

# Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented Reality in der Produktion

Ludger Schmidt, Stefan Wiedenmaier, Olaf Oehme, Holger Luczak

Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag stellt einen Augmented-Reality-Ansatz zur Unterstützung von Montageprozessen in der Produktion vor. Neben einem Überblick zu den damit zusammenhängenden Gestaltungsbereichen für die Mensch-Technik-Interaktion wird ein an ISO 13407 angelehntes Vorgehen vorgestellt, um die benutzerzentrierte Gestaltung der Technik zu gewährleisten. Als konkreter Anwendungsfall aus der Flugzeugindustrie wird die prototypische Umsetzung eines Augmented-Reality-Systems zur Unterstützung der Kabelbaumkonfektionierung näher beschrieben, das einer Evaluation mit den potenziellen Nutzern unterzogen wurde.

## 1 Einleitung

Augmented Reality (AR) ist eine in der Anwendungspraxis noch wenig verbreitete neue Technologie, die die reale Umwelt mit computergenerierten Informationen ergänzen oder bereichern (augmentieren) kann. Die Informationen können dem Benutzer bedarfsgerecht und kontextbezogen dargestellt, interaktiv genutzt und weiterverarbeitet werden. Ebenso wie bei Virtual-Reality-Systemen ist es für eine intuitive Nutzbarkeit dieser Funktionalität erforderlich, diese neue Technologie aus zwei Perspektiven zu gestalten. Aus technozentrierter Sicht betrifft dies vor allem die Entwicklung einer Systemplattform für die Funktionalität der Hard- und Software (wie Displays, Eingabegeräte, Tracking, Mobilität etc.). Aus benutzerzentrierter Perspektive sind bei der Gestaltung unter Einbezug der zukünftigen Benutzer und ihrer Anforderungen zu berücksichtigen:

- grundlagenergonomische Fragen der Displays und der Informationsdarstellung (wie Trageeigenschaften mobiler Geräte, visuelle Wahrnehmung und informatorische Beanspruchung des Benutzers)
- das Usability Engineering der Benutzungsschnittstellen (wie Nutzungskonzepte, Interaktionsmodi, Gestaltung von Dialogkomponenten und Metaphern)

- systemergonomische Fragestellungen der Nutzung dieser neuen Technologie in den unterschiedlichen Anwendungsfeldern und Arbeitskontexten (wie Aufgabenangemessenheit, Effizienz in Arbeitsprozessen).

## 2 Mensch-Technik-Interaktion bei AR

Prinzipiell bezeichnet AR den methodischen Ansatz, den Benutzer ergänzend zu seinen Sinneswahrnehmungen der realen Welt mit computergenerierten Informationen via beliebiger menschlicher Sinne zu versorgen. Das derzeitige Hauptanwendungsfeld von AR liegt jedoch im Bereich nur eines menschlichen Sinnes, nämlich der visuellen Wahrnehmung. Um den Eindruck einer Verschmelzung zwischen realer und virtueller Welt entstehen zu lassen, ist der visuelle Wahrnehmungskanal besonders geeignet, wie Welch schon 1978 experimentell gezeigt hat, da damit andere Sinneswahrnehmungen überdeckt werden können. Die vom Sehsinn gelieferte Information dominiert in einem Überdeckungseffekt bei der Verarbeitung der Reize im menschlichen Gehirn („visual capture“). Dass in Zukunft die Interaktion mit AR-Systemen auch über andere menschliche Wahrnehmungskanäle wie Gehör- und Tastsinn erfolgen wird, beschreiben z. B. Klinker et al. (1997).

### 2.1 Visuelle Wahrnehmung

Bei der Realisierung der visuellen Realitätserweiterung kann technisch zwischen kopfbasierten Ausgabegeräten im Blickfeld des Benutzers und anderen nicht kopfbasierten Displays unterschieden werden (Fuchs & Ackermann 1999). Kopfbasierte Displays sind fest mit dem Betrachter verbunden (Head-Mounted-Displays (HMD)). Bei nicht kopfbasierten Displays gibt es keine feste örtliche Kopplung mit dem Betrachter (z. B. PDA als Anzeigegerät).

