


Michael Fellmann
Christoph Heitmann
Dirk Metzger
Lennard Nobbe
Oliver Thomas

TKD 4.0

Klassifikation, Einordnung und Bewertung
der Einsatzpotentiale von Augmented-Reality-
Anwendungen für den Technischen Kundendienst

Living Lab Business Process Management
Research Report, Nr. 10, Dezember 2015


www.living-lab-bpm.de

10

Living Lab Business Process Management Research Report

Herausgegeben von

Prof. Dr. Oliver Thomas
Universität Osnabrück
Fachgebiet Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik
Katharinenstraße 3, 49074 Osnabrück
Telefon: 0541/969-4810, Fax: -4840
E-Mail: oliver.thomas@uni-osnabrueck.de
Internet: <http://www.imwi.uos.de/>

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISSN 2193-777X

Zitationshinweis

Fellmann, M.; Heitmann, C.; Metzger, D.; Nobbe, L.; Thomas, O. (2015): TKD 4.0 - Klassifikation, Einordnung und Bewertung der Einsatzpotentiale von Augmented-Reality-Anwendungen für den Technischen Kundendienst. In: Thomas, O. (Hrsg.): *Living Lab Business Process Management Research Report*, Nr. 10, Osnabrück, Living Lab BPM e.V.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Living Lab Business Process Management e.V. unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Copyright © 2015 Living Lab Business Process Management e.V.

Living Lab Business Process Management e.V.
Universität Osnabrück
Katharinenstraße 3
49074 Osnabrück
www.living-lab-bpm.de

TKD 4.0

Klassifikation, Einordnung und Bewertung der Einsatzpotenziale von Augmented-Reality-Anwendungen für den Technischen Kundendienst

Michael Fellmann¹, Christoph Heitmann², Dirk Metzger³,
Lennard Nobbe⁴, Oliver Thomas³

¹ Universität Rostock,
Institut für Informatik, Juniorprofessur für Wirtschaftsinformatik
Albert-Einstein-Straße 22, 18059 Rostock
michael.fellmann@uni-rostock.de
<http://www.informatik.uni-rostock.de>

² BTC Business Technology Consulting AG
Escherweg 5, 26121 Oldenburg
christoph.heitmann@btc-ag.com
<http://www.btc-ag.com>

³ Universität Osnabrück,
Fachgebiet Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik,
Katharinenstraße 3, 49074 Osnabrück
{dirk.metzger|oliver.thomas}@uni-osnabrueck.de
<http://www.imwi.uos.de>

⁴ Volkswagen Financial Services AG
Gifhorner Straße 57, 38112 Braunschweig
lennard.nobbe@vwfs.com
<http://www.vwfs.com>

Durch neue technologische Innovationen erlebt Augmented Reality (AR) derzeit eine Renaissance. Vor allem günstigere und leistungsfähigere Hardware macht eine Nutzung im professionellen Bereich zunehmend attraktiver. Der Bereich des Technischen Kundendienstes (TKD) eignet sich aufgrund des hohen Informationsbedarfs am „Point-of-Service“ und dem hohen Schulungsaufwand für die Servicetechniker idealtypisch für eine Unterstützung durch Anwendungen der erweiterten Realität. In diesem Beitrag werden AR-Systeme im Überblick vorgestellt, in eine Klassifikation eingeordnet und deren Eignung zur Unterstützung technischer Kundendienstleistungen beurteilt. Die Untersuchung mündet in einer Typisierung existierender Anwendungen wagt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungspotenziale.

1 Einleitung und Motivation

Dienstleistungen werden zum zentralen Treiber innovativer Geschäftsmodelle. Durch Kunden werden nicht nur innovative Produkte, sondern zunehmend Gesamtlösungen für ihre Bedürfnisse nachgefragt. Dabei ist der Dienstleistungsbereich besonders durch tech-

nische Dienstleistungen, wie Wartung und Instandhaltung der Maschinen, geprägt. Das Potenzial insbesondere im Maschinenbau liegt in der Erarbeitung neuer Wertschöpfungskonzepte und -partnerschaften an der Markt- und Kundenschnittstelle (Thomas u. a. 2010; Thomas, Nüttgens 2014). Die fortwährende Digitalisierung ist dabei ein zusätzlicher Faktor, der die Unterstützung des Technikers weiter prägt. Parallel steigt der Bedarf, Informationen zu den Dienstleistungserbringern zu liefern, um diese während ihrer Arbeit zu unterstützen. So müssen Servicetechniker eine Fülle verschiedener Aktivitäten beherrschen, um die immer komplexer werdenden Maschinen zu warten, instand zu halten und zu reparieren (Walter 2010b).

Daher können der After-Sales-Bereich und insbesondere der technische Kundendienst (TKD) besonders von Augmented Reality (AR) Systemen profitieren, da die Nutzung an vielen Stellen, insbesondere mit direktem Kundenkontakt, möglich ist. Insofern stellt die Entwicklung und Nutzung von AR-Systemen einen möglichen Wettbewerbsvorteil für Unternehmen im TKD und anderen Branchen dar (Haller u. a. 2003). Während der seit Jahren vorangetriebenen Forschung in diesem Feld, die gerade durch die Entwicklung leistungsfähigerer, leichter und günstiger Hardware einen Aufschwung erlebt, wurden viele verschiedene Technologien mit unterschiedlichen Anwendungsbezügen entwickelt (Wagner u. a. 2005).

Da das Forschungsfeld der AR sehr vielfältig ist, soll in diesem Arbeitsbericht ein Überblick über die vorhandene Hardware mit Hilfe einer erarbeiteten Klassifikation gegeben werden. Durch diese werden, neben dem Überblick, eine Bewertung bisheriger Forschungsergebnisse und Techniken ermöglicht sowie einen Anhaltspunkt für die Auswahl eines zu verwendenden Systems gegeben. Dabei sollen zunächst das Verständnis für das Themengebiet geschaffen werden und die notwendigen Begriffe erläutert werden. Nachfolgend wird eine Klassifikation zur Einordnung und Auswahl der Systeme abgeleitet, indem verschiedene Systemklassen dargestellt und ihre Merkmale und Merkmalsausprägungen erläutert werden. Ferner werden mögliche Einsatzmöglichkeiten skizziert und beispielhaft der Einsatz des erstellten Klassifikationsrahmens demonstriert. Zuletzt werden Herausforderungen beim Einsatz von AR aufgegriffen, sowie bisherige Einsatzpotenziale bewertet.

2 Klassifikationskriterien

Im Folgenden sollen die Klassen samt ihrer Unterklassen Merkmale und Merkmalsausprägungen vorgestellt werden. Dabei werden fünf Merkmalsklassen spezifiziert, welche sich den beiden grundlegenden Richtungen anwendungs- und technologieorientiert zuordnen lassen. Zu den anwendungsorientierten Parametern gehören die Merkmalsklassen *Anwendungsszenario*, *Mobilität* und *Benutzerschnittstelle*. Zu den technologiebezogenen Parametern gehören ferner *Software* und *Hardware*.

2.1 Anwendungsszenario

2.1.1 Einsatzbereich

2.1.1.1 Herstellung und Produktion

Durch den Einsatz von AR in der Produktion können Effizienzsteigerungen bei Montage-, Qualitätssicherungs-, Prüf- und Planungsaufgaben realisiert werden. Durch die Anzeige von Informationen oder ganzen Objekten im Kontext des Montageprozesses werden Lernprozesse beschleunigt, indem die Aufgabenkomplexität reduziert wird. Weiterhin werden

die Tätigkeitsdauer verkürzt, sowie die Informationsaufnahme und die Montagequalität verbessert. Außerdem ermöglicht es eine bessere Beherrschung von Varianten speziell im Kleinserienbau sowie die Rückführung von Informationen zur Prozess- und Produktoptimierung. So können Montage, Konstruktion und Arbeitsvorbereitung vernetzt werden, was den Aufbau von Feedback-Regelkreisen ermöglicht und Abteilungsbarrieren aufhebt. Dadurch lernt der Konstrukteur von Erfahrungen der Monteure und die Arbeitsvorbereitung erhält Informationen für den Aufbau und die Pflege sowie Montageanweisungen.

In der Produktions- und Anlagenplanung ermöglicht AR die Planung am Produktionsort. Durch Einsatz eines speziellen AR-Systems kann vor Ort ein Abbild und eine Zusammenstellung der benötigten Produktionsanlagen geschaffen werden und so die Produktionsanlage virtuell modelliert werden. Ferner kann so eine Kostenersparnis erreicht werden, durch die Einsparung einer konventionellen IT-gestützten Planung inklusive der Modellierung der Umgebung. Außerdem generiert AR einen Planungsvorteil durch kooperative und interaktive Umgebungs- und Ergonomieanalyse. Es können etwa eine Greif- oder Sichtfeldanalyse mit Mitarbeitern durchgeführt werden. Nicht zuletzt können in der Qualitätssicherung AR-Standardprüfvorgänge und Checklisten implementiert werden, um die Aktivitäten in gleichbleibender Qualität durchführen zu lassen (Schwald, Laval 2003; Ong u. a. 2008).

Der Einsatz von AR kann auch bei der Ausbildung von Mitarbeitern in Gefahrenjobs Anwendung finden. So könnten Bauarbeiter oder Logistikmitarbeiter anhand von erweiterten Umgebungen Fahrzeuge wie Kräne, Bagger oder Gabelstapler kennenlernen, indem sie mit dem realen Fahrzeug virtuelle Objekte bewegen. Bei einer Fehlbedienung entstünden dann keine Materialkosten für zerstörte Gegenstände (Wang, Dunston 2007).

In diesem Zusammenhang kann AR auch zur Steuerung von Robotern eingesetzt werden. In der Praxis ist es oft schwer diese zu steuern, da große Entfernungen Kommunikationsverzögerungen hervorrufen können. Daher kann eine Vorausplanung der Aktionen an einer virtuellen Version des Roboters sinnvoll sein, welche dann anschließend in der Realität umgesetzt wird. Dies bietet die Möglichkeit, unbeabsichtigte Aktionen im Vorfeld zu vermeiden (Milgram u. a. 1993).

Auch der Einsatz von Augmented Reality zur Programmierung des Roboterhaltens in der Produktion ist möglich. Durch Bilden von Szenarien und Erprobung des Verhaltens anhand virtueller Versionen eines bestimmten Roboters in verschiedenen Umgebungen kann das Verständnis für das Roboterverhalten und damit die Entwicklungszeit verkürzt werden (Marin u. a. 2002). Außerdem wurde in der Literatur ein Roboter-Lernszenario beschrieben. Dabei werden während eines interaktiven Spiels mit von Menschen gesteuerten Robotern Interaktionen aufgezeichnet, aus welchen dann Maschinen lernen können, um in späteren Szenarien alleine zu agieren (Kostandov u. a. 2007).

2.1.1.2 Entwicklung und Design

Der Einsatz von AR in der Entwicklung zeichnet sich durch besonders hohe Anforderungen an Grafik und Darstellungsqualität aus. Anwendungen müssen somit sehr leistungsstark sein um ein High-End-Rendering zu ermöglichen und eine Überlagerung von dreidimensionalen Objekten darzustellen. Um die notwendige Rechenleistung zu gewährleisten, findet daher überwiegend der Einsatz in Laborumgebungen auf stationären Installationen statt. Der Einsatz von AR in Design und Entwicklung kann die Effizienz der Entwicklungsprozesse, deren Dauer sowie die Qualität des Produktes als solches beeinflussen. Durch das Ersetzen physischer Modelle durch virtuelle Abbildungen können Herstellungskosten und -zeiten verringert werden. Dieses Vorgehen ermöglicht die Darstellung und Simulation ganzer Produktkomponenten. Außerdem können einzelne Materialtypen ausgetauscht

werden ohne ganze Modelle ersetzen zu müssen. Dadurch wird auch die Verhaltenssimulation zur Eignung verschiedener Materialien, beispielsweise durch Crashtests, ermöglicht.

Über den Einsatz von AR können verschiedene Arbeitsumgebungen dargestellt und durch eine Neuordnung von „Markern“ (kleine Bilder, die von einer Kamera interpretiert und zur Orientierung benutzt werden können) verändert werden. So kann zum Beispiel ein Cockpit bei der Interaktion von Designern und Nutzern durch das einfache Versetzen von Markern besonders nutzerfreundlich angepasst und simuliert werden. Der Kommunikationsweg wird verkürzt, indem einzelne Stellen, wie beispielsweise Modellbau, übergangen werden können. Dadurch werden Kosten und Entwicklungszeit eingespart, sowie die Kundenakzeptanz und Produktqualität gesteigert (Regenbrecht u. a. 2005; Ong u. a. 2008; Schilling 2008).

Nicht zuletzt ist in der Entwicklung denkbar, dass die Projektüberwachung durch AR unterstützt wird. Projektpläne können mit Konstruktionszeichnungen in dreidimensionalen Darstellungen gekoppelt werden. Durch einen Abgleich von Fotostrecken mit vorhandenen Modellen einer Baustelle können dann vor Ort über ein AR-Gerät solche Bauabschnitte hervorgehoben werden, die vor, im oder außerhalb des Zeitplans liegen. Somit kann die Rückfallwahrscheinlichkeit hinter den Zielzeitpunkt verringert werden (Golparvar-Fard u. a. 2009).

2.1.1.3 Marketing

Der Einsatz von AR im Marketing birgt neue Chancen für Kunden und Verkäufer. Käufer können mit AR-Systemen viele Zusatzinformationen über Produkte einholen. Beim Kauf eines Weines in einem Gemischtwarenladen beispielsweise kann der Kunde so Zusatzinformationen über Anbaugelände, Verarbeitung, Güte, Zertifikate und auch Konsumentenmeinungen einholen. Dem Verkäufer hingegen stehen nun mit AR-Technologie Daten über die Blickpfade zur Verfügung, um das Kaufverhalten seiner Kunden nach Ort und Art der Gegenstände zu analysieren. So kann er sein Sortiment möglichst konkret und gewinnbringend ausrichten (Zhu u. a. 2004; Mistry 2009a, 2009b; Mistry, Maes 2009; Maes, Mistry 2010).

Durch den Einsatz von AR im E-Commerce, wie beispielsweise dem „Virtual Dressing Room“, ist es möglich, ein interaktives Käuferlebnis für den Kunden zu schaffen. Durch die Kombination von Webcam und 2D-Grafikmodellen der Kleidung kann der Kunde eine virtuelle Shoppingtour antreten, in der es möglich ist, mit der Kleidung seinen Körper zu überblenden, verschiedene Farben auszuwählen und sogar Bilder zur Beratungshilfe bei Facebook oder anderen sozialen Netzwerken hochzuladen. Die Steuerung findet über Gesten des Kunden statt (Fitnect interactive 2014).

AR-Technologien sind auch interessant für das Direktmarketing. Mit Hilfe virtueller Anzeigetafeln könnten potenzielle Kunden gezielt angesprochen werden, indem Daten aus ihren persönlichen Profilen abgerufen werden, um eine perfekt zugeschnittene Werbung auf einem Smartphone oder einem HUD zu präsentieren (Zhang u. a. 2000, 2001; Höllerer, Feiner 2004).

2.1.1.4 Entertainment

Durch eine Kombination von realen Umgebungen und computergenerierten Objekten wird ein völlig neues, kollaboratives Spielerlebnis ermöglicht. Dies beweisen verschiedene Anwendungen, in denen beispielsweise virtuelle Züge auf Spielzeugholzgleise gebracht werden sowie Sammelkarten oder Würfel für Spieler über verschiedene Technologien zu interaktions- und bewegungsfähigen 3D-Objekten werden (Billinghurst u. a. 2000; Colvin

u. a. 2003; Wagner u. a. 2005). Auch die Spielsteuerung an sich ist möglich, wie das Beispiel der AR-Drohne zeigt. Bei diesem Spiel wird eine fliegende Drohne durch ein Smartphone gesteuert um dann verschiedene AR-Spiele zu erfahren (Parrot 2015). Dass In- oder Outdoor-Umgebungen zum Spielfeld werden können, zeigt die Anwendung ARQuake. Hier wird die Umgebung über ein HMD verändert, indem zusätzliche Gebäudeteile und Monster im Blickfeld des Probanden eingeblendet werden, um sie per Mausklick zu bekämpfen (Thomas u. a. 2000, S. 140–142).

2.1.1.5 Allgemeinwesen

AR findet auch im Allgemeinwesen Anwendung. Im Straßenverkehr kann AR die Sicherheit erhöhen, indem es bei widrigen Fahrbedingungen wie Nebel, Regen, dichtem Schneefall oder auf schlecht einsehbaren Routen die Fahrbahnbegrenzungen einblendet, sowie auf Gefahrenstellen und Hindernisse wie Fahrzeuge und Personen aufmerksam macht, oder Wege und Umweltinformationen wie Spritpreise anzeigt (Christian u. a. 2004; Kealy, Scott-Young 2006). AR-Applikationen können einem Nutzer aber auch im Alltag behilflich sein, wie einzelne Applikationen für das Apple iPhone zeigen. So kann man sich die Namen von Sternen im Kontext des Nachthimmels ausgeben lassen, Windrichtungen und Sonnenverlauf visualisieren, einfacher seinen Weg zum Auto finden oder während des Spazierganges durch die Stadt Umgebungsdaten oder Informationen zu Gebäuden abfragen (IPhonesty 2013).

2.1.1.6 Militär

Der Einsatz von AR im Militärbereich kann vor allem dazu beitragen, dass Soldaten präziser, koordinierter und sicherer agieren. Über AR Glasses können Soldaten beispielsweise schnell Zusatzinformationen zur Umgebung wie Häuser, Ziele, Tunnel, Kanäle, Feinde oder Routen erhalten, ohne dafür in Funkkontakt mit der Einsatzleitung zu treten oder Kartenmaterial zu studieren. Außerdem können wichtige Ereignisse im Einsatz hervorgehoben werden. Kampfareale ändern sich ständig, was durch bisher eingesetzte Technologien nicht oder nur schwer abzubilden ist. Ziel des Einsatzes von AR-Technologien ist also eine bessere Zusammenarbeit zwischen einzelnen Einheiten und Aufgabenträgern (Yohan u. a. 2000; Livingston u. a. 2002).

