Landolt-Ring gezeigt. Position, Ausrichtung sowie die Dauer der Sichtbarkeit des Landolt-Ringes wird zufällig variiert, so dass der Benutzer sich nicht auf eine Regelmäßigkeit einstellen kann. Sobald der Benutzer das Erscheinen eines Landolt-Ringes in der Datenbrille wahrnimmt, quittiert er dies mit dem Betätigen einer der Pfeiltasten auf der Tastatur des Arbeitsplatzrechners. Die Pfeilrichtung entspricht dabei der Öffnung des Landolt-Ringes.





**Abb. 3.5** Baumann-Test, Teil 2 (links: schematische Sichtweise Landolt-Ring; rechts: beispielhafte Auswertung)

Das Testprogramm, welches die Primär- und die Sekundäraufgabe steuert, registriert die Tasteneingaben des Benutzers und schreibt diese in ein Testprotokoll. Nach Beendigung des Testes wird bewertet, wie schnell und präzise der Benutzer die Sekundäraufgabe gelöst hat. Eine mögliche visuelle Auswertung zeigt Abbildung 5. An jeder möglichen Position eines Landolt-Ringes im Monitor der Datenbrille wird mit einem Balken dargestellt,

ob ein Landolt-Ring und dessen Öffnung erkannt wurde oder nicht (grün bzw. rot)

Die Größe der Balken repräsentiert die Reaktionszeit des Benutzers zwischen Erscheinen des Landolt-Ringes und Betätigen einer Pfeiltaste. Dabei bleibt unberücksichtigt, ob die Eingabe der Öffnung des Landolt-Ringes entsprach.

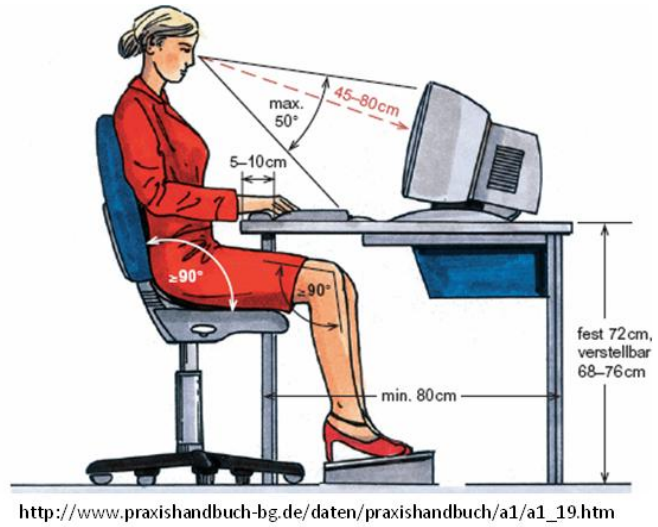
Die visuelle Darstellung der Testergebnisse stellt so in größtmöglicher Objektivität dar, ob und wie schnell der Benutzer Informationen mit der Datenbrille empfangen, erkennen (lesen) und fokussieren konnte.

Auch für diesen Teil des Baumann-Testes ist es notwendig, eine einheitliche und möglichst homogene Beleuchtungssituation bei der Durchführung zu schaffen, damit die Ergebnisse vergleichbar und reproduzierbar sind.

### **Ausblick: Datenbrillen vs. BildscharbV**

Die Arbeitsplätze, die derzeit als Anwendungsbereiche von Datenbrillen identifiziert wurden, unterscheiden sich weitgehend von den klassischen Arbeitsplätzen (siehe Abbildung 3.6). Damit stellt sich jedoch die Frage, inwieweit Datenbrillen in den Geltungsbereich der aktuellen, gültigen Bildschirmarbeitsplatzverordnung (BildscharbV) fallen.

Der Baumann-Test zeigt einen Ansatz, wie Datenbrillen und deren Einsatz getestet und deren Einsatz bewertet werden kann. Durch eine detaillierte Berücksichtigung arbeitssicherheitstechnischer und arbeitsmedizinischer Faktoren erscheint es möglich, den Baumann-Test zur Bewertung von Arbeitsplätzen bzw. -tätigkeiten mit Datenbrillen zu nutzen.



[http://www.praxishandbuch-bg.de/daten/praxishandbuch/a1/a1\\_19.htm](http://www.praxishandbuch-bg.de/daten/praxishandbuch/a1/a1_19.htm)

**Abb. 3.6** Spannungsfeld Datenbrillen – Bildschirmarbeitsplatz

## 4 Evaluation grafischer Benutzerschnittstellen für die Kommissionierung unter Verwendung von Head Mounted Displays

Hannes Baumann, Michael Lawo

Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik

### Einleitung

In der Kommissionierung gibt es etablierte Verfahren wie den bekannten Pickzettel, die Mobile Datenerfassung, Pick-by-Voice, Pick-by-Light und Pick-by-Terminal. Im Rahmen des vom BMWI im Programm SIMOBIT geförderten Projektes SiWear<sup>2</sup> war eine Wearable Computing Lösung zur Kommissionierung industrieller Güter sowie für Diagnose, Wartung und Reparatur zu entwickeln. Eine Datenbrille zusammen mit einem in einem eng am Körper anliegenden Rucksack integrierten Wearable Computer kam dabei zum Einsatz.

Ausgehend von der im Konzept begründeten hohen Flexibilität einer Wearable Computing Lösung standen bei den durchgeführten Forschungsarbeiten Fragen der Software-Ergonomie und die Umgestaltung des kompletten Arbeitsablaufs im Fokus.

Die Vorteile des Einsatzes einer Datenbrille (Head Mounted Display) bei der Kommissionierung liegen auf der Hand: der Auftrag ist immer in Sichtweise, Aufträge können dynamisch und interaktiv dargestellt werden, und beide Hände lassen sich bei der Kommissionierung nutzen. Die begrenzte Auflösung und Größe wie die Beeinträchtigung des Sichtfeldes stehen diesen Vorteilen entgegen.

### Voruntersuchungen

Im Vorfeld wurden verschiedene Datenbrillen auf ihre Eignung untersucht, und die Wahl fiel aus technischer und ergonomischer Sicht auf das MicroOptical SV-6<sup>3</sup>. Die Gründe hierfür waren die geringe Beeinträchtigung des Sichtfeldes, der einstellbare Fokus, die gute Lesbarkeit auch bei heller Umgebung wie auch das geringe Gewicht. Ein Nachteil war jedoch die geringe Robustheit als auch die schwierige Beschaffungslage.

Die geeignete Darstellung von Inhalten auf Datenbrillen ist bereits seit vielen Jahren Gegenstand der Forschung. So entstand im Rahmen des von der EU geförderten Projektes wearIT@work<sup>4</sup> ein erstes Werkzeug zur Entwicklung von entsprechenden Darstellungen, das in der Arbeit von Witt systematisch weiterentwickelt wurde (Witt, 2008). Bei der Kommissionierung muss der Mensch Auftragsdaten schnell, sicher und zuverlässig erfassen können. Es entstand die Idee, statt der standardmäßig zum Einsatz kommenden textuellen Papierlisten mit einer grafischen Darstellung zu arbeiten. Abbildung 4.1 gibt einen Eindruck von den durchgeführten Versuchen, so wie sie auf der CHI 2010 vorgestellt wurden.<sup>5</sup> Diesem Beitrag sind die Details zum Ver-

---

<sup>2</sup> [www.siwear.de](http://www.siwear.de) und [www.simobit.de](http://www.simobit.de)

<sup>3</sup> <http://www.tekgear.ca/index.cfm?pageID=90&prodid=395&section=83>

<sup>4</sup> [www.wearitatwork.com](http://www.wearitatwork.com)

<sup>5</sup> <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1753580>

suchsaufbau und zur Versuchsdurchführung zu entnehmen. Im Folgenden wollen wir nur die Ergebnisse kurz zusammenfassend wiedergeben.

#### ▶ Papier-Liste

A	1	22 x 2
	23	
	31	
2	12	
	41 x 2	
	42	
3	11	
	13	
	21	
H	1	23 x 2
	21	
	22 x 2	
2	12	
	23	
	31	
3	21	
	33	
	42 x 2	

#### ▶ Papier-Graphisch

A	1	2	1
	1	1	
B	1	2	1
		1	
A		1	
	2	1	1
B		1	1
	1		2
A	1		1
	1		2
B	1		1
	1	2	1

#### ▶ Audio-(Liste)



#### ▶ HMD-Graphisch

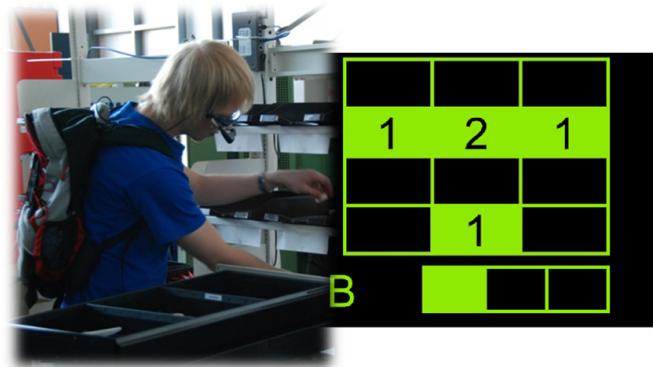


Abb. 4.1 CHI 2010 Versuche zur Kommissionierung

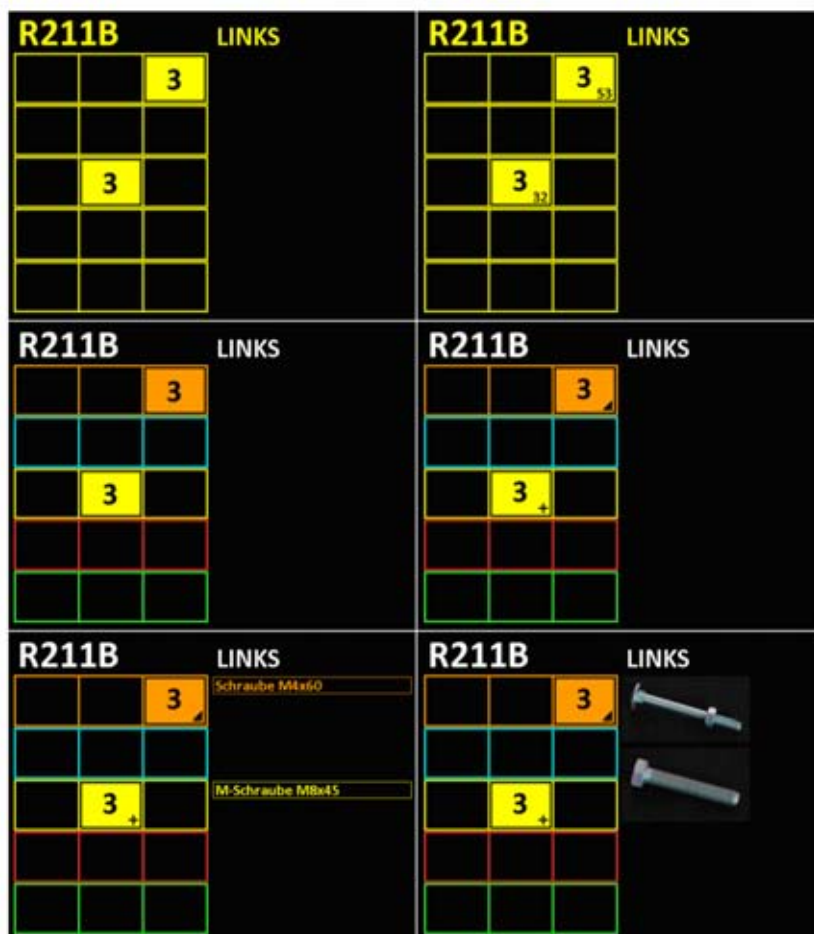
### Erste Ergebnisse

In den Versuchen wurde das Kommissionieren mit der Papierliste in textueller und grafischer Darstellung mit den Verfahren Pick-by-Voice und Pick-by-Datenbrille verglichen. Dabei zeigte die grafische Darstellung gute Ergebnisse in Form von höherer Produktivität und geringerer Fehlerrate. Ferner war die Arbeit mit der Datenbrille signifikant schneller als alle anderen Verfahren und rund 30 % schneller gegenüber der Papier-Liste. Die Arbeit mit der Datenbrille erzeugte ferner 75 % weniger Fehler gegenüber der Papier-Liste, was wiederum signifikant war. Der häufigste Fehler war der Zugriff auf eine falsche Zeile im Regal.

Beim Vergleich der grafischen Darstellung auf der Datenbrille und dem Papier war eine höhere Geschwindigkeit mit der Datenbrille erreichbar, da beide Hände genutzt werden konnten. Auch war die Übersicht bei der Datenbrille besser, da zu jeder Zeit festgestellt werden konnte, wo man im Auftrag stehengeblieben war. Im subjektiven Ranking schnitt die Datenbrille mit der grafischen Darstellung gegenüber allen anderen Verfahren signifikant besser ab.

## Weiterführende Versuche

Im Rahmen weiterführender Versuche wurde die Möglichkeit der Verwendung farblicher Markierungen und von Abbildungen zur besseren Orientierung näher untersucht (Abbildung 4.2). Diese Untersuchungen waren vom Wunsch nach einer Null-Fehler-Kommissionierung motiviert. Es wurden Erlernbarkeit, Komfort, Geschwindigkeit und Genauigkeit (Fehlerrate) wiederum als Parameter untersucht. Details zum Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung, Umfang der Studie und den Ergebnisse finden sich detailliert in der ICMI 2011<sup>6</sup> Veröffentlichung „Visual Based Order Picking – Evaluation of Graphical User-Interfaces for Order Picking Using Head Mounted Displays“. Im Folgenden fassen wir die wesentlichen Ergebnisse dieser Versuche hinsichtlich des Einflusses bei der Verwendung von Farbe, Symbolen und Bildern bzw. Bezeichnungen zusammen.



