



UNIVERSITÄT
KOBLENZ · LANDAU

Institut für
Computervisualistik



FB 4

Informatik

State-of-the-Art: Interaktion in Erweiterten Realitäten

Philipp Schaer
Marco Thum

Nr. 10/2007

**Arbeitsberichte aus dem
Fachbereich Informatik**

Die Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik dienen der Darstellung vorläufiger Ergebnisse, die in der Regel noch für spätere Veröffentlichungen überarbeitet werden. Die Autoren sind deshalb für kritische Hinweise dankbar. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen – auch bei nur auszugsweiser Verwertung.

The “Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik“ comprise preliminary results which will usually be revised for subsequent publication. Critical comments are appreciated by the authors. All rights reserved. No part of this report may be reproduced by any means or translated.

Arbeitsberichte des Fachbereichs Informatik

ISSN (Print): 1864-0346

ISSN (Online): 1864-0850

Herausgeber / Edited by:

Der Dekan:

Prof. Dr. Paulus

Die Professoren des Fachbereichs:

Prof. Dr. Bátori, Jun.-Prof. Dr. Beckert, Prof. Dr. Burkhardt, Prof. Dr. Diller, Prof. Dr. Ebert, Prof. Dr. Furbach, Prof. Dr. Grimm, Prof. Dr. Hampe, Prof. Dr. Harbusch, Jun.-Prof. Dr. Hass, Prof. Dr. Krause, Prof. Dr. Lautenbach, Prof. Dr. Müller, Prof. Dr. Oppermann, Prof. Dr. Paulus, Prof. Dr. Priese, Prof. Dr. Rosentahl, Prof. Dr. Schubert, Prof. Dr. Staab, Prof. Dr. Steigner, Prof. Dr. Troitzsch, Priv.-Doz. Dr. von Kortzfleisch, Prof. Dr. Walsh, Prof. Dr. Wimmer, Prof. Dr. Zöbel

Kontaktdaten der Verfasser

Philipp Schaer, Marco Thum
Institut für Computervisualistik
Fachbereich Informatik
Universität Koblenz-Landau
Universitätsstraße 1
D-56070 Koblenz
EMail: schaer@uni-koblenz.de, mthum@uni-koblenz.de,

Arbeitsbericht

State-of-the-Art: Interaktion in Erweiterten Realitäten

Philipp Schaer* Marco Thum[†]

6. Februar 2007

Institut für Computervisualistik,
Arbeitsgruppe Software-Ergonomie und Information-Retrieval

*schaer@uni-koblenz.de

[†]mthum@uni-koblenz.de

Zusammenfassung

Die folgende Arbeit soll einen Überblick über bestehende Lösungen zur Interaktion in Erweiterten Realitäten (Augmented Reality) schaffen. Hierzu werden anhand dreier grundlegender Betrachtungsweisen unterschiedliche Interaktionskonzepte und -umsetzungen sowohl von der technischen, als auch von der konzeptuellen Seite her, vorgestellt. Neben Fragen der Visualisierung werden unterschiedliche Typen von Benutzungsschnittstellen vorgestellt. Den größten Teil nehmen die drei typischen Interaktionsaufgaben Selektion- und Manipulation, Navigation und Systemkontrolle und die damit verbundenen Interaktionstechniken ein.