Außerdem findet AR Einsatz in der Simulation zu Trainingszwecken oder bei der medizinischen Messung und Überwachung der Körperfunktionen von Soldaten während und vor Kampfsituationen. Im Einsatzfeld des Militärs existieren besonders hohe Ansprüche an die AR-Technik, die sich vor allem auf die Tragbarkeit, Energieversorgung, Bedienbarkeit und Resistenz der verwendeten Hard- und Software beziehen. So müssen Bauteile besonders resistent gegen äußere Einwirkungen wie Hitze, Kälte, Schläge und mehr sein. Die Software einer Anwendung muss ausfallsicher, schnell und einfach bedienbar sowie möglichst sprachgesteuert sein, um die Soldaten bei ihrer Arbeit nicht zu behindern und bestmöglich zu unterstützen (Tappert u. a. 2001, S. 625–647).

2.1.1.7 Allgemeiner Kundendienst

Die Aufgaben des Kundendienstes sind vorrangig Installation und Instandhaltung (Walter 2010a, S. 36–37). Ziel der Instandhaltung ist es, die Aktivitäten sicherheits-, fach- und zeitgerecht durchzuführen, um damit die Verfügbarkeit von Anlagen zu erhöhen und ihre Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Die Instandhaltung zeichnet sich dadurch aus, dass neben komplexen Dokumentationen auch die Erfahrung einer Person das Arbeitsergebnis bestimmt. Vergessen und Fehlen persönlicher Erfahrungen und nicht ausreichende sowie ak-

tualisierte Arbeitsvorschriften und Dokumentationen können den Instandhaltungsprozess nachhaltig negativ beeinflussen. AR kann dabei die Rolle spielen, durch Kontroll- und Rückkopplungsmechanismen fachspezifisches, inhärentes Wissen zu externalisieren und anderen verfügbar zu machen. Außerdem können technische Unterlagen durch den Einsatz von AR handhabbar gemacht werden, indem sie durch Zusatzkommentare und Arbeitsanweisungen angereichert werden. Dies hilft, benötigte Dokumente unternehmens- oder gar branchenweit aktuell zu halten und fehlende Bestandteile zu ergänzen. Darüber hinaus können Informationen in digitalisierter Form einfacher verwendbar gemacht werden (Nikolić 2006, S. 3–6). Das Potenzial von AR im Kundendienst ist vorhanden und bietet viele Möglichkeiten und Ansatzpunkte, die Verbesserungen ermöglichen (Metzger u. a. 2014).

Das Einsatzumfeld des Kundendienstes stellt hohe Anforderungen an die AR-Technik. Demnach kann beispielsweise die Instandhaltung von Großanlagen sehr komplex sein. Die Bereitstellung von Informationen vor Ort, beispielsweise Konstruktionsdaten, muss in geeigneter Form abgedeckt werden. Ein Vorteil wird durch die Aggregation der benötigten Informationen aus den unterschiedlichsten Quellen wie beispielsweise Konstruktionszeichnungen, Funktionsbeschreibungen, Stücklisten oder Serviceberichte generiert. Auch die Lokalisierung und Identifizierung von Objekten auch durch Nicht-Spezialisten, also die Zuordnung einzelner Komponenten in den bereitgestellten Zusatzdokumenten, stellt ein wichtiges Einsatzkriterium dar. Durch den Einsatz von AR können im Kundendienst beispielsweise Komponenten gekennzeichnet werden, die gewartet, untersucht oder ausgetauscht werden müssen. Darüber hinaus können Informationen zum letzten Tausch oder der vorausgegangenen Wartung beigelegt werden. Durch den Einsatz von AR-Technologien wird es ermöglicht, einzelne Bauteile zu identifizieren – selbst wenn sie durch andere Bauteile verdeckt sind (Haller u. a. 2003).

Durch die Erweiterung um Informationen zu Bauteilen und Arbeitsschritten kann die Wartungs- und Instandsetzungskomplexität verringert werden. Zudem kann eine Zuschaltung von Spezialisten in Bild und Ton die Servicezeit verkürzen, da dadurch Lösungswege verkürzt werden können. Die Fehlersuche wird beschleunigt, da Verständnis- und Kommunikationsprobleme vermieden werden können. Außerdem macht der Einsatz solcher Techniken eine persönliche Anwesenheit von Spezialisten in vielen Fällen verzichtbar. Neben der effizienteren Informations- und Wissensversorgung, -bereitstellung und -extraktion sowie der Verkürzung der Durchlaufzeit einzelner Prozesse bestehen aus Sicht der Nutzer und Unternehmen weitere Potenziale durch den Einsatz von AR-Systemen. So wird das Situationsbewusstsein, die Motivation und Selbstsicherheit der Nutzer erhöht, während die kognitive Belastung reduziert werden kann. Die Anlagenverfügbarkeit kann durch schnellere Wartung erhöht werden, was zu effizienterer Auslastung und höherer Planungssicherheit seitens der Unternehmen führt. Die Qualität der Wartung kann gesteigert werden, indem Fehlhandlungen vorgebeugt werden (Nikolić 2006).

Der geschaffene Erfahrungsschatz aus der Wartung und Installation, auch bezeichnet als Felddaten, kann an die Entwickler von Primärprodukten zurückgeführt werden. Dadurch können Service und Produkt als solches verbessert werden, indem Verbesserungspotenziale von Anwendern oder Installateuren gemeldet werden (Edler 2001).

Eine Kosten-Nutzen-Betrachtung für den Einsatz von Augmented-Reality-Systemen im Kundendienst wurde im ARVIKA-Projekt vorgenommen. Als Ergebnis dieser Betrachtung gilt der Einsatz von AR vor allem bei Aktivitäten sinnvoll, die hoch frequentiert anfallen und keine zu hohe Komplexität aufweisen. Dazu gehören der Austausch von Komponenten, Justierung von Maschinenteilen sowie einfachere Servicefälle (Nikolić 2006).

2.1.1.8 Gesundheitswesen

AR-Applikationen können Ausbildungs-, Diagnose-, Planungs-, Beratungs- und Behandlungsprozesse im Gesundheitswesen unterstützen (Vidal u. a. 2006). Die Applikationen für die medizinische Ausbildung reichen von der Abbildung menschlicher Anatomie in 3D (Park u. a. 2005; Voxel-Man 2010) bis hin zur Manipulation der Daten und somit der Simulation von Verletzungen und Auswirkungen auf körperliche Funktionen. Diese Abbildung anatomischer Strukturen und Funktionen ermöglicht eine detaillierte Planung von Operationen und den Einsatz zu Übungszwecken (Sielhorst u. a. 2004; Vidal u. a. 2006; Zachow u. a. 2008).

Durch die Verarbeitung und Abbildung erhobener CT- oder MR-Daten in einem intuitiven Format wie 2D- oder 3D-Grafik können Diagnoseprozesse verbessert werden. Somit können neben Radiologen auch beispielsweise Chirurgen erste wichtige Diagnosen machen. Schmerzhaftes Eingriffe bei Patienten können vermieden werden, indem Körperregionen analysiert werden die sonst nicht erreichbar wären (Robb 2000; Vidal u. a. 2006).

AR-Systeme finden nicht nur präoperativ sondern auch intraoperativ Anwendung. So ist es beispielsweise möglich, Tumore und ihre Umgebung im Körper vor einer Operation zu simulieren und ihre Position während der Operation abzubilden (Reitinger u. a. 2006; Vidal u. a. 2006). Das Augmented Reality Aided Surgery System (ARAS) bietet intraoperativ die Möglichkeit der Kollaboration zwischen Chirurg und Radiologe. Nach Kalibrierung des Systems auf die Umstände der Operation wird dem Radiologen die Position von Gefäßen und Organen grafisch dargestellt, was anschließend über ein HMD für den Chirurgen einsehbar wird (Fuhrmann u. a. 2002; Suthau u. a. 2002; Vidal u. a. 2006). Bei minimalinvasiven Eingriffen können mit Hilfe von Augmented Reality die Position der verwendeten Werkzeuge sowie die Anatomie des Patienten in Echtzeit visualisiert werden (Vidal u. a. 2006).

Auch Angstpatienten können durch den Einsatz von Augmented Reality therapiert werden. So wird AR bei der sogenannten Konfrontationstherapie eingesetzt, bei der eine phobische Person über ein HMD mit ihren Ängsten konfrontiert wird. So ist es beispielsweise möglich, in verschiedenen Sitzungen mit unterschiedlichen Intensitäten virtuelle Objekte wie Spinnen oder Kakerlaken in die Umgebung der Testperson einzublenden, bis diese eine Besserung verspüren (Review 2010).

2.1.1.9 Ausbildung

Durch eine Erweiterung der Lernumgebung um virtuelle Objekte kann der Lernprozess der Lernenden verbessert werden. Dies wird durch das Lösen von einfachen bis zu komplexen Aufgaben während der Erforschung des Gegenstands in Gruppen oder in Einzelarbeit begründet. Durch den Einsatz von AR-Techniken sollen Lernende den Sachgegenstand besser und schneller verstehen und nachvollziehen können (Shelton, Hedley 2002; Kaufmann 2003; Kaufmann, Csisinko 2006).

AR bietet darüber hinaus die Möglichkeit, neben virtuellen Informationen und Objekten die reale Welt weiterhin wahrzunehmen und somit interaktiv mit Mitlernenden Ergebnisse zu erarbeiten. Ebenso können nicht AR-gestützte Lernmittel wie Bücher, Taschenrechner, Tabellen oder Modelle weiter benutzt werden. So kann es sinnvoll sein, die Funktion eines Motorkolbens am realen Gegenstand zu erklären und seine Funktion im Zusammenhang mit anderen Motorteilen gleichzeitig in einem virtuellen 3D-Modell zu präsentieren (Liarokapis u. a. 2004). Auch Lehrende werden durch den Einsatz von AR in ihren Aufgaben unterstützt, da bessere Rückkopplungsmechanismen in der Zusammenarbeit mit den Studenten entstehen. Dadurch ist es für sie einfacher, Verständnisprobleme der

Studenten nachzuvollziehen und diese Lücken zu schließen (Shelton, Hedley 2002). AR-Applikationen können wie im Beispiel der Studierstube Software gesteuert sein (Kaufmann 2003), aber auch durch „Marker“ in Büchern aufgerufen werden, die dann virtuelle Zusatzinformationen zu den vermittelten Inhalten geben können (Billinghurst u. a. 2001).

Der Einsatz von AR ist nicht nur in Klassen- und Laborräumen, sondern auch in Museen denkbar. Durch positionsgesteuerte Informationsdienste kann ein Museumsbesucher zu Exponaten akustische Zusatzinformationen erhalten (Zimmermann, Lorenz 2008). Auch die Darstellung ganzer virtueller Exponate ist möglich, wie die Technologie des Virtual Showcase der Universität Wien beweist. Diese Anwendung erlaubt eine Interaktion mit den Modellen. So können Beschreibung und Visualisierungen zu einzelnen Teilen der Exponate, wie beispielsweise die Hirnareale eines Dinosauriers, angeboten werden (Bimber u. a. 2001, 2003, 2006).

Geologiestudenten können während der Feldforschung durch Outdoor-Anwendungen unterstützt werden, indem sie einen Eindruck von der Landschaft eines Gletschergebirges zum Existenzzeitpunkt des Gletschers gewinnen. Durch die Darstellung von Eismassen in der vorhandenen Kulisse wird eine lebhaftere Vorstellung ermöglicht (Jarvis u. a. 2008; Priestnall 2009). Auch Kunststudenten lernen in einer durch AR erweiterten Realität besser und sind motivierter, weshalb die Technologie eingesetzt wird (Di Serio u. a. 2013). Darüber hinaus sind auch Applikationen denkbar, die Reisegruppen dabei unterstützen, Geschichte lebhafter und bildlicher zu erfassen, indem Ruinen in der Realität durch dreidimensionale Rekonstruktionen überlagert werden (Stricker, Kettenbach 2001).

2.1.2 Multiuserfähigkeit

In vielen Szenarien entscheidend für die Einsatzfähigkeit von AR-Systemen ist die Möglichkeit, mehreren Benutzern gleichzeitig Zugriff auf das System zu geben. Dies hat zur Folge, dass die Interaktionen eines Benutzers mit virtuellen Objekten Einfluss auf die Sicht der anderen Benutzer haben. Wird die Augmentation beispielsweise über ein Head-Mounted Display (HMD) dargestellt, so können maximal so viele Benutzer gleichzeitig im System arbeiten, wie HMD-Geräte verfügbar sind. Im Gegensatz dazu steht die Darstellung auf einem Monitor, bei der alle Benutzer, die das Monitorbild sehen, gleichzeitig die erweiterten Informationen realisieren können (Sielhorst u. a. 2008).

Ebenfalls als multiuserfähig gilt ein System dann, wenn mehrere Benutzer gleichzeitig auf die gleichen Daten zugreifen können. Diese Aussage überschneidet sich mit oben genanntem, kann aber auch völlig unabhängig von der gleichzeitigen Darstellung erfolgen. Die Umsetzung multiuserfähiger AR-Systeme erfordert die gezielte Planung der kollaborativen Elemente (Nilsson 2010) und wirft größere Probleme auf, wenn die Multiuser-Systeme aus Singleuser-Systemen heraus entwickelt werden (Fjeld u. a. 2002).

2.2 Mobilität

Der technische Begriff der Mobilität wird durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst, die getrennt voneinander betrachtet werden sollen (Basole 2004; Decker u. a. 2006; Rügge 2008; Scherz 2014). Diese werden im Folgenden weiter ausgeführt.

2.2.1 Transportierbarkeit

Die Möglichkeit, ein Endgerät physisch zu transportieren, hängt primär von Gewicht, Größe sowie der Abhängigkeit von Energiezufuhr ab. Es kann somit zwischen sehr transportfähigen, eingeschränkt transportierbaren und stationär einsetzbaren Geräten unterschieden

den werden. Sehr transportfähige Geräte sind solche, die kontinuierlich mitgeführt werden können, ständig Daten aufnehmen und ohne viel Aufwand einsetzbar sind. Smartphones und PDAs gehören somit zu sehr transportfähigen und sofort einsatzbereiten Geräten, während Notebooks und Tablet-Computer aufgrund der teils geringen Einsatzdauer zur zweiten Klasse gehören. Desktopgeräte gehören zu letzterer Klasse, da sie von einer kabelgebundenen Energiezufuhr abhängen und somit im Verhältnis zu anderen Geräten viel Zeit bis zur Einsatzbereitschaft benötigen (Basole 2004; Decker u. a. 2006; Rügge 2008).

2.2.2 Datenverbindung

Die Abhängigkeit von lokalen und nicht lokalen Netzen und Bandbreiten zur Kommunikation beeinflusst die Mobilität von Geräten. Hier kann zwischen drahtgebundenen, lokalen drahtlosen und drahtlosen Datenverbindungen unterschieden werden. Lokale drahtgebundene Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass zum Betrieb des Gerätes eine am Einsatzort befindliche physische Verbindung hergestellt werden muss. Lokale drahtlose Anwendungen werden dadurch identifiziert, dass zwar keine greifbare Verbindung in Form eines Kabels vorhanden sein muss, das Gerät jedoch nur in bestimmten Netzwerken mit begrenzter Reichweite einsetzbar ist. Dies ist zum Beispiel bei einem Notebook der Fall, das nur über ein lokales, personennahes kabelloses Netzwerk (WLAN) kommunizieren kann. Zu den drahtlos unabhängigen Endgeräten gehören Mobilfunkgeräte, die über GSM, HSCSD, GPRS, EDGE, 3G, LTE usw. kommunizieren können (Basole 2004; Decker u. a. 2006; Rügge 2008; Scherz 2014).

2.2.3 Nutzerbeeinträchtigung

Eine geringe Nutzerbeeinträchtigung zeichnet sich aus durch die Fähigkeit des Systems, den Nutzer mit Kontextinformationen zu versorgen, mit ihm zu interagieren, ihn aber gleichzeitig nicht in der Ausführung seiner Aktivität einzuschränken, sondern beiläufig zu unterstützen. Dies wird durch eine Kontextsensibilität und Bedienfreundlichkeit, aber auch der Anpassungsfähigkeit an persönliche Bedürfnisse bestimmt. Um Kontextinformationen zu gewährleisten, müssen entsprechende Sensoren das Geschehen erfassen. Dies kann durch Identifikation des Ortes über GPS, Erkennung von Gegenständen durch RFID, markerlosem Tracking oder durch einen zeitspezifischen Kontext stattfinden.

Die Nutzerbeeinträchtigung kann als hoch, mittel und niedrig eingestuft werden. Niedrige nutzerbeeinträchtigende Anwendungen sind dadurch zu identifizieren, dass sie dem Nutzer nach dem Start sofort kontextrelevante Informationen liefern, ohne komplexe Aktivitäten ausführen zu müssen. Außerdem sind sie auf die Anforderungen des Nutzers zugeschnitten und einfach und effektiv zu bedienen. Sie beeinflussen den Nutzer nicht bei der Ausführung seiner Aktivität oder unterbrechen ihn dabei. Eine wenig interaktionsfähige und somit hoch nutzerbeeinträchtigende Anwendung ist entsprechend schwerer zu bedienen und liefert erst durch weitgehende Interaktion entsprechende Kontextinformationen (Rügge 2008; Scherz 2014).

2.3 Benutzerschnittstelle

AR-Systeme können durch die Provokation von Reizen alle menschlichen Sinne ansprechen (Azuma 1997). Diejenigen Sinne, die angesprochen werden, liefern ein logisches Kriterium zur Einordnung eines solchen Systems. Auf der anderen Seite kann man ebenso nach den vom Benutzer eingesetzten Sinnen zur Bedienung des Systems unterscheiden (Sandor, Klinker 2005).