**Abb. 4.2** Untersuchung von Farbe, Bezeichnungen und Bildern als Zusatzinformation

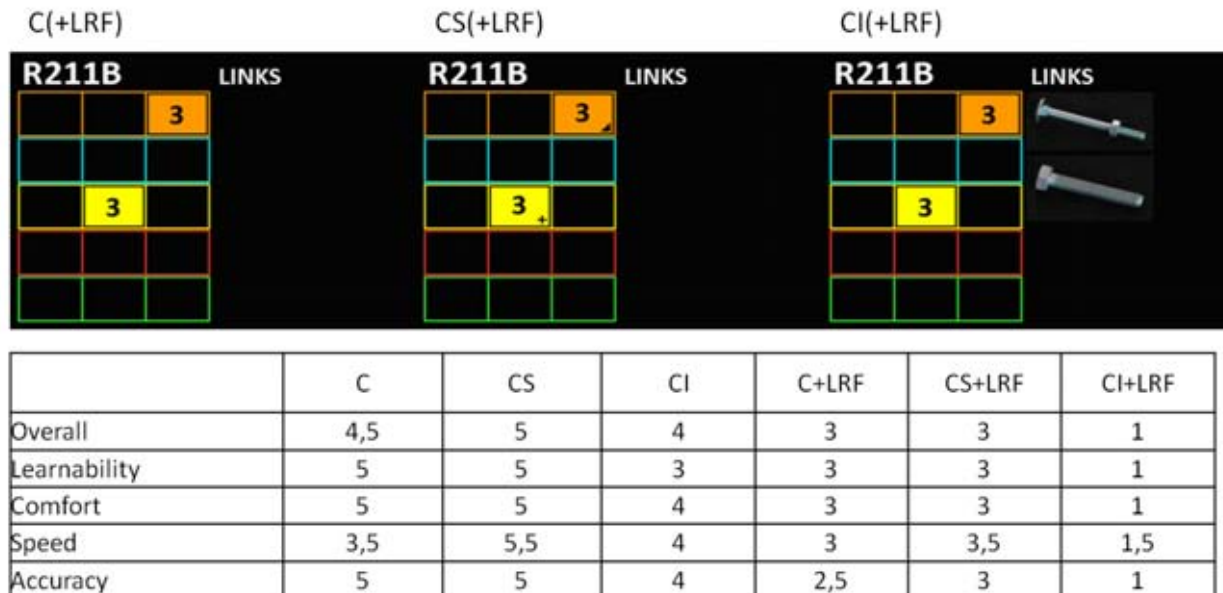
Farbe hilft, die Fehler signifikant (58 % weniger) zu reduzieren. Subjektiv wird Farbe als Nutzbarkeit steigernd wahrgenommen (signifikant). Dabei gibt es keine Einbußen bei der Produktivität. Die Wirkung von Symbolen ließ sich nicht eindeutig feststellen.

<sup>6</sup> <http://www.acm.org/icmi/2011/>

Die Verwendung von Bildern bzw. Bezeichnungen hatte sowohl positive als auch negative Effekte.

Durch die Verwendung eines Laser Range Finders vor dem Regal lässt sich feststellen, in welches Fach gegriffen wird. In früheren Untersuchungen (Kunze et. al., 2009) hatte sich ein Zusatznutzen nachweisen lassen. In unseren Untersuchungen ließ sich dieses wiederum bestätigen.

In Abbildung 4.3 sind die Ergebnisse zusammengestellt.



**Abb. 4.3** Ranking der verschiedenen Verfahren mit und ohne Kontextinformation

Tendenziell ist die Fehlerrate geringer (im Durchschnitt um 35 %). Die Arbeit wird signifikant langsamer (um ca. 7 %). Es ist deutlich geworden, dass diese Ergebnisse von der erkenntungs- und Fehlerrate sowie der Erkennungsgeschwindigkeit abhängig sind und daher weitere Untersuchungen erfordern.

Generell gab es positives Feedback zu dem Ansatz – auch von Personen mit Kommissioniererfahrung. Die Navigation durch einen Auftrag wurde als sehr gut oder gut empfunden.

## Literatur

Kunze K., Wagner F., Kartal E., Kluge E. M., and Lukowicz P. (2009). Does Context Matter? - A Quantitative Evaluation in a Real World Maintenance Scenario. In Springer LNCS, 4. Mai 2009, S. 372-389. Pervasive 2009, May 11-14, Nara, Japan.

Witt, H. (2008). User Interfaces for Wearable Computers – Development and Evaluation. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

## **5 Visual Guided Picking – ergonomische und wirtschaftliche Unterstützung in der Intra-logistik**

Markus Ehmann

Institut für Produktionsmanagement und Logistik an der Hochschule  
München

### **Vorstellung des Instituts für Produktionsmanagement und Logistik**

Das Institut für Produktionsmanagement und Logistik an der Hochschule München (IPL) wurde 2005 gegründet. Es versteht sich als kompetenter Partner zur Entwicklung innovativer Lösungen und Beratung im Bereich des Produktionsmanagements und der Logistik mit hoher Wirtschaftlichkeit. Zudem werden im Kundenauftrag neue Logistiksysteme konzipiert sowie bestehende analysiert und optimiert.

### **Einführung**

Das Projekt Visual Guided Picking (VGP) ist in der Lagerlogistik im Bereich der Kommissionierung angesiedelt.

Der Trend in der Auftragszusammenführung geht dabei in den letzten Jahren stark hin zu einer erhöhten Anzahl an Aufträgen bei gleichzeitiger Abnahme der Artikel pro Auftrag. Grund ist mitunter eine Gewöhnung der Kunden an individuelleren Service. Hinzu kommt, dass die eingelagerten Teile meist von geringem Wert sind, und die Dauer der Handhabungszeit während der Kommissionierung einen entscheidenden Einfluss auf die Prozesskosten und damit auch auf die endgültigen Produktkosten hat.

Unter diesen Gesichtspunkten erscheinen die vorherrschenden Kommissioniertechnologien im Bereich Mitarbeiter-zur-Ware nicht mehr optimal. Betrachtet man die aktuellen Kommissioniertechniken, ausgehend von einer einfachen Papierpickliste über Pick by Scan, Pick by Voice und Pick by Light, so fällt auf, dass in der Reduktion der benötigten Kommissionierzeit noch großes Potential steckt. Vor allem in der sogenannten Totzeit, in der der Mitarbeiter die Auftragsdaten für sich realisiert und in die nächste Aktion umleitet, kann der Mensch durch visuelle Aufbereitung der Daten unterstützt und dadurch schneller zum jeweiligen Ziel geleitet werden.

Genau dort setzt VGP an. Dem Mitarbeiter werden auf einem Head Mounted Display die benötigten Informationen zur Feinnavigation eingeblendet. Die Darstellung basiert dabei auf Augmented Reality (AR) und mischt das reale Sichtfeld mit virtuellen Zusatzinformationen. Die Anzeige leitet den Mitarbeiter zielgerichtet zum benötigten Lagerplatz, indem das entsprechende Fach (nur für den jeweiligen Mitarbeiter sichtbar) im Display angezeigt wird. In einem Meter Regallänge befinden sich bis zu hundert Fächer. Mit VGP soll dem Menschen dadurch jegliche Sucharbeit abgenommen werden. Auch ungeübte Angestellte ohne Ortskenntnis können durch diese Unterstützung sofort beginnen, produktiv zu arbeiten.

## Einsatzbereich in der Kommissionierung

Kommissionieren ist ein Teil der innerbetrieblichen Logistik und trägt damit zu schnellen und effizienten Materialflüssen bei. Definiert ist das Kommissionieren als Zusammenstellen von Waren aus einem bereitgestellten Artikelsortiment nach vorgegebenen Aufträgen.<sup>7</sup> Das Kommissionieren beinhaltet dabei die Teilprozesse Bereitstellung und Entnahme der Ware, die Abgabe dieser in Sammelbehälter, das Zusammenführen der entnommenen Ware an einem Auftragsammelplatz und die Beschickung, d.h. das Auffüllen des Artikelsortimentes mit Nachschub. Innerhalb dieser Prozesskette bildet der Greifvorgang die zentrale Tätigkeit.<sup>8</sup> Das Zusammenstellen wird sehr häufig von Personen, d.h. manuell erledigt.<sup>9</sup> Allerdings gibt es auch Roboter oder andere Systeme, die eine automatisierte Abwicklung ermöglichen. Ähnlich kann das Bereitstellen, genauso wie die Aufbereitung der Aufträge auf verschiedene Art und Weise erfolgen, daher kann man unterschiedliche Kommissioniersysteme klassifizieren.

Alle Verfahren haben mit ihren spezifischen Vor- und Nachteilen entsprechende Anwendungsbereiche, in denen ihr Einsatz rentabel ist. Wie sich der Einsatz von VGP im Vergleich mit den anderen Betreibermodellen dabei platzieren kann, soll im Folgenden erläutert werden.

Aufgrund von eingeschränktem Handling eignen sich Scannerlösungen nur bedingt für größere und schwerere Güter. Noch enger limitiert sind die Einsatzmöglichkeiten für Pick by Light, nachdem dort vor allem auf kleine Lagerplätze und schnelles Handeln Wert gelegt wird. Pick by Voice hat dabei die größte Flexibilität und Einsatzbreite.<sup>10</sup>

Unter der Annahme, dass schneller umgedrehte Güter einen kleineren Einsatzradius des Kommissionierers bedingen, steigt somit bei allen Verfahren die Pickleistung. Da Pick by Light eine hohe Konzentration des Mitarbeiters auf einem engen Raum erfordert und üblicherweise die Kommissionierzone auf einen Bahnhof beschränkt ist, zeigt sich die typisch hohe Pickleistung deshalb auch erst bei Schnelldrehern.

Für alle Betreibermodelle ist eine gewisse Grundinvestition für die Anbindung an Lagerverwaltungssysteme, Installation und Schulung der Mitarbeiter notwendig. Den hohen Anschaffungskosten von Pick by Light steht, bei entsprechender Anwendungsmöglichkeit, die hohe Produktivität bei guter Auslastung gegenüber. Preisvorteile für VGP sollen sich unter anderem durch die aufwandsarme Bedienung des Systems (was z. B. Schulungskosten senkt) ergeben. Diese technologisch optimierte Lösung ist damit kostengünstiger im Vergleich zu Pick by Voice und mit gleichzeitig höherer Pickleistung.

## Vorstellung der Technologie „Visual Guided Picking“

Durch die Verwendung von Augmented Reality (AR) bietet sich ein neuer Ansatz im Kommissionierbereich. Dabei wird der normale Sichtbereich des Benutzers um hilfreiche, virtuell generierte Informationen erweitert. Im Gegensatz zur Virtual Reality, bei der der Betrachter visuell komplett von der Realität abgetrennt wird und sich nur

<sup>7</sup> Vgl. VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik (1994), S. 2.

<sup>8</sup> Vgl. Arnold et al. (2004), C2-62.

<sup>9</sup> Vgl. Gudehus (2005), S. 685.

<sup>10</sup> Vgl. Vogt (1997). S. 81ff.



noch in der virtuellen Umgebung bewegt, können so unterstützende Daten, Grafiken und Modelle für real stattfindende Prozesse bereitgestellt werden.<sup>11</sup>

Diese Technologie wird bereits erfolgreich in der Luftfahrtindustrie für Montage- und Reparaturprozesse eingesetzt und auch die Automobilindustrie testet Pilotprojekte. Das IPL arbeitet derzeit an einer Umsetzung dieser Möglichkeiten zu einem Betreibermodell für die Kommissionierung.<sup>12</sup> Dabei sollen dem Kommissionierer Informationen in eine Datenbrille eingeblendet werden und ihn Schritt für Schritt durch den Auftrag führen. Der Mitarbeiter wird mittels Wegführung, ähnlich einem Head-Up-Navigationssystem, direkt zum Lagerort des Artikels auf der Liste geführt, und über optische Einblendungen wird ihm dort das betreffende Lagerfach mit einer Markierung und der entsprechenden Pickzahl angezeigt. Nach Bestätigung des Picks wiederholt sich der Vorgang bis zur vollständigen Abarbeitung des Auftrages. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens wird die erhöhte Pickleistung sein.

Da der Kommissionierer den Anweisungen des Systems lediglich zu folgen braucht, fallen Basis-, Tot- und Wegzeit wesentlich kürzer aus. Weiterhin ist sowohl der Einsatz des Mitarbeiters als auch der Datengeräte flexibel was Ort und Aufgabe anbelangt. Einmal auf das Gerät trainiert, werden alle komplexen Aufgaben wie Leitung, Auftragsverwaltung und Koordination vom System übernommen. Als zusätzliche Funktion können auch relevante Details zur Fehlervermeidung und Qualitätssicherung eingeblendet und überprüft werden.

## Ergebnisse des Laborversuches an der Hochschule München

Um die prinzipielle Einsatztauglichkeit dieser neuen Kommissioniertechnologie zu überprüfen, wurden am Logistiklabor der Hochschule München die erforderlichen Pickzeiten an Hand zahlreicher Versuchsreihen ermittelt.

Wie auf Seite neun des Vortrages zu sehen, wurde dabei das VGP den bisher verfügbaren Technologien gegenübergestellt. Damit eine Vergleichbarkeit zwischen den Kommissionierverfahren hergestellt werden konnte, wurden im Vorfeld der Versuchsablauf und -aufbau genau festgelegt. Für jedes Pickverfahren mussten mindestens eine Stunde lang zufällig generierte Aufträge realitätsnah abgearbeitet werden. Dadurch konnte auch der zeitabhängige Leistungsfaktor mitberücksichtigt werden.<sup>13</sup>

Bei jedem Kommissionierauftrag sind die Einzelzeiten für vorher definierte Messpunkte nach dem REFA-Prinzip<sup>14</sup> aufgenommen. Die jeweiligen Zeitanteile wurden zu den Zeitblöcken Basiszeit, Wegzeit, Totzeit und Greifzeit zusammengefasst. Dazu gehören folgende Tätigkeiten:

*Basiszeit:* Aufnahme des Kommissioniergerätes, neuen Auftrag starten, etc.

*Wegzeit:* Zurücklegen des Weges zwischen den anzulaufenden Positionen/Orten

*Greifzeit:* Entnahme des Artikels aus jeweiligem Lagerfach

*Totzeit:* Alle vor- und nachzubearbeitende Arbeitsschritte zur Entnahme, z. B. Orientierung in der Regalzeile, Abzählen von Artikeln, Quittierung der Entnahme etc.

Die Greifzeit kann auf Grund des Versuchsaufbaus für alle Verfahren als gleich angesehen werden. Lediglich Schwankungen des Wertes im Rahmen der Streubreite

<sup>11</sup> Vgl. Milgram et al. (1994), S. 283.

<sup>12</sup> Vgl. Ehmann et al. (2009), <http://www.ipl-mag.de/ipl-scm-tools/96-auswahl-von-kommissioniersystemen-verfahren>

<sup>13</sup> Vgl. Kaiser et al. (2008), <http://www.ipl-mag.de/scm-daten/130-scm-daten-10>

<sup>14</sup> Vgl. REFA (1997).

wurden gemessen. Die Wegzeit ist wegen der unterschiedlichen Weglängen bei der Bearbeitung der Kommissionieraufträge für den Vergleich der Pickverfahren nicht repräsentativ. Hierfür wurde vielmehr die Geschwindigkeit ermittelt, die bei allen Pickverfahren vergleichbare Werte lieferte.

Die signifikanten zeitlichen Unterschiede bei den Kommissionierverfahren liegen bei dem vorhandenen Lagerlayout und der Auftragsstruktur somit nur in der Basis- und Totzeit. Die vorher ermittelten Einsparpotenziale bei der Pickzeit für das VGP konnten in den Versuchsreihen nachgewiesen werden.

Der Laborversuch hat damit bestätigt, dass sich durch VGP die Basis- und Totzeit gegenüber den vergleichbaren Pickverfahren signifikant reduzieren lässt. Damit kann die nachstehende Erprobung im Rahmen eines Feldversuches gestartet werden.

## **Validierung im Feldversuch und gewonnene Erkenntnisse**

Zur Evaluierung des Prototypen und weiteren Validierung der im Laborversuch gewonnenen Erkenntnisse wurde bei einem geeigneten Industriepartner das VGP-System im Alltag und mit scharfen Kundenaufträgen getestet.