Die Inhalte des Arbeitsberichts beschränken sich auf den Einsatz von Interaktionselementen in Augmented Reality Umgebungen. Dies geschieht in Abgrenzung zu Forschungsarbeiten auf dem Gebiet zu Interaktionstechniken in Virtual Reality Umgebungen (vollimmersiv oder auch desktoporientiert). Zwar standen und stehen viele Interaktionstechniken aus dem Bereich VR in der AR Pate, doch haben sich gerade im Bereich der AR neue Techniken und Konzepte entwickelt. Folglich sollen VR Techniken nur dann betrachtet werden, wenn Sie in AR Anwendungen angewendet wurden bzw. wenn ihre Anwendung sinnvoll erscheint.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung und Abgrenzung der Arbeit	1
1.2. Aufbau der Arbeit	2
2. Begrifflichkeiten, Definitionen und Technologien	5
2.1. Definitionen	5
2.2. Technologien	6
2.2.1. Eingabewerkzeuge	7
2.2.2. Ausgabegeräte und Displays	7
3. Benutzungsschnittstellentypen	11
3.1. Multimodale UI	11
3.1.1. Terminologie	12
3.1.2. Entwicklungen in der Erweiterten Realität	12
3.2. Tangible UI	13
3.2.1. Vor- und Nachteile des TUI Ansatzes	16
3.2.2. TUI und direkte Manipulation	16
3.2.3. TUI und Natural Mapping	17
3.3. Virtual Reality Technologien	18
3.4. Desktopkonzepte	18
3.5. Sonstiges	18
3.5.1. Avatare	19
3.5.2. Hybride Schnittstellen	20
4. Visualisierung	21
4.1. Dimensionalität	21
4.2. Darstellung von Text	22
4.3. Visualisierung der Umwelt und virtueller Objekte	24
4.3.1. Erweiterte menschliche Wahrnehmung	25
4.3.2. Nicht-Photorealistisches Rendering	25
4.4. Darstellung von Interaktionskomponenten	27
4.4.1. Weltfixierte vs. bildschirmfixiert Darstellung	28
4.4.2. Visualisierung von Feedback	29
4.5. Metaphern vs. visuelle Formalismen - Realität vs. Abstraktheit	30
4.6. Ästhetik und emotive Faktoren	31
4.7. Objektorientierung	32

4.7.1.	Der Objekt-Begriff	32
4.7.2.	Vom Objekt-Funktions-Schema zur Werkzeugmetapher	33
4.7.3.	Objektorientierung und Erweiterten Realitäten	34
4.8.	Ausblick	36
5.	Grundlegende Interaktionsaufgaben und -techniken	37
5.1.	Direkte Objektmanipulation	39
5.1.1.	Selektion	39
5.1.2.	Manipulation	45
5.2.	Navigation	46
5.2.1.	Wegfindung	49
5.2.2.	Bewegung und Aufmerksamkeitssteuerung	52
5.3.	Systemkontrolle	55
5.3.1.	Zustandsänderung / Diskrete und kontinuierliche Wertegeber	56
5.3.2.	Menüselektion	59
5.3.3.	Sonstige Kontrolle	65
6.	Gesamtsysteme und Anwendungen	69
6.1.	ARVIKA - Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service	69
6.2.	Das Magic Book - Zusammenarbeit zwischen AR- und VR-Umgebungen	70
6.3.	Autorensysteme und Rapid Prototyping	71
6.4.	TUI im Produktdesign	72
6.5.	Taxonomien	72
6.6.	Anwendung in der Medizin - heARt	73
7.	Fazit und Ausblick	75
	Literaturverzeichnis	77
A.	Eingabegeräte für den mobilen Einsatz	93

1. Einleitung

Die folgende Arbeit soll einen Überblick über bestehende Lösungen zur Interaktion in Erweiterten Realitäten schaffen. Hierzu werden anhand dreier grundlegender Betrachtungsweisen unterschiedliche Interaktionskonzepte und -umsetzungen sowohl von der technischen, als auch von der konzeptuellen Seite her, vorgestellt.

Insgesamt stützt sich dieser State-of-the-Art Bericht auf eine ausführliche Literaturstudie von 168 Artikeln, Monographien und Konferenzbeiträgen.

1.1. Problemstellung und Abgrenzung der Arbeit

Die Inhalte des Arbeitsberichts beabschränken sich auf den Einsatz von Interaktionselementen in Augmented Reality Umgebungen. Dies geschieht in Abgrenzung zu Forschungsarbeiten auf dem Gebiet zu Interaktionstechniken in Virtual Reality Umgebungen (voll immersiv oder auch desktoporientiert). Zwar standen und stehen viele Interaktionstechniken aus dem Bereich VR in der AR Pate, doch haben sich gerade im Bereich der AR neue Techniken und Konzepte entwickelt. Folglich sollen VR Techniken nur dann betrachtet werden, wenn Sie in AR Anwendungen angewendet wurden bzw. wenn ihre Anwendung sinnvoll erscheint.