2.3.1 Eingabe

Durch taktile Eingaben zu bedienende Systeme bietenden Vorteil für den Nutzer, auch sensible Daten in der Öffentlichkeit eingeben zu können. Muss etwa ein Passwort für eine Autorisierung zum Datenzugriff eingegeben werden, so ist dies auf einem Touch-screen oder einer Tastatur sicherer möglich als per Stimmeingabe (Sawhney, Schmandt 1998). Ebenfalls sind so Auffassungsfehler zu vermeiden, die bei der Spracherkennung oder sonstigen komplexen Eingaben vermehrt auftreten können, z.B. durch Fehlkalibration (Holloway 1997, S. 145). Des Weiteren ist es beispielsweise im medizinischen Bereich von höherer Bedeutung, durch Berührung ausgelösten Datengewinn zu erzeugen. An einem Endoskop befestigte Berührungssensoren können Verletzungen bei internistischen Eingriffen vermeiden (Hamed u. a. 2008), während ein so ausgerüsteter Handschuh den Arzt in einer Trainingssimulation auf eine Operation vorbereiten kann (Sakellariou u. a. 2009).

Die Erfassung der Gesten des Benutzers innerhalb eines AR-Systems ermöglicht es, komplexe Interaktionen mit Systemelementen durchzuführen. Ein Beispiel dafür bildet das Projekt *FingARTips* von Buchmann u. a. (2004, S. 212–220). Hier werden anhand von Referenzmarkierungen die Bewegungen der Fingerspitzen verfolgt und verarbeitet, was die Interpretation dieser durch Mustererkennungsmechanismen nach sich zieht, die im System implementiert wurden. Ein weiteres Beispiel zur Gestenerkennung basiert auf Infrarot-Tracking, wobei Zielmarker an Daumen und Zeigefinger angebracht werden und mittels Abstandsmessung die Handgesten erfasst werden (Reifinger u. a. 2007). Denkbar ist auch die Anwendung entsprechender Technik auf weitere Körperteile wie Arme und Beine.

Weitere Technologien zur Gestenerkennung bauen auf mit Beschleunigungssensoren ausgestatteter Hardware auf, beispielsweise der Fernbedienung der Spielkonsole Nintendo Wii (Rehm u. a. 2007; Schlömer u. a. 2008). Ebenso möglich, wenn auch ungleich schwieriger akkurat zu erfassen, ist eine im Gegensatz zu o.g. Beispielen markerlose kamerabasierte Gestenregistrierung. Ein solches System bringt prinzipiell einen eingeschränkten Aktionsradius mit sich, da zur möglichst genauen Bewegungsrezeption mehrere Kameras gebraucht werden und ein leistungsfähiger Computer für Berechnungen zur Verfügung stehen muss (Pavlovic u. a. 1997).

Unter optischem Input wird hier die Aufnahme und Verarbeitung von Bildern durch Kameras oder kameraähnlichen Geräten verstanden. Die optischen Eingangssignale werden entweder digitalisiert und mit kontextsensitiven Zusatzinformationen ergänzt in ein Ausgabesignal gewandelt, was den Einsatz von Video See-Through Displays nahe legt (Moehring u. a. 2004), oder zur Berechnung der Zusatzinformationen verwendet, die anschließend das Ausgabesignal bilden (Klinker u. a. 2001, S. 380–384). Letzteres bedeutet, dass der Benutzer jederzeit die Realität wahrnimmt, z.B. durch Nutzung eines so genannten Optical See-Through Displays (Azuma 1997). Optisches Tracking ist folglich zwingend notwendig, wenn der Input optischer Natur ist (Moehring u. a. 2004).

Bei akustischem Input handelt es sich um Signale, die von Mikrofonen oder ähnlichen schallrezeptiven Sensoren aufgenommen werden. Sie werden innerhalb des AR-Systems verarbeitet und führen zu einer Reaktion des Systems. Beispiele für akustischen Input sind Navigationsanweisungen an das System, also Sprachsteuerung (Zeiss 2004), sowie Hilfsysteme in PKW, die etwa beim Herannahen eines Einsatzwagens mit Alarmsignal aktiviert werden (Green 1995). Akustische Signale können durch ihre Lautstärke bei entsprechender Kalibrierung des Systems auch für Abstandsmessungen oder zur Identifikation bestimmter Objekte dienen.

2.3.2 Ausgabe

Haptische Ausgabeelemente ermöglichen es dem Benutzer eines AR-Systems, einen körperlich fühlbaren Eindruck wahrzunehmen, während er im System mit virtuellen Objekten interagiert. Dies lässt einen höheren Grad an Realitätsempfinden zu. Haptische Ausgabe erfolgt über eine gezielte Stimulation der kinästhetischen und propriozeptiven Rezeptoren des Benutzers (Vallino 1998). Der Vorteil von taktiler Ausgabe ist, sie könne, „immer abhängig von der zu unterstützenden Aufgabe, Information komprimierter vermitteln als so manches Bild oder ein Ton“ (Rügge 2008).

Haptische Schnittstellen werden schon seit einiger Zeit in VR-Systemen verwendet (Stone 1988). Ein Beispiel für Umsetzungen haptischer Ausgabesysteme ist das Personal Haptic Interfact Mechanism-System (PHANTOM), welches mit Hilfe eines Peripheriegerätes den Bewegungen des Benutzers entgegenwirken kann, um ihn z.B. ein Hindernis fühlen zu lassen (Potts 1960). Ein anderer peripheriebasierter Ansatz ist das „What you see is what you feel“-Display (WYSIWYF) (Yokokohji u. a. 1999). Weiterhin existieren exoskelettale Systeme, die ebenfalls menschliche Regungen manipulieren können, indem sie Kraft entgegen der Bewegungsrichtung ausüben (Tsetserukou u. a. 2010).

Ist die Ausgabe visueller Natur, wird sie über Bildanzeigergeräte dem Benutzer zugänglich gemacht. Der Benutzer nimmt die um Zusatzinformationen erweiterten Bilder über seinen Sehsinn auf und verarbeitet die Eindrücke. Der optische Output ist eine sehr häufig auftretende Form der Informationsdarstellung in AR-Systemen (Azuma 1997; Lu u. a. 1999) definiert diese als „registered in 3D“ und reduziert sie damit auf dreidimensionale Bild- und Tondarstellungen.

Ausgaben über Schallwellen werden von Benutzer des Systems mit seinem Hörsinn wahrgenommen. Eine Implementierung von akustischen Ausgabeelementen ermöglicht es beispielsweise, Hintergrundgeräusche zu unterdrücken oder zu überlagern (Durlach, Mavor 1994, S. 135) und mit passender Hardware räumliche Klangeffekte einzusetzen (Azuma 1997). Dadurch kann eine realistischere Darstellung der virtuellen Komponenten erreicht werden. In der Art des akustischen Outputs ist zu unterscheiden zwischen Signaltönen oder -melodien und Sprachausgabe.

2.4 Software

2.4.1 Objektidentifikation

Ein AR-System muss, um dem Benutzerkontext sensitive Informationen zur Verfügung stellen zu können, an Anhaltspunkte über die Beschaffenheit der Umwelt gelangen. Der naheliegende Weg, den Prozess der Informationsbereitstellung anhand von im Sichtfeld liegenden Objekten auszulösen, erfordert eine Identifikation der betreffenden Artefakte. Diese Identifikation ist auf verschiedene Arten möglich.

Das Global Positioning System (GPS), welches die geographische Lokalisierung der Signalempfangsgeräte ermöglicht, kann Objekte identifizieren, in dem die Informationen bereitgestellt werden sobald sich der Benutzer mit dem GPS-Empfänger einem Ort nähert, an dem ein bestimmtes Objekt im System verzeichnet ist. Dieses Verfahren könnte beispielsweise bei um AR-Funktionalität erweiterten Navigationssystemen (Thomas u. a. 1998) oder AR-basierten Führungen (Dow u. a. 2005) zum Einsatz kommen. Jedoch ist GPS als alleinige Identifikationslösung für diese Anwendungszwecke zu ungenau (Azuma 1999; Flintham u. a. 2003; Dow u. a. 2005).

Voraussetzung für den Einsatz von GPS ist die Speicherung der Koordinaten von Objekten, zu denen erweiterte Informationen bereitgestellt werden sollen, in einer Daten-

bank innerhalb des AR-Systems. In Kombination mit anderen, im Weiteren vorgestellten Identifikationsmöglichkeiten kann GPS vor allem unterstützende Funktionen einbringen. Auch sei als Einschränkung genannt, das GPS an manchen Orten, sowie in Gebäuden nicht funktioniert, da Satellitenempfang grundsätzlich notwendig ist.

Eine Alternative bietet der Einsatz von Barcodes zur Objektidentifikation. Sobald der Barcode erkannt ist, wird er einem numerischen Wert zugeordnet und mit einer Datenbank abgeglichen (Webster u. a. 1996). Anschließend können die unter diesem Wert gespeicherten Informationen dem Benutzer zugänglich gemacht werden.

Der Vorteil dieser Technik ist, dass sie sehr ausgereift und schnell ist. Außerdem sind bei so gut wie allen Produkten des täglichen Verbrauchs bereits Barcodes zugeordnet, was die Entwicklung und den Einsatz eines solchen Systems beispielsweise bei Nutzung für Einkaufsszenarien erleichtern dürfte. Eine Schwierigkeit bei der Nutzung von Barcodes ist die Lage der optischen Erkennungszeichen. Diese müssen so liegen, dass sie erfasst werden können. Des Weiteren kann ohne den Einsatz weiterer Methoden ein Objekt nicht nach seiner Erfassung verfolgt werden, wenn der Benutzer sich bewegt oder das Objekt bewegt wird. Deshalb wird der Barcode-Scan meist in statischen Situationen eingesetzt (Webster u. a. 1996; Bertelsen, Nielsen 2000). Ansonsten können Barcodes auch als Marker verwendet werden, die einer Identifikationsmethode dienen, auf die später eingegangen wird.

Der Einsatz von RFID-Transpondern an Objekten stellt eine weitere Möglichkeit für deren Identifikation dar. RFID-Lesegeräte lesen die Informationen ein, die in den RFID-Chips gespeichert sind. Diese werden dann innerhalb des AR-Systems verarbeitet, um das System darauf reagieren zu lassen. In einem festgelegten Systemumfeld kann mit fest installierten Lesegeräten auch die Position von beweglichen Objekten oder die der Benutzer verfolgt werden. Großer Vorteil der RFID-Technologie sind die geringen variablen Kosten (Juels 2005) im Vergleich zu speziell entwickelten Lösungen und die platzsparende, unauffällige Bauweise der Transponder (R.F.ID. 2010). Auf der anderen Seite müssen die Transponder in relativ geringem Abstand am Lesegerät vorbei geführt werden, sofern sie keine eigene Stromversorgung besitzen. Dies kann, wie beim Einsatz von Barcodes, zu Problemen bei der Verfolgung von Benutzern und beweglichen Objekten führen. Eine weitere Möglichkeit, Objekte zu erkennen (Recognition) und zu verfolgen (Tracking), bietet die Untersuchung der Bilder, die über die Kamera aufgenommen werden. Dies kann über Markierungen geschehen, so genannte optische Marker – zweidimensionale Kennzeichen, die beispielsweise in Form von Aufklebern an Objekten befestigt werden. Dieses Verfahren wird als markerbasiert bezeichnet. Die Objekte werden dabei entweder über bestimmte Abstandsrelationen der Marker zueinander (Kanbara, Yokoya 2002) oder durch Erfassung von Zusatzinformationen (Mustern, Buchstaben oder Zahlen) in den Markern zugeordnet (Kato, Billingham 1999), wobei letzteres in seinem Prinzip der Erkennung über Barcodes entspricht.

Eine weitere Möglichkeit ist es, die Bilder auf Muster zu untersuchen, die dem System bekannt sind. Bei diesem markerlosen Tracking müssen vorher die Proportionen hervorstechender Merkmale eines Objektes zueinander über Referenzbilder (Stricker, Kettenbach 2001) oder die maschinenverständliche Beschreibung dieser (Gammeter u. a. 2010) im System bekannt sein oder bestimmte geometrische Formen anhand von Kontrasten erkannt werden (Ferrari u. a. 2001). Wird das Objekt nun identifiziert, werden die im System hinterlegten Informationen dem Benutzer verfügbar gemacht, etwa über automatische Einblendungen von Informationen (Gammeter u. a. 2009). Die Verfolgung der identifizierten Objekten und die damit einhergehende Anpassung der dargestellten Informationen hinsichtlich des Blickwinkels und der Entfernung des Anwenders relativ zu den Objekten finden analog über laufende Erkennung, Vorausberechnung oder die Orientierung an geo-

metrischen Gegebenheiten der Umwelt statt (Comport u. a. 2006, S. 615–616). Dieses Themenfeld stellt ein eigenes Forschungsgebiet dar, weshalb besonders die einzelnen Ansätze bezüglich ihrer Algorithmen nicht weiter beleuchtet werden.

2.4.2 Informationsdarstellung

In der Art der Darstellung sind grundsätzlich viele Möglichkeiten vorhanden. Da das Abgrenzungsfeld eng mit der Benutzerschnittstelle verknüpft ist, sind auch hier alle Sinne theoretisch ansprechbar (Azuma 1997). Bislang entwickelte Systeme stellen die Hauptinformationen allerdings in grafischer oder akustischer Form dar, weshalb an dieser Stelle nur zwischen diesen Formen unterschieden wird. Dreidimensionale Darstellungen erweitern die Realität um virtuelle Objekte im Raum, die für den Benutzer des Systems eine Mehrinformation darstellen. Denkbar ist zum Beispiel die virtuelle Darstellung von antiken Orten an der Stelle von deren Ruinen (Gleue, Dähne 2001). Bei dieser Form der Darstellung kommt eine 3D-Grafikengine zum Einsatz, die Objekte mit Hilfe von Gestaltungs- und Positionsbeschreibungen im Sichtfeld des Anwenders platzieren kann.

Informationsdarstellung in zweidimensionaler Form funktioniert ähnlich, mit dem Unterschied, dass hier keine möglichst real wirkenden, räumlichen Objekte in die Umwelt eingefügt werden, sondern flächige. Darunter fällt beispielsweise eingeblendeter Text. Ein Vorteil dieser Technologie sind ihre geringen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der zu Grunde liegenden Hardware, weshalb zweidimensionale Navigationshilfen, die in Echtzeit das Kamerabild ergänzen, bereits auf Smartphones lauffähig sind (Acrossair 2009). Die Informationen werden grafisch in einer Weise aufbereitet, die es ermöglicht, sie in die dreidimensionale Umwelt einzupassen (Höllerer, Feiner 2004).

Weiterhin können Informationen in akustischer Form bereitgestellt werden. Denkbar wären hier beispielsweise real erscheinender, räumlicher Klang in einem AR-Szenario (Azuma 1997) oder akustisch unterstützte Führungen und Museen o.Ä. (Zimmermann, Lorenz 2008).

2.4.3 Datenverarbeitung

Grundlegend lässt sich zwischen drei Arten der Datenverarbeitung unterscheiden, unter welchen die Endgeräte die Berechnungen durchführen können:

- *Entfernt*: Die Datenverarbeitung findet zentral auf einem oder mehreren unterschiedlichen Servern statt. Dieses Vorgehen vermeidet einen zu großen Funktionsumfang des Clientgerätes und eine Fülle von Bauteilen (Schwickert, Grimbs 1996). Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Thin Clients (Stahlknecht, Hasenkamp 2005, S. 124).
- *Kooperativ*: Bei dieser Form der Verarbeitung finden einige Verarbeitungsprozesse clientseitig und andere, die ggf. mehr Rechenleistung benötigen, serverseitig statt (Schwickert, Grimbs 1996).
- *Lokal*: Bei der lokalen Verarbeitung werden alle Prozesse auf dem Client ausgeführt. Diese Form wird auch als Big Client bezeichnet. Alle Bauteile und Funktionen sind in diesem Fall in einem Gerät vorhanden sind (Schwickert, Grimbs 1996; Stahlknecht, Hasenkamp 2005).

2.5 Hardware

Die Hardware eines AR-Systems setzt sich aus größtenteils standardisierter, vielfältig vorhandener Computerhardware zusammen, die je nach Anwendung bedarfsgerecht kombiniert wird (Rügge 2008). Prinzipiell wird ein System benötigt, welches als Grundlage für die AR-Anwendung mit Ein- und Ausgabekomponenten versehen werden kann. Die konkreten Ausprägungen der Elemente werden im Folgenden näher betrachtet.

2.5.1 Eingabegeräte

Eingabekomponenten sind Elemente der Hardware eines AR-Systems, die für die Übertragung von Informationen vom Benutzer oder der Umwelt an das System darstellen. Häufig werden allgemein gebräuchliche Eingabegeräte verwendet. Diese stehen im Fokus der folgenden Erfassung. Zukünftig ist es denkbar, dass weitere Formen der Eingabe genutzt werden.

Eine Kamera ist häufig integraler Bestandteil eines AR-Systems, sofern es der Definition (Azuma 1997) folgt und im Sinne der Mixed Reality die reale Umwelt mit Grafiken ergänzt. Kameras finden sich in sehr vielen AR-Systemen wieder (Fuhrmann u. a. 2002; Höllerer, Feiner 2004; Kaufmann, Csisinko 2006; Riess u. a. 2006; Mistry 2009a). Kameras können für die Aufnahme von Gesten oder eines generellen Szenariobildes genutzt werden (Höllerer, Feiner 2004). Je nach erforderlicher Auflösung, Bildwiederholrate, verfügbaren Anschlüssen und Größe ist eine für das System geeignete Kamerakomponente im Systemkontext zu ermitteln. Verfügbare Produkte reichen von einfachen, kleinen Webcams bis hin zu professionellen Aufnahmegegeräten mit High-Definition-Auflösung.

Mikrofone werden zur Sprachsteuerung von AR-Systemen und zur Wahrnehmung von Umweltgeräuschen verwendet (Feiner u. a. 1997). Der Anschluss erfolgt über gängige Standardschnittstellen (optischer und digitaler Audioeingang, USB). Verfügbare Produkte reichen auch hier vom einfachen, im Headset integrierten Mikrofon bis zum High-End-Mikrofon mit Umgebungsgeräuschunterdrückung und ähnlichen Eigenschaften.