Der bestehende Kommissionierprozess mit einem Barcode-Scanner wurde analysiert, um sämtliche Funktionalitäten im Prototypensystem wiedergeben zu können.

Nach der Methodik der REFA wurde in der ersten Woche der IST-Prozess gemessen und aufgezeichnet, um damit einen Vergleichswert für die Einführung des Prototypen sowie dessen Leistungsentwicklung im Zeitverlauf darstellen zu können. Wie auf Seite elf des Vortrages zu sehen, konnte dabei eine Reduzierung des Medians der notwendigen Pickzeit um über zehn Prozent nachgewiesen werden. Des Weiteren nahm die Streuung der einzelnen Pickzeiten deutlich ab, was auf einen stabileren Prozess im Vergleich zur Ausgangssituation schließen lässt.

Es ist davon auszugehen, dass eine Sättigung der Leistungssteigerung erst in zwei bis drei Monaten nach Einführung zu erwarten ist, wie sich dies auch schon bei der Einführung anderer Kommissioniersysteme gezeigt hat.

Neben dem reinen Vergleich der Kommissionierzeiten ergeben sich weitere Erkenntnisse. So belegt die Auswertung der durchgeführten Konzentrationstests, dass keine merkliche kognitive Belastung durch die Verwendung des Visualisierungssystems auftritt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen des Laborversuchs.

Der Feedbackbogen und das anschließende Interview liefern weitere wichtige Ergebnisse. So wird das Arbeiten mit dem System durchweg als positiv bewertet. Dies gilt sowohl für den Tragekomfort als auch die Einstellbarkeit des Bildschirms vor dem Auge, der Kopfhaltung und den Einstellungsmöglichkeiten der Helligkeit und des Kontrastes. Einzig die Lesbarkeit sinkt beim Wechsel von dunklen zu helleren Lichtverhältnissen. Das Gewicht als wesentlicher Faktor ist niedrig genug, um das System ohne Einbußen im Komfort verwenden zu können. Dies gilt auch in Anbetracht, das System über acht Stunden zu tragen. Es wird lediglich als ungewohnt bewertet, ein solches Gewicht prinzipiell auf dem Kopf zu tragen. Diese Einschätzung sollte bei längerer und dauerhafter Nutzung nicht mehr gegeben sein. Wichtig zu erwähnen ist die Aussage, dass das Arbeiten mit dem System als angenehmer und leichter aufgefasst wird.

Die Steuerung des Systems mit dem zugehörigen Tastaturfeld ist gut bewertet, dies ist auf die Ähnlichkeit mit der Steuerung des Kommissionierens mit einem Barcode-

Scanner zurückzuführen. Ähnlich zum Laborversuch wird eine Sprachsteuerung oder die rein optische Quittierung bzw. Kontrolle als Verbesserung zur eingesetzten Steuerung gesehen. Im Rahmen der Akzeptanz des Systems beim Anwender, wird es ähnlich wie im Laborversuch als sehr spannend, interessant und zukunftssträftig bewertet. Allerdings fällt die optische Ausführung der Kopfhaltung sehr negativ auf. Hier wird eine Ausführung in Form z. B. einer Baseballmütze bevorzugt. Analog zum Laborversuch treten keinerlei negative Auswirkungen, wie z. B. ermüdete Augen und Kopf- oder Nackenschmerzen durch die Anwendung auf. Bei allen Ergebnissen ist zu beachten, dass das Visualisierungssystem im Rahmen des Feldversuches nur ca. zwei Stunden ununterbrochen getragen wurde.

## Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Der theoretisch abgeleitete, geeignete Einsatzbereich von Head Mounted Displays mit AR in der Lagerlogistik konnte sowohl an Hand des Laborversuches als auch dem nachgelagerten Feldversuch in einem industriellen Umfeld bestätigt werden. Sowohl konnten der Zielprozess damit beschleunigt werden als auch die menschlichen Bedürfnisse hinsichtlich Ergonomie der einzusetzenden Technik berücksichtigt werden.

Das gewonnene Feedback wird im nächsten Entwicklungsschritt sowohl der weiteren prozessoptimierten Orientierung der Technologie AR dienen als auch den Kriterien für die ergonomische Praxistauglichkeit der einzusetzenden Hardware.

Mittlerweile verfügt das IPL über ein Prototypengerät eines namhaften Herstellers, das sowohl die Display- als auch die Rechner-Einheit in einem Modul für den Kopf vereint. Dabei ist es sowohl leichter als auch von der Kopfbelastung unauffälliger als das bisher eingesetzte Gerät.

Weitere Feldversuche, auch in einem zeitlich längeren Rahmen, werden damit wohl nochmals aktuellere Erkenntnisse im Bezug auf die Einsatzfähigkeit von AR und Head Mounted Displays für die Unterstützung des Menschen bringen.

## Literatur

- Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H. (2004). Handbuch Logistik, 2. aktualisierte und korrigierte Aufl., Berlin: Springer.
- Ehmann, M. & Kaiser, T. (2009). Auswahl von Kommissioniersystemen/-verfahren. In: IPL-Magazin 06. Online verfügbar unter: <http://www.ipl-mag.de/ipl-scm-tools/96-auswahl-von-kommissioniersystemen-verfahren> [13.4.2012]
- Gudehus, T. (2005). Logistik: Grundlagen Strategien Anwendungen, 3. Auflage, Berlin: Springer.
- Kaiser, T. & Behrendt, B. (2008). Welches Kommissionierverfahren darf's denn sein?. In: IPL-Magazin. Online verfügbar unter: <http://www.ipl-mag.de/scm-daten/130-scm-daten-10> [13.4.2012]
- Milgram, P., Colquhoun, H. (1994). Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: Telemanipulator and Telepresence Technologies, 2351, S.282-292.
- REFA Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V. (1997). Methodenlehre der Betriebsorganisation – Datenermittlung. München: Hanser.

- VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik (1994). Richtlinie 35901, Blatt 1. Berlin: Beuth.
- Vogt, G. (1997). Das neue Kommissionierhandbuch. Landsberg: Moderne Industrie.

## 6 Teleoperationsunterstützung über ein HMD und ein kopfbewegungsgesteuertes Stereokamerasystem auf einem entfernten mobilen Roboter

Jens Hegenberg, Liubov Cramar, Ludger Schmidt

Universität Kassel, Fachbereich Maschinenbau,  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik

### Einleitung

Um Schäden an Menschen, Umwelt und Investitionsgütern zu verhindern, müssen aus Anlagen und Infrastruktureinrichtungen möglicherweise austretende gesundheitsgefährdende, umweltschädliche oder explosionsfähige Gase und Gasgemische schnell und sicher detektiert und geortet werden. Das Ziel des Projektes RoboGas<sup>Inspector</sup> ist es, ein innovatives Mensch-Maschine-System mit mobilen und mit Gasfernmessstechnik ausgestatteten Inspektionsrobotern zu entwickeln und zu evaluieren, das die Detektion und Ortung von Gaslecks in räumlich ausgedehnten technischen Anlagen weitgehend autonom bewältigt.

Nach aktuellem Stand von Forschung und Entwicklung kann ein technisches System, insbesondere in dynamischen Umgebungen, nicht absolut fehlerfrei und ausfallsicher realisiert werden (JOHANNSEN, 2008). Aus Gründen der Akzeptanz und der Anlagensicherheit ist deshalb eine Überwachung der mobilen Roboter erforderlich. Außerdem gibt es Aufgaben, deren Bearbeitung durch den Menschen bessere Ergebnisse liefern. Folglich erscheint es sinnvoll, dem Menschen die Möglichkeit zu geben, sich in Synergie mit dem automatisierten System an der Aufgabenerfüllung zu beteiligen (SCHMIDT & LUCZAK, 2006). Dazu wird in einer vom Roboter entfernten Leitwarte neben einer bildschirmbasierten Benutzungsschnittstelle zur Überwachung des Systems eine zweite Schnittstelle zur Teleoperation der Roboter eingerichtet.

Zur Unterstützung der Teleoperation wird ein Assistenzsystem eingesetzt, das dem Operator die visuellen Informationen liefert, die er benötigt, um bei der Steuerung des Roboters am entfernten Einsatzort sein Situationsbewusstsein aufrechtzuerhalten. Es besteht aus einem Head Mounted Display (HMD) zur Datenausgabe und einem selbstentwickelten Stereokamerasystem zur Datenaufnahme.

Zu Beginn des Projektes wurde eine Bestandsaufnahme in möglichst verschiedenen Industrieanlagen durchgeführt mit dem Ziel, besonders relevante Anwendungsfälle für das System RoboGas<sup>Inspector</sup> zu identifizieren. Als Ergebnis der Bestandsaufnahme wird der Fokus des Projektes auf den Anwendungsfällen Mineralö Raffinerie, Erdgasdistributionsinfrastruktur und Abfalldeponie liegen. Eine umfangreiche benutzer- und aufgabenorientierte Anforderungsanalyse in repräsentativen Anlagen dieser Art ergab, dass diese heutzutage durch das Anlagenpersonal routinemäßig mittels visueller, auditiver und olfaktorischer Wahrnehmung überprüft werden. Dazu suchen die Mitarbeiter während regelmäßiger Rundgänge nach Auffälligkeiten, z. B. Vegetationsschäden oder Rostbildung, die auf austretende Gase hindeuten können. Die Rundgänge werden in der Regel von Anlagenfahrern neben ihrer Haupttätigkeit durchgeführt. Im Falle ausgedehnter Leitungssysteme existiert bis heute das Berufsbild des Trassenläufers, welches durch das tägliche Abgehen mehrerer Kilometer

Rohrtrasse und die wahrnehmungsbasierte Suche nach Undichtigkeiten charakterisiert ist. Technische Unterstützung zur Minderung der körperlichen Anforderungen erfolgt dabei teilweise durch Kraftfahrzeugeinsatz.

Zur Verifizierung eines Verdachtes auf Gasaustritt war man bis ins 20. Jahrhundert hinein ausschließlich auf den Geruchssinn des Menschen oder eines Tieres angewiesen. Menschen, die den Beruf des Gasriechers ausübten (JOST et al., 2008), wurden Mitte des 20. Jahrhunderts durch In-Situ-Sensorik abgelöst, die die Gaskonzentration in einer am Messort angesaugten Luftprobe quantifizieren kann. Der praktische Einsatz dieser Technologie wird durch eine geringe Abdeckung der Anlage aufgrund punktueller Messungen mit geringer Messfrequenz sowie durch die Notwendigkeit zur Messung am Austrittsort potentiell gesundheitsschädlicher oder explosionsfähiger Gase eingeschränkt. Trotzdem werden diese Messgeräte seit Anfang der 1990er Jahre auf sogenannten Schnüffelrobotern erprobt (RUSSELL et al., 1995; ISHIDA et al., 2006; MARTINEZ et al., 2006). Sie werden meist unter Laborbedingungen aus geringer Anfangsdistanz zur Ortung von Geruchsquellen im Innenbereich eingesetzt. Im Projekt RoboGas<sup>Inspector</sup> wird eine IR-optische Fernmesstechnik eingesetzt, die integrale Gaskonzentrationen aus Entfernungen von bis zu 30 Metern und mit hoher Messfrequenz detektieren und quantifizieren kann. Damit können von einem sicheren Standort aus große Anlagenbereiche abgedeckt werden. Typischerweise werden diese Geräte aufgrund ihrer Größe und ihres hohen Eigengewichtes, vor allem in Kraftfahrzeugen, Flugzeugen und Hubschraubern eingesetzt (DEPARTMENT OF ENERGY, 2004; ZIRNIG et al., 2005). Erst seit einigen Jahren sind kostengünstige, leichte und portable Geräte wie das hier eingesetzte verfügbar (FRISH et al., 2007).

Die im Projekt RoboGas<sup>Inspector</sup> angestrebte Entwicklung neuartiger Inspektionstechnologien erlaubt die Konzentration der Flexibilität und Leistungsfähigkeit menschlicher Operatoren auf die leitende Kontrolle des technischen Systems und ist nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern auch vor dem Hintergrund einer Entlastung des Menschen von repetitiven Routineaufgaben bei gleichzeitig besserer Abdeckung des meist weitläufigen Inspektionsgebietes erstrebenswert.

Im Folgenden wird der bei der Entwicklung des Systems RoboGas<sup>Inspector</sup> verfolgte Lösungsansatz mit dem Schwerpunkt auf der visuellen Teleoperationsunterstützung vorgestellt und es wird dargestellt, wie die technische Realisierung des Assistenzsystems am Menschen ausgerichtet wurde.

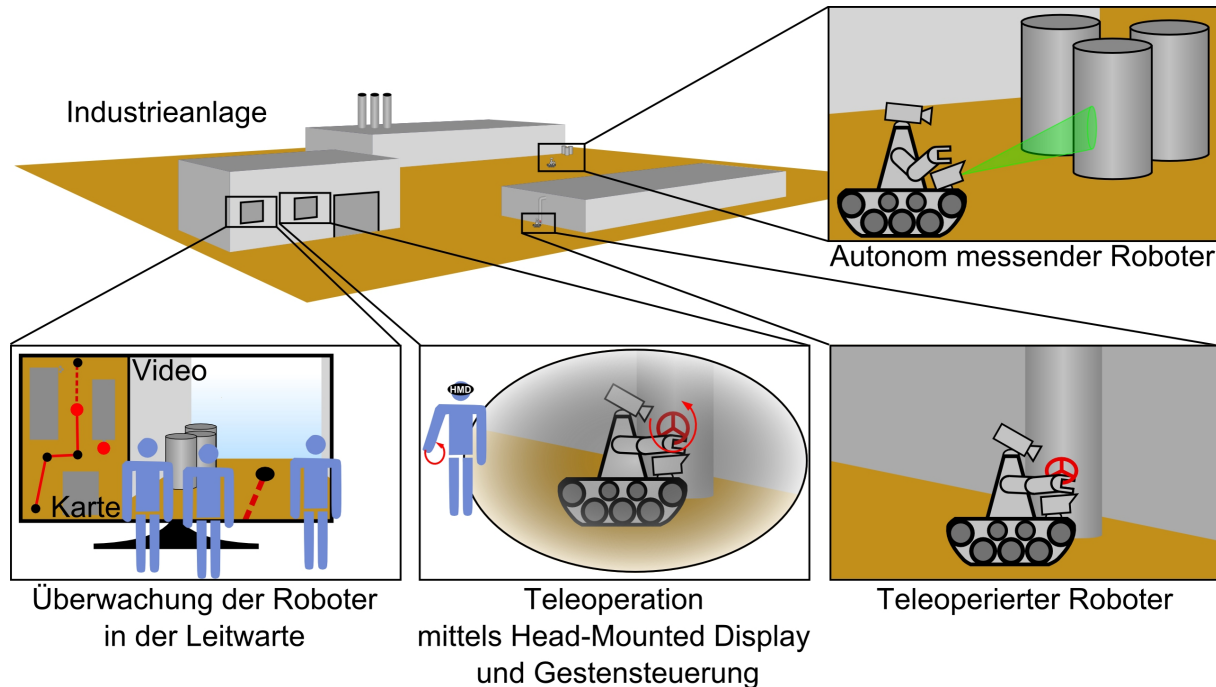
## Lösungsansatz

Die Struktur des hier betrachteten teilautomatisierten Mensch-Maschine-Systems orientiert sich am Konzept der leitenden Kontrolle nach SHERIDAN (2002). Dieses Konzept erleichtert es, menschliche und technische Fähigkeiten systematisch zu kombinieren. Die Aufgabe des Menschen wird dazu von der ursprünglich manuellen Ausführung in die Überwachung und Unterstützung der automatisierten Ausführung transformiert. Die Anwendung dieses Konzeptes führt zu einer Bediensequenz, die der zyklischen Wiederholung folgender Schritte entspricht:

- Planung der Inspektion
- Programmierung der Roboter durch Übertragung der Planungsinformationen
- Überwachung der autonomen Inspektionsdurchführung
- Teleoperativer Eingriff, sofern nützlich bzw. erforderlich

- Ergebnisauswertung und Lernprozess für den nächsten Zyklus

Diese Schritte werden auf die Komponenten des Mensch-Maschine-Systems abgebildet (oder übertragen?). Der verfolgte Lösungsansatz ist in Abbildung 6.1 dargestellt und wird im Folgenden detailliert erläutert.