Bei den derzeit mit HMD realisierten Anwendungen gibt es drei Arten: (I) Optische Durchsicht-HMD („See-Through“, „Optical-See-Through“), die den realen Lichtstrahlengang durchlassen und das künstliche Bild wie eine Schablone vor das menschliche Auge halten, (II) videobasierte HMD („Video-See-Through“), die zunächst das Sichtfeld digitalisieren, mit den AR-Daten anreichern und dem Benutzer ein rein digitales Videobild vor Augen führen, und (III) eine Mischform aus den beiden vorher genannten Arten, bei denen in eine Durchsichtbrille ein kleines, nicht durchsichtiges Videodisplay eingebaut ist, um welches man außen herumsehen kann („Look-Around“). Die Vor- und Nachteile der HMD-Typen werden in Azuma (1997) diskutiert. Hauptnachteil von videobasierten HMD ist z. Zt. ihre größere Latenzzeit zwischen dem Zeitpunkt der Bildaufnahme und der Darstellung auf dem Display, die durch Digitalisierung und Bildverarbeitung hervorgerufen wird. Gegenwärtig erhältliche HMD sind vor allem auf Entwicklungen für die Bereiche Militär, VR-Visualisierung oder aber auch den Home- bzw. Entertainmentbereich zurückzuführen.

Nicht kopfbasierte Displays werden vorwiegend für stationäre Zwecke konzipiert (z. B. als Head-Up-Displays (HUD) fest ins Cockpit eingebaut). Insbesondere aus dem militärischen

Bereich liegen für HUD umfangreiche Erfahrungen und Gestaltungsempfehlungen vor, die die spezifischen Einsatzbedingungen widerspiegeln.

## 2.2 Registrierung und Tracking

Eine besondere Herausforderung bei AR stellt die Registrierung dar, also die räumlich und zeitlich korrekte Einbettung der virtuellen Objekte in das reale Bild. Insbesondere wird an AR-Systeme fast immer die Forderung nach einem mobilen Benutzer gestellt, was es besonders schwierig macht, die künstlichen Objekte schnell und exakt genug relativ zum Benutzer räumlich zu positionieren. Als Lösungsmöglichkeit existieren Ansätze, sich die Eigenschaften menschlicher Sinneswahrnehmung zunutze zu machen, um die Menge der anfallenden Daten zu reduzieren. Watson et al. (1997) haben sich mit der notwendigen Bildauflösung in einem HMD auseinandergesetzt und ein „Level of Detail Management System“ entwickelt, das die situationsabhängig benötigte Auflösung ermittelt.

Bei kopfbasierten Displays wird die Benutzersicht durch eine am HMD befestigte Trackinghardware aufgenommen und an einen Computer weitergeleitet. Dieser berechnet die räumliche Position der virtuellen Informationen im Display relativ zu dem getrackten oder im Weltkoordinatensystem verankerten Objekt. Hierzu kann mit unterschiedlichen Trackingverfahren, wie z. B. mechanischen, magnetischen, optischen und akustischen Technologien, gearbeitet werden.

## 2.3 Weitere Interaktionsgestaltung

Neben der visuellen Informationsaufnahme durch den Benutzer müssen bei der AR-basierten Mensch-Technik-Interaktion aber auch die Möglichkeiten der Informationseingabe und -rückkopplung über weitere Sinnesmodalitäten näher betrachtet werden. Im Zusammenhang mit AR werden meist spezielle Interaktionsgeräte genutzt, wie z. B. ein einhändig zu bedienender Dreh-Drückknopf oder haptische Eingabegeräte mit Krafrückkopplung, so dass die Interaktion insgesamt nicht auf einen menschlichen Informationskanal beschränkt ist, sondern auf zwei oder mehr Modalitäten ausgedehnt wird (multimodale Interaktion). Darüber hinaus spielt die Benutzerunterstützung durch Sprachein- und -ausgabe insbesondere bei mobiler AR-Anwendung und manueller Interaktion mit weiteren Arbeitsmitteln oder dem eigentlichen Arbeitsobjekt (z. B. bei Montageaufgaben) eine bedeutende Rolle (Normand et al. 1997; Furuï 2000; Karat et al. 2003). Trotz immenser Fortschritte bei der natürlichen Spracherkennung bleiben wesentliche Nachteile einer ausschließlichen Sprachinteraktion bestehen. Die Erkennung reagiert sensitiv auf Dialekte und Störgeräusche, stellt eine Beeinträchtigung der Privatsphäre dar, und es lassen sich nicht alle denkbaren Interaktionen (z. B. die direkte Manipulation von Objekten) benutzerfreundlich bewältigen (Rügge et al. 2002).