Zeigegeräte umfassen diejenigen Eingabegeräte, die vom Anwender genutzt werden können, um virtuelle Objekte zu selektieren oder zu manipulieren (Höllerer, Feiner 2004). Dazu zählen sowohl traditionelle Desktophardware wie Computermäuse und Trackballs, als auch Touchscreens, Trackpads und viele mehr. Im Gegensatz dazu stehen Tastengeräte, welche dem Benutzer eine feste Anzahl an Tasten zur Verfügung stellen, mit denen mit dem System interagiert werden kann, beispielsweise Tastaturen. Alle weiteren Eingabekomponenten, z.B. GPS-Sensoren oder RFID-Tags sowie systemspezifisch entwickelte Eingabesysteme, werden in diesem Rahmen unter „andere Eingabegeräte“ zusammengefasst.

2.5.2 Ausgabegeräte

Ausgabekomponenten sind die Elemente des Systems definiert, die dem Benutzer die Informationen zur Realitätserweiterung präsentieren. Bildschirme bieten insbesondere im Consumerbereich (Acrossair 2009) eine Lösung, da sie vergleichsweise günstig sind. Die Darstellung reicht, insbesondere bei portablen Basisgeräten, für viele Zwecke aus, wobei eine Illusion im Sinne von Vallino (Vallino 1998) auf diesem Wege nicht erreichbar ist. Unter diesen Punkt fallen reguläre Computermonitore und die Displays tragbarer Geräte wie z.B. PDAs oder Smartphones.

Eine speziell in VR- oder AR-Umgebungen eingesetzte Technik ist das Head-Mounted Display, welches auf Sutherland (1968) zurückgeht. Dabei trägt der Anwender eine Art Brille, die statt beider Gläser Displays oder Projektionen für die Darstellung computerge-

nerierter Grafiken bieten. Im Zusammenhang mit Head-Mounted Displays wird zwischen den sogenannten Optical See-Through Displays (oSTDs) und den Video See-Through Displays (vSTDs) unterschieden. Bei ersterer nimmt der Anwender die Umwelt über teiltransparente Displays oder Projektionsflächen realistischer wahr, während bei vSTDs das über die Kamera aufgenommene und augmentierte Bild präsentiert wird (Vallino 1998). oSTDs sind in der Regel aufwendige und teure Komponenten, die daher vor allem im industriellen Umfeld eingesetzt werden (Schwald, Laval 2003).

Eine weitere konventionelle Darstellung ist die Zuhilfenahme von Projektoren zur Informationsbereitstellung. Dabei ist die Erweiterung auf ein festgelegtes, mit Projektoren ausgestattetes Areal begrenzt. Bisher ist lediglich die zweidimensionale Projektion einsetzbar (Vaida u. a. 2005; Schwerdtfeger u. a. 2008; Mistry 2009b). Die sogenannten Virtual Retinal Displays (VRDs) stellen eine Projektion des Bildes direkt auf die Retina des menschlichen Auges dar, wodurch ein gerastertes Bild für den Anwender erzeugt wird. Vorteile dieser Technologie sind ein weites Blickfeld, gute Farbdarstellung, eine hohe Auflösung und relativ niedrige Kosten (Silva u. a. 2003). Lautsprecher werden für jegliche Geräuschausgabe des AR-Systems benötigt. Sie können in Form einfacher Standlautsprecher, in das Basisgerät eingelassener Lautsprecher, Kopfhörer oder sonstiger Schallwandler in das System implementiert sein (Härmä u. a. 2004, S. 618–639).

Bei einer Simulation von virtuellen Gegenständen und der Interaktion des Anwenders mit diesen über seinen Tast- und Orientierungssinn werden haptische Ausgabekomponenten benötigt. Sie machen ihn durch gezielte entgegen der Bewegungsrichtung eingesetzte Kraft glauben, ein virtuelles Objekt habe ein Gewicht. Ebenfalls sind Oberflächenmuster und Texturen simulierbar (Vallino 1998). Diese Art der Ausgabekomponenten hat in der Erscheinungsform viele Variationen, von peripheriebasierten Roboterarmen (Potts 1960; Yokokohji u. a. 1999) bis zu exoskeletalen Systemen (Sargaana u. a. 2005, S. 2), die Muskelkontraktionen als Widerstand erfordern (Tsetserukou u. a. 2010). Es sind jeweils Motoren vorhanden, die direkt oder indirekt Impulse in Richtungen geben, welche mit menschlicher Kraft ausgeglichen werden müssen oder ein Berührungsgefühl auslösen können. Dieser Mechanismus bewirkt eine Illusion eines realen Gegenstandes, wenngleich dieser nur virtuell vorhanden ist. Unter sonstigen Ausgabegeräten sollen hier solche verstanden werden, die nicht den obigen zuzuordnen sind. Denkbar sind beispielsweise Komponenten zur Thermorezeption oder Schmerzempfinden (Lindeman, Noma 2007, S. 175–178).

2.5.3 Plattform

Ein AR-System benötigt eine funktionierende Basis, welche Schnittstellen zu den speziellen Komponenten wie HMDs und anderen Peripheriegeräten bietet. Für mobile Anwendungen wird z.B. ein tragbares Basisgerät benötigt, welches, je nach Anwendungszweck, mit Energie aus einer Batterie versorgt werden kann. Für Anwendungen mit eingeschränktem Aktionsradius reicht dagegen möglicherweise ein stationäres System aus.

Generell ist es möglich, AR-Anwendungen auf tragbaren Kleingeräten auszuführen wie Smartphones oder PDAs (Rügge 2008). Diese sind zwar weniger performant als vollwertige Computer, bieten dafür aber Mobilitätsvorteile durch ihr geringes Gewicht und ihre verhältnismäßig lange Batterielaufzeit. Auch die im Fall von Smartphones meistens vorhandene mobile Internetverbindung erweitert die Einsatzmöglichkeiten. Ortsfeste Computer, beispielsweise handelsübliche Desktop-Rechner, erlauben lediglich einen beschränkten Aktionsradius, bieten jedoch wesentlich höhere Rechenleistung und ebenfalls kaum Limitierungen bezüglich der Speicherkapazität. Tragbare Computer haben eine im Vergleich zu tragbaren Kleingeräten geringere Batterielaufzeit, sind jedoch wesentlich leis-

tungsfähiger. Das höhere Gewicht erschwert es dem Anwender außerdem, das Gerät mit sich herumzutragen, ohne ihn in seiner Bewegungsfreiheit einzuschränken. Neuere Entwicklung wie in Kleidung eingefasste Hardware, die unter dem Begriff Wearable Computing entwickelt werden (Rügge 2008), sowie sämtliche andersartige Hardwareplattformen, werden hier unter „sonstige Plattformen“ zusammengefasst.

Die genannten Merkmalsklassen und Merkmale sowie die jeweiligen Merkmalsausprägungen für Augmented-Reality-Systeme sind in Abb. 1 zusammengefasst.

	Merkmalsklasse	Merkmal	Merkmalsausprägung							
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungsszenario	Einsatzbereich	Herstellung & Produktion		Entertainment		Allg. Kundendienst			
			Entwicklung & Design		Allgemeinwesen		Gesundheitswesen			
			Marketing		Militär		Ausbildung			
	Mobilität	Transportierbarkeit	stationär				eingeschränkt		uneingeschränkt	
			drahtgebunden				drahtlos lokal		drahtlos unabhängig	
			niedrig				mittel		hoch	
			Eingabe				taktil		gestisch	
	Benutzerschnittstelle	Ausgabe	haptisch				visuell		akustisch	
			Objektidentifikation		GPS		Barcode		RFID	
	Software	Informationsdarstellung	3D-Grafik				2D-Grafik		akustisch	
Datenverarbeitung				lokal		kooperativ				
Datenhaltung				lokal		verteilt				
Hardware	Eingabegeräte	Kamera		Zeigergerät		Mikrofon		haptisches Eingabegerät		
		Bildschirm		Head-Mounted Display		Projektor		Virtual-Retinal Display		
	Ausgabegeräte				Lautsprecher		haptisches Ausgabegerät		sonstiges Ausgabegerät	
	Plattform				tragbares Kleingerät		tragbarer Computer		ortsfester Computer	
							sonstige Plattform			

Abb. 1. Klassifikation für Augmented-Reality-Systeme

3 Anwendung der Klassifikation

3.1 Einordnung von AR-Systemen in die Klassifikation

Im Folgenden werden einige existente Systeme in die Klassifikation eingeordnet. Die Systeme garantieren breiten Überblick über vorhandene Anwendungsfelder und verwendete Technologien.

SIXTHSENSE

Bei dieser Technologie handelt es sich um einen leicht tragbaren und kostengünstigen Prototypen zur Unterstützung von Nutzern im täglichen Leben. Das System besteht aus einer Kamera, einem Projektor sowie einem Laptop oder anderen mobilen Geräten, mit der die Peripherie verbunden und auf der die Software installiert ist (vgl. Abb. 2).

Die Kamera erfasst die Bewegungen des Nutzers sowie seine Umgebung. SixthSense gestattet die Projektion von kontextspezifischen Zusatzinformationen auf alle Oberflächen. Ein Beispiel dafür ist die Projektion von Videos zu Zeitungsartikeln auf ein Feld der Zeitung oder die Darstellung von Karten zur Navigationsunterstützung auf Wände. Durch das markerlose Tracking des Systems können beim Einkaufen Zusatzinformationen wie Nutzerwertungen oder Buchrezensionen abgerufen werden. Die Bedienung des Systems findet über farbige Marker an vier oder mehr Fingern über Gesten statt. Auch das Schreiben von Buchstaben oder das Zeichnen von Bildern in die Luft werden vom System erkannt.



Abb. 2. Darstellung der SixthSense-Technologie am Körper getragen (links) und Anwendung der Projektion an einer Tageszeitung (rechts) (Quelle: Mistry 2015)

Die Laufzeit hängt von der Energiekapazität der verwendeten Hardware ab. SixthSense überbrückt die Lücke von Realität und Virtualität, indem Bilder von Gegenständen aufgenommen werden um sie über einzelne Anwendungen zu manipulieren (Mistry 2009a, 2009b; Maes, Mistry 2010). Die Einordnung des Systems wird in Abb. 3 vorgenommen.

	Merkmalsklasse	Merkmal	Merkmalsausprägung					
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungsszenario	Einsatzbereich	Herstellung & Produktion		Entertainment	Allg. Kundendienst		
			Entwicklung & Design		Allgemeinwesen	Gesundheitswesen		
			Marketing		Militär	Ausbildung		
	Mobilität	Transportierbarkeit	nicht multiuserfähig				multiuserfähig	
			stationär	eingeschränkt		uneingeschränkt		
			drahtgebunden	drahtlos lokal		drahtlos unabhängig		
			Nutzerbeeinträchtigung	niedrig	mittel		hoch	
	Benutzerschnittstelle	Eingabe	taktile	gestisch		optisch	akustisch	
		Ausgabe	haptisch		visuell		akustisch	
	Technologiebezogene Parameter	Software	Objektidentifikation	GPS		Barcode	RFID	Tracking
Informationsdarstellung			3D-Grafik		2D-Grafik		akustisch	
Datenverarbeitung			lokal		kooperativ		entfernt	
Hardware		Datenhaltung	lokal		verteilt		entfernt	
		Eingabegeräte	Kamera	Zeigegerät	Mikrofon	haptisches Eingabegerät	Tastengerät	sonstiges Eingabegerät
		Ausgabegeräte	Bildschirm		Head-Mounted Display		Projektor	Virtual-Retinal Display
		Lautsprecher	haptisches Ausgabegerät		sonstiges Ausgabegerät			
	Plattform	tragbares Kleingerät		tragbarer Computer		ortsfester Computer	sonstige Plattform	

Abb. 3. Anwendung der Klassifikation auf die Technologie „SIXTHSENSE“

NEAREST TUBE

Die Applikation Nearest Tube visualisiert interessante Umgebungspunkte wie U-Bahnstationen, Restaurants oder Sehenswürdigkeiten über das Apple iPhone. Dazu werden die Lokalisierungsmechanismen GPS, der im iPhone integrierte Kompass und ein Beschleunigungssensor verwendet. Aus der Position der Person, der Blickrichtung und der Entfernungsmessung können Zusatzinformation in Echtzeit in das Kamerabild eingeblendet werden. Diese Daten stammen aus der Datenbank von Google Maps (vgl. Abb. 4).

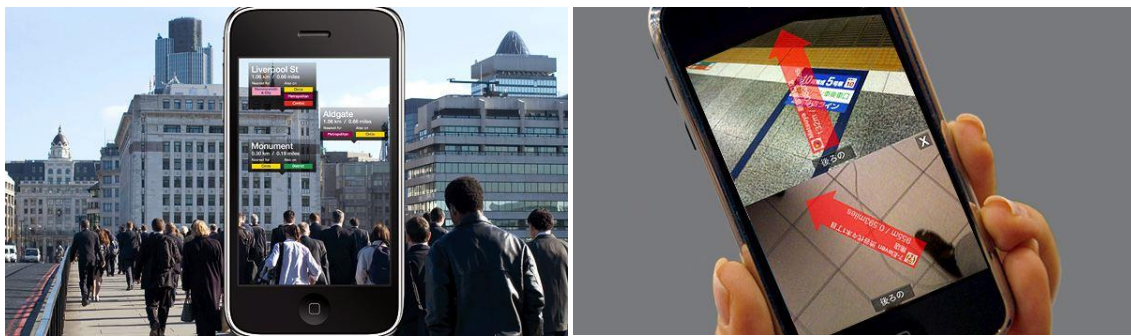


Abb. 4. Darstellung der Nearest-Tube-App für IOS während der Anwendung mit Überlagerung der Realität (links) und Navigation mittels der Pfeile (rechts) (Quelle: Acrossair 2009)

Wird das Endgerät auf den Boden gerichtet, werden die gewünschten Informationen als richtungswisende Pfeile angezeigt. Wird das Gerät vor sich gehalten, wird die absolute Position angezeigt. Zusätzlich werden Entfernung, Bewertungen und weitere Zusatzinformationen bereitgestellt (Acrossair 2009; Coote u. a. 2010; Stanek, Friedmannova 2010) Die Einordnung ist in Abb. 5 illustriert.

		Merkmalsklasse	Merkmal	Merkmalsausprägung			
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungsszenario	Einsatzbereich	Herstellung & Produktion	Entertainment	Allg. Kundendienst		
			Entwicklung & Design	Allgemeinwesen	Gesundheitswesen		
	Mobilität	Multifunktionalität	Marketing	Militär	Ausbildung		
			nicht multifunktional			multifunktional	
			stationär	eingeschränkt	uneingeschränkt		
	Benutzerschnittstelle	Eingabe	drahtgebunden	drahtlos lokal	drahtlos unabhängig		
niedrig			mittel	hoch			
Technologiebezogene Parameter	Software	Ausgabe	taktile	gestisch	optisch	akustisch	
		Objektidentifikation	haptisch	visuell	akustisch		
	Hardware	Informationsdarstellung	GPS	Barcode	RFID	Tracking	
		Datenverarbeitung	3D-Grafik	2D-Grafik	akustisch		
		Datenhaltung	lokal	kooperativ	entfernt		
	Hardware	Eingabegeräte	lokal	verteilt	entfernt		
			Kamera	Zeigergerät	Mikrofon	haptisches Eingabegerät	Tastengerät
		Ausgabegeräte	Bildschirm	Head-Mounted Display	Projektor	Virtual-Retinal Display	
			Lautsprecher	haptisches Ausgabegerät	sonstiges Ausgabegerät		
		Plattform	tragbares Kleingerät	tragbarer Computer	ortsfester Computer	sonstige Plattform	

Abb. 5. Anwendung der Klassifikation auf die Technologie NEAREST TUBE

STUDIERTUBE

Die Studierstube stellt eine Anwendung zur erweiterten Lehrunterstützung dar. Über ein HMD können Schüler mit virtuellen Objekten interagieren um verschiedene Aufgaben, wie beispielsweise Volumen-, Flächen oder Entfernungsberechnungen anhand entsprechender 3D-Modelle zu lösen (vgl. Abb. 6).

Die Anwendung ist multifunktional. Nutzer sind über kabelgebundene HMDs mit einem Desktopcomputer verbunden. Es ist auch möglich, Anwender über mehrere Computer zusammen im System arbeiten zu lassen. Das Tracking der Personen findet über Kameras statt, die im Raum verteilt sind. Diese erfassen Marker, die auf den Helmen der Probanden angebracht sind. So kann jede Person das Modell aus ihrer Sicht wahrnehmen. Die Interaktion mit dem 3D-Modell findet über eine kabellose Touchpad-Stift-Kombination statt, die

ebenfalls durch die Kamera erfasst werden, sodass sich der Nutzer im von den Kameras abgedeckten Areal frei bewegen kann (Kaufmann, Csisinko 2006). Eine Einordnung ist in Abb. 7 vorgenommen.