Augmented Reality ist eine recht junge Disziplin, die ihre Wurzeln in der Forschung zur Virtual Reality hat. Im Bereich der VR wurden gerade in den 1990er Jahren viele 3D Interaktionstechniken entwickelt, die in einer Arbeit von Hand (1997) erstmals umfassend zusammengetragen wurden. Hand beschrieb Techniken für Objektmanipulation, Navigation und Anwendungskontrolle. Neuere Übersichten, wie die von Bowman u. a. (2004) klassifizieren Interaktion in die Techniken zur Selektion, Manipulation, Reisen, Wegfindung, Systemkontrolle und Zeicheneingabe.

3D-Interaktion im Bereich der desktoporientierten VR wird häufig mit der Hilfe von 3D-Widgets realisiert. Viele 3D-Widgets entstammen dem Bereich der vollimmersiven VR Systeme und so sind auch die frühen Klassifizierungen wie z.B. von Leiner u. a. (1997) eingeteilt nach geometrischen Manipulations- und Systemkontrolltechniken, wie schon bei Hand. Dachsel (2004) stellt eine Klassifikation für 3D Widgets vor, die folgende Hauptkategorien vorsehen: Direkte 3D Objekt Interaktion, 3D Szenen Manipulation, Exploration und Visualisierung und System- bzw. Anwendungskontrolle. In einer weiteren Arbeit wird speziell auf Menütechnologien für die Systemkontrolle eingegangen (s. Dachsel und Hübner, 2006). Die Arbeiten von Dachsel werden in einem Online-Repository¹ zur Verfügung gestellt.

Figuroa u. a. (2006) definieren in ihrer Arbeit ein konzeptuelles Modell zur Beschreibung von 3D-Interface (VR, Desktop-VR und AR) Komponenten. Mit Hilfe von XML kön-

¹<http://www.3dcomponentes.org>, bzw. <http://www.3dcomponentes.org/menu>

nen so einzelne Interfacekomponenten formal beschrieben werden². Betrachtet werden sowohl die zu verwendenden *Ein- und Ausgabegeräte*, *Modalitäten* der Ein- und Ausgabe, der *Typ der Anwendung im Mixed Reality Continuum*, die *Abhängigkeiten zu anderen Komponenten*, das *Verhalten* der Komponente, die *Zielgruppe* und die zu erledigenden *Aufgaben* und die *Schwierigkeit* der Benutzung. Leider sind die Beschreibungen nicht vollständig, bzw. nur prototypisch. Speziell für den Bereich AR finden sich ganze zwei Interfacekomponenten. Trotzdem sollen einige Kriterien Ihrer Spezifikation in die Übersicht am Ende von Kapitel 5 einfließen.

1.2. Aufbau der Arbeit

Grundlage dieses State-of-the-Art Berichtes sind aktuelle Forschungsarbeiten, die auf den einschlägigen Konferenzen aus dem Bereich Augmented/Virtual Reality und Mensch-Computer-Interaktion vorgestellt wurden. Es wurden im einzelnen folgende Konferenzen betrachtet:

- International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR (s. Jacobs, 2002; Kawada, 2003; Titsworth, 2004; Werner, 2005),
- IEEE Virtual Reality (s. Loftin u. a., 2002; Chen u. a., 2003; Ikei u. a., 2004; Fröhlich u. a., 2005),
- 3D User Interface Workshop im Rahmen der IEEE VR 2004 und 2005 (s. Fröhlich u. a., 2004; Bowman u. a., 2005),
- die fachübergreifende Konferenz Mensch & Computer (s. Herczeg und Oberquelle, 2002; Szwillus und Ziegler, 2003; Keil-Slawik u. a., 2004; Stary, 2005).

Die oben genannten Publikationen dienten als Hauptquelle für den ersten Schritt einer Literaturrecherche, die auf den jeweiligen Quellen aufsetzt für einen weiteren Recherche-schritt. Erwähnt werden muss, dass die Klassifikation und der Umfang dieses Berichtes nicht vollständig sein können und nicht jede kleinste Interaktionsvariante aufgenommen wurde. Die wesentlichen Ströme und Trends im Bereich der Erweiterten Realität der letzten Jahre sollte jedoch abgedeckt sein.