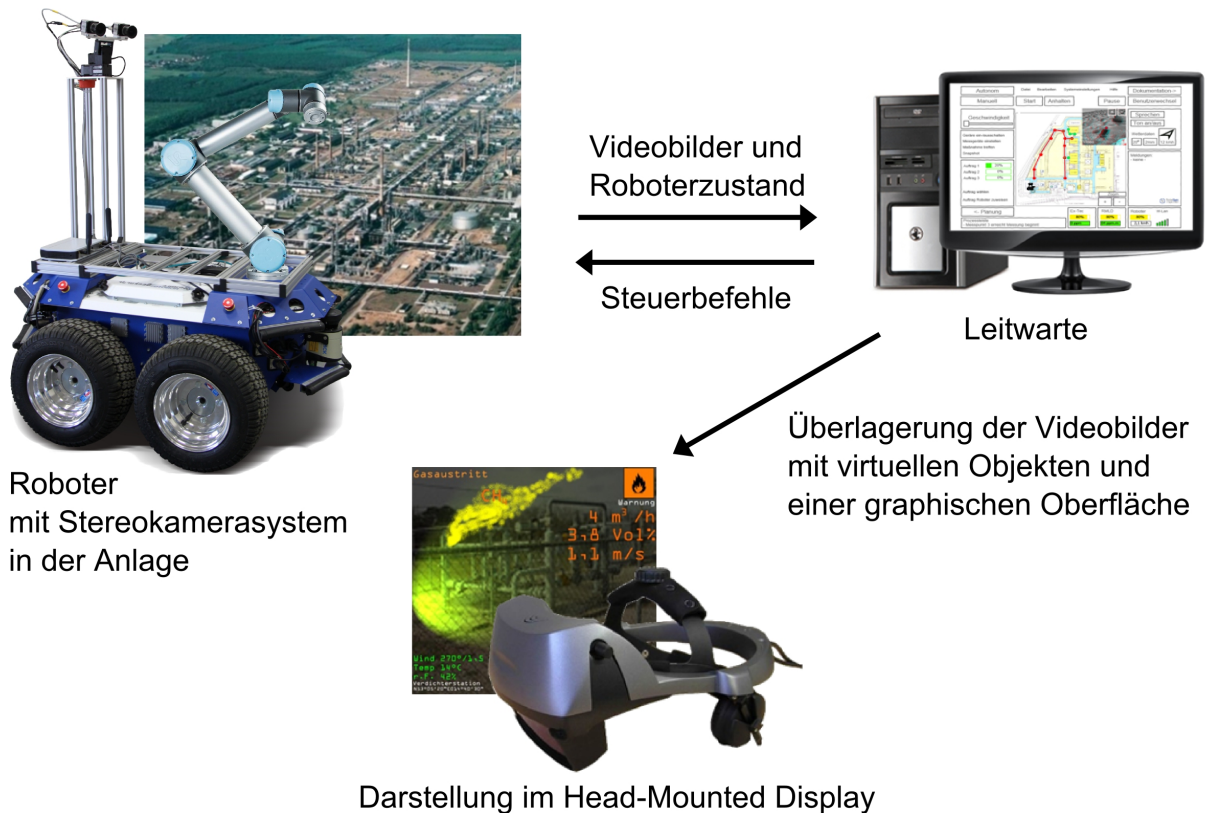
**Abb. 6.1** Lösungsansatz: Operator in der Leitwarte stellt mittels Überwachungsschnittstelle die autonome Funktion der Roboter sicher oder übernimmt mittels Teleoperationsschnittstelle die manuelle Steuerung

Das System lässt sich räumlich in zwei Subsysteme gliedern: Erstens die zentrale Leitwarte und zweitens die zu überwachende Anlage als Einsatzort der Roboter. In der Leitwarte befindet sich ein menschlicher Operator, der während der Überwachung und Teleoperation mit den autonomen Robotern in der Anlage interagiert. Planung und Auswertung erfordern keine Mensch-Roboter-Interaktion und werden durch den Operator in der Leitwarte ausgeführt. Zur Programmierung der Roboter wird die vom Menschen erstellte Inspektionsplanung auf die Roboter übertragen.

Die Leitwarte verfügt über zwei Benutzungsschnittstellen: Eine Schnittstelle ist ähnlich einem konventionellen Leitwartenarbeitsplatz gestaltet und dient der Inspektionsplanung, -überwachung und -auswertung, während die zweite Schnittstelle zur Teleoperation der entfernten Roboter eingesetzt wird. Die Teleoperationsschnittstelle basiert auf einem HMD, welches im videobasierten Modus (Schmidt, 2007) betrieben wird und Videobilder der Anlage aus Roboterperspektive darstellt. Die Videobilder werden mittels eines Stereokamerasystems auf dem Roboter aufgenommen und per Funk in die Leitwarte übertragen. Weiterhin verfügt die Teleoperationsschnittstelle über ein Motion-Tracking-System zur gestenbasierten Mensch-Roboter-Interaktion.

## Technische Komponenten im Überblick

Abbildung 6.2 gibt einen Überblick über die technischen Komponenten des Mensch-Maschine-Systems, wobei sich die Darstellung hier auf das Assistenzsystem zur Teleoperationsunterstützung konzentriert und die Fernmesstechnik noch nicht integriert ist. Der Roboter ist mit einem Stereokamerasystem und die Leitwarte mit einer HMD-basierten Teleoperationsschnittstelle ausgestattet.



**Abb. 6.2** Technische Komponenten des Mensch-Maschine-Systems im Überblick

Der Roboter verfügt über Sensorik zur laserbasierten Abstandsmessung, zur Beschleunigungs- und Lagemessung sowie zur GPS-basierten Positionsbestimmung. Abhängig von der Rolle in kooperativen Szenarien ist ein Roboter entweder mit einem Manipulatorarm oder einem Modul zur Gasfernmessung ausgerüstet. Darüber hinaus sind ein oder mehrere Rechner an Bord, deren Software die autonomen Funktionen realisiert. Videobilder oder Zustandsdaten des Roboters werden mittels WLAN nach IEEE 802.11n in die Leitwarte gesendet, die während der Teleoperation ihrerseits Steuerbefehle an den Roboter schickt.

Die zentrale Roboterkomponente zur Teleoperationsunterstützung ist das selbstentwickelte Stereokamerasystem (siehe Abbildung 6.3) welches die Videobilder zur stereoskopischen Wiedergabe im HMD aufnimmt. Es besteht aus zwei IDS uEye-Kameras des Typs UI-5240-RE, einer Schwenk- und Neigeeinheit des Typs FLIR PTU-D46-17W und einer Eigenkonstruktion zur manuellen Einstellung des Pupillenabstandes sowie zur servobasierten Einstellung des Vergenzwinkels. Alle Komponenten sind wetterfest ausgelegt, da das Robotersystem im Außenbereich eingesetzt wird. Die Bildauflösung der Kameras ist mit 1280x1024 Pixeln bei einer maximalen



Wiederholrate von 50 Bildern/s auf das HMD abgestimmt. Die Kameras verfügen über einen CMOS-Farbsensor, einen globalen Shutter und werden mit Objektiven des Typs Lensation CY0316 ausgestattet.



**Abb. 6.3** CAD-Modell des Stereokamerasystems bestehend aus Schwenk- und Neigeeinheit, Kameraträger und servobasierter Vorrichtung zur Vergenzsteuerung der Kameras

Die Leitwarte verfügt über einen Rechner, der sowohl die Schnittstelle zur Planung, Überwachung und Dokumentation als auch die Teleoperationsschnittstelle betreibt. Während der Teleoperation werden die Videobilder aus der Anlage mit virtuellen Objekten und einer graphischen Oberfläche in einem Augmented-Reality-Ansatz (LUCZAK et al., 2004) überlagert und im HMD dargestellt. Die Überlagerung der Videobilder visualisiert dem Operator nicht direkt wahrnehmbare Informationen, beispielsweise Sperrbereiche oder Roboterzustände. Als HMD wird das Modell nVisor ST60 des Herstellers NVIS eingesetzt. Das Display arbeitet mit LCoS-Technologie und lässt sich sowohl im Durchsicht- als auch im videobasierten Modus betreiben. Es bietet ein diagonales Field of View von 60° bei einer Bildauflösung von 1280x1024 Pixeln und wiegt 1,3 kg.

## **Menschliche Fähigkeiten als Ausgangspunkt der technischen Realisierung**

Die Gestaltung der Teleoperationsunterstützung zielt darauf ab, dem Nutzer das Gefühl zu vermitteln, mit den eigenen Augen aus der Perspektive des Roboters zu sehen bzw. im Sinne einer Telepräsenz selbst vor Ort zu sein. Daher wurde bei der technischen Umsetzung von den menschlichen Fähigkeiten ausgegangen. Analogien zwischen technischen Parametern und quantitativen Maßen menschlicher Fähigkeiten bei der visuellen Wahrnehmung wurden genutzt, indem die Parameter den zugehörigen Maßen angenähert wurden.

Im Folgenden wird zunächst eine Auswahl der betrachteten Analogien wiedergegeben, und es werden die zugehörigen quantitativen Werte gegenübergestellt, um einen Eindruck von der erreichbaren technischen Nachempfingung menschlicher Fähigkeiten zu vermitteln.

## Mensch-Maschine-Analogien

Der Mensch erweitert den mit den Augen visuell wahrnehmbaren Teil seiner Umgebung, indem er Kopfbewegungen durchführt. Diese Möglichkeit sollte technisch umgesetzt werden. Dazu wurde die Nackenmuskulatur des Menschen mittels einer Schwenk- und Neigeeinheit nachgebildet. Um die Analogie zu vervollständigen und dem Operator die Steuerung anderer Funktionen des Roboters mit den Händen zu ermöglichen, wird die Ausrichtung des beweglichen Kamerasystems mittels Kopfbewegungen des Operators in der Leitwarte gesteuert. Dabei wird ein Motion-Tracking-System eingesetzt, um die aktuelle Kopfposition zu ermitteln, die dann per Funk an den Roboter übertragen wird. Gegenübergestellt werden in Tabelle 6.1 der Kopfbewegungsraum des Menschen nach NASA-STD-3000B-V1 (1995) und der Bewegungsraum des Kamerasystems. Für den Menschen wird der Kopfbewegungsraum der Frau betrachtet, da dieser in den vorliegenden Daten größer als derjenige des Mannes ist. Beide Bewegungsräume werden durch Angabe der jeweiligen Maximalwinkel spezifiziert. In horizontaler Richtung ist der Bewegungsraum des technischen Systems deutlich größer als derjenige des Menschen, während in vertikaler Richtung aufgrund der Bauart der Schwenk- und Neigeeinheit der technische Bewegungsraum insbesondere nach oben eingeschränkt ist.

**Tab. 6.1** Menschlicher Kopfbewegungsraum nach NASA-STD-3000B-V1 (1995) und Bewegungsraum des Stereokamerasystems (Maschine)

		Richtung			
		Links	Rechts	Oben	Unten
Mensch Frau)	(P <sub>95</sub> )	109°	109°	103°	84°
Maschine		180°	180°	31°	80°

Trotz der Nachahmung der Kopfbewegung und des dadurch vergrößerten wahrnehmbaren Umgebungsbereiches ist das binokulare Gesichtsfeld ein weiterer relevanter Parameter. Je größer bereits das Gesichtsfeld ist, desto seltener bedarf es einer eventuell verzögerungsbehafteten Ausrichtung des Kamerasystems. Außerdem könnte ein großes Gesichtsfeld die hier technisch nicht umgesetzte Augenbewegung ersetzen. Nach AUGUSTIN (2007) umfasst das binokulare menschliche Gesichtsfeld horizontal 120° und vertikal 130°. Das Kamerasystem erreicht hingegen lediglich ein binokulares Sichtfeld von horizontal 85° und vertikal 69°. Die Werte des HMDs liegen mit 48° bzw. 40° nochmals darunter. Diese relativ große Differenz zwischen dem menschlichen und dem technischen Sichtfeld wird dadurch relativiert, dass der vom Menschen optimal nutzbare Schärfebereich nach DIN 33414-1 (1985) jeweils lediglich 30° beträgt. Dieser Wert wird vom technischen System ebenfalls erreicht.

Ein weiteres wichtiges Maß der visuellen menschlichen Wahrnehmung ist die Auflösung. In der Literatur finden sich hierzu für den Menschen durchschnittliche Werte von 1' (AUGUSTIN, 2007). Bei Verwendung der vollen Bildauflösung von 1280x1024 Pixeln kann sich das technische System diesen Werten trotz sehr hochwertiger Komponenten lediglich grob annähern. Das Stereokamerasystem erreicht bei der Datenaufnahme eine maximale Auflösung von 4', bei der Wiedergabe im HMD wird eine Auflösung von 2' 15" erzielt.

Um die Teleoperationsunterstützung an verschiedene Nutzer anpassen zu können, wurde bei der Konstruktion des Kamerasystems eine Einrichtung zur Variation des

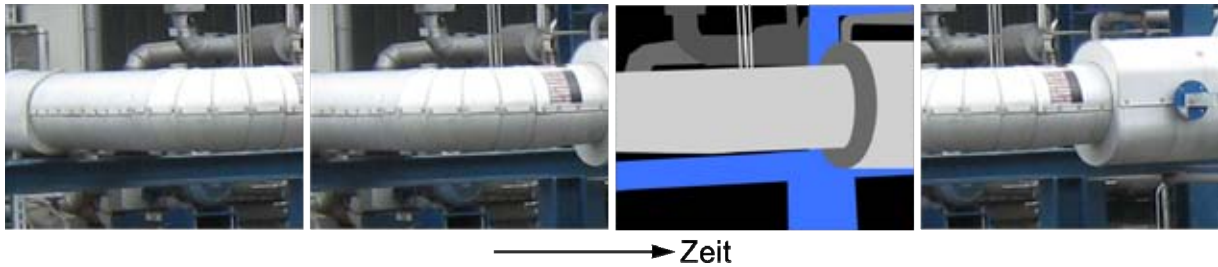
Kameraabstandes vorgesehen. Der Kameraabstand entspricht dem menschlichen Pupillenabstand, der nach DIN 33402-2 (2005) minimal 55 mm ( $P_5$  Frau) und maximal 69 mm ( $P_{95}$  Mann) beträgt. Der Kameraträger ermöglicht die Variation des Kameraabstandes in Millimeterschritten zwischen 54 mm und 154 mm. Die großen Abstände sind Experimenten zur Tiefenberechnung aus Stereobildern und Untersuchungen zum Einfluss auf die menschliche Leistung (vgl. PARK et al., 2008) vorbehalten. Das HMD lässt sich an Pupillenabstände zwischen 55 mm und 73 mm anpassen. Insgesamt lassen sich die häufigsten Pupillenabstände, also sowohl bei der Datenaufnahme als auch bei der Wiedergabe korrekt einstellen.