### 3 Benutzerzentriertes Vorgehen

Für industrielle Arbeitsprozesse in Entwicklung, Produktion und Service wurden im BMBF-geförderten Mensch-Technik-Interaktions-Leitprojekt ARVIKA (Friedrich et al. 2001; Friedrich 2004) AR-Technologien benutzerorientiert und anwendungsgetrieben erforscht. Dabei wurde AR vor allem zur Anreicherung des Sichtfeldes des Betrachters mit rechnergenerierten virtuellen Objekten verwendet, um damit Produkt- oder Prozessinformationen situationsgerecht im Kontext zur wahrgenommenen Realität intuitiv nutzbar zu machen. Die Projektideen wurden in für die deutsche Industrie relevanten Anwendungsfeldern wie Automobil- und Flugzeugbau, Maschinen- und Anlagenbau realisiert.

Diese inhaltlichen Schwerpunkte waren in einen Prozess der benutzerzentrierten Systemgestaltung eingebettet, die das Projekt in allen Phasen begleitet und sich auf arbeitswissenschaftliche Methoden stützt (Luczak et al. 2004). Durch die Einbeziehung potenzieller zukünftiger Benutzer wurde sichergestellt, dass die entwickelten AR-Systeme den Anforderungen von Mitarbeitern, Arbeitsprozessen und Märkten entsprechen, die Benutzungsschnittstellen ergonomisch gestaltet wurden und Verbesserungen der Arbeitsorganisation bei den Projektpartnern durch AR-Funktionalitäten in den prototypischen Umsetzungen nachgewiesen werden konnten und somit auch ein Beleg der wirtschaftlichen Effekte stattfand. Um die zielgruppenspezifischen Benutzeranforderungen in den Entwicklungsprozess mit einbeziehen zu können, wurde eine an die ISO 13407 „Benutzergerechte Gestaltung interaktiver Systeme“ angelehnte Vorgehensweise gewählt, deren Zyklus zweimal durchlaufen wurde. Ein Zyklus umfasst dabei jeweils die Schritte zur

- szenarienbasierten Anforderungserhebung,
- Konzeption und Spezifikation,
- Prototypentwicklung und Integration,
- Evaluation und Test sowie
- Auswertung der Ergebnisse und Dokumentation.

Somit bestand die Möglichkeit, die Umsetzung von erhobenen Anforderungen in ersten prototypischen Realisierungen abhängig vom Einsatzszenario ergonomisch zu gestalten, deren Wirkungen im Arbeitsprozess in der Phase der Evaluation zu untersuchen und die gewonnenen Erkenntnisse in einem zweiten Durchlauf des Zyklus weiter zur Verbesserung zu nutzen. Dadurch konnten Erkenntnisse hinsichtlich sinnvoller AR-Szenarien und identifizierte Gestaltungsmängel der ersten Phase (vgl. Schmidt et al. 2002) sowohl in die Szenarienfindung als auch in die Gestaltung der zweiten anwendungsspezifischen Prototypen einfließen (vgl. Schmidt et al. 2004).

Die Evaluation der hard- und software-ergonomischen Gestaltungsansätze erfolgte direkt mit den betrieblichen Benutzern, die für die AR-Anwendung entsprechend qualifiziert wurden. Da es sich bei den Evaluationsszenarien nicht um vergleichende Studien zwischen verschiedenen Unterstützungsmöglichkeiten handelt, kann lediglich die Ausführung der einzel-

nen Arbeitsschritte sowie das erreichte Gesamtergebnis im Hinblick auf die gestellte Arbeitsaufgabe beurteilt werden. Wesentlich wichtiger ist es in diesem Entwicklungsstadium, die Konsistenz des Benutzungskonzepts sowie die Eignung des Augmented-Reality-Systems für die Anwendungsszenarien zu überprüfen. Dies erfolgt in Orientierung an den in DIN EN ISO 9241-10 genannten Grundsätzen zur Dialoggestaltung. Das Hauptaugenmerk liegt hier auf der Aufgabenangemessenheit, die sicherlich als oberstes Kriterium für die Systementwicklung angesehen werden kann. Gerade die Dialogprinzipien Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität und Fehlerrobustheit sind schon beim ersten Einsatz des Systems von entscheidender Bedeutung. Dahingegen steht bei einem Prototyp die Individualisierbarkeit für den einzelnen Nutzer noch nicht im Mittelpunkt des Interesses.