Abb. 6. Darstellung der Studierstube mit mehreren Nutzern (links) und die Einblendung für zwei Nutzer sowie die Manipulation der virtuellen Objekte (rechts) (Quelle: Kaufmann, Csisinko 2006)

	Merkmalsklasse	Merkmal	Merkmalsausprägung					
			Herstellung & Produktion	Entertainment	Allg. Kundendienst			
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungsszenario	Einsatzbereich	Entertainment	Allg. Kundendienst				
		Multiuserfähigkeit	Allgemeinwesen	Gesundheitswesen				
	Mobilität	Transportierbarkeit	Militär	Ausbildung				
		Datenverbindung	nicht multiuserfähig			multiuserfähig		
		Nutzerbeeinträchtigung	stationär	eingeschränkt	uneingeschränkt			
	Benutzerschnittstelle	Eingabe	drahtgebunden	drahtlos lokal	drahtlos unabhängig			
Ausgabe		niedrig	mittel	hoch				
Technologiebezogene Parameter	Software	Objektidentifikation	taktil	gestisch	optisch	akustisch		
		Informationsdarstellung	haptisch	visuell	akustisch			
	Hardware	Datenverarbeitung	GPS	Barcode	RFID	Tracking		
		Datenhaltung	3D-Grafik	2D-Grafik	akustisch			
		Eingabegeräte	lokal	kooperativ	entfernt			
		Ausgabegeräte	lokal	verteilt	entfernt			
		Plattform	Kamera	Zeigergerät	Mikrofon	haptisches Eingabegerät	Tastengerät	sonstiges Eingabegerät
			Bildschirm	Head-Mounted Display	Projektor	Virtual-Retinal Display		
		Lautsprecher	haptisches Ausgabegerät	sonstiges Ausgabegerät				
			tragbares Kleingerät	tragbarer Computer	ortsfester Computer	sonstige Plattform		

Abb. 7. Anwendung der Klassifikation auf die Technologie „STUDIERTUBE“

MARS

Der Prototyp MARS, der an der Columbia University entwickelt wurde, ermöglicht eine augmentierte Tour auf dem Campus der Universität. Über ein See-Through-Head-Worn-Display, das mit einem Computer in einem Rucksack verbunden ist, kann der Nutzer verschiedene historische Hintergrundinformationen zu unterschiedlichen Gebäuden und Plätzen abrufen. Das System ist dabei so angelegt, dass es durch verschiedene Input- und Outputgeräte wie Mikrofone, Tastaturen, PDA, Handhelds, Mäuse oder Datenhandschuhe ergänzt werden kann. Somit kann der Nutzer durch verschiedene Aktionen wie Blickrichtung, Sprachbefehle oder manuelle Auswahl über sonstige Inputhardware Informationen abrufen (vgl. Abb. 8).



Abb. 8. Darstellung der getragenen Hardware von „Mars“ (links) und der Sicht inklusive virtueller Überlagerungen (rechts) (Quelle: Feiner u. a. 2015)

Die Orientierung findet außerhalb von Gebäuden durch GPS zur Standorterfassung und einem Magnetometer zur Erfassung der Blickrichtung statt. Innerhalb geschlossener Gebäude findet die Orientierung über an Decken angebrachte Sensoren zur Messung der zurückgelegten Entfernung statt. Hintergrunddaten werden extern über ein kabelloses Netzwerk von einem zentralen Server bezogen. Der Output von Daten erfolgt akustisch, haptisch sowie optisch in zwei- und dreidimensionalen Grafiken (Höllerer, Feiner 2004). Die Einordnung befindet sich in Abb. 9.

		Merkmalsklasse	Merkmal	Merkmalsausprägung		
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungsszenario	Einsatzbereich	Herstellung & Produktion	Entertainment	Allg. Kundendienst	
		Multiuserfähigkeit	Entwicklung & Design	Allgemeinwesen	Gesundheitswesen	
	Mobilität	Transportierbarkeit	Marketing	Militär	Ausbildung	
		Datenverbindung	nicht multiuserfähig			multiuserfähig
	Benutzerschnittstelle	Nutzerbeeinträchtigung	stationär	eingeschränkt	uneingeschränkt	
Technologiebezogene Parameter	Software	Eingabe	drahtgebunden	drahtlos lokal	drahtlos unabhängig	
		Ausgabe	niedrig	mittel	hoch	
		Objektidentifikation	taktil	gestisch	optisch	akustisch
	Hardware	Informationsdarstellung	haptisch	visuell	akustisch	
		Datenverarbeitung	GPS	Barcode	RFID	Tracking
		Datenhaltung	3D-Grafik	2D-Grafik	akustisch	
		Eingabegeräte	lokal	kooperativ	entfernt	
		Ausgabegeräte	lokal	verteilt	entfernt	
		Plattform	Kamera	Zeigegerät	Mikrofon	haptisches Eingabegerät
		Bildschirm	Head-Mounted Display	Projektor	Virtual-Retinal Display	
		Lautsprecher	haptisches Ausgabegerät	sonstiges Ausgabegerät		
		tragbares Kleingerät	tragbarer Computer	ortsfester Computer	sonstige Plattform	

Abb. 9. Anwendung der Klassifikation auf die Technologie „MARS“

ARCHEOGUIDE

Diese Anwendung soll es Besuchern historischer Orte ermöglichen, archäologische Informationen möglichst detailgetreu in einer Modellnachbildung zu empfinden. Durch eine virtuelle Rekonstruktion der Bauwerke aus der Vorzeit können die Nutzer diese Gebäude in ihrer realen Umgebung wahrnehmen. Dies geschieht, indem dieses Bauwerk über ein Video-Based Head-Mounted Display in die Umgebung eingebracht wird (vgl. Abb. 10).

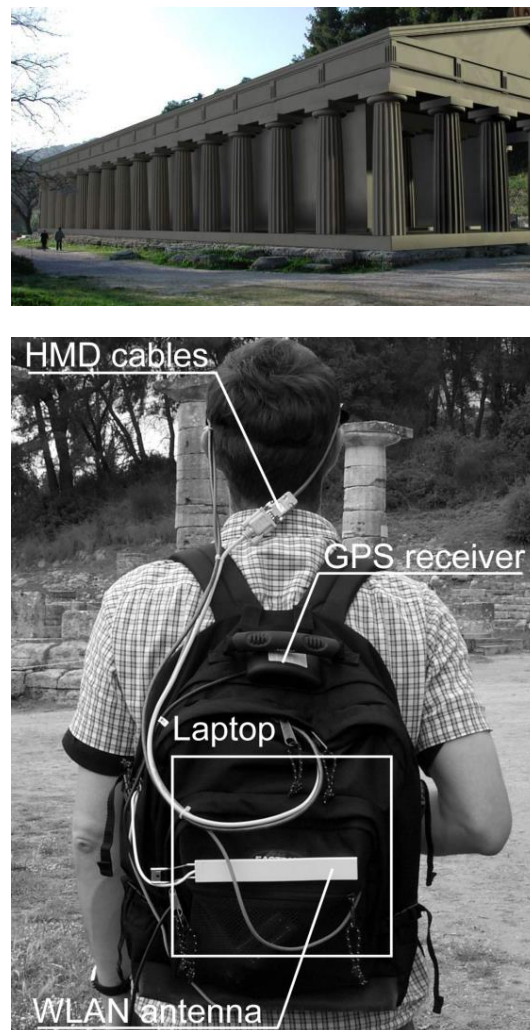


Abb. 10. Darstellung der überlagerten Sicht (oben) und in einem Rucksack getragenen Hardware (unten) von Archeoguide (Quelle: Gleue, Dähne 2001)

Das Tracking der Person erfolgt über GPS, eine Kamera und über einen Kompass, der die Blickrichtung der Person bestimmt. Erforderliche Daten werden auf dem mobilen Gerät gespeichert, können jedoch über ein kabelloses Netzwerk aktualisiert werden, sodass immer aktuelle Versionen auf dem Gerät vorhanden sind. Die Energieversorgung findet über Akkus statt und ermöglicht dem Nutzer bis zu zwei Stunden Anwendung.

Die Freiheit des Nutzers kann als leicht eingeschränkt bezeichnet werden. Anstelle der Möglichkeit der freien Betrachtung des Areals wird er durch eine geplante Besichtigungstour geleitet, in der er das HUD an verschiedenen Stellen aufsetzt um verschiedene multimediale Informationen wie Video- und Audioausschnitte und 3D-Animationen zu erleben (Gleue, Dähne 2001; Dahne, Karigiannis 2002; Vlahakis u. a. 2002). Die Illustration der Einordnung folgt in Abb. 11.

	Merkmalsklasse	Merkmal	Merkmalsausprägung					
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungsszenario	Einsatzbereich	Herstellung & Produktion	Entertainment	Allg. Kundendienst			
			Entwicklung & Design	Allgemeinwesen	Gesundheitswesen			
			Marketing	Militär	Ausbildung			
	Mobilität	Multiuserfähigkeit	nicht multiuserfähig			multiuserfähig		
		Transportierbarkeit	stationär	eingeschränkt	uneingeschränkt			
		Datenverbindung	drahtgebunden	drahtlos lokal	drahtlos unabhängig			
		Nutzerbeeinträchtigung	niedrig	mittel	hoch			
	Benutzerschnittstelle	Eingabe	taktil	gestisch	optisch	akustisch		
		Ausgabe	haptisch	visuell	akustisch			
		Objektidentifikation	GPS	Barcode	RFID	Tracking		
Technologiebezogene Parameter	Software	Informationsdarstellung	3D-Grafik	2D-Grafik	akustisch			
		Datenverarbeitung	lokal	kooperativ	entfernt			
		Datenhaltung	lokal	verteilt	entfernt			
	Hardware	Eingabegeräte	Kamera	Zeigergerät	Mikrofon	haptisches Eingabegerät	Tastengerät	sonstiges Eingabegerät
		Ausgabegeräte	Bildschirm	Head-Mounted Display	Projektor	Virtual-Retinal Display		
			Lautsprecher	haptisches Ausgabegerät	sonstiges Ausgabegerät			
		Plattform	tragbares Kleingerät	tragbarer Computer	ortsfester Computer	sonstige Plattform		

Abb. 11. Anwendung der Klassifikation auf die Technologie „ARCHEOGUIDE“

ARAS

Ziel dieses Prototyps ist ein Operationsunterstützungssystem für chirurgische Eingriffe unter Verwendung von präoperativen Daten aus CT-Messungen und intraoperativen Daten aus Ultraschallergebnissen. Über ein Head-Mounted See-Through Display sollen diese Ergebnisse, wie beispielsweise Gefäße, die ein Organ umgeben, in einer 3D-Grafik zur Verfügung gestellt werden (vgl. Abb. 12). In der Zusammenarbeit mit einem Radiologen, der durch die am Helm montierte Kamera das gleiche sieht wie der Chirurg, werden die visualisierten Daten an die richtige Stelle am Patienten gerückt. Dafür werden die Daten aus den CT- und Ultraschalluntersuchungen angeglichen, um den Chirurgen bei seinem Arbeitsablauf zu unterstützen. Während der Operation stehen Radiologe und Chirurg über eine Audioverbindung in Kontakt, sodass sie kommunizieren können. Das System wird vor der OP kalibriert, damit sichergestellt ist, dass die Ultraschallsonde, die Kameras und das Head Mounted Display korrekt erfasst werden. Radiologe und Chirurg arbeiten dabei an eigenen Computerstationen, deren Daten über einen Server bezogen und abgeglichen werden (Fuhrmann u. a. 2002). Eingordnet wird der Prototyp in Abb. 13.

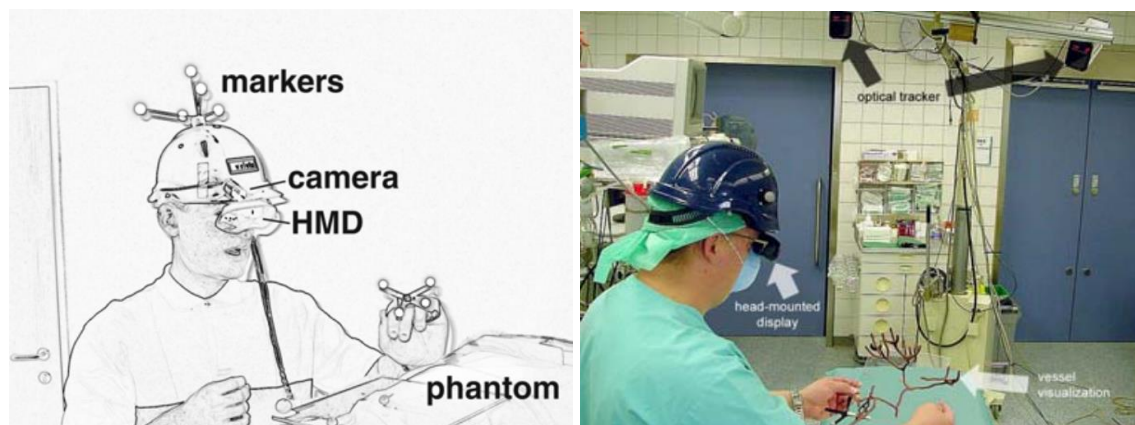


Abb. 12. Schematischer Aufbau der Hardware von ARAS (links) und Anwendung zur Informationsversorgung vor einer Operation mittels ARAS (rechts) (Quelle: Fuhrmann u. a. 2002)

	Merkmalsklasse	Merkmal	Merkmalsausprägung					
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungsszenario	Einsatzbereich	Herstellung & Produktion	Entertainment	Allg. Kundendienst			
			Entwicklung & Design	Allgemeinwesen	Gesundheitswesen			
			Marketing	Militär	Ausbildung			
	Mobilität	Multiuserfähigkeit	nicht multiuserfähig			multiuserfähig		
			Transportierbarkeit	stationär	eingeschränkt	uneingeschränkt		
			Datenverbindung	drahtgebunden	drahtlos lokal	drahtlos unabhängig		
			Nutzerbeeinträchtigung	niedrig	mittel	hoch		
	Benutzerschnittstelle	Eingabe	taktil	gestisch	optisch	akustisch		
			Ausgabe	haptisch	visuell	akustisch		
			Objektidentifikation	GPS	Barcode	RFID	Tracking	
Technologiebezogene Parameter	Software	Informationsdarstellung	3D-Grafik	2D-Grafik	akustisch			
		Datenverarbeitung	lokal	kooperativ	entfernt			
		Datenhaltung	lokal	verteilt	entfernt			
	Hardware	Eingabegeräte	Kamera	Zeigergerät	Mikrofon	haptisches Eingabegerät	Tastengerät	sonstiges Eingabegerät
			Ausgabegeräte	Bildschirm	Head-Mounted Display	Projektor	Virtual-Retinal Display	
		Lautsprecher	haptisches Ausgabegerät		sonstiges Ausgabegerät			
		Plattform	tragbares Kleingerät		tragbarer Computer	ortsfester Computer	sonstige Plattform	

Abb. 13. Anwendung der Klassifikation auf die Technologie „ARAS“

ARVIKA

Im industriegeförderten Forschungsprojekt ARVIKA ist die Architektur der Technologie komponentenbasiert aufgebaut. Dadurch wurde ein Baukastenprinzip geschaffen, das die Lauffähigkeit auf verschiedenen stationären oder mobilen Systemen erlaubt. Die Kernfunktionalitäten werden clientseitig zur Verfügung gestellt. Dazu gehören Tracking, Rendering und Interaktion (vgl. Abb. 14).



Abb. 14. Mögliche Einsatzszenarien zur Anzeige von Metainformationen an einer Maschine (links) und zur Kollisionskontrolle eines Fahrzeugs (rechts) von Arvika (Quelle: Wohlgemuth, Triebfürst 2000)

Das Tracking, also die Erfassung von Position und Lage im Raum, erfolgt videobasiert mit Markern oder markerlos. Eine Lokalisierungskomponente ermöglicht die Standorterkennung einer Person, sodass Daten zu nahen Maschinen oder Gegenständen vorgeladen werden können. Die Datenhaltung und ein Teil der Datenverarbeitung finden serverseitig statt. Dort werden Informationen wie Benutzerprofile, Arbeitsschritte und Dokumente, aber auch Funktionen zur Kollaboration, Koordination sowie Erstellung von Arbeitsanweisungen abgelegt. Arbeitsanweisungen werden dabei mit MS-Visio erstellt, als XML exportiert und über den serverseitig installierten Workflow-Editor zur Verfügung gestellt

(Stricker, Kettenbach 2001). Die ARVIKA-Technologie wurde in den Einsatzgebieten Entwicklung, Produktion und Service getestet. Dabei kamen vor allem visuelle und auditive In- und Output-Technologien zur Bedienung und Anleitung in Form von Monitoren, See-Through und Video-Based HMDs, Mikrofonen und Lautsprechern zum Einsatz (Schuler u. a. 2004, S. 137–194; Zimmermann u. a. 2004, S. 94–136). Die letzte Einordnung für ARVIKA ist in Abb. 15 vorgenommen worden.

	Merkmalsklasse	Merkmal	Merkmalsausprägung					
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungsszenario	Einsatzbereich	Herstellung & Produktion	Entertainment	Allg. Kundendienst			
			Entwicklung & Design	Allgemeinwesen	Gesundheitswesen			
			Marketing	Militär	Ausbildung			
	Mobilität	Transportierbarkeit	Multisuserfähigkeit	nicht multisuserfähig		multisuserfähig		
			Datenverbindung	stationär	eingeschränkt	uneingeschränkt		
			Nutzerbeeinträchtigung	drahtgebunden	drahtlos lokal	drahtlos unabhängig		
			Eingabe	niedrig	mittel	hoch		
	Benutzerschnittstelle	Ausgabe	Eingabe	taktil	gestisch	optisch	akustisch	
			Ausgabe	haptisch	visuell	akustisch		
	Technologiebezogene Parameter	Software	Objektidentifikation	GPS	Barcode	RFID	Tracking	
Informationsdarstellung			3D-Grafik	2D-Grafik	akustisch			
Datenverarbeitung			lokal	kooperativ	entfernt			
Hardware		Datenhaltung	lokal	verteilt		entfernt		
		Eingabegeräte	Kamera	Zeigegerät	Mikrofon	haptisches Eingabegerät	Tastengerät	sonstiges Eingabegerät
		Ausgabegeräte	Bildschirm	Head-Mounted Display		Projektor	Virtual-Retinal Display	
			Lautsprecher	haptisches Ausgabegerät		sonstiges Ausgabegerät		
		Plattform	tragbares Kleingerät	tragbarer Computer	ortsfester Computer	sonstige Plattform		

Abb. 15. Anwendung der Klassifikation auf die Technologie „ARVIKA“

NINTENDO AR CARDS

Ein kommerziell angebotenes AR System bot Nintendo für die selbst entwickelte 3DS tragbare Spielkonsole an (vgl. Abb. 16). Dabei wurden physische Spielkarten, die mitgeliefert wurden oder nachgedruckt werden konnten, mit AR überlagert. Die Karten dienen dabei als Marker für die Position der virtuellen Figuren, welche dann über der Stelle platziert werden. Die stereoskopischen Außenkameras der 3DS erfassen die Karte und geben auf dem Bildschirm das erweiterte Bild in 3D aus. So kann jede glatte Oberfläche in das jeweilige Spiel eingebunden werden und als Untergrund für selbiges dienen und überall in der Umgebung erscheinen Spielfiguren (Nintendo 2015).