Bei der binokularen Tiefenwahrnehmung im Nahbereich führen die Augen eine Vergenzbewegung aus, d. h., dass bei der Betrachtung eines nahen Objektes beide Augäpfel um eine senkrechte Achse in medialer Richtung rotieren. Dies dient dazu, das betrachtete Objekt auf den korrespondierenden Netzhautstellen abzubilden. Das Stereokamerasystem bildet diese Vergenzanpassung mittels einer servobasierten Vorrichtung nach, die die Einstellung eines Vergenzwinkels zwischen den optischen Achsen der Kameras ermöglicht. Beim Menschen treten nach THÖMKE (2008) Vergenzbewegungen meistens in Kombination mit Sakkaden und Folgebewegungen auf und erreichen in diesem Fall Geschwindigkeiten bis zu  $100^\circ/\text{s}$ . Die Geschwindigkeit der Vergenzbewegungen ist zudem abhängig davon, um wie viel Grad die Augen gedreht werden. ERKELENS et al. (1989) stellen in ihrer Untersuchung bei großen Vergenzbewegungen Geschwindigkeiten bis zu  $200^\circ/\text{s}$  fest. Das Stereokamerasystem stellt den gewünschten Vergenzwinkel mit einer Geschwindigkeit von  $375^\circ/\text{s}$  ein und übertrifft damit die Geschwindigkeiten der menschlichen Augenvergenz.

## Ergonomische Fragestellungen

Die Teleoperation eines entfernten mobilen Roboters führt zu speziellen ergonomischen Herausforderungen, die zum einen durch die Tatsache begründet sind, dass Roboter und Operator über die Distanz interagieren, und zum anderen durch starke vertikale Beschleunigungen verursacht werden, denen eine ungedämpfte Roboterplattform bei Bewegung ausgesetzt ist.

Die Mensch-Roboter-Interaktion wird über eine unter Umständen unzuverlässige Funkverbindung vermittelt, die den Operator in der Leitwarte mit dem entfernten Roboter in der Anlage verbindet. Die Kommunikation unterliegt daher schwankenden Latenzzeiten, beschränkten Datenraten und ggf. Datenverlusten bis hin zu temporären Verbindungsabbrüchen. Um diesen Anforderungen zu begegnen, wird die übertragene Datenmenge flexibel an die verfügbare Datenrate angepasst. Dies geschieht durch An- und Abschaltung der Übertragung bestimmter Roboterzustandsdaten sowie insbesondere bei der Videoübertragung durch den Einsatz von Standardverfahren zur Videokompression (hier: MPEG-4-Implementierung Xvid) bzw. durch eine Reduktion der Videoauflösung. Sofern die Datenübertragung abbricht oder explizit abgeschaltet wird, können virtuelle Anlagenmodelle zur Ergänzung der Sensorik des Roboters eingesetzt werden. Insbesondere im Bereich der Videoübertragung ist die modellbasierte Synthese virtueller Ansichten als Ersatz für reale Videobilder sinnvoll einsetzbar. Beispielhaft wird dieses Vorgehen in Abbildung 6.4 illustriert.



**Abb. 6.4** Beispielhafte Einsatzmöglichkeit eines virtuellen Anlagenmodells zur Überbrückung von Verbindungsaussetzern: Fehlende Bilder der realen Sequenz werden durch gerenderte Bilder ersetzt.

Die Anlagenmodelle sollen semiautomatisch auf Basis von Sensordaten erzeugt werden. Als Ausgangsdaten dienen beispielsweise dreidimensionale Laser-Entfernungsmessungen der Anlage. Diese werden bei der Erstkonfiguration des Systems generiert und bilden die Anlagegeometrie in Form einer Punktwolke ab. Neben der unzuverlässigen Funkverbindung zwischen Roboter und Operator wird die Teleoperation zusätzlich durch starke vertikale Beschleunigungen der fahrenden Roboterplattform erschwert. Stöße aufgrund von Bodenunebenheiten wirken ungedämpft auf die Plattform ein, wodurch insbesondere die Bildaufnahme gestört wird. Die Beschleunigungen führen zu unerwünschten Kamerabewegungen, die wiederum in verwackelten und verzerrten Bildern resultieren. Ursache der Verzerrungen ist der sogenannte Rolling-Shutter-Effekt, der sich durch den Einsatz eines globalen Shutters eliminieren lässt. Dennoch führt die zusätzliche Bewegungskomponente in den aufgenommenen Bildern bei der Teleoperation zu ergonomischen Herausforderungen. Der Widerspruch zwischen den im HMD wahrgenommenen bewegten Bildern und dem gleichzeitig ruhenden Körper des Operators wird verstärkt, woraus eine größere Belastung bei Wahrnehmung und Informationsverarbeitung resultieren könnte. Diese würde ähnlich wie beim Akkomodations-Vergenz-Konflikt in virtuellen Umgebungen (SCHMIDT & OEHME, 2007) zu verstärktem Auftreten der Simulatorkrankheit, einer Übelkeit aufgrund widersprüchlicher visueller und kinästhetischer Wahrnehmung, führen. Dieser Problematik wird durch Verfahren der digitalen Bildstabilisierung begegnet, die sowohl auf der Verfolgung optischer Merkmale in den Bildsequenzen als auch auf den Messdaten mitgeführter Beschleunigungs- und Lage-sensorik basieren.

## Fazit und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die menschliche Wahrnehmung und Motorik mit vertretbarem Aufwand technisch lediglich grob annähern lassen. Die technische Nachempfindung einiger Eigenschaften des menschlichen Körpers, hier z. B. des Pupillenabstandes, ist zwar möglich, andere Eigenschaften, wie z. B. die Kombination eines großen Gesichtsfelds mit einer feinen Auflösung, sind nach heutigem Stand der Technik allerdings kaum realisierbar.

Der wiedergegebene Entwicklungsstand des Assistenzsystems zur Teleoperationsunterstützung ist ein Zwischenstand. Nach vollständiger Fertigstellung des Assistenzsystems soll in einer Evaluation gezeigt werden, inwieweit es den gestellten Anforderungen gerecht wird, ob eventuell relevante Parameter bislang unberücksichtigt

blieben und ob diese in einer nachfolgenden Entwicklungsiteration aufgegriffen werden können.

Mobile Inspektionsrobotik und Leitstände mit stereoskopischer Darstellung, die eine Anreicherung der technisch vermittelten natürlichen Sicht mit virtuellen Objekten erlauben, eröffnen einerseits vielfältige Potentiale für innovative Mensch-Maschine-Systeme. Andererseits entsteht gleichzeitig neuer Forschungsbedarf hinsichtlich der ergonomischen Gestaltung. Um dies aufzugreifen, hat sich ein aufgaben- und benutzerorientiertes Vorgehen bewährt, das menschliche Eigenschaften und Fähigkeiten in einer systemergonomischen Perspektive berücksichtigt.

Das Projekt RoboGas<sup>Inspector</sup> wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

## Literatur

- Augustin, A. J. (2007). Augenheilkunde. Berlin: Springer.
- Department of Energy (Hrsg.): Field Testing of Remote Sensor Gas Leak Detection Systems (Final Report). Casper, 2004.
- DIN 33402-2: Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte. Dezember 2005.
- DIN 33414-1: Ergonomische Gestaltung von Warten - Sitzarbeitsplätze - Begriffe, Grundlagen, Maße. April 1985.
- Erkelens, C. J., Steinman, R. M., Collewijn, H. (1989) Ocular Vergence Under Natural Conditions : II. Gaze Shifts Between Real Targets Differing in Distance and Direction, Bd. 236. In The Royal Society (Hrsg.): Proceedings of the Royal Society of London (Series B: Biological Sciences). (S. 441–465).
- Frish, M. B., Laderer, M. C., Wainner, R. T., Wright, A. O., Patel, A. H., Stafford-Evans, J., Morency, J. R., Allen, M. G., Green, B. D. (2007) The Next Generation of TDLAS Analyzers. SPIE Optics East, Nr. 6765.
- Ishida, H., Tanaka, H., Taniguchi, H., Moriizumi, T. (2006). Mobile Robot Navigation Using Vision and Olfaction to Search for a Gas/Odour Source. Autonomous Robots 20 (2006), Nr. 3, S. 231–238.
- Johannsen, G. (2008). Überwachung, Entscheidung und Supervisory Control. In Schmidt, L., Schlick, C. M., Grosche, J. (Hrsg.): Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. (S. 51-66). Berlin: Springer.
- Jost, S.; Wachter, G. (Hrsg.) (2008) Die verschwundene Arbeit : In Fotografien aus Berliner Sammlungen und Archiven. Berlin: Parthas.
- Luczak, H., Schmidt, L., Koller, F. (Hrsg.) (2004) Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented-Reality-Systemen. Düsseldorf: Fortschrittberichte VDI, Reihe 22, Mensch-Maschine-Systeme 17.
- Martinez, D., Rochel, O., Hugues, E. (2006) A Biomimetic Robot for Tracking Specific Odors in Turbulent Plumes. Autonomous Robots 20, Nr. 3, S. 185-195.
- NASA-STD-3000B-V1: MAN-SYSTEMS-INTEGRATION STANDARDS, Juli 1995.
- Park, M., Serefoglou, S., Schmidt, L., Radermacher, K., Schlick, C., Luczak, H. (2008) Hand-Eye Coordination Using a Video See-Through Augmented Reality System. The Ergonomics Open Journal, 1, S. 46-53.
- Russell, R. A., Thiel, D., Deveza, R., Mackay-Sim, A. (1995) A Robotic System to Locate Hazardous Chemical Leaks. Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1, S. 556–561.

- Schmidt, L.: Head-Mounted Displays. (2007) In K. Landau (Hrsg.): Lexikon Arbeitsgestaltung. (S. 652–653). Stuttgart: Gentner.
- Schmidt, L., Luczak, H. (2006) Prozessführung und -überwachung in komplexen Mensch-Maschine-Systemen. In Zimolong, B., Konradt, U. (Hrsg.): Ingenieurpsychologie. (Enzyklopädie der Psychologie D-III-2) (S. 807–838). Göttingen: Hogrefe.
- Schmidt, L., Oehme, O. (2007) Physiological Limits of Human Visual Perception in Virtual Environments. In: Toomingas, A., Lantz, A., Berns, T. (Hrsg.): Computing Systems for Human Benefits : Proceedings of the 8th International Conference on Work With Computing Systems (Stockholm 2007). (S. 253–257). Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Sheridan, T. B. (2002) Humans and Automation : System Design and Research Issues. New York: Wiley (Wiley series in systems engineering and management 3).
- Thömke, F. (2008) Augenbewegungsstörungen : Ein klinischer Leitfaden für Neurologen. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage. Stuttgart, New York: Thieme.
- Zirinig, W., Kordulla, K., Ulbricht, M. (2005) Erdgas hat einen optischen Fingerabdruck - CHARM das hubschraubergetragene Gasferndetektionssystem. 3R International 44, Nr. 11, S. 1–5.

## **7 Empirische Untersuchungen zur Suche von Montagefehlern mit konventioneller 2-D-Darstellung an einem TFT-Monitor gegenüber einer stereoskopischen Darstellung an einem kopfbasierten Display**

Barbara Odenthal, Marcel Ph. Mayer, Christopher M. Schlick

Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen

### **Einleitung**

Der DFG-geförderte Exzellenzcluster „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ befasst sich mit der Forschungsfrage, unter welchen Bedingungen und mit welchen Methoden und Technologien eine erfolgreiche, wirtschaftliche Produktion in Hochlohnländern möglich ist (Brecher & Kozielski, 2011). Eine mögliche Lösungshypothese, der innerhalb des Clusters nachgegangen wird, ist die Entwicklung eines sog. kognitiven Planungs- und Steuerungssystems (engl. Cognitive Control Unit, kurz: CCU) unter besonderer Berücksichtigung der Mensch-Maschine-Interaktion, das anhand eines robotergestützten Montageprozesses evaluiert wird (Mayer et al., 2011). Die CCU ist aufgrund der besonderen Symbol- und Signalverarbeitung sowie durch die enge Interaktion mit dem/der Facharbeiter/-in in der Lage, den Fertigungsablauf unter sich ändernden Randbedingungen fein zu planen und ggf. hinsichtlich vorgegebener fertigungstechnischer Kriterien situativ zu optimieren. Durch die Simulation kognitiver Funktionen in der Montagezelle steigt die Notwendigkeit, den/die Facharbeiter/-in zu jedem Zeitpunkt, insbesondere im Fall von Fehlern, schnell und erwartungskonform über den Ist-Zustand des Prozesses und der betroffenen Bauteile und Komponenten mithilfe einer ergonomischen Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) in Kenntnis zu setzen (Odenthal et al., 2009). Die MMS ist so konzipiert, dass zwei unterschiedliche Anzeigesysteme (Head Mounted Display, kurz: HMD) und konventioneller TFT-LCD Monitor (Table Mounted Display; kurz: TMD) zur Verfügung stehen, die je nach Aufgabe getrennt oder gemeinsam zum Einsatz kommen. In diesem Beitrag werden die Auswirkungen des Einsatzes konventioneller 2-D-Visualisierung am TMD im Gegensatz zur stereoskopischen Darstellung am HMD auf Leistung, Zuverlässigkeit und Beanspruchung fokussiert. Dieser Frage wurde bezogen auf eine einfache Fehlerdetektionsaufgabe in einer Laborstudie empirisch nachgegangen.

### **Vor- und Nachteile der Datenbrille gegenüber konventionellen TFT-Bildschirmen**

Der Einsatz eines HMDs im Gegensatz zum Einsatz eines TMDs weist den Vorteil auf, dass die Montageinformationen unabhängig von der Sitz- bzw. Körperposition sowie Drehung des Kopfes immer im Sichtfeld des Benutzers bleiben können. Die Informationen, die visualisiert werden, sind auch weiterhin vorhanden, wenn der Be-

nutzer den Ort des Geschehens verlässt. Zudem ist eine funktionale Ergänzung des HMDs möglich. So können der Benutzerzustand, bspw. in Form von Müdigkeit, anhand der Lidschließfrequenz sowie der Blickpunkt durch die Integration eines Instrumentes zur Blickbewegungsmessung erfasst und in der Auslegung der Schnittstelle berücksichtigt werden. Auf dem Markt befinden sich unterschiedliche Arten von HMDs. So lassen sich monokulare, bi- und binokulare HMDs unterscheiden (Schlick et al., 2008). Zur zweidimensionalen Darstellung von Informationen lassen sich monokulare und biokulare HMDs einsetzen. Im ersten Fall existiert eine Bildquelle für genau ein Auge zur Visualisierung von einfachen Symbolen oder textuellen Darstellungen, im zweiten Fall ist eine Bildquelle für beide Augen vorhanden. Jedoch wird auf beiden Augen das identische Bild dargestellt. Mit einem binokularen HMD ist eine stereoskopische Visualisierung von Informationen möglich, da für jedes Auge eine eigene Bildquelle zur Verfügung steht. Bisherige Untersuchungen, die sich mit dem Einsatz von HMDs z. T. im Vergleich zum Einsatz von TMDs auseinandersetzen, deuten auf eine Verbesserung der Leistung des Menschen bei Nutzung eines HMDs (bspw. Meyer et al., 2005; Tang et al., 2004; Wiedenmaier et al., 2004).