## 4 Evaluation eines AR-Systems für die Produktion

Im Produktionsbereich bilden Montagetätigkeiten am Ende der Produktionskette einen sehr wichtigen Bestandteil der Wertschöpfungskette. Landau et al. (2001) schreiben von über einer Million Montagearbeitsplätzen in der Fahrzeug- und Elektroindustrie sowie im Maschinen- und Anlagenbau. Auch die manuelle Montage ist in vielen Bereichen der Industrie weit verbreitet, sie stellt einen wesentlichen Bestandteil der Produktions- und Servicebereiche der in diesem Sektor arbeitenden Unternehmen dar.

Gegenstand dieses Abschnitts ist die exemplarische Untersuchung eines AR-Systems aus dem Projekt ARVIKA zur Unterstützung der Kabelbaumkonfektionierung unter möglichst realistischen Bedingungen an einem realen Montagearbeitsplatz in der Produktion.

### 4.1 Beschreibung des Prototyps

Die Konfektionierung von Kabelbäumen ist gerade für die Flugzeugindustrie ein wichtiger und sicherheitsrelevanter Bestandteil der Montage. Dabei werden auf einem Montagebrett die an einem Ende meist am Stecker vormontierten Kabel in Klemmvorrichtungen entsprechend den einzelnen Kabelsträngen gebündelt. Im Anschluss daran werden die Kabelstränge zusammengebunden, am freien Kabelende die Stecker montiert und im Anschluss daran der gesamte Kabelbaum geprüft. Bereits einer der ersten Prototypen für die Produktion in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde in den USA für diesen Anwendungsfall gestaltet (Mizell 2000). Bei diesem erneuten Versuch, einen Prototyp zu gestalten, wurde allerdings eine andere Displaytechnologie (Look-Around-Display anstatt eines optischen Durchsichtdisplays) verwendet.

Der Arbeitsablauf für das Verlegen eines Kabels sieht mit dem AR-gestützten Prototyp folgendermaßen aus:

1. Alle Kabel sind in einer Liste im Auswahlfenster angezeigt, die dem Benutzer des Prototyps in sein Sichtfeld eingeblendet wird. Der Benutzer wählt ein Kabel durch Ansagen der Kabel-ID aus.
2. Nach Bestätigung dieser Eingabe wird dem Benutzer der Startpunkt angezeigt. Die Hilfspfeile, die von den Eckpunkten des Bretts zum Startpunkt zeigen, sind für das leichtere Auffinden bei den bis zu 7 Meter langen Kabelbaum Brettern gedacht (Abbildung 1 links).
3. Nach Auffinden des Startpunktes gibt der Benutzer eine weitere Anweisung, nach der ihm dann der Soll-Verlauf des Kabels eingeblendet wird (Abbildung 1 rechts).
4. Nachdem der Benutzer das Verlegen bestätigt hat, wird das Kabel als montiert in der Datenbank geführt.

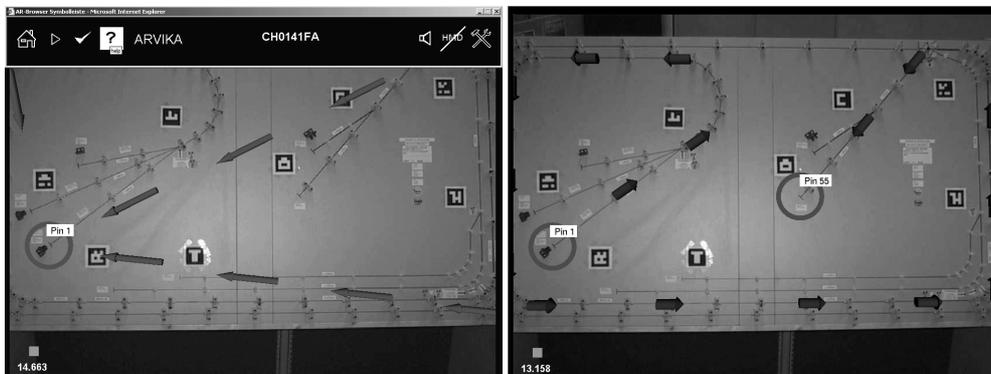


Abbildung 1: Anzeige des Startpunkts (links) und Einblendung des Kabelverlaufs (rechts)



Abbildung 2: Versuchsaufbau

Zur Evaluation des Kabelbaumszenarios wurde folgendes System verwendet: Als Hardware wurde ein Standard-PC mit einer Kleinkamera aus dem Medizinbereich und einem kopfbasierten Look-around-Display kombiniert. Als Software wurden Teile des im Projekt ARVIKA (2004) entwickelten AR-Browsers und anwendungspartnerspezifische Programme verwendet.