Zusätzlich zu den aktuellen Konferenzen und den in Abschnitt 1.1 genannten Arbeiten, wurden die folgenden Monographien und Sammelbände einbezogen, die einen sehr guten und breiteren Überblick über den aktuellen Forschungsstand geben, meist allerdings mit dem Fokus auf Virtual, denn auf Augmented Reality: Azuma u. a. (2001); Bowman (2002); Bowman u. a. (2004); Stanney (2002).

Generell soll in dieser Arbeit unterschieden werden zwischen drei verschiedenen Herangehensweisen an das Thema Interaktion in Erweiterten Realitäten, von Seite des *Typs der Benutzungsschnittstelle*, der *Visualisierung* und den zugrundeliegenden *Interaktionsaufgaben und -techniken*:

²Beispiele für diese formalen Beschreibungen sind unter <http://www-mmt.inf.tu-dresden.de/3DIC/> zu finden.

Benutzungsschnittstellentyp Hierunter verstehen wir übergreifendere Konzepte, die zur Bewältigung einzelner Interaktionsaufgaben eingesetzt werden können. So sind z.B. die sogenannten Multimodalen oder auch Tangible User Interfaces nicht zwangsläufig einer einzelnen Interaktionstechnik zuzuordnen, wie dies z.B. in Bowman u. a. (2004) getan wird. TUIs können z.B. sowohl zur Selektion, Manipulation oder auch zur Systemkontrolle eingesetzt werden und werden daher von uns als übergreifendes Konzepte angesehen, die zur Lösung jeweiliger Interaktionsaufgaben eingesetzt werden können. In der AR angewendete und verbreitete Benutzungsschnittstellen werden in Kapitel 3 vorgestellt.

Visualisierung Visualisierung beschreibt die Art und Weise wie grafische Elemente der Benutzungsschnittstelle dargestellt werden. Unterschieden wird hier z.B. anhand der Dimensionalität oder dem Grad der Abstraktheit, bzw. der Photorealität. Auf Aspekte der Visualisierung wird in Kapitel 4 eingegangen.

Interaktionsaufgabe und -techniken Eine Interaktionstechnik ist laut Bowman und Win-grave (2001)

“Eine Interaktionstechnik ist Teil der Benutzerschnittstelle. Dabei handelt es sich um eine Methode, die es dem Nutzer erlaubt, eine bestimmte Aufgabe im System zu erfüllen, wobei sowohl Hardware (Eingabegeräte) als auch Softwarebestandteile eingeschlossen sind.”

Beispiele hierfür sind Selektions-, Manipulationstechniken, die mittels bestimmter Visualisierungen und Benutzungsschnittstellentypen zur Lösung bestimmter Aufgaben genutzt werden können. Grundlegende Interaktionsaufgaben und -techniken werden in Kapitel 5 zusammengefasst.

Zusammenfassende Übersicht Drei Faktoren wurden für eine Interaktionsbeschreibung in Augmented Reality vorgestellt, Visualisierung, Typ der Benutzungsschnittstelle und die Interaktionsaufgabe. Anhand der jeweiligen Aufgaben werden Visualisierung, Typ und Techniken zusammengebracht und anhand prominenter Beispiele erläutert. Die eingehend angesprochene Mehrdeutigkeit wird hier berücksichtigt, so dass unterschiedliche Aufgaben z.B. mit den gleichen Typ und Techniken gelöst werden können. Eine Klassifizierung nach Art der zu bewältigenden Aufgabe scheint uns sinnvoll, da dies die inzwischen etablierte Grundeinteilung in Selektion/Manipulation, Navigation und Systemkontrolle ist. Trotzdem sollen die beiden vorangehenden Kapitel der Mehrdeutigkeit und Ungenauigkeit dieser Klassifikation Rechnung tragen und andere Betrachtungswinkel aufzeigen.

2. Begrifflichkeiten, Definitionen und Technologien

2.1. Definitionen

Neben den Begriffen Visualisierung, Benutzungsschnittstellentyp, Interaktionsaufgabe- und -techniken werden hier die Begriffe *Mixed Reality Continuum*, *Augmented Reality*, *Widget* und *Tool* beschrieben.