Demgegenüber stehen allerdings auch Nachteile durch den Einsatz eines HMDs. So weisen sie bspw. aufgrund des großen Gewichtes einen mangelnden Tragekomfort auf, der gerade bei einer längeren Tragedauer des HMDs zu körperlicher Anstrengung führen kann. Aus dem Bereich der Virtuellen Realität (VR) sind zudem Kinetose-ähnliche Symptome und andere ungewollte Nebenwirkungen bekannt, wobei diese Effekte bezogen auf VR-Systeme als „cybersickness“ oder auch Simulatorkrankheit bezeichnet werden (McCauley und Sharkey, 1992). Die Stärke der Effekte sind personenabhängig und tendieren dazu, mit zunehmender Arbeitszeit in der Virtuellen Realität zuzunehmen (KENNEDY et al. 2000). Auch in einer mit virtuellen Informationen angereicherten Realität (engl. Augmented Reality, kurz: AR) sind Kinetose-ähnliche Symptome oder visuelle Ermüdung zu erwarten (Pfundler & Schlick, 2007). Da das Tragen eines HMDs zu einer geschlossenen Sicht bzw. zu einem unter Umständen stark eingeschränkten Sichtfeld führt, ist mit einer erschwerten Hand-Auge-Koordination zu rechnen. Im Falle einer AR-Umgebung tritt ebenfalls ein Akkomodations-Vergenz-Konflikt auf. Zum Einen stellt die Linse des menschlichen Auges auf die Projektionsfläche (Bildschirm) scharf (Akkomodation), die sich im Falle des HMDs direkt vor dem Auge befindet, zum Anderen wird allerdings die Sichtachse auf das stereoskopisch dargestellte virtuelle Bild ausgerichtet (Vergenz), das sich in diesem Fall hinter der Projektionsfläche befindet. Zudem bedeutet das, dass bei gleichzeitiger Betrachtung einer realen und einer virtuellen Information an derselben Stelle der Betrachter in den Konflikt kommt, ob er auf das reale Objekt oder auf das virtuelle akkomodieren soll (das Auge stellt beim virtuellen Objekt auf die Entfernung zur Projektionsfläche scharf). Ein gleichzeitiges Scharfstellen auf reales und virtuelles Objekt ist nur dann möglich, wenn sich die Projektionsfläche in gleicher Entfernung befindet wie das reale Objekt. Ist dies nicht der Fall, kommt es zu einer Wahrnehmungsverschiebung hin zu größeren Entfernungen (virtuelles Objekt vor Projektionsebene) bzw. zu geringeren Entfernungen (virtuelles Objekt hinter Projektionsebene) (Foley, 1991).



## Ergonomische Untersuchungen

### Methodik

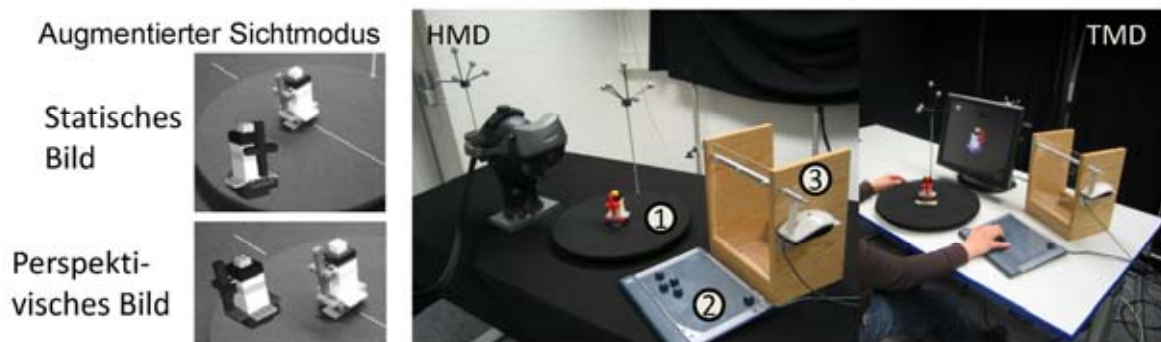
Um den Einfluss der Visualisierung (2D-TMD vs. 3D-HMD) auf Leistung und Zuverlässigkeit (Fehlerdetektionszeit, Fehlererkennung) und Beanspruchung (visuelle Ermüdung) zu untersuchen, wurde eine ergonomische Studie mit zwei unterschiedlichen Displays und verschiedenen Möglichkeiten der Visualisierung zur Detektion von Fehlern in Kunststoff-Bauteilen durchgeführt.

Im Experiment wurde das kopfbasierte binokulare Durchsichtdisplay nVisorST von NVIS mit einem handelsüblichen 17"-TFT-Bildschirm der Firma EIO verglichen. Neben dem Displaytyp wurden noch drei weitere Faktoren mit je zwei Faktorstufen untersucht (siehe Abbildung 7.1).

I) Augmentierter Sichtmodus (augmented vision mode, kurz: AVM): 1) Statisches Bild: Dieser Modus ist angelehnt an die isometrische Darstellung in technischen Zeichnungen, die nur eine Perspektive auf das dargestellte Objekt erlaubt. In diesem Fall wird das virtuelle Bild fest an einer Position um  $20^\circ$  um die vertikale Achse geneigt, relativ zur Projektionsfläche im Display verankert. 2) Perspektivischer Sichtmodus: Mithilfe eines optischen Trackingsystems wird das virtuelle Bild in Perspektive und Position an Perspektive und Position des realen Objektes (Kopf und Drehscheibe) gekoppelt. Eine Drehung des realen Objektes oder eine Kopfbewegung bewirkt somit eine Lageveränderung des virtuellen Bildes, so dass die Perspektive vom Benutzer auf das virtuelle Objekt der Perspektive auf das reale Objekt entspricht. Dies muss im Falle des TMD allerdings eingeschränkt werden, so wird lediglich die Drehung des Drehtellers auf das Bild am TMD übertragen.

II) A priori Darstellung (APP): Vor der Fehlerdetektionsphase erfolgte eine a priori Darstellung des Modells, entweder als Rotation, wobei das virtuelle Modell um  $20^\circ$  geneigt in 3,2 s einmal um seine eigene Achse ( $360^\circ$ ) rotierte, oder als Aufbausequenz, wobei das virtuelle Modell Schritt für Schritt aufgebaut wurde (1,2 s pro Stein/Element, 30 Elemente pro Objekt).

III) De-/Kompositionsmodus (DCM): Während der Detektionsphase konnte der Proband das virtuelle Modell interaktiv manipulieren. Entweder konnte der Benutzer das Montageobjekt Schritt für Schritt auf- bzw. abbauen, oder er konnte das virtuelle Modell explodieren und wieder implodieren lassen.



**Abb. 7.1** Darstellung des Augmentierten Sichtmodus' und der Versuchsanordnung

Die Aufgabe im Versuch bestand darin, ein reales LEGO-Modell, welches sich drehbar gelagert vor dem Probanden befand, mit einem virtuellen LEGO-Modell zu vergleichen, um mögliche Unterschiede zu identifizieren. In jedem Modell war genau ein Montagefehler vorhanden, dabei wurde dem Probanden gegenüber allerdings offen gelassen, ob Fehler vorhanden waren oder nicht.

Zunächst wurden die Probandendaten und die visuelle Ermüdung vor Beginn der eigentlichen Versuchsphase aufgenommen. Danach durchlief jeder Proband den folgenden Zyklus achtmal. Dazu wurden acht verschiedene Aufgaben mit definierten Grundelementen entwickelt (eine Detektionsaufgabe pro Kombination aus AVM, APP & DCM). Der Versuchsaufbau ist in A dargestellt. Der Zyklus begann mit der a priori-Darstellung des virtuellen Modells. Danach wurde das reale Bauteil auf der drehbar gelagerten Drehscheibe (1) sichtbar und der Vergleich zwischen realem und virtuellem Modell begann. Der Proband konnte die Anfangssequenz zu jeder Zeit durch Betätigen einer Taste auf dem Tableau (2) wiederholen und durch eine bzw. zwei weitere Tasten (Tableau) ex-/implodieren lassen bzw. auf-/abbauen. Nach Detektion des Fehlers musste dieser mit dem Stift (hinter einer durchsichtigen Klappe, (3) markiert werden. Durch das Greifen des Stiftes wurde der Zeitpunkt der Detektion des Fehlers festgehalten. Nach Ende der acht Zyklen füllte der Proband den Fragebogen zur visuellen Ermüdung nochmals aus.

Während des Versuches wurde zum einen die Fehlerdetektionszeit erhoben, die mit dem Sichtbarwerden des realen Modells begann und mit dem Griff zum Stift endete. Zum Anderen wurde das Ergebnis der Fehlererkennung beurteilt mit den folgenden drei Ausprägungen: 1) Fehler richtig erkannt, 2) Fehler nicht erkannt (es wurde kein Fehler detektiert), 3) Fehler falsch erkannt (es wurde der falsche Stein markiert).

An der Studie nahmen insgesamt 48 Probanden, jeweils 24 Probanden pro Display im Alter von 19 bis 40 Jahren, teil. In der Probandengruppe mit HMD verfügten 58 % über keine oder wenig Erfahrung mit Systemen virtueller oder augmentierter Realität. Die durchschnittliche Erfahrung in LEGO-Montage betrug 3 auf einer Skala von 0 (keine) bis 5 (viel). Acht Probanden berichteten über Probleme bei der Computerarbeit. Hierbei handelte es sich viermal um Kopfschmerzen, zweimal um Augenschmerzen, einmal um verschwommene Sicht und einmal um trockene Augen. In der Probandengruppe mit TMD verfügten 64,6 % über keine oder wenig Erfahrung mit Systemen virtueller oder augmentierter Realität. Die durchschnittliche Erfahrung in LEGO-Montage betrug 2,9. Fünf Probanden berichteten über Probleme bei der Computerarbeit. Hierbei handelte es sich zweimal um Kopfschmerzen, einmal um Augenschmerzen und zweimal um verschwommene Sicht.

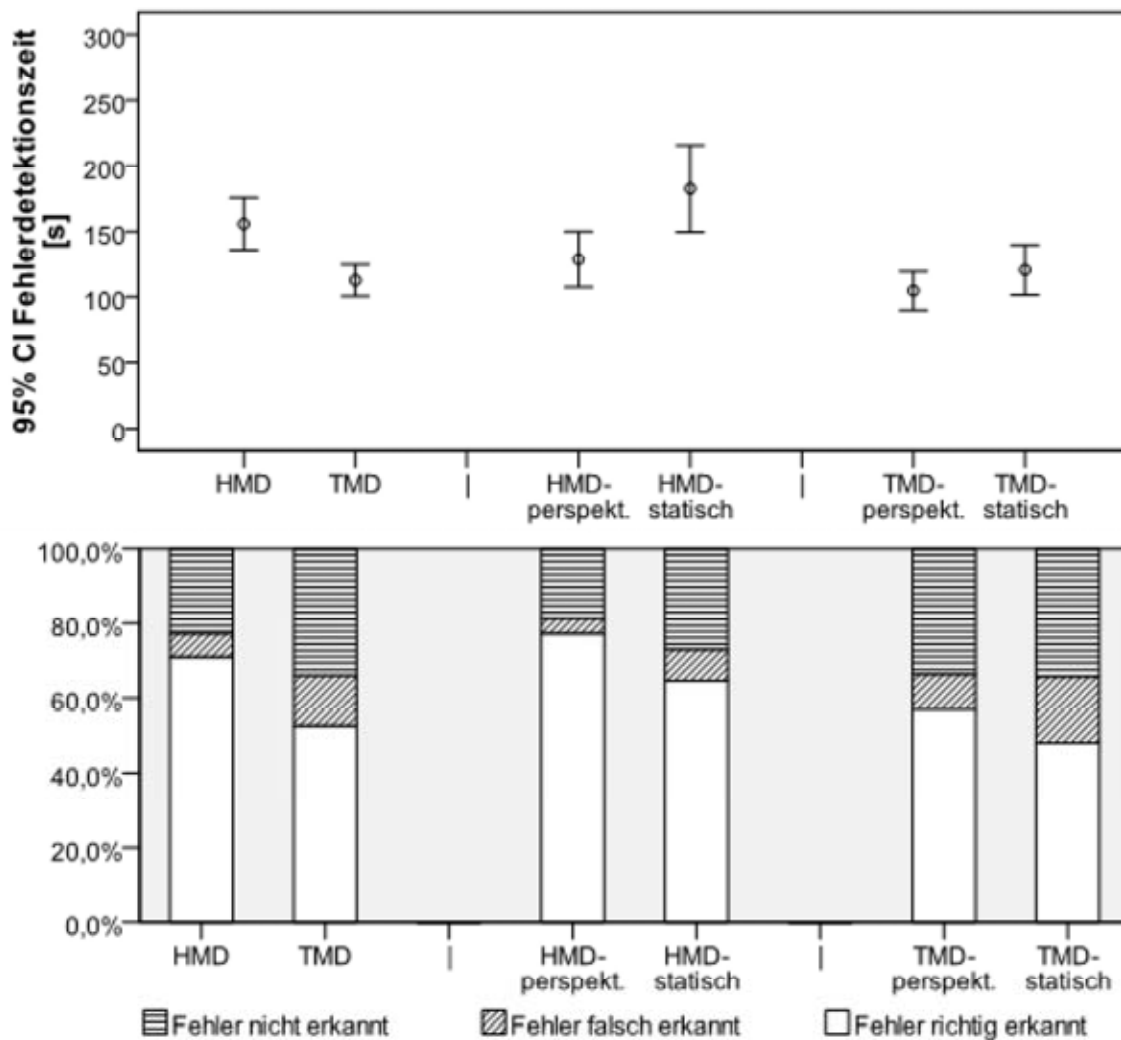
## Ergebnisse

Da die statistische Analyse der Daten bezogen auf die Art der Anfangssequenz (APP) und die Art der De-/Komposition (DCM) keinen signifikanten Einfluss auf die Leistung der Probanden in den einzelnen Gruppen und im Vergleich der beiden Gruppen ergab (ANOVA,  $\alpha=5\%$ ), werden hier der Displaytyp, der augmentierte Sichtmodus und die visuelle Ermüdung fokussiert. Eine detailliertere Darstellung der Ergebnisse findet sich in Odenthal et al. (2009).