Abb. 16. Einsatz von ausgedruckten AR Cards (links), Endgerät, mithilfe dessen die Überlagerung dargestellt wird (Mitte) und mögliche Visualisierung, welche die Karte überlagert (rechts) (Nintendo 2015)

	Merkmalsklasse	Merkmal	Merkmalsausprägung				
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungsszenario	Einsatzbereich	Herstellung & Produktion	Entertainment	Allg. Kundendienst		
			Entwicklung & Design	Allgemeinwesen	Gesundheitswesen		
			Marketing	Militär	Ausbildung		
		Multiuserfähigkeit	nicht multiuserfähig			multiuserfähig	
	Mobilität	Transportierbarkeit	stationär	eingeschränkt	uneingeschränkt		
		Datenverbindung	drahtgebunden	drahtlos lokal	drahtlos unabhängig		
		Nutzerbeeinträchtigung	niedrig	mittel	hoch		
	Benutzerschnittstelle	Eingabe	taktil	gestisch	optisch	akustisch	
		Ausgabe	haptisch	visuell	akustisch		
	Technologiebezogene Parameter	Software	Objektidentifikation	GPS	Barcode	RFID	Tracking
Informationsdarstellung			3D-Grafik	2D-Grafik	akustisch		
Datenverarbeitung			lokal	kooperativ	entfernt		
Hardware		Datenhaltung	lokal	verteilt	entfernt		
		Eingabegeräte	Kamera	Zeigergerät	Mikrofon	haptisches Eingabegerät	Tastengerät sonstiges Eingabegerät
		Ausgabegeräte	Bildschirm	Head-Mounted Display	Projektor	Virtual-Retinal Display	
			Lautsprecher	haptisches Ausgabegerät	sonstiges Ausgabegerät		
		Plattform	tragbares Kleingerät	tragbarer Computer	ortsfester Computer	sonstige Plattform	

Abb. 17. Anwendung der Klassifikation auf die Technologie „NINTENDO AR CARDS“

3.2 Definition eines Augmented-Reality-Systems für den Technischen Kundendienst

Ein System für den Technischen Kundendienst sollte verschiedenen Kriterien genügen. Zunächst sollte es multiuserfähig sein, da diverse Personen gleichzeitig auf Daten und Videobilder zugreifen können müssen. Systeme zum Einsatz im TKD sollten möglichst mobil sein, da sie vor Ort beim Kunden lauffähig sein müssen. Die Datenverarbeitung muss, um externe Dienste mit einzubinden, kooperativ sein, somit sollten Kernfunktionen auf dem Gerät und Zusatzfunktionen über Server aufrufbar sein. Daraus ergibt sich, dass die Daten zentral auf einem Server gespeichert und von dort abgerufen werden, oder zumindest verteilt dupliziert gespeichert und regelmäßig synchronisiert werden sollten.

Die Datenverbindung muss somit drahtlos unabhängig sein. Um eine möglichst geringe Einschränkung der Mitarbeiter zu gewährleisten, darf ein gewünschtes System den Anwender nicht in seinen gewohnten Bewegungen stören. Die Bedienung sollte möglichst gestisch oder akustisch über Kameras, Mikrofone und automatisiert über markerloses Tracking erfolgen. Dadurch kann der gewünschte Grad der Benutzereinschränkung erreicht werden.

Die Nachbereitung von Kundendienstfällen macht eine Erweiterung um taktile Interfaces wie Tastaturen unverzichtbar. Die Anleitung der Arbeitsschritte und die Anleitung von Mitarbeitern sollten möglichst akustisch und visuell in 2D- und 3D-Grafik durch Kopfhörer, Lautsprecher, See-Through Displays oder Retinaprojektoren erfolgen. Möglich ist auch die Anweisung über ein Display, was allerdings die Interaktionsfähigkeit beeinträchtigt.

Die Objektidentifikation kann über RFID, Barcode, markerbasiertes oder markerloses Tracking erfolgen. Die Nutzung von RFID und Markern bedingt jedoch eine Nachrüstung der stationär installierten Geräte beim Kunden und kann unter Umständen mit hohen Kosten verbunden sein.

Als Plattform scheinen Smartphones geeignet, die Schnittstellen zu anderen Geräten ermöglichen. Dadurch kann eine maximale Mobilität gewährleistet werden. Zusammengefasst müssen die Aspekte an ein AR-TKD-System mit Hilfe der Klassifikation die nachfolgenden Merkmale aufweisen, wie in Abb. 18 zusammengefasst.

	Merkmalsklasse	Merkmal	Merkmalsausprägung					
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungsszenario	Einsatzbereich	Herstellung & Produktion	Entertainment	Allg. Kundendienst			
			Entwicklung & Design	Allgemeinwesen	Gesundheitswesen			
			Marketing	Militär	Ausbildung			
	Mobilität	Multiusersfähigkeit	nicht multiusersfähig			multiusersfähig		
		Transportierbarkeit	stationär	eingeschränkt		uneingeschränkt		
		Datenverbindung	drahtgebunden	drahtlos lokal		drahtlos unabhängig		
		Nutzerbeeinträchtigung	niedrig	mittel		hoch		
	Benutzerschnittstelle	Eingabe	taktil	gestisch	optisch	akustisch		
		Ausgabe	haptisch		visuell		akustisch	
		Objektidentifikation	GPS	Barcode	RFID	Tracking		
Technologiebezogene Parameter	Software	Informationsdarstellung	3D-Grafik		2D-Grafik		akustisch	
		Datenverarbeitung	lokal		kooperativ		entfernt	
		Datenhaltung	lokal		verteilt		entfernt	
	Hardware	Eingabegeräte	Kamera	Zeigergerät	Mikrofon	haptisches Eingabegerät	Tastengerät	sonstiges Eingabegerät
		Ausgabegeräte	Bildschirm		Head-Mounted Display		Projektor	Virtual-Retinal Display
			Lautsprecher		haptisches Ausgabegerät		sonstiges Ausgabegerät	
		Plattform	tragbares Kleingerät		tragbarer Computer		ortsfester Computer	sonstige Plattform

Abb. 18. Anforderungen an ein Augmented-Reality-System anhand der Klassifikation

4 Bewertung

4.1 Risiken und Gefahren durch den Einsatz von AR

Neben den genannten Einsatzpotenzialen von AR im Allgemeinen und für den TKD sollen in diesem Kapitel verschiedene Einsatzrisiken behandelt werden. Dabei existieren interne und externe unternehmerische, soziale- und technische Risiken, die den Einsatz von AR-Systemen oder IuK-Systemen im Allgemeinen erschweren oder gar verhindern können (Faupel 2006; Wang u. a. 2008).

Durch Komplementärinvestitionen wie zusätzliche Ausbildung von Mitarbeitern, die Beschaffung von Hard- und Software, Investition in Sicherheitstechnologien, sowie die Implementierung der Dienste in die Unternehmensprozesse, können Kosten den Nutzen durch den Einsatz von Technologien überschreiten (Faupel 2006). Weitere Gefahren von der Unternehmensseite liegen in der Durchführung des Einführungsprojektes und hängen maßgeblich von seiner Größe, Dauer, Komplexität, Struktur und dem Projektmanagement, sowie der Erfahrung und Lernfähigkeit aller Beteiligten ab (Wang u. a. 2008). System-schwachstellen können außerdem zu Schäden durch Datenmissbrauch oder Fehlbedienung führen (Bizer u. a. 2006, S. 165).

Probleme technischer Natur können daraus resultieren, dass eingesetzte Hardware- und Softwaretechniken nicht ausgereift sind und ihr Einsatz somit limitiert ist, da benötigte Funktionen nicht adäquat abgebildet werden können (Wang u. a. 2008).

Soziale Risiken stellen die vollständige Transparenz und Kontrolle von Mitarbeitern dar, da Informationen zu Standort, Tätigkeit und Verhalten in Datenbanken gespeichert werden können. Die Falsch- oder Nichtnutzung von Techniken birgt verschiedene Gefahren wie etwa die Bildung von Zwei-Klassen-Gesellschaften. Hier könnten ältere, vielleicht auch sehr fähige, Menschen vom Arbeitsmarkt ausgeschlossen werden, da sie nicht die nötige Bedienkompetenz besitzen (Bizer u. a. 2006).

Eine Überbevormundung durch Technik kann dazu führen, dass Personen diese als repressiv empfinden. Blindes Vertrauen in Technik kann zu einer Verschlechterung der Qualität beeinflusster Objekte führen. Der blinde Umgang mit Technik und die damit einhergehende Informationsflut können zu einer Verarmung menschlicher Sinne führen. Dies

hat eine verringerte Reaktions- und Denkfähigkeit, sowie mangelnde Problemlösungskompetenz zur Folge, was Individuen bei einem Ausfall der Systeme nahezu hilflos machen würde (Mattern, Langheinrich 2008; Merz-Abt 2010). Die Nutzung von IuK-Technologien kann weiterhin zu Gesundheitsrisiken durch Strahlung oder Stresseinwirkungen führen. Außerdem besteht ein Risiko der Umweltbelastung durch erhöhten Material- und Energieverbrauch (Hilty u. a. 2003).

4.2 Derzeitiges Einsatzpotenzial

Der Einsatz von AR hängt mit verschiedenen Faktoren zusammen, die im Folgenden vorgestellt werden sollen. Der Stand der Technik soll danach anhand dieser Faktoren bewertet werden.

4.2.1 Kosten

Eine weitreichende Einführung von AR-Systemen hängt stark davon ab, ob die Systeme bezahlbar sind. Aufgrund dessen muss Standardhardware die Grundlage eines jeden AR-Systems bilden können. Abgesehen von Hardwarekosten sind in umfangreicheren Anwendungen auch Infrastrukturkosten, Softwarekosten, sowie Schulungs- und Beratungskosten gering zu halten, was durch ein effektives und effizientes Design der Anwendung erreicht werden kann (Vallino 1998).

Die Kosten durch Entwicklung, Anschaffung, Betrieb, Wartung und Schulung sind oftmals sehr hoch, was einen flächendeckenden Einsatz dieser Systeme bisher verhindert (Dähne 2008, S. 151). Es existieren jedoch auch Ansätze, in denen AR-Systeme mit geringen Kosten durch die Verwendung von Desktop- oder Mobillösungen umgesetzt werden können (Kaufmann, Csisinko 2006). Auch Applikationen, die auf Smartphones laufen und die Umgebung eines Nutzers durch Informationen zu Gebäuden, U-Bahn-Stationen, Plätzen und sonstigen Umgebungsgegebenheiten erweitern, können relativ kostengünstig erworben werden (Acrossair 2009; Mistry 2009b).

4.2.2 Statische und dynamische Objektidentifikation

Virtuelle Objekte, die in die Realität eingebracht werden, müssen für den Nutzer an der Stelle verweilen, an der sie platziert worden sind, um die Illusion der erweiterten Realität aufrecht zu erhalten. Dafür ist es notwendig, dass sowohl hardware- als auch softwareseitig ausreichende Performance für eine genaue Erfassung der Umwelt und eine realitätsgleiche Bereitstellung der Zusatzinformationen gewährleistet wird (Vallino 1998).

Bei einer dynamischen Objektidentifikation ist es nötig, dass virtuelle Objekte zeitadäquat mit den Bewegungen des Benutzers gerendert werden, um die Illusion der AR aufrecht zu erhalten und Fehlplatzierungen zu vermeiden (Vallino 1998).

Es existieren Systeme, die es möglich machen, aus einer Bildaufnahme gebräuchliche Objekte zu registrieren und die Position dieser genau festzustellen. Darüber hinaus ermöglichen diese Systeme eine korrekte Einbringung von virtuellen Objekten und die Betrachtung dieser aus verschiedenen Blickwinkeln (Gausemeier u. a. 2003; Brown, Lowe 2005; Collet u. a. 2009).

4.2.3 Synchrone Darstellung der Wahrnehmungen

Um eine AR-Illusion zu erschaffen, ist es nötig, dass die verschiedenen Sinneseinflüsse computerseitig synchronisiert werden. Ein Beispiel dafür ist, dass beim Anheben einer vir-

tuellen Box das haptische Interface dem Nutzer das Gefühl gibt, dass diese Box auch auf die gleiche angezeigte Höhe angehoben wird, also ein Gewicht simuliert wird. Ebenso muss beim Fallenlassen dieser Box eine akustische Information erfolgen, wenn die Box auf dem Boden aufkommt (Vallino 1998). Die optische und haptische Synchronisation der Wahrnehmung kann als weitestgehend erfüllt angesehen werden, so konnte die Verzögerungsrate durch Algorithmen in Hochgeschwindigkeitsumgebungen auf weniger als 100 μ s verringert werden. Dieser Ansatz ist universal anwendbar und somit auf andere Sinnes-synchronisationen, wie beispielsweise Sehen-Hören, übertragbar (Harders u. a. 2009).

4.2.4 Keine Unterscheidbarkeit von Realität und Fiktion

Der Nutzer darf nicht dazwischen unterscheiden können, ob ein Objekt virtuell oder real ist. Dazu müssen Objekte korrekt in jeder Position und jedem Lichteinfluss angezeigt werden (Vallino 1998). Die Möglichkeit, computergenerierte 3D-Objekte in die reale Umwelt einzubinden, hat zum jetzigen Zeitpunkt weder die Qualität, noch den Anspruch, dem Benutzer die Illusion von realexistierenden Objekten zu vermitteln. Auf anderen Wahrnehmungsebenen ist dies jedoch nicht allzu abwegig. Der Benutzer könnte vor einem heranahenden Rettungswagen auf Alarmfahrt etwa durch die Verstärkung des Sirengeräusches gewarnt werden, was dem Benutzer selbst überaus real vorkäme.

Eine weitere Frage ist, ob die Erfüllung des Kriteriums in allen Fällen wünschenswert und sinnvoll ist. Stellt man sich einen KFZ-Mechaniker vor, der ein Teil im Motorraum des Wagens tauschen soll, entsteht das Problem, wie eine realistische Darstellung dem Mechaniker hier weiter helfen würde. In einem solchen Kontext wäre gerade die klare Unterscheidbarkeit von Realität und Fiktion von Vorteil. Für Trainingszwecke eingesetzte AR-Systeme dagegen würden von einer realistischen grafischen Darstellung profitieren.

Das fotorealistische Rendern von komplexen Grafikobjekten verschlingt darüber hinaus noch zu viele Ressourcen, als dass es von mobilen Endgeräten in Echtzeit bereitgestellt werden könnte. Hier könnten neuere Lösungen aus dem Cloud-Computing-Bereich in Zukunft weiterhelfen (NVIDIA 2010).

4.2.5 Dynamische Objektinteraktion

Bei der Interaktion mit virtuellen Objekten müssen diese sich äquivalent zu realen Objekten verhalten (Vallino 1998).

Eine Interaktion mit virtuellen Objekten in den „sixdegreesoffreedom“ (6DOF) mit der bloßen Hand, sowie die Darstellung der Zustandsveränderungen im 3D-Grafikobjekt sind möglich (Buchmann u. a. 2004; Lee, Hollerer 2008; Liu u. a. 2010). Jedoch ermöglicht keines der genannten Systeme eine reale Berechnung des Objektverhaltens durch Interaktion, so ist die Zerstörung eines Objektes durch Interaktion nicht abzubilden.

4.2.6 Keine Einschränkung durch Systeme während der Benutzung

AR-Systeme müssen gewährleisten, dass sie ohne Einschränkung der Bewegungsfreiheit einer Person und unabhängig vom Einsatzort funktionieren (Vallino 1998). Die Vision des Wearable Computing, in der ein Nutzer unabhängig umfangreicher Infrastruktur ständig durch die Technik unterstützt, von dieser aber nicht eingeschränkt wird, kann dieses Kriterium erfüllen (Rügge 2008). Ein Beispiel für die Funktionalität dieses Konzeptes ist die AR-Lösung SixthSense. Das System besteht aus einer wie eine Ketteträgbareren HW-Lösung, bei der die Umgebung durch eine Kamera erfasst und Informationen über einen kleinen Projektor ausgegeben werden. Die Steuerung und Bedienung findet über Gesten statt, die

durch Marker an den Fingern erfasst werden. Damit ist das System unabhängig von weiterer Hardware lauffähig. SixthSense ermöglicht es, Alltagstätigkeiten durch Zusatzinformationen zu erweitern. So können die Uhrzeit auf den Arm projiziert, Zeitungsartikel durch Videos erweitert oder Karten zur Routenfindung angezeigt werden. Dabei bezieht die Technik die notwendigen Informationen selbstständig aus der Umwelt des Anwenders (Mistry 2009b; Mistry, Maes 2009).

4.2.7 Minimaler Kalibrierungsaufwand

Systeme müssen ohne großen Einstellungs- und Installationsaufwand einsatzfähig sein. Ein langwieriger und komplizierter Einstellungsprozess schreckt Nutzer vom Einsatz von Systemen ab und schränkt die lokal unabhängige Einsatzfähigkeit ein (Vallino 1998).

Durch Interpolations- und andere statistische Verfahren ist es mittlerweile möglich, aus Bildern von weitgehend unkalibrierten Kameras oder anderen Bildaufnahmegerten grobe Positionsbestimmungen vorzunehmen (Hoiem u. a. 2008). Ist größere Genauigkeit notwendig, ist weiterhin eine Feinkalibrierung aller Sensoren notwendig, wobei die Kalibrierungsmethoden starke Verbesserungen erfahren haben (Andreff 2001; Harders u. a. 2009).