Mixed Reality Continuum Der Begriff *Mixed Reality Continuum* wurde von Milgram und Kishino (1994) eingeführt. Sie definierten ein Kontinuum zwischen einer wirklichen und einer virtuellen Umgebung, in der die Erweiterte Realität (ER, engl.: Augmented Reality oder AR) nur ein Teil einer viel weitergefassten Begriffswelt der Mixed Reality ist (s. Abbildung 2.1). Der wohl bekannteste Begriff dieses Kontinuums ist der der *Virtuellen Realität* (oder *Virtuellen Umgebung*). In der *Virtuellen Realität* (VR) wird die gesamte Umwelt um einen Benutzer herum künstlich geschaffen, ebenso wie alle Gegenstände, die sich in dieser Umwelt befinden. Dies steht natürlich im Gegensatz zu der uns bekannten Umwelt, in der die Umgebung und die Objekte real vorliegen. Es wird daher auch von der *Realen Umgebung* in diesem Zusammenhang gesprochen. Diese Beiden stellen die Grenzen des Kontinuums dar. Zwischen diesen Grenzen liegen verschiedenste, gemischte Formen. Gemischte Formen sind z.B. *Augmented Virtuality* und *Augmented Reality*. In beiden Fällen werden virtuelle und reale Gegenstände miteinander vermischt. Der erste Begriff beschreibt allerdings eine virtuelle Umgebung, die mit realen Gegenständen angereichert wird, wohingegen der zweite Begriff eine durch virtuelle Gegenstände angereicherte reale Welt beschreibt. Gegenstände können in diesem Zusammenhang sowohl leblose Objekte, als auch Personen oder Avatare sein.

Augmented Reality Eine allgemeine Definition des Begriffs Augmented Reality wird vorgenommen in Azuma u. a. (2001) als:

An AR system supplements the real world with virtual (computer-generated) objects that appear to coexist in the same space as the real world. While many researchers broaden the definition of AR beyond this vision, we define an AR system to have the following properties:

- *combines real and virtual objects in a real environment;*
- *runs interactively, and in real time; and*
- *registers (aligns) real and virtual objects each other.*



Abbildung 2.1.: Das Mixed Reality Kontinuum (s. Milgram und Kishino, 1994)

Note that we don't restrict this definition of AR to particular display technologies, such as a head-mounted display (HMD). Nor do we limit it to our sense of sight. AR can potentially apply to all senses, including hearing, touch, and smell.

Widget Widgets¹ sind einzelne gekapselte Interaktionsbausteine, aus denen sich Interaktionssysteme zusammenstellen lassen. Während in traditionellen grafischen Benutzeroberflächen eine Fülle an standartisierten Widget-Bibliotheken zur Verfügung stehen, sind solche Sammlungen im Bereich der Augmented Reality so gut wie nicht vorhanden. Conner u. a. (1992) beschreiben Widgets wie folgt:

Wir definieren Widgets als eine Kapselung von Geometrie und Verhalten, die benutzt wird, um Informationen von Applikationsobjekten darzustellen und zu kontrollieren.

Tool Ein Tool basiert auf Metapher aus der realen Welt (Stift, Scheinwerfer, etc.) und erlaubt eine direktere und aufgabenangemessenere Interaktion in 3D Anwendungen. Widgets sind eher abstrakterer Natur und repräsentieren keine Objekte der natürlichen Welt, sind somit universeller einsetzbar. Als Vergleich können hier z.B. eine virtuelle Kamera als Tool die Blickrichtung ändern, dies kann aber auch mit Widgets in Form von Schiebereglern geschehen. Meist werden die Begrifflichkeiten aber nicht konsequent durchgehalten und bedeuten meist das Gleiche (vgl. Dachsel, 2004, Kapitel 3). Im weiteren Verlauf dieser Arbeit soll der Begriff des Tools im Zusammenhang mit der Werkzeugmetapher erklärt werden (s. Abschnitt 4.7).