Der Einfluss der unterschiedlichen Visualisierungen (stereoskopische Darstellung am HMD vs. 2-D-Darstellung am TMD) auf die Fehlerdetektionszeit ist auf dem 5%-Niveau nicht signifikant (ANOVA:  $F=3,001$ ,  $p=0,090$ ). Die Studie ergab, dass die Probanden durchschnittlich 38,86 % länger mit der stereoskopischen Darstellung am

HMD (155,81s) brauchten als mit Darstellung am TMD (112,21s), bis sie eine Entscheidung getroffen hatten. Bei näherer Betrachtung der Fehlererkennung hingegen erkennt man, dass die Rate der richtig erkannten Fehler (Chi<sup>2</sup>-Test: Chi<sup>2</sup>=5,492; p=0,019) im Falle der stereoskopischen Darstellung am HMD (70,8 %) auf dem 5%-Niveau signifikant höher ist als im Falle der Darstellung am TMD (52,4 %).

Wie bereits erwähnt, ist der Unterschied der beiden Stufen des 'augmentierten Sichtmodus' (statisch vs. perspektivisch) am TMD deutlich geringer einzustufen als am HMD. Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen bzgl. der Fehlerdetektionszeit in den beiden Gruppen wieder. Die Anpassung der Drehung der Drehscheibe im Falle der Versuchsanordnung mit TMD führt zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den beiden Modi (ANOVA: F(1,23)=1,526; p=0,229), wohingegen die Berücksichtigung der Position und Orientierung des Kopfes und der Drehscheibe beim Einsatz eines HMDs auf dem 5%-Niveau signifikant ist (ANOVA: F(1,22)=8,088, p=0,009). Die erreichten Zeiten sind in Abbildung 7.2 dargestellt. Bezogen auf die Fehlererkennung ist kein signifikanter Einfluss des AVM innerhalb der einzelnen Gruppen nachweisbar.



**Abb. 7.2** Fehlerdetektionszeiten und relative Häufigkeit der Fehlererkennung

Wie weiter vorne beschrieben, hat der Einsatz eines HMDs neben den Vorteilen in Bezug auf die Leistung auch ergonomische Nachteile, die zu körperlichen und geistigen Beeinträchtigungen führen können. Der Fragebogen zur Erfassung der visuellen Ermüdung bestand aus 15 Items, die auf einer Skala von 0 (nicht bemerkbar) bis 10 (stark bemerkbar) vor und nach dem Versuch bewertet werden mussten. Der Vergleich der visuellen Ermüdung beim Einsatz eines HMDs und eines TMDs brachte folgende Ergebnisse. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Werte der visuellen Ermüdung geringer als erwartet sind. Die drei größten Zunahmen der visuellen Ermüdung in der Gruppe der Probanden, die ein HMD nutzten, lagen bei 1,11 für das Item „Kopfschmerzen“, bei 0,65 für das Item „geistige Ermüdung“ und bei 0,40 für „Nackenschmerzen“. In der Gruppe der Probanden, die das TMD nutzten, lagen die größten Zunahmen bei 0,36 für das Item „geistige Ermüdung“, bei 0,21 für „Nackenschmerzen“ und bei 0,11 für „verschwommene Bilder“. Wenn man die durchschnittlichen Abweichungen je Item je Gruppe miteinander vergleicht, stellt man einen auf dem 5%-Niveau signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen für das Item „Kopfschmerzen“ (U-Test:  $p=0,027$ ) fest. Bei näherer Betrachtung der visuellen Ermüdung vor und nach dem Versuch gibt es auch signifikante Unterschiede innerhalb der einzelnen Gruppen. In der Gruppe der Probanden mit HMD zeigte sich, dass die beiden Items „Kopfschmerzen“ (Verschlechterung; Wilcoxon:  $Z=-2,871$ ;  $p=0,04$ ) und „Schwierigkeiten, scharf zu sehen“ (Verbesserung; Wilcoxon:  $Z=-2,504$ ,  $p=0,012$ ) über den Verlauf des Versuchs signifikant verändert haben. In der Gruppe der Probanden, die das TMD nutzten, sind keine signifikanten Veränderungen zwischen vor und nach dem Versuch detektiert worden.

## Zusammenfassung

Schlussfolgernd lässt sich festhalten, dass eine stereoskopische Darstellung am HMD im Gegensatz zu einer Darstellung an einem konventionellen TMD zu einer besseren Fehlererkennung mit Tendenz zu längeren Bearbeitungszeiten führt. Es lassen sich signifikante Verschlechterungen bei der visuellen Ermüdung im Bereich „Kopfschmerzen“ beim Einsatz eines HMDs feststellen, wobei die durchschnittliche Verschlechterung bei 1,1 auf einer Skala von 0 bis 10 liegt.

## Literatur

- Brecher, Ch., Kozielski, S. (2011). Editorial Special Issue WGP: “Integrative Production in High-Wage Countries”. In: Production Engineering Research and Development, DOI 10.1007/s11740-011-0314-1, S. 1-2.
- Foley, J.M. (1991). Stereoscopic Distance Perception. In Ellis, S. R., Kaiser, M. K., Grunwald, A.C. (Hrsg.) Pictorial communication in virtual and real environments. S. 558-566 (563) London: Taylor&Francis.
- Kennedy, R.S., Stanney, K.M., Dunlap, W.P. (2000). Duration and Exposure to Virtual Environments: Sickness Curves During and Across Sessions. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 9, No. 5, S. 466-475.
- Mayer, M., Schlick, C., Ewert, D., Behnen, D., Kuz, S., Odenthal, B., Kausch, B. (2011). Automation of robotic assembly processes on the basis of an architecture of human cognition. In: Production Engineering Research and Development, DOI 10.1007/s11740-011-0316-z, S. 1-9.

- McCauley, M. E., Sharkey, T. J. (1992). Cybersickness: Perception of self-motion in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(3), 311-318.
- Meyer, D., Steil, T., Müller, S. (2005). Shared Augmented Reality zur Unterstützung mehrerer Benutzer bei kooperativen Montagearbeiten im verdeckten Bereich. In Kuhlen, T., Kobbelt, L., Müller, S. (Hrsg.) *Virtuelle und Erweiterte Realität*. Aachen: Shaker. Online verfügbar unter: <http://www.uni-koblenz.de/~cg/Veroeffentlichungen/Paper-SARA.pdf> [13.4.2012].
- Odenthal, B., Mayer, M., Kabuß, W., Kausch, B., Schlick, C. (2009). Investigation of Error Detection in Assembled Workpieces Using an Augmented Vision System, In: *Proceedings of the IEA2009 - 17th World Congress on Ergonomics*, 09. - 14. August, Beijing (CD-ROM), Beijing, China 2009, S. 1-9.
- Pfendler C., Schlick C. (2007). A comparative study of mobile map displays in a geographic orientation task. *Behaviour & Information Technology*, 26 (6), 455–463.
- Schlick, C., Ziefle, M., Park, M., Luczak, H. (2008). Visual Displays. In Sears, A., Jacko, J. A. (Hrsg.) *The Human-Computer Interaction Handbook - Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications* (S. 201-227). New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F., Weimin, M. (2004). Performance Evaluation of Augmented Reality for Directed Assembly. In Ong, S.K., Nee, A.Y.C. (Hrsg.), *Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing*. New York: Springer.
- Wiedenmaier, S. (2004). *Unterstützung manueller Montage durch Augmented Reality-Technologien*, Aachen: Shaker.

## **8 Vorausgehende Bedingungen für den Einsatz von Head Mounted Displays zur Unterstützung komplexer Aufgaben**

Britta Grauel, Matthias Wille und Lars Adolph

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

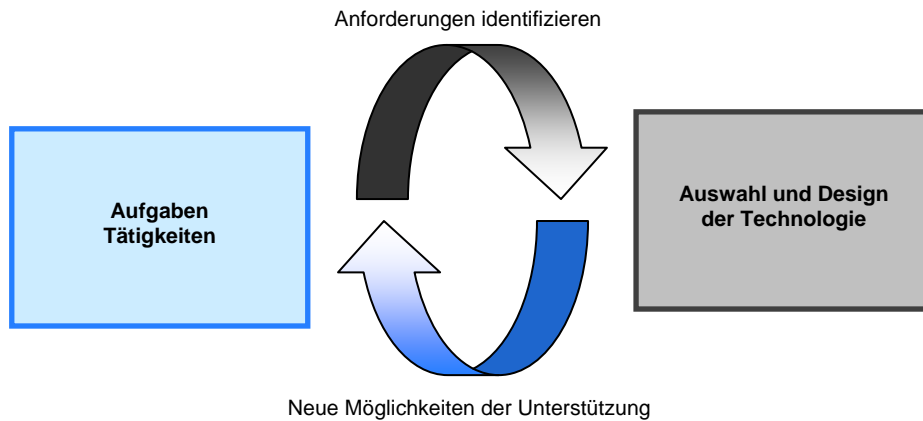
### **Einleitung**

Arbeitshilfen sind neben Trainings eine mögliche Intervention zur Erhöhung von Leistung und zur Vermeidung von Fehlern. Im Gegensatz zu Trainings bieten Arbeitshilfen einen informatorischen Vorteil „on the job“ statt in Vorbereitung auf die Arbeit. Damit eine solche Intervention ihr Potenzial entfalten kann, ist ein hoher Grad an Detailwissen über die zu unterstützenden Aufgabe bzw. die zu unterstützenden Person oder das zu unterstützende Team erforderlich.

Head Mounted Displays (HMDs) und andere innovative Technologien eröffnen neue Möglichkeiten der Leistungsunterstützung und Fehlervermeidung bei der Ausführung komplexer Aufgaben. Informationen können bedarfsgerecht, ortsunabhängig und hands-free dargestellt werden. Arbeitshilfen sind jedoch nicht immer sinnvoll, sondern können bei geringer Passung von Arbeitshilfe und Aufgabe auch unerwünschte Effekte hervorrufen. Eine detaillierte Analyse infrage kommender Aufgaben ist daher notwendig, um eine Entscheidung treffen zu können, welche Aufgaben unterstützt werden sollten und wie Informationen dargestellt werden sollten. Komplexe Umgebungen, wie z. B. bei der Instandhaltung in der Stahlindustrie oder auf Offshore-Windkraftanlagen stellen zusätzlich bestimmte Anforderungen an die Technologie, welche beachtet werden sollten.

Dieser Beitrag stellt ein Forschungsvorhaben im Kontext des Projektes „Head Mounted Displays: Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) vor.

Das methodische Vorgehen zur Analyse und Bewertung vorausgehender Bedingungen für den Einsatz von Head Mounted Displays (HMDs) und anderer neuer Informations- und Kommunikationstechnologien zur Unterstützung komplexer Aufgaben wird dargestellt. Im Rahmen des Projektes wird angenommen, dass im Vorfeld der Entwicklung und des Einsatzes von HMDs als Arbeitshilfen die Berücksichtigung aufgabenanalytischer Methoden notwendig ist. Auf Grundlage systematischer Analysen im Anwendungsbereich der industriellen Instandhaltung werden geeignete Aufgaben und HMD-Technologien für die Unterstützung systematisch ausgewählt und Anforderungen an die Informationsgestaltung abgeleitet. Eine laborexperimentelle Evaluation der Effekte einer exemplarischen HMD-Technologie als Arbeitshilfe für eine ausgewählte Instandhaltungsaufgabe und Leistung und Beanspruchung findet im Anschluss statt.



**Abb. 8.1** Task-Artifact-Cycle (nach Vicente, 1999)

## Arbeitshilfen

Verschiedenen Definitionen von Arbeitshilfen ist gemein, dass Sie die Unterstützung von Aufgaben „on-the-job“ durch das Bereitstellen von Informationen beschreiben. Zusätzlich können Arbeitshilfen die Leistung des Nutzers (z. B. bei der mentalen Verarbeitung) erweitern, indem kognitive Funktionen externalisiert werden. Arbeitshilfen sind nicht zwingend zur Erfüllung einer Aufgabe erforderlich. Klassische Beispiele für Arbeitshilfen sind (Rossett & Gautier-Downes, 1991):

- Schritt-für-Schritt Anleitungen
- Listen
- Entscheidungstabellen
- Ablaufdiagramme
- Checklisten

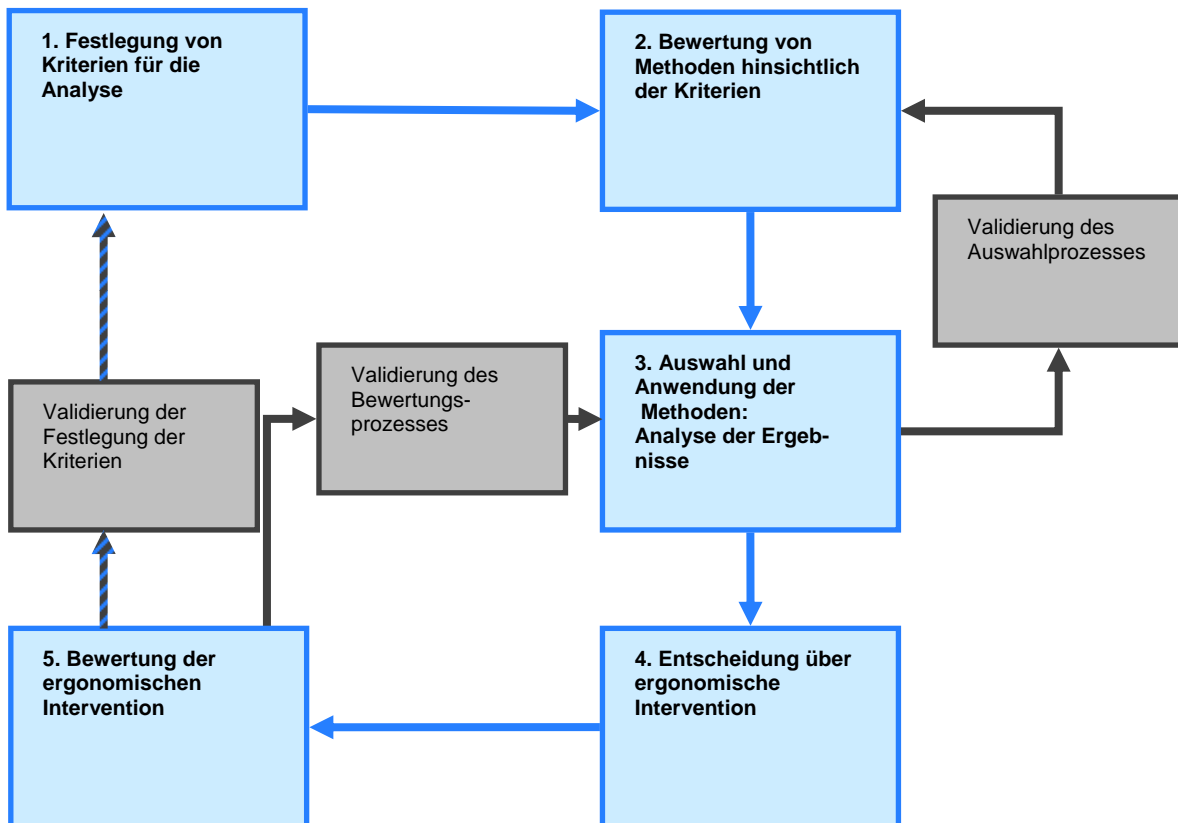
Ziel von Arbeitshilfen ist es, den Bereich funktioneller Prozesse zu vergrößern, indem neue Möglichkeiten der Unterstützung auf aktuelle Arbeitspraktiken angewendet werden. HMDs, am Kopf getragene Ausgabegeräte, welche dem Nutzer arbeitsbegleitend visuelle Informationen zur Verfügung stellen können, sind ein konkretes Beispiel für eine neue Informations- und Kommunikationstechnologie (Ziefle et al., 2005). HMDs werden „on-the-job“ eingesetzt, um Beanspruchung zu optimieren und Leistung positiv zu beeinflussen.