Zur Augmentierung wurden sowohl Overlay-Primitive (Text, Kreise) als auch mit VRML (Virtual Reality Modeling Language) generierte Geometrien (Pfeile) verwendet. Die Anbindung der tragbaren Hardware (Display, Headset) an den Desktop erfolgt über ein ca. 3 m langes Kabel. Das verwendete Microoptical Display wird über eine Batterie mit Strom versorgt. Das Display wurde auf der linken Seite eines stabilen Brillengestells montiert, die Kamera auf der Rechten. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

## 4.2 Versuchsdurchführung

Die Evaluation wurde zum einen zur Überprüfung der technischen Machbarkeit, zum anderen aber überwiegend zur Überprüfung der Usability des User Interfaces durchgeführt. Das Kabelbaumszenario wurde mit sechs Versuchspersonen aus der Kabelbaumfertigung evaluiert.

Der Versuchsablauf sieht wie folgt aus: Nach dem Anlegen des Displays und des Headsets folgt das Einstellen. Dabei machen sich die Versuchspersonen auch mit dem Tracking und den Befehlen für die Sprachverarbeitung vertraut. Anschließend beginnt die Kabelmontage wie beim realen Ablauf mit einem beliebigen Kabelstrang. Die Versuchsperson wählt ein beliebiges Kabel aus und gibt die Kabelnummer per Spracheingabe in das System ein. Nach dem Bestätigen der Kabelnummer wird der Kabelstrang mit dem bereits vormontierten Stecker in die vom AR-System angezeigte Halterung auf dem Montagebrett gebracht. Anschließend kann der Kabelstrang bis zur nächsten Verzweigung komplett verlegt werden. Ab einer möglichen Verzweigung auf dem Kabelbrett müssen alle Kabel einzeln verlegt werden.

Zur Usabilityüberprüfung wurden vier weibliche und zwei männliche Versuchspersonen (Alter zwischen 22 und 56 Jahren, Mittelwert 38 Jahre; Berufserfahrung 3 bis 30 Jahre, Mittelwert 16 Jahre) aus dem Bereich der Kabelbaumfertigung eines Flugzeugherstellers dazu angehalten, laut zu denken, d. h. ihre Gedanken während des Arbeitens mit dem Prototyp auszusprechen. Nach der Montage wurden die Versuchspersonen befragt.

## 4.3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse lassen sich in die Bereiche Aufgabenangemessenheit und Akzeptanz sowie Usability- und Softwareprobleme einteilen.

Die Aufgabenangemessenheit und Akzeptanz der Benutzer wurde prinzipiell bejaht. Dies trifft vor allem dann zu, wenn der Programmieraufwand gering ist, Bilder von der Konstruktion in die Fertigung eingespielt werden können, keine Displaykabel nötig sind und die Datenbrille noch weiter verbessert würde.

Eine Versuchsperson lehnte das System prinzipiell für den beschriebenen Einsatz ab, empfahl es allerdings für den Einsatzbereich der Steckermontage.

Insgesamt sah die Hälfte der Versuchspersonen ein Zeiteinsparpotenzial von bis zu 30 %, dadurch dass keine zweite Person mehr beim Verlegen der Kabel erforderlich ist. Vier von sechs Befragten verbanden mit dem AR-System eine Erleichterung ihres Arbeitsablaufs.

In einer Bewertung für den täglichen Einsatz lag die Bewertung nach einer Schulnotenskala (1 = sehr gut; 6 = ungenügend) bei 3,5.