4.3 Entwicklungspotenzial

Die nachhaltige Entwicklung von AR-Systemen von der ersten Idee (Sutherland 1968) über die moderne Utopie der virtuellen Realität (Durlach, Mavor 1994), der sich daraus ableitenden Forschungsfelder der Objekterkennung und -Verfolgung, erste prototypische Implementierungen (Höllner u. a. 1999), Ordnungsversuche bezüglich der Eignung von Elementen (Azuma 1997), von Industriefinanzierten Forschungsprojekten bis zu ersten marktreifen AR-Anwendungen (Acrossair 2009) stellt einen fortlaufenden Prozess dar. Ging es in den Anfängen der ausformulierten AR-Gedanken (Azuma 1997) noch um die technischen Möglichkeiten, die AR-Systeme begrenzen, so sind es heute vor allem Nachfrage und potenzieller Nutzwert, welche die Entwicklung bestimmen. Moderne Geräte wie Smartphones und Notebooks sind mit einer Vielzahl von Sensoren und einer großen Leistungsfähigkeit ausgestattet, was die nach Vallino (1998) hohen Anforderungen an AR-Systeme erreichbar scheinen lässt. Hoch spezialisierte AR-Systeme bedeuten jedoch noch immer eine immense Investition für ein Unternehmen, weshalb die Technologie häufig in Form von Projekten erarbeitet wird, in denen sich Firmen zu Konsortien zusammenschließen und mit Forschungseinrichtungen zusammen Prototypen entwickeln.

Aufgrund des vorhandenen Marktpotenzials und der Tatsache der Existenz des Forschungsfelds seit den 1980er-Jahren werden Weiterentwicklungen der bisherigen Ansätze in diversen Projekten in absehbarer Zeit zu ersten marktreifen Lösungen für die Industrie führen. Im Entertainmentbereich finden Anwendungen bereits heute eine große Anzahl von Nutzern, welche für AR-Systeme nützliche und begünstigende Technologien einsetzen.

Die Technologie ist bereits heute einsatzbereit. Eine große Schwachstelle der bisherigen AR-Systeme ist allerdings die fehlende Anpassung an menschliche Bedürfnisse, weshalb im Hinblick auf Benutzerfreundlichkeit und Anwendbarkeit noch weiterer Adaptionsbedarf besteht, insbesondere auf interdisziplinären Ebenen (Rügge 2008).

Ob AR-Systeme deshalb in absehbarer Zukunft flächendeckenden Einsatz im TKD finden können, bleibt abzuwarten, weil insbesondere dort die Komplexität der Anwendungen hoch und die Akzeptanz der potenziellen Benutzer schwierig zu gewinnen ist.

5 Fazit

Im vorliegenden Arbeitsbericht wurde eine Klassifikation für Augmented-Reality-Anwendungen vorgestellt, welche auf Basis von 5 Kategorien und insgesamt 13 Kriterien eine umfassende Einordnung von AR-Systemen ermöglicht. Die Einordnung der genannten Beispiele zeigt die Anwendbarkeit des Konzepts. Auf Basis der Kriterien konnte ein Anforderungskatalog für AR im TKD erarbeitet werden, welcher die gewünschten Ausprägungen für ein zu schaffendes System definiert. Dies kann als Grundlage für weitere Entwicklungs- und Forschungsthemen genutzt werden. In der folgenden Diskussion wurden darüber hinaus mögliche Kritikpunkte angesprochen, welche ebenso berücksichtigt werden müssen im Zuge der Schaffung eines neuen Systems sowie das Einsatzpotenzial und Entwicklungspotenzial beleuchtet. Insgesamt ist das Thema AR im technischen Kundendienst auf Basis der neuen Gegebenheiten, wie geringere Kosten und bessere Ergonomie der Hardware ein relevanter Forschungszweig, welcher neue Geschäftsmodelle erschließen und Dienstleistungen besser unterstützen kann.

Danksagung

Die Forschung und Entwicklung in diesem Beitrag ist Teil des Projekts Classroom, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Förderlinie „Digitale Medien in der beruflichen Bildung“ (DIMEBB) unter dem Kennzeichen 01PD14014A gefördert wird.

Literatur

- Acrossair (2009): *Nearest Tube Augmented Reality App for iPhone 3GS from acrossair*.
- Andreff, N. (2001): *Robot Hand-Eye Calibration Using Structure-from-Motion*. The International Journal of Robotics Research 3(20):228–248.
- Azuma, R. (1997): *A survey of augmented reality*. Presence (6.4):355–385.
- Azuma, R. (1999): *The challenge of making augmented reality work outdoors*. Mixed reality: Merging real and virtual worlds. 379–390.
- Basole, R. C. (2004): *The value and impact of mobile information and communication technologies*. Proceedings of the IFAC Symposium on Analysis, Modeling & Evaluation of Human-Machine Systems. 1–7.
- Bertelsen, OW; Nielsen, C (2000): *Augmented reality as a design tool for mobile interfaces*. Proceedings of the 3rd conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods and Techniques, ACM :185–192.
- Billinghamurst, M.; Kato, H.; Poupyrev, I. (2001): *The MagicBook – Moving seamlessly between reality and virtuality*. IEEE Computer Graphics and Applications 3(21):6–8.
- Billinghamurst, M.; Poupyrev, I.; Kato, H.; May, R. (2000): *Mixing realities in Shared Space: an augmented reality interface for collaborative computing*. 2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. ICME2000. Proceedings. Latest Advances in the Fast Changing World of Multimedia (Cat. No.00TH8532) (3):1641–1644.
- Bimber, O.; Encarnação, L. M.; Schmalstieg, D. (2003): *The virtual showcase as a new platform for augmented reality digital storytelling*. Proceedings of the workshop on Virtual environments 2003 – EGVE ,03. New York, New York, USA, ACM Press, 87–95.
- Bimber, O.; Frohlich, B.; Schmalstieg, D.; Encarnacao, L.M. (2001): *The Virtual Showcase*. IEEE Computer Graphics and Applications 6(21):48–55.

- Bimber, O.; Fröhlich, B.; Schmalstieg, D.; Encarnaçao, L. M. (2006): *The virtual showcase*. ACM SIGGRAPH 2006 Courses on – SIGGRAPH 06. New York, New York, USA, ACM Press, 9.
- Bizer, J.; Dingel, K.; Benjamin, F.; Günther, O.; Hansen, M.; Klafft, M.; Möller, J.; Spiekermann, S (2006): *Technikfolgenabschätzung – Ubiquitäres Computing und Informationelle Selbstbestimmung*.
- Brown, M.; Lowe, D.G. (2005): *Unsupervised 3D Object Recognition and Reconstruction in Unordered Datasets*. Fifth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'05). IEEE, 56–63.
- Buchmann, V.; Violich, S.; Billinghamurst, M.; Cockburn, A. (2004): *FingARtips*. Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia – GRAPHITE '04. New York, New York, USA, ACM Press, 212.
- Christian, V.; Ferscha, Alois; Narzt, Wolfgang; Pomberger, G.; Kolb, D.; Müller, R.; Wieghardt, J.; Bidner, R.; Härtner, H.; Lindinger, C (2004): *Smart Roads in the Pervasive Computing Landscape*. Advances in Pervasive Computing. A Collection of Contributions Presented at the 2nd International Conference on Pervasive Computing. 176: , 393–396.
- Collet, A.; Berenson, D.; Srinivasa, S. S.; Ferguson, D. (2009): *Object recognition and full pose registration from a single image for robotic manipulation*. 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 48–55.
- Colvin, R.; Hung, T.; Jimison, D.; Johnson, B.; Myers, E.; Blaine, T. (2003): *A dice game in third person augmented reality*. IEE Review. IEEE, 3–4.
- Comport, A.I.; Marchand, Eric; Pressigout, Muriel; Chaumette, François (2006): *Real-time markerless tracking for augmented reality: the virtual visual servoing framework*. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 4(12):615–628.
- Coote, A.; Feldman, S.; McLaren, R. (2010): *AGI Foresight Study: The UK Geospatial Industry in 2015*. London.
- Dähne, P. (2008): *Entwurf eines Rahmensystems für mobile Augmented-reality-Anwendungen*. Diss. TU Darmstadt.
- Dahne, P.; Karigiannis, J.N. (2002): *Archeoguide: system architecture of a mobile outdoor augmented reality system*. Proceedings. International Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE Comput. Soc, 263–264.
- Decker, Michael; Bulander, Rebecca; Högler, Tamara; Schieffer, Gunther (2006): *m-Advertising: Werbung mit mobilen Endgeräten – ein Überblick*. Proceedings der 1. Fachtagung „Mobilität und Mobile Informationssysteme“ (MMS), 103–114.
- Dow, S.; Lee, J.; Oezbek, C.; MacIntyre, B.; Bolter, J. D.; Gandy, M. (2005): *Exploring spatial narratives and mixed reality experiences in Oakland Cemetery*. ACE 05: Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology:51–60.
- Durlach, N. L.; Mavor, A. S. (1994): *Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges*.
- Edler, A. (2001): *Nutzung von Felddaten in der qualitätsgetriebenen Produktentwicklung und im Service*. Diss. TU Berlin.
- Faupel, T. (2006): *Hindernisse beim Datenzugriff mittels mobiler Kommunikationstechnologie – Eine empirische Analyse*:57–67.
- Feiner, S.; MacIntyre, B.; Höllerer, T.; Webster, A. (1997): *A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment*. Personal Technologies 4(1):208–217.

- Feiner, Steven; Höllerer, Tobias; Gagas, Elias; Hallaway, Drexel; Terauchi, Tachio; Güven, Sinem; MacIntyre, Blair (2015): *Mobile Augmented Reality*. <http://monet.cs.columbia.edu/projects/mars/>.
- Ferrari, V.; Tuytelaars, T.; Van Gool, L. (2001): *Markerless augmented reality with a real-time affine region tracker*. Proceedings IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality. IEEE Comput. Soc, 87–96.
- Fitnect interactive (2014): *3D Virtual fitting dressing room / mirror*. <http://www.fitnect.hu/>. Abruf am 21. Oktober 2015.
- Fjeld, M.; Lauche, K.; Bichsel, M.; Voorhorst, F.; Krueger, H.; Rauterberg, M. (2002): *Physical and Virtual Tools: Activity Theory Applied to the Design of Groupware*. Computer Supported Cooperative Work (CSCW) 1–2(11):153–180.
- Flintham, M.; Benford, S.; Anastasi, R.; Hemmings, T.; Crabtree, A.; Greenhalgh, C.; Tandavanitj, N.; Adams, M.; Row-Farr, J. (2003): *Where On-Line Meets On-The-Streets: Experiences With Mobile Mixed Reality Games*. Conference on Human factors in computing systems – CHI 03. 5:569–576.
- Fuhrmann, A; Wegenkittl, Rainer; Splechtina, R; Werkgartner, G; Sorantin, E (2002): *ARAS – Augmented Reality Aided Surgery*. IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality.
- Gammeter, S.; Bossard, L.; Quack, T.; Gool, L. V. (2009): *I know what you did last summer: object-level auto-annotation of holiday snaps*. 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision. IEEE, 614–621.
- Gammeter, S.; Gassmann, A.; Bossard, L.; Quack, T.; Van Gool, L. (2010): *Server-side object recognition and client-side object tracking for mobile augmented reality*. 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition – Workshops. IEEE, 1–8.
- Gausemeier, J.; Freund, J.; Matysczok, C.; Bruederlin, B.; Beier, D. (2003): *Development of a real time image based object recognition method for mobile AR-devices*. AFRIGRAPH 03: Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics, virtual Reality, visualisation and interaction in Africa 212(1):133–139.
- Gleue, T.; Dähne, P. (2001): *Design and implementation of a mobile device for outdoor augmented reality in the archeoguide project*. Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage – VAST 01. New York, New York, USA, ACM Press, 161.
- Golparvar-Fard, M; Peña-Mora, F; Savarese, S (2009): *D4AR-A 4-dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication*. Electronic Journal of Information Technology in Construction June(14):129–153.
- Green, P. (1995): *A driver interface for a road hazard warning system: Development and preliminary evaluation*. proc. ITS, World Congress on Intelligent Transport Systems (4):1795–1800.
- Haller, M.; Zauner, J.; Luckeneder, T.; Hartmann, W. (2003): *A generic framework for a training application based on Mixed Reality*. Upper Austria University of Applied Sciences, Media Technology and Design, Hagenberg.
- Hamed, A.; Tse, Z. T. H.; Young, I.; Lamperth, M. (2008): *MR Compatible Tactile Sensing and Noise Analysis in a 1.5 Tesla MR System*. Medical Imaging and Augmented Reality. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 220–230.
- Harders, M; Bianchi, G; Knoerlein, B; Szekely, G (2009): *Calibration, Registration, Synchronization for High Precision Augmented Reality Haptics*. Visualization and Computer Graphics 1(15):138–149.

- Härmä, A.; Jakka, J.; Tikander, M.; Karjalainen, M.; Lokki, T.; Hiipakka, J.; Lorho, G. (2004): *Augmented reality audio for mobile and wearable appliances*. AES: Journal of the Audio Engineering Society 6(52):618–639.
- Hilty, L.; Behrendt, S.; Binswanger, M.; Bruinink, A.; Erdmann, L.; Fröhlich, J.; Köhler, A.; Kuster, N.; Som, C.; Würtenberger, F. (2003): *Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft – Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt*. Bern, TA-SWISS Zentrum für Technologiefolgen Abschätzung.
- Hoiem, D.; Efros, A.; Hebert, M. (2008): *Putting Objects in Perspective*. International Journal of Computer Vision 1(80):3–15.
- Höllerer, T.; Feiner, S.; Terauchi, T.; Rashid, G.; Hallaway, D. (1999): *Exploring MARS: developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system*. Computers & Graphics 6(23):779–785.
- Höllerer, T. H.; Feiner, S. K. (2004): *Mobile Augmented Reality*. London, UK, Taylor and Francis Books Ltd.
- Holloway, Rl (1997): *Registration error analysis for augmented reality*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 4(6):1–25.
- IPhoneness (2013): *40 Best Augmented Reality iPhone Applications*. <http://www.iphoneness.com/iphone-apps/best-augmented-reality-iphone-applications/>. Abruf am 21. Oktober 2015.
- Jarvis, C.; Priestnall, G.; Polmaer, G.; Li, J. (2008): *Geo-contextualised visualisation for teaching and learning in the field*. Literacy April(44):1–7.
- Juels, A. (2005): *Minimalist Cryptography for Low-cost RFID Tags*. Security in Communication Networks :149–164.
- Kanbara, M.; Yokoya, N. (2002): *Geometric and photometric registration for real-time augmented reality*. Proceedings. International Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE Comput. Soc, 279–280.
- Kato, H.; Billinghurst, M. (1999): *Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system*. Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99). IEEE Comput. Soc, 85–94.
- Kaufmann, H.; Csisinko, M (2006): *Multiple Head Mounted Displays in Virtual and Augmented Reality Applications*. The International Journal of Virtual Reality 3(5):1–10.
- Kaufmann, H. (2003): *Collaborative augmented reality in education*. Keynote Speech at Imagina Conference:1–4.
- Kealy, A.; Scott-Young, S. (2006): *A Technology Fusion Approach for Augmented Reality Applications*. Transactions in GIS 2(10):279–300.
- Klinker, G; Stricker, D; Reiners, D (2001): *Augmented Reality for Exterior Construction Applications*. Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. 379–428.
- Kostandov, M.; Schwertfeger, J.; Jenkins, O. C.; Jianu, R.; Buller, M.; Hartmann, D.; Loper, M.; Tsoli, A.; Vondrak, M.; Zhou, W.; Fiala, M. (2007): *Robot Gaming and Learning Using Augmented Reality*. ACM SIGGRAPH 2007 Posters. New York, NY, USA, ACM.
- Lee, T.; Hollerer, T. (2008): *Hybrid Feature Tracking and User Interaction for Markerless Augmented Reality*. 2008 IEEE Virtual Reality Conference :145–152.
- Liarokapis, F.; Mourkoussis, N.; White, M.; Darcy, J.; Sifniotis, M.; Petridis, P.; Basu, A.; Lister, P. (2004): *Web3D and augmented reality to support engineering education*. World Transactions on Engineering and Technology Education 1(3):11–14.
- Lindeman, R. W.; Noma, H. (2007): *A classification scheme for multi-sensory augmented reality*. Proceedings of the 2007 ACM symposium on Virtual reality software and technology – VRST 07:175.