Tabelle 8.1 zeigt eine mögliche Kategorisierung von Arbeitshilfen, welche die möglichen Vorteile neuer Technologien wie HMDs aufzeigt. Neben der Darbietung von deklarativen und prozeduralen Informationen können HMDs nicht nur bei Entscheidungen unterstützen sowie Verhalten lenken bzw. hervorrufen, sondern darüber hinaus auch bei der mentalen Verarbeitung unterstützen.

**Tab. 8.1** Kategorisierung von Arbeitshilfen (angelehnt an Main, Harrigan & Hooprich, 1971)

Physischer Charakter	Informatorischer Charakter / Ziel			
	Deklarative Informationen	Prozedurale Informationen	Bei Entscheidungen unterstützen	Verhalten lenken/hervorrufen
Analog	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Gedruckte Materialien</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bücher</li> <li>• Fotos</li> <li>• Listen               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ z. B. Inventarlisten</li> </ul> </li> <li>• Bauplan, technische Zeichnung</li> <li>• Handkarte</li> <li>• Lageplan</li> <li>• Anleitungen</li> <li>• Handbücher</li> <li>• Gefährdungsbeurteilung</li> <li>• Arbeitserlaubnisschein</li> <li>• Explosionschutzdokument</li> <li>• Modelle</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Gedruckte Materialien</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bücher</li> <li>• Fotos</li> <li>• Listen               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ z. B. Checklisten</li> </ul> </li> <li>• Verfahrensanweisungen</li> <li>• Prozessschrittbeschreibung</li> <li>• Betriebsanweisung</li> <li>• Alarmplan/Notfallplan</li> <li>• Anleitungen               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ z. B. Schritt-für-Schritt</li> </ul> </li> <li>• Handbücher</li> <li>• Gefährdungsbeurteilung</li> <li>• Arbeitserlaubnisschein</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Gedruckte Materialien</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heuristische Regeln</li> <li>• Fehlerbäume</li> <li>• Diagnosebäume</li> <li>• Gefährdungsbeurteilung</li> <li>• Entscheidungstabellen</li> <li>• Handbücher</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Signale</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Farbliche Kennzeichnung von Kleidung, Stellen etc.</li> <li>• Geräusche, andere Reize</li> <li>• Alarme</li> </ul> </li> </ul>
Digital	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>HMD+ Computer</u></li> <li>• 3-D-Modelle</li> <li>• <u>Smartphone/Handy</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3-D-Modelle</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>HMD+ Computer</u></li> <li>• Video mit Schritt-für-Schritt Anleitung</li> <li>• <u>Smartphone/Handy</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>HMD+ Computer</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Videobasierte Fehlerbäume</li> </ul> </li> <li>• <u>Smartphone/Handy</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Manuelle Einrichtungen</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rechen-schieber</li> </ul> </li> <li>• <u>HMD+ Computer</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pop-up Texte (Hinweise)</li> <li>• Augmented Reality</li> </ul> </li> </ul>
				Mentale Verarbeitung unterstützen





**Abb. 8.2** Prozess der Methodenauswahl (nach Stanton, Salmon, Walker, Baber & Jenkins, 2005)

## Methodische Vorgehensweise

Unerwünschte Effekte können auftreten, wenn Arbeitshilfe und Aufgabe nicht aufeinander abgestimmt sind. Aufgabenanalytische Methoden zeigen Potenziale und Anforderungen auf. Mögliche Fragen vor der Entscheidung über den Einsatz von HMDs als Arbeitshilfen sind:

- Wo, in welcher Form ist eine Arbeitshilfe sinnvoll?
- Welche Teile einer Aufgabe sollten unterstützt werden?
- Welche Informationen sollen dargestellt werden?
- Wie sollen Inhalte organisiert werden?

In einem ersten Schritt wurde zur Beantwortung dieser Fragen in einem Expertenworkshop mit 19 Teilnehmern erarbeitet, welche Aufgabenmerkmale (Indikatoren) generell für einen Einsatz von HMDs als Arbeitshilfen sprechen (s. Tabelle 8.2). Hierzu wurden Kleingruppen gebildet, in denen die Vor und Nachteile der HMD Technologie für bestimmte Aufgabenmerkmale diskutiert wurden. Anschließend wurden die Ergebnisse im Plenum besprochen.

**Tab. 8.2** Indikatoren für bzw. gegen den Einsatz von HMDs

Indikatoren für den HMD Einsatz	Indikatoren gegen den HMD Einsatz
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hands free</li> <li>• Mobilität/mobil</li> <li>• „Wegklappbarkeit“ des Displays muss möglich sein</li> <li>• Kurze Sekundärtask Periode</li> <li>• Häufiger Wechsel zwischen Primär- und Sekundärtask</li> <li>• Blick muss in Richtung der Primärtask bleiben</li> <li>• Viele „kurze“ Kontextinformationen</li> <li>• Geringer Informationsbedarf für einzelne Arbeitsschritte</li> <li>• Arbeitsprozess ist fein strukturierbar</li> <li>• Zielzustände werden dargestellt</li> <li>• Informationen können grafisch dargestellt werden</li> <li>• Videoclips für einzelne Handgriffe</li> <li>• Unsichtbares muss sichtbar gemacht werden</li> <li>• Zeitkritische Anwendungen</li> <li>• Geringe Fehlertoleranz</li> <li>• Fehlerbeschränkung/Kontrollmechanismen</li> <li>• Hoher Informationsbedarf</li> <li>• Umgebungsinformationen werden eingespielt</li> <li>• Darstellung von Navigationsinformationen</li> <li>• Autonavigation</li> <li>• Auffinden eines Ortes</li> <li>• Geografische Pläne werden abgerufen</li> <li>• Datenschutz erforderlich</li> <li>• Individualisierung</li> <li>• Einzelarbeit</li> <li>• Geringe Wiederholrate von Aufgaben</li> <li>• In der Anlernphase von Montageaufgaben</li> <li>• Hohe Produktvarianz</li> <li>• Teile müssen erkannt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volles Sichtfeld ist nötig</li> <li>• Verdeckung der Realität ist nicht akzeptabel</li> <li>• Permanente Präsenz ist nicht erwünscht</li> <li>• Akkukapazität ist für Aufgabe nicht ausreichend</li> <li>• Fokuswechsel zwischen Realität und Virtualität könnte beanspruchend sein</li> <li>• Akzeptanzschwelle</li> <li>• Kosten/Nutzen</li> <li>• Primärtask ist zu aufmerksamkeitsintensiv</li> <li>• Ablenkung ist unerwünscht</li> <li>• Technische Zeichnungen müssen dargestellt werden</li> <li>• Viel Text muss dargestellt werden</li> <li>• Autonavigation</li> <li>• Routinetätigkeiten</li> <li>• Einfache Produkte</li> <li>• Einzelarbeit</li> <li>• Hoher Informationsbedarf für einzelne Arbeitsschritte</li> </ul>

Diese Charakteristiken decken sich im Wesentlichen mit den, von Rosset und Gauthier-Downes (1991) aufgeführten Tätigkeitsmerkmalen, die eine Verwendung von Arbeitshilfen im Allgemeinen sinnvoll machen:

- Unregelmäßige Ausführung, Informationen können vergessen werden
- Komplexität, Schrittfolge
- Konsequenzen von Fehlern schwerwiegend
- Viele Informationen benötigt

## Fazit und Ausblick

Auf Basis dieser Ergebnisse wurde die industrielle Instandhaltung als möglicher Anwendungsbereich ausgewählt. Instandhaltungstätigkeiten stehen im Gegensatz zu Arbeiten im Normalbetrieb, sie umfassen häufig ungewohnte Arbeiten und Nicht-Routineaufgaben. Zusätzlich werden sie häufig unter außergewöhnlichen Bedingungen (z. B. Platzmangel) durchgeführt. Es müssen Teile auseinandergenommen oder zusammengesetzt werden, die zu komplizierten Maschinen gehören. Charakteristisch ist auch ein Wechsel von Aufgaben und Arbeitsumfeld. Instandhaltungsaufgaben werden meist unter Zeitdruck ausgeführt, vor allem, wenn Reparaturen hohe Priorität haben, um Produktionsausfälle zu vermeiden.

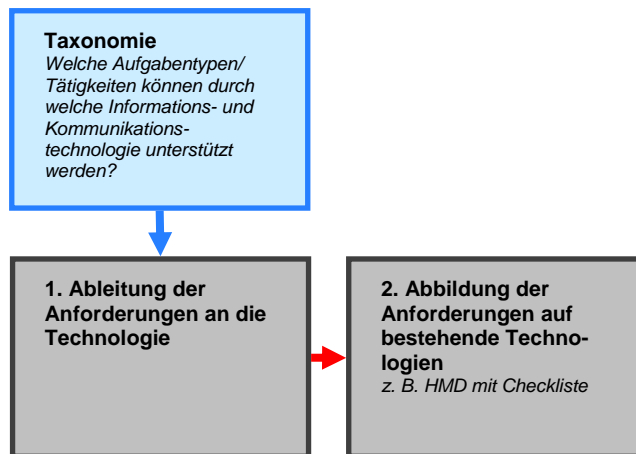
Aufgabenanalytische Methoden werden angewendet, welche das Vorhandensein der Indikatoren für bzw. gegen den Einsatz von HMDs aufzeigen können.

Um eine systematische Analyse der ausgewählten Aufgaben zu gewährleisten, wird folgende Vorgehensweise gewählt (Stanton et al., 2005):

- Festlegung von Kriterien für die Analyse
- Bewertung von Methoden hinsichtlich der Kriterien (z. B. hierarchische Aufgabenanalyse, kognitive Arbeitsanalyse)
- Auswahl und Anwendung der Methoden: Analyse der Ergebnisse
- Validierung des Auswahlprozesses
- Entscheidung über den Einsatz von HMDs als Arbeitshilfe
- Bewertung der Arbeitshilfen
- Validierung der festgelegten Kriterien sowie des Analyseprozesses

Arbeitshilfe und Aufgabe müssen zueinander passen, um unerwünschte Effekte zu vermeiden und eine bestmögliche Unterstützung zu ermöglichen. Neue Technologien wie HMDs sind prinzipiell geeignet, um bei der Erfüllung komplexer Aufgaben zu unterstützen. Diese Aufgaben haben ein hohes Unterstützungspotenzial, stellen jedoch auch hohe Anforderungen an Arbeitshilfen. Die Eignungsermittlung und Gestaltung solcher Arbeitshilfen sollte daher auf empirischen Untersuchungen beruhen, damit die Leistung bei der Erfüllung komplexer Aufgaben gesteigert und die Wahrscheinlichkeit von Fehlern verringert wird. Die Ergebnisse der Aufgabenanalyse fließen in die Auswahl und Gestaltung (z. B. Interaktionsform, Informationsdarstellung) eines HMDs für ausgewählte Aufgaben ein. Die Effekte dieser exemplarischen HMD-Technologie auf Leistung und Beanspruchung werden anschließend laborexperimentell evaluiert. Alternative Technologien (z. B. Hand Held Displays) sowie alternative Informationsdarstellungen werden gegenübergestellt (s. Abbildung 8.3).

Die Ergebnisse sind relevant für Forschung und Praxis. Sie liefern einen Beitrag zum grundlegenden Verständnis komplexer Prozesse und verdeutlichen die Relevanz von aufgabenanalytischen Methoden im Vorfeld der Gestaltung von Arbeitshilfen.



**Abb. 8.3** Ziel der Analyse

## Literatur

- Grael, B. M., Kluge, A. & Adolph, L. (2011). Unterstützung makrokognitiver Prozesse in Teams durch Head Mounted Displays: Methoden der Eignungsermittlung und Gestaltung. In Grand, M. & Schmerwitz, S. (Hrsg.), *Ergonomie im interdisziplinären Gestaltungsprozess* (DGLR-Bericht 2011-01, S. 71-79). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V..
- Main, R. E., Harrigan, R. J. & Hooprich, E. A. (1971). *Advancing the Application of Job Performance Aids Within the Navy: I. Development of Systematic Approaches*. San Diego: Naval Personnel and Training Research Laboratory.
- Stanton, N. A., Salmon, P. M., Walker G. H., Baber, C. & Jenkins, D. (2005). *Human Factors Methods. A Practical Guide for Engineering and Design*. Hampshire: Ashgate.
- Swezey, R.W. (1987). Design of Job Aids and Procedure Writing. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of human factors and ergonomics* (pp. 1039-1057). New York: Wiley.
- Rossett, A. & Gautier-Downes, J. (1991). *A handbook of job aids*. San Francisco, CA: Jossey-Bass/Pfeiffer.
- Vicente, K. J. (1999). *Cognitive Work Analysis. Towards Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work*. Mahwah: L. Erlbaum Associates.
- Ziefle, M., Oehme, O. & Luczak, H. (2005). Visuelle Information und Leistung bei Head-Mounted Displays mit erweiterter Realität. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 59 (3), 331-344.

## Kontaktadressen der Referenten

Name	Institut	Anschrift	e-mail
Dr. Lars Adolph	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Gruppe 2.3 „Human Factors und Ergonomie“	Friedrich-Henkel-Weg 1-25 44149 Dortmund	adolph.lars@baua.bund.de
Dr. Matthias Wille			wille.matthias@baua.bund.de
Britta Grauel			grauel.britta@baua.bund.de
Dr. Peter Hoffmann	Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik Leitthema Mobile Lösungen (AG Künstliche Intelligenz)	Am Fallturm 1 28359 Bremen	phoff@tzi.de
Hannes Baumann			baumann@tzi.de
Prof. Dr. Michael Lawo			mlawo@tzi.de
Markus Ehmann	Institut für Produktionsmanagement und Logistik an der Hochschule München	Lothstr. 64 80335 München	markus.ehmann@i-p-l.de
Jens Hegenberg	Universität Kassel, Fachbereich Maschinenbau, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik	Mönchebergstr. 7 34125 Kassel	J.Hegenberg@uni-kassel.de
Liubov Cramar			L.Cramar@uni-kassel.de
Prof. Dr. Ludger Schmidt			L.Schmidt@uni-kassel.de
Barbara Odenthal	Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen	Bergdriesch 27 52062 Aachen	b.odenthal@iaw.rwth-aachen.de
Marcel Ph. Mayer			m.mayer@iaw.rwth-aachen.de
Prof. Dr. Christopher M. Schlick			c.schlick@iaw.rwth-aachen.de