Bezüglich der Benutzung des AR-Systems traten bei der Kabelbaummontage einzelne Probleme auf:

- Die Bewegungsfreiheit ist trotz langer Kabel eingeschränkt. Eine kabellose Übertragung wäre hier wünschenswert, aber diese steht noch nicht in Aussicht.
- Ein sehr häufiges Problem stellt die Spracheingabe dar. Die benutzbaren Sprachbefehle waren den Versuchspersonen teilweise unklar, beispielsweise wurde die Eingabe „Zwo“ statt „Zwei“ vom System nicht akzeptiert. Häufig wurden Sprachbefehle aufgrund von Umgebungsgeräuschen etc. nicht auf Anhieb erkannt und mussten wiederholt werden.
- Die Tracking-Funktion kann beim optischen Tracking durch nicht immer im Kamerafokus liegende Marker aussetzen.
- Bezüglich des Displays erwähnten die Versuchspersonen das eingeschränkte Sichtfeld als sehr hinderlich. Außerdem können ein Umfokussieren sowie Parallaxenfehler verwirren. Auch das Gewicht des Displays kann als lästig empfunden werden. Durch das kleine Display hatten die Versuchspersonen Schwierigkeiten, alle angezeigten Objekte im Display zu erfassen. So wurden beispielsweise zwei oder mehrere Kabel nach einer Verzweigung zusammen und falsch verlegt. Auch eng aneinander liegende Kabelwege können im HMD verwechselt werden.
- Als Abhilfe könnten mehrere Kabel, die zum gleichen Ende laufen, auch nach einer Verzweigung als Kabelbündel angezeigt werden. Einige Versuchspersonen wünschten sich die Anzeige von Anfangs- und Endpunkt sowie der Verzweigungen aber ohne den Verlauf.

Die aufgezeigten Probleme traten hauptsächlich am Anfang der Montage auf, was auf einen Lerneffekt bei den Versuchspersonen schließen lässt. Allgemein wurde das Gesamtsystem vor allem aufgrund der Spracheingabe als noch zu langsam für den Gebrauch in der Produktion angesehen.

Der untersuchte Prototyp zeigt in mehreren Bereichen noch Verbesserungspotenzial auf. Am leichtesten lassen sich die Befehlsfolge und die dazugehörigen Anzeigen und Ansagen noch weiter an den Arbeitsablauf anpassen. Durch eine möglichst kurze Befehlsfolge kann z. B. der Arbeitsablauf noch beschleunigt werden. Auch die Systemstabilität und ein robustes Tracking bieten noch ein Verbesserungspotenzial. Bisher auf dem Markt befindliche Sprachverarbeitungssysteme zeigen noch wesentliche Schwächen. Dennoch liegt der Hauptkritikpunkt aus Sicht der Benutzer weitgehend in der noch nicht ausgereiften Ergonomie der Hardware. Unangenehm zu tragende und in ihrer Darstellungsqualität noch unausgereifte

Displays sowie das ungelöste Kabelproblem vermindern die Akzeptanz der Benutzer wesentlich. Als Fazit ist anzumerken, dass der industrielle Einsatz noch nicht unmittelbar zu empfehlen ist, doch bei einer Lösung des Hardwareproblems dieser möglich und sinnvoll wäre. Eine verbesserte Hardware erfordert zwar u. U. eine technische und benutzerorientierte Umgestaltung, aber aufgrund der mit der AR-Technologie zu erwartenden Verbesserungen sollten diese Aufwände letztlich schon in naher Zukunft eine höhere Gebrauchtauglichkeit erzielen lassen.

## 5 Fazit

Die Breite der Anwendungsfelder, die gegenwärtig Gegenstand von Forschung und Entwicklung in Wissenschaft und Industrie sind, macht deutlich, dass Augmented Reality zum einen als eine Technologie mit hohem Potenzial für eine erhöhte Effizienz in vielen Arbeitsprozessen betrachtet wird. Zum anderen werden mit dieser Technologie neue Möglichkeiten der Unterstützung und Interaktion des Menschen mit seinem Arbeitsumfeld verbunden.

Um diese Potenziale zu erschließen, ist es im Vorfeld eines industriellen Einsatzes von zentraler Bedeutung, grundlegende ergonomische Aspekte empirisch zu untersuchen, die Benutzbarkeit der Augmented-Reality-Schnittstellen zum Anwender zu gewährleisten und den Arbeitskontext aus systemergonomischer Perspektive näher zu betrachten. Die aus der benutzerzentrierten Vorgehensweise abgeleiteten Gestaltungsempfehlungen für den praktischen Einsatz von Augmented Reality beziehen sich dabei auf die ergonomische Technikgestaltung, praxisingerechte Einsatz- und Arbeitsorganisationskonzepte und die Qualifizierung der Anwender. Empirische Untersuchungen mit Mock-Ups und Prototypen sowohl hinsichtlich der AR-Grundlagen als auch bezüglich der industriellen Anwendungsbereiche sind dabei ein wichtiges Instrument, um die Herausforderungen von Augmented Reality hinsichtlich der Mensch-Technik-Interaktion aufgreifen zu können.