2.2. Technologien

Ein ER System besteht für gewöhnlich aus drei Hauptkomponenten, einer *Ausgabeeinheit* (Display), einem *Interaktionswerkzeug* und einem *Trackingsystem*. Als Ausgabeeinheit kommen häufig sogenannte *Head Mounted Displays* (HMD), also kopfbasierte Displays zum Einsatz. Tracking bezeichnet die Gewinnung von Positionsdaten und Blickrichtung, die genutzt werden um reale und virtuelle Gegenstände miteinander zu registrieren. Unter dem Begriff der Registrierung versteht man die korrekte Ausrichtung realer und virtueller Objekte zueinander.

¹Der Begriff setzt sich zusammen aus den Worten *Window* und *Gadget*.

Eingabe- und Ausgabegeräte sollen in den folgenden beiden Abschnitten kurz vorgestellt werden. Die üblichen Trackingverfahren werden in der entsprechenden Standardliteratur vorgestellt (s. Azuma, 1995).

2.2.1. Eingabewerkzeuge

In Virtual und Augmented Reality Umgebungen finden sich stets viele unterschiedliche Entwicklungen von Eingabegeräten. Zum einen haben sich mittlerweile einige auf VR spezialisierte Geräte etabliert, die sich durch einen in 3D benötigten hohen Freiheitsgrad auszeichnen, zum anderen werden immer wieder neue Werkzeuge prototypisch von Forschern entwickelt und auf bestimmte Anwendungsfälle abgestimmt. Nichtsdestotrotz hat sich in dieser Umgebung kein wirklicher Standard durchgesetzt, wie er mit Maus und Tastatur gleichzusetzen wäre, zumal jedes Labor auf andere Techniken zurückgreift und setzt.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass Eingabegeräte häufig mit den Interaktionsaufgaben eng verbunden sind und nicht von der softwaregesteuerten Schnittstelle losgelöst betrachtet werden. Anhang A auf S. 93 beinhaltet einen groben Überblick zu üblichen Eingabegeräten.

2.2.2. Ausgabegeräte und Displays

In Augmented Reality Systemen werden häufig Head Mounted Displays eingesetzt, die unterschieden werden können in *optische* oder *videobasierte* Systeme (bzw. *optical-see-through* oder *video-see-through*). Optisch bedeutet, dass der reale Lichtstrahlengang bis zum Auge des Betrachters durchgelassen wird (s. Task, 1997). Weiterhin gibt es neben den kopfbasierten Displays auch stationäre oder nicht kopfbasierte Displayvarianten, wie z.B. Monitore oder Wandprojektoren (s. Abbildung 2.2). In Tabelle 2.1 werden die einzelnen Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Displaytechnologien gegenübergestellt. Nicht immer ist also ein Head Mounted Display die beste Alternative.

Gesichtsfeld

Mit *Field of View* wird der maximale Winkel bezeichnet, in dem Informationen in einem Display dargestellt werden können. Das menschliche Gesichtsfeld erlaubt dem Menschen in natürlicher Umgebung Informationen in einem Winkel horizontal 130 - 150° und vertikal 120° (s. MacIntyre und Feiner, 1996; Glaser, 1994, S. 34) wahrzunehmen. Typische kopfbasierte Displays bieten einen wesentlich eingeschränkteren Sichtbereich. So hat ein typisches HDM (Sony Glasstron PLM-A55) nur einen FOV von 30° horizontal und 22° vertikal. Das FOV des Displays wird auch virtuelles FOV genannt. Dieses schlechtere Gesichtsfeldverhältnis ist in Abbildung 2.3 grafisch dargestellt. Hier ist klar zu sehen, wie sehr das Gesichtsfeld eingeschränkt wird. Dies ist zum Beispiel dann zu beachten, wenn man versucht mittels Bewegung in der Peripherie des Sichtbereiches Aufmerksamkeit zu erwecken (s. Azuma und Furmanski, 2003).