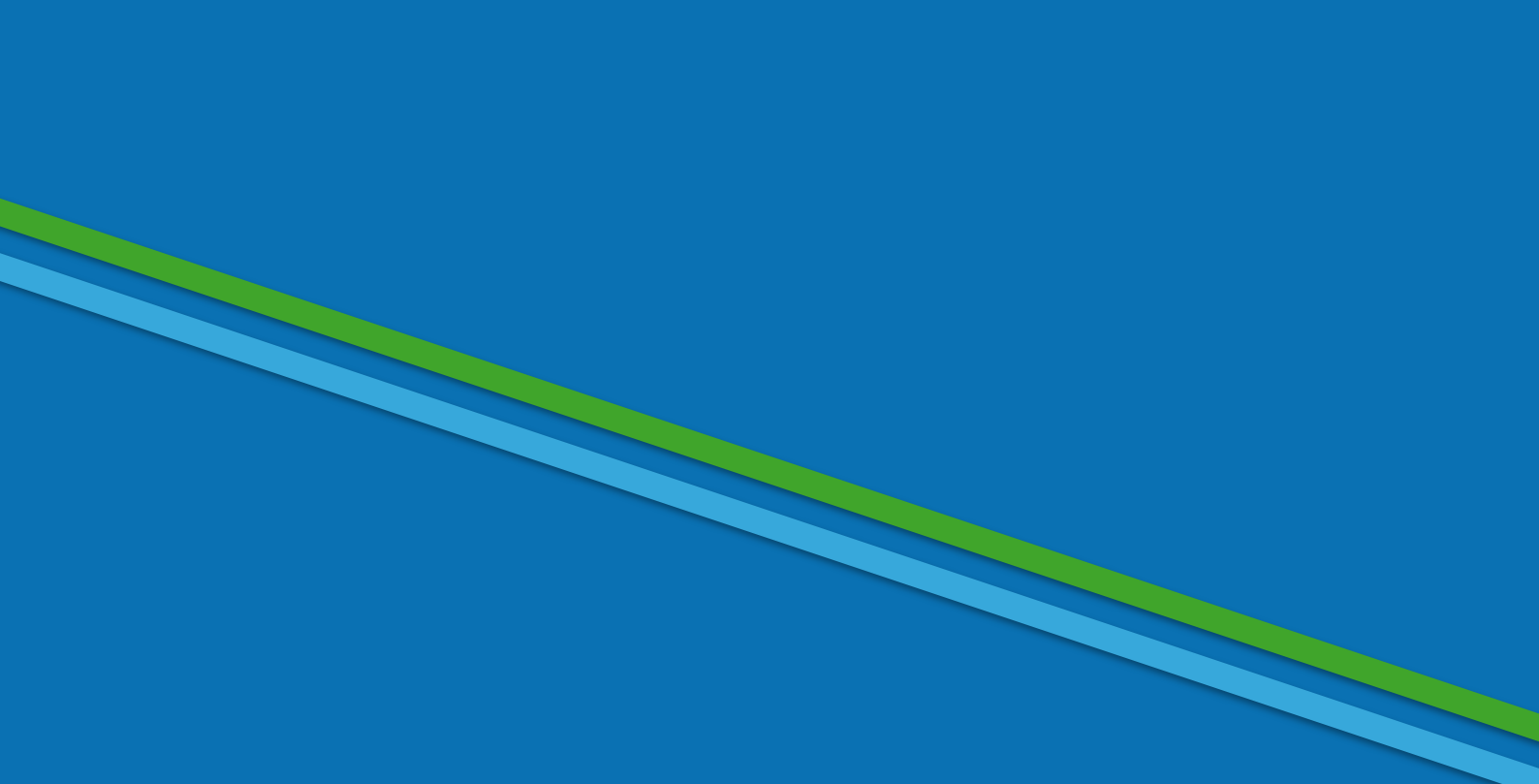
- Liu, D. S.; Yung, C.; Chung, C. (2010): *A Cross-Platform Framework for Physics-Based*. :80–90.
- Livingston, M. A.; Julier, S. J.; Brown, D.; Baillet, Y.; Gabbard, J. L.; Hix, D. (2002): *An augmented reality system for military operations in urban terrain*. *Systems Research* (89):1–8.
- Lu, S.C-Y.; Shpitalni, M.; Gadh, R. (1999): *Virtual and Augmented Reality Technologies for Product Realization*. *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 2(48):471–495.
- Maes, P.; Mistry, P. (2010): *Pattie Maes + Pranav Mistry: Meet the SixthSense interaction / Talk Video | TED.com*.
- Marin, R.; Sanz, P.J.; Sanchez, J.S. (2002): *A very high level interface to teleoperate a robot via Web including augmented reality*. *Proceedings 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation* May(3):2725–2730.
- Mattern, F.; Langheinrich, M. (2008): *Eingebettete, vernetzte und autonom handelnde Computersysteme: Szenarien und Visionen*. *Die Verselbständigung des Computers / Computers taking on a life of their own*. 1–25.
- Merz-Abt, T (2010): *Medienwelt von morgen – Herausforderung für heute*. *Medienheft* September.
- Metzger, D.; Niemöller, C.; Thomas, O. (2014): *The Impact of Augmented Reality on the Technical Customer Service Value Chain*. *International Conference on Multimedia and Human Computer Interaction (MHCI'14)*. Prague, Czech Republic.
- Milgram, P.; Zhai, S.; Drascic, David; Grodski, J. (1993): *Applications of augmented reality for human-robot communication*. *Proceedings of 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 93)*. IEEE, 3:1467–1472.
- Mistry, P; Maes, P (2009): *Sixth Sense: A wearable gestural interface*. *Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques 2009* (Article 11).
- Mistry, P. (2009a): *Pranav Mistry: The thrilling potenzial of SixthSense technology | Video on TED.com*. http://www.ted.com/talks/pranav_mistry_the_thrilling_potenzial_of_sixth_sense_technology.html.
- Mistry, P. (2009b): *WUW – Wear Ur World – A Wearable Gestural Interface*. *Computing* :4111–4116.
- Mistry, Pranav (2015): *SixthSense – a wearable gestural interface (MIT Media Lab)*. <http://www.pranavmistry.com/projects/sixthsense/>.
- Moehring, M.; Lessig, C.; Bimber, O. (2004): *Optical tracking and video see-through AR on consumer cell phones*. *Workshop on virtual and augmented reality of the GI-Fachgruppe AR/VR*. 193–204.
- Nikolić, V (2006): *Einsatz der Computer Augmented Reality in der Instandhaltung: eine alternative gebrauchstaugliche und kostengünstige Systemlösung*. *Diss.TU Clausthal*.
- Nilsson, S. (2010): *Augmentation in the Wild : User Centered Development and Evaluation of Augmented Reality Applications*. *Science And Technology*.
- Nintendo (2015): *AR Games: Erweiterte Realität*. <https://www.nintendo.de/Nintendo-3DS-Familie/Vorinstallierte-Software/AR-Games-Erweiterte-Realitat/AR-Games-Erweiterte-Realitat-115169.html>. Abruf am 21. Oktober 2015.
- NVIDIA (2010): *NVIDIA RealityServer: Erste GPU-basierte 3D-Cloud-Computing-Lösung*. http://www.nvidia.de/object/io_1256303702476.html. Abruf am 21. Oktober 2015.
- Ong, S. K.; Yuan, M. L.; Nee, Y. C. (2008): *Augmented reality applications in manufacturing: a survey*. *International Journal of Production Research* 10(46):2707–2742.

- Park, J. S.; Chung, M. S.; Hwang, S. B.; Lee, Y. S.; Har, D.-H.; Park, H. S. (2005): *Visible Korean Human: Improved serially sectioned images of the entire body*. IEEE Transactions on Medical Imaging 3(24):352–360.
- Parrot (2015): *AR.Drone 2.0*. <http://ardrone2.parrot.com/>. Abruf am 21. Oktober 2015.
- Pavlovic, V. I.; Sharma, R.; Huang, T. S. (1997): *Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: a review*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 7(19):677–695.
- Potts, A. (1960): *Phantom-Based Haptic Interaction*. Interface.
- Priestnall, G. (2009): *Landscape Visualization in Fieldwork*. Journal of Geography in Higher Education sup1(33):104–112.
- R.F.ID., NO (2010): *μ-Chip. The World's smallest RFID IC – Radio Frequency Identification Intergated Circuit*. <https://norfiden.wordpress.com/2010/12/06/μ-chip-the-worlds-smallest-rfid-ic-radio-frequency-identification-intergated-circuit/>. Abruf am 21. Oktober 2015.
- Regenbrecht, H.; Baratoff, G.; Wilke, W. (2005): *Augmented Reality Projects in the Automotive and Aerospace Industries*. IEEE Computer Graphics and Applications 6 (25):48–56.
- Rehm, M.; Bee, N.; André, E. (2007): *Wave Like an Egyptian — Accelerometer Based Gesture Recognition for Culture Specific Interactions*. Culture.
- Reifinger, S.; Wallhoff, F.; Ablassmeier, M.; Poitschke, T.; Rigoll, G. (2007): *Static and dynamic hand-gesture recognition for augmented reality applications*. Human-Computer Interaction, Pt 3, Proceedings:728–737.
- Reitinger, B.; Schmalstieg, D.; Bornik, A.; Beichel, R. (2006): *Spatial Analysis Tools for Virtual Reality-based Surgical Planning*. IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 2006. 3DUI 2006. IEEE, 37–44.
- Review, MIT Technology (2010): *Treating Cockroach Phobia with Augmented Reality*. <http://www.technologyreview.com/view/419653/treating-cockroach-phobia-with-augmented-reality/>. Abruf am 21. Oktober 2015.
- Riess, P.; Stricker, D.; Voss, G. (2006): *ULTRA – Ultra Portable Augmented Reality for Industrial Maintenance*. CG Topics (6):16–18.
- Robb, R. (2000): *Virtual endoscopy: development and evaluation using the Visible Human Datasets*. Computerized Medical Imaging and Graphics 3(24):133–151.
- Rügge, I. (2008): *Mobile Solutions – Einsatzpotenziale, Nutzungsprobleme und Lösungsansätze*. Advanced Studies Mobile Research Center Bremen.
- Sakellariou, S.; Ward, B. M.; Charissis, V.; Chanock, D.; Anderson, P. (2009): *Design and implementation of augmented reality environment for complex anatomy training: Inguinal canal case study*. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) (5622 LNCS):605–614.
- Sandor, C.; Klinker, G. (2005): *A rapid prototyping software infrastructure for user interfaces in ubiquitous augmented reality*. Personal and Ubiquitous Computing 3(9):169–185.
- Sargaana, U.; Farahani, HS.; Lee, J.; Ryu, J.; Woo, W. (2005): *billiARds: Augmented Reality System with Wearable Force-Feedback Device*. International Conference on Human Computer Interaction .
- Sawhney, N.; Schmandt, C. (1998): *Speaking and listening on the run: design for wearable audio computing*. Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No. 98EX215) October:19–20.

- Scherz, M. (2014): *Mobile Business – Schaffung eines Bewusstseins für mobile Potenziale im Geschäftsprozesskontext*. Diss. TU Berlin.
- Schilling, T. (2008): *Augmented Reality in der Produktentstehung*. Diss. TU Ilmenau.
- Schlömer, T.; Poppinga, B.; Henze, N.; Boll, S. (2008): *Gesture recognition with a Wii controller*. Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction TEI 08 :11.
- Schuler, H.; Doil, F.; Fricker, I.; Schleier, C.; Stadler, A. (2004): *Augmented Reality in der Produktion*. ARVIKA: Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. 137–194.
- Schwald, B.; Laval, B. (2003): *An Augmented Reality System for Training and Assistance to Maintenance in the Industrial Context*. Journal of WSCG 1(11).
- Schwerdtfeger, B.; Pustka, D.; Hofhauser, A.; Klinker, G. (2008): *Using laser projectors for augmented reality*. Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology – VRST ,08. New York, New York, USA, ACM Press, 134.
- Schwickert, A. C.; Grimbs, M. G. (1996): *Grundlagen des Client/Server-Konzepts*. Arbeitspapiere WI. Gießen, Universitätsbibliothek.
- Di Serio, Á.; Ibáñez, M. B.; Kloos, C. D. (2013): *Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course*. Computers & Education (68):586–596.
- Shelton, B.E.; Hedley, N.R. (2002): *Using augmented reality for teaching Earth-Sun relationships to undergraduate geography students*. The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit, IEEE, 8.
- Sielhorst, T.; Feuerstein, M.; Navab, N. (2008): *Advanced Medical Displays: A Literature Review of Augmented Reality*. Journal of Display Technology 4(4):451–467.
- Sielhorst, T.; Obst, T.; Burgkart, R.; Riener, R.; Navab, N. (2004): *An augmented reality delivery simulator for medical training*. International Workshop on Augmented Environments for Medical Imaging-MICCAI Satellite Workshop. 141, 11–20.
- Silva, R.; Oliveira, J. C.; Giraldi, G. A. (2003): *Introduction to augmented reality*. National Laboratory for Scientific Computation:1–11.
- Stahlknecht, P.; Hasenkamp, U. (2005): *Einführung in die Wirtschaftsinformatik*.
- Stanek, K.; Friedmannova, L. (2010): *Cartographically Augmented Reality*. 3rd ISDE Digital Earth Summit.
- Stone, R. J. (1988): *Haptic Feedback : A Potted History , From Telepresence to Virtual Reality*. The First International Workshop on Haptic HumanComputer Interaction (2058):1–7.
- Stricker, D.; Kettenbach, T. (2001): *Real-time and markerless vision-based tracking for outdoor augmented reality applications*. Proceedings IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality. IEEE Comput. Soc, 189–190.
- Suthau, Ti.; Vetter, M.; Hassenpflug, P.; Meinzer, H.-P.; Olaf, H. (2002): *Konzeption zum Einsatz von Augmented Reality in der Leberchirurgie*. Arion – A Journal of Humanities and the Classics .
- Sutherland, I. E. (1968): *A Head-Mounted Three Dimensional Display*. Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference:757–764.
- Tappert, CC.; Ruocco, A. S.; Langdorf, K. A.; Mabry, F. J.; Heineman, K. J.; Brick, T. A.; Cross, D. M.; Pellissier, S. V.; Kaste, R. C. (2001): *Military Applications of Wearable Computers and Augmented REality*. In: Barfield, W; Caudell, T (Hrsg.): Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. London, Lawrence Erlbaum Associates, 695–713.
- Thomas, B; Close, B; Donoghue, J; Squires, J; De Bondi, P; Morris, M; Piekarski, W (2000): *ARQuake: an outdoor/indoor augmented reality first person application*. Digest of Papers. Fourth International Symposium on Wearable Computers. IEEE Comput. Soc, 139–146.

- Thomas, B.; Demczuk, V.; Piekarski, W.; Hepworth, D.; Gunther, B. (1998): *A wearable computer system with augmented reality to support terrestrial navigation*. Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No. 98EX215). IEEE Comput. Soc, 168–171.
- Thomas, Oliver; Loos, Peter; Nüttgens, Markus (Hrsg.) (2010): *Hybride Wertschöpfung – Mobile Anwendungssysteme für effiziente Dienstleistungsproduktivität im technischen Kundendienst*. Berlin, Heidelberg, Springer.
- Thomas, Oliver; Nüttgens, Markus (Hrsg.) (2014): *Dienstleistungsmodellierung 2014 – Vom Servicemodell zum Anwendungssystem*. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Tsetserukou, D.; Sato, K.; Tachi, S. (2010): *ExoInterfaces: novel exoskeleton haptic interfaces for virtual reality, augmented sport and rehabilitation*. Development:1–6.
- Vallino, J. R. (1998): *Interactive Augmented Reality*. Computer 2(76):22,24.
- Vidal, F.P.; Bello, F.; Brodlie, K.W.; John, N.W.; Gould, D.; Phillips, R.; Avis, N.J. (2006): *Principles and Applications of Computer Graphics in Medicine*. Computer Graphics Forum 1(25):113–137.
- Vlahakis, V.; Karigiannis, J.; Tsotros, M.; Ioannidis, N.; Stricker, D. (2002): *Personalized augmented reality touring of archaeological sites with wearable and mobile computers*. Proceedings. Sixth International Symposium on Wearable Computers, :2–9.
- Voida, S.; Podlaseck, M.; Kjeldsen, R.; Pinhanez, C. (2005): *IBM Research Report A Study on the Manipulation of 2D Objects in a Projector / Camera-Based Augmented Reality Environment Projector / Camera – Based Augmented Reality Environment*. (23652).
- Voxel-Man, Arbeitsgruppe (2010): *VOXEL-MAN*. <http://www.voxel-man.de/>. Abruf am 21. Oktober 2015.
- Wagner, D.; Pintaric, T.; Ledermann, F.; Schmalstieg, D. (2005): *Towards massively multi-user augmented reality on handheld devices*. Pervasive Computing :77–95.
- Walter, P. (2010a): *Technische Kundendienstleistungen: Einordnung, Charakterisierung und Klassifikation*. Hybride Wertschöpfung. 24–41.
- Walter, Philipp (2010b): *Technische Kundendienstleistungen: Einordnung, Charakterisierung und Klassifikation*. In: Thomas, Oliver; Loos, Peter; Nüttgens, Markus (Hrsg.): *Hybride Wertschöpfung*. Heidelberg, Springer, 24–41.
- Wang, X.; Dunston, P. S. (2007): *Design, strategies, and issues towards an Augmented Reality-based construction training platform*. Electronic Journal of Information Technology in Construction July(12):363–380.
- Wang, X.; Gu, N.; Marchant, D.; Bagot, W. (2008): *An empirical study on designers' perceptions of augmented reality within an architectural firm*. ITcon December (13): 536–552.
- Webster, A.; Feiner, S.; MacIntyre, B.; Massie, W.; Krueger, T. (1996): *Augmented reality in architectural construction, inspection and renovation*. Proc ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering :1–7.
- Wohlgemuth, Wolfgang; Triebfürst, Gunthard (2000): *ARVIKA*. Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments – DARE ,00. New York, New York, USA, New York, USA, ACM Press, 151–152.
- Yohan, S. J.; Julier, S.; Baillot, Y.; Lanzagorta, M.; Brown, D.; Rosenblum, L. (2000): *Bars: Battlefield augmented reality system*. NATO Symposium on Information Processing Techniques for Military Systems Code 5580.
- Yokokohji, Y.; Hollis, R. L.; Kanade, T. (1999): *WYSIWYF Display: A Visual/Haptic Interface to Virtual Environment*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 4(8):412–434.

- Zachow, S.; Weiser, M.; Deuffhard, P. (2008): *Modellgestützte Operationsplanung in der Kopfchirurgie*. Modellgestützte Therapie 1(13):140.
- Zeiss, C. (2004): *Reale und virtuelle Welten verschmelzen*. Innovation (14):36–37.
- Zhang, X; Navab, N; Liou, SP (2000): *E-commerce direct marketing using augmented reality*. 2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. ICME2000. Proceedings. Latest Advances in the Fast Changing World of Multimedia (Cat. No. 00TH8532) (1):88–91.
- Zhang, X; Genc, Y.; Navab, N. (2001): *Taking AR into large scale industrial environments: navigation and information access with mobile computers*. Proceedings IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality. IEEE Comput. Soc, 179–180.
- Zhu, W.; Owen, C. B.; Li, H.; Lee, J. H. (2004): *Personalized in-store e-commerce with the promopad: an augmented reality shopping assistant*. Electronic Journal for E-commerce Tools and Applications :1–19.
- Zimmermann, A.; Lorenz, A. (2008): *LISTEN: a user-adaptive audio-augmented museum guide*. User Modeling and User-Adapted Interaction 5(18):389–416.
- Zimmermann, P.; Fricker, I.; Huschka, C.; Nölle, S.; Ramezani, H.; Regenbrecht, H.; Weiss, A.; Heike, Z.; Zürl, K. (2004): *Augmented Reality in der Entwicklung*. ARVIKA Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. 94–136



Living Lab Business Process Management e.V.
Universität Osnabrück
Katharinenstraße 3
49074 Osnabrück
www.living-lab-bpm.de

ISSN 2193-777X