### Literaturverzeichnis

- Azuma, R. (1997): A Survey of Augmented Reality. In: Presence, Vol. 6, Nr. 4, S. 355-385.
- Friedrich, W. (Hrsg.) (2004): ARVIKA – Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Erlangen: Publicis.
- Friedrich, W.; Jahn, D.; Schmidt, L. (2001): ARVIKA – Augmented Reality for Development, Production and Service. In: Wolf, G.; Klein, G. (Hrsg.): Proceedings of the International Status Conference – Lead Projects „Human-Computer Interaction“. Saarbrücken: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., S. 79-89.
- Fuchs, H.; Ackermann, J. (1999): Displays for Augmented Reality: Historical Remarks and Future Prospects. In: Ohta, Y.; Tamura, H. (Hrsg.): Mixed Reality – Merging Real and Virtual Worlds. Berlin: Springer, S. 31-40.

- Furui, S. (2000): Speech Recognition Technology in the Ubiquitous/Wearable Computing Environment. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), Istanbul, Turkey. Band 6, S. 3735-3738.
- Karat, C.-M.; Vergo, J.; Nahamoo, D. (2003): Conversational Interface Technologies. In: Jacko, J. A.; Sears, A. (Hrsg.): The Human-Computer Interaction Handbook – Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications. Mahwah (NJ): Lawrence Erlbaum Associates, S. 169-186.
- Klinker, G. J.; Ahlers, K. H.; Breen, D. E.; Chevalier, P.-Y.; Crampton, C.; Greer, D. S.; Koller, D.; Kramer, A.; Rose, E.; Tuceryan, M.; Whitaker, R. T. (1997): Confluence of Computer Vision and Interactive Graphics for Augmented Reality. In: Presence, Vol. 6, Nr. 4, S. 433-451.
- Landau, K.; Wimmer, R.; Luczak, H.; Mainzer, J.; Peters, H.; Winter, G. (2001): Anforderungen an Montagearbeitsplätze. In: Landau, K.; Luczak, H. (Hrsg.): Ergonomie und Organisation in der Montage. München: Carl Hanser, S. 1-82.
- Luczak, H.; Schmidt, L.; Koller, F. (Hrsg.) (2004): Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented-Reality-Systemen. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Mizell, D. (2000): Augmented Reality Applications in Aerospace. In: Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR) 2000, October 5-6. IEEE Computer Society, Los Alamitos, xi.
- Normand, V.; Pernel, D.; Bacconnet, B. (1997): Speech-Based Multimodal Interaction in Virtual Environments: Research at the Thomson-CSF Corporate Research Laboratories. In: Presence, Vol. 6, Nr. 6, S. 687-700.
- Rügge, I.; Nicolai, T.; Boronowsky, M. (2002): Computer im Blaumann: Blue Collar Computing. In: Proceedings of the Useware 2002 – Mensch-Maschine-Kommunikation/Design, Darmstadt, 11.-12. Mai. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte 1678), S. 105-110.
- Schmidt, L.; Oehme, O.; Wiedenmaier, S.; Beu, A.; Quaet-Faslem, P. (2002): Usability Engineering für Benutzer-Interaktionskonzepte von Augmented Reality-Systemen. In: it + ti – Informationstechnik und Technische Informatik, Vol. 44, Nr. 1, S. 31-39.
- Schmidt, L.; Beu, A.; Edelmann, M.; Epstein, A.; Oehme, O.; Quaet-Faslem, P.; Rottenkolber, B.; Triebfürst, G.; Wiedenmaier, S.; Wohlgemuth, W. (2004): Benutzerzentrierte Systemgestaltung. In: Friedrich, W. (Hrsg.): ARVIKA – Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Erlangen: Publicis, S. 28-51.
- Watson, B.; Walker, N.; Hodges, L. F.; Reddy, M. (1997): An Evaluation of Level of Detail Degradation in Head-Mounted Display Peripheries. In: Presence, Vol. 6, Nr. 6, S. 630-637.
- Welch, R. B. (1978): Perceptual Modification: Adapting to Altered Sensory Environments. New York: Academic Press.

### **Kontaktinformation**

Dr.-Ing. Ludger Schmidt  
Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen  
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen  
L.Schmidt@iaw.rwth-aachen.de