Studien von Lessels und Ruddle (2005) sowie Ruddle und Jones (2001) haben gezeigt, dass Benutzer, die mit einem eingeschränkten FOV arbeiten mussten, zwar nahezu alle ih-

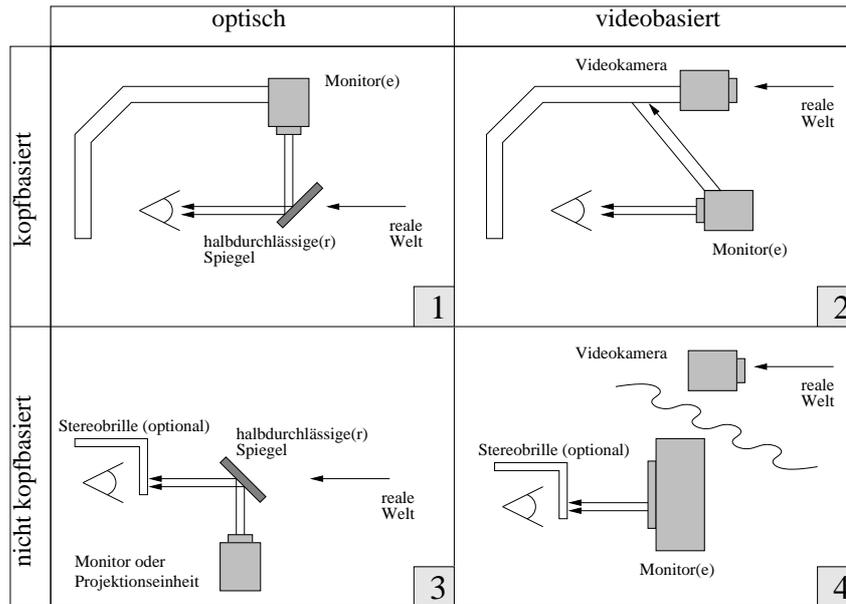


Abbildung 2.2.: Augmented Reality Displayvarianten nach Azuma u. a. (2001) und Luczak u. a. (2003)

	opt./kopf.	vid./kopf.	opt./stat.	vid./stat.
Displaygröße und Gewicht	○	○	—	—
Sichtfeld der realen Umgebung	○	—	+	○
Qualität der wahrgenommenen realen Umgebung	+	—	+	○
Echtzeitwahrnehmung der realen Umgebung	+	—	+	—
Kalibrierung des Displays am Kopf des Benutzers	○	+	—	—
Möglichkeit zum Auf- u. Absetzen des Displays	○	+	—	—
Genauigkeit der Überlagerung	—	+	—	+
Immersion	○	+	○	○
Mobilität	+	+	—	○

Tabelle 2.1.: Vergleich vier unterschiedlicher Augmented Reality Visualisierungsmöglichkeiten hinsichtlich Kriterien von Wiedenmaier u. a. (2003) und Oehme (2004).
 Abkürzungen: opt. = optisch, kopf. = kopfbasiert, vid = videobasiert, stat. = stationär (s. 2.2.2).
 Bedeutung der Zeichen: erfüllt Anforderungen (+), erfüllt Anforderungen teilweise (○), erfüllt Anforderungen nicht (—)

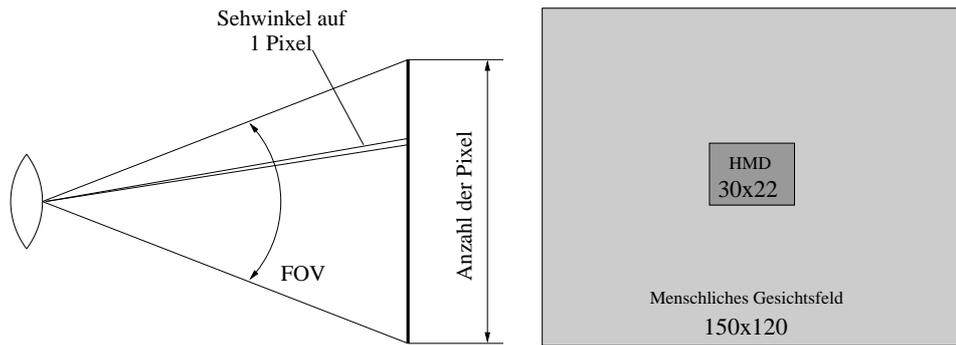


Abbildung 2.3.: *Links*: Field of View (FOV) und Schinkel auf ein Pixel (nach Oehme, 2004); *Rechts*: Vergleich zwischen menschlichem Gesichtsfeld und HMD

nen gestellten Aufgaben erfüllen konnten, allerdings agierten sie zunehmen schneller und zielsicherer, wenn der FOV zunahm. Unterhalb einer Grenze von 22° wurden die Versuchsergebnisse signifikant schlechter als bei einem vergleichsweise normalen FOV. Die Studien bezogen sich hierbei auf Orientierungsaufgaben (s. Abschnitt 5.2.1), die jeweils in VR, als auch in realen Umgebungen durchgeführt wurden.

Auflösung

Bei handelsüblichen Computerbildschirmen für den Büroinsatz ist eine Angabe der maximalen horizontalen und vertikalen Bildschirmauflösung völlig ausreichend, gelegentlich wird auch nur das Produkt der beiden Auflösungen angegeben und bezeichnet dann die Gesamtpixelzahl. Diese Angaben sind bei HMD nur bedingt aussagekräftig, da die Auflösung im Zusammenhang mit dem o.g. Field of View gesehen werden muss. So bedeutet eine doppelt so hohe Auflösung bei einem doppelt so großen FOV, dass der gleiche Schinkel auf ein einzelnes Pixel vorliegt (s. Abbildung 2.3). Daher werden Auflösung und FOV in Verhältnis zueinander gesetzt, so dass theoretisch zwei Kombinationen möglich sind:

$$\text{Schinkel}_{\text{vertikal}(1\text{Pixel})} = \frac{FOV_{\text{vertikal}}}{\text{Auflösung}_{\text{vertikal}}} \quad (2.1)$$

$$\text{Pixel}_{\text{vertikal}(pro\text{Grad})} = \frac{\text{Auflösung}_{\text{vertikal}}}{FOV_{\text{vertikal}}} \quad (2.2)$$

Verhältnis 2.1 gibt den Schinkel bzgl. eines Pixels an und Verhältnis 2.2 die Anzahl der Pixel pro Grad. Der Wert des ersten Verhältnisses ist laut Oehme (2004) aussagekräftiger, unter Berücksichtigung der menschlichen Sehschärfe von ungefähr einer Bogenminute²

²Eine Bogenminute entspricht $\frac{1}{60}$ eines Grads (1°). Ein Vollwinkel von 360° besteht somit auf $60 * 360$ Bogenminuten. Bezogen auf das o.g. FOV des Menschen von ca. 150° horizontal ergibt sich also ein FOV von $60 * 150 = 9000$ Bogenminuten ($9000'$)

(1'). So ergibt sich ein Verhältnis Bogenminute/Pixel, das für verschiedene Displays angegeben werden kann, um sie miteinander zu vergleichen. Kleinere Werte spiegeln hierbei ein besseres Verhältnis wieder.

3. Benutzungsschnittstellentypen

Im folgenden Abschnitt sollen unterschiedliche Typen von Benutzungsschnittstellen vorgestellt werden. Wir unterscheiden hierbei *Multimodale User Interfaces*, *Tangible User Interfaces*, *Virtual Reality Technologien*, *Desktopkonzepte* und sonstige Typen, wie z.B. Avatare. Wir verstehen unter Typen von Benutzungsschnittstellen übergeordnete Konzepte, die nicht, wie die in Abschnitt 5 vorgestellten Interaktionstechniken, nur auf einzelne Probleme wie Selektion oder Manipulation ausgerichtet sind.

3.1. Multimodale UI

Gerade der Einsatz multimodaler Eingabekonzepte hat eine gewisse Verbreitung gefunden (s. Oviatt, 2003; Broll u. a., 2004). Hierbei wird nicht mit einem exklusiven Eingabegerät gearbeitet, sondern es werden unterschiedliche Eingabeströme parallel verarbeitet. So können z.B. Sprache und Gesten gleichzeitig eingesetzt werden, um ein System zu kontrollieren, wie in der Anwendung von Bolt (1980). Hier wurde mit einer „Put-That-There“-Technik gearbeitet. Die Geste diente als Selektionswerkzeug, die Sprache als Kommandoingabe. Denkbar sind sehr unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten, so z.B. auch in der Anwendung von Gesten- und Menüsystemen.

Da multimodale Systeme mit mehreren Eingabeströmen gleichzeitig arbeiten, ergeben sich einige Vorteile, gegenüber jeweils einem exklusiven Eingabewerkzeug. So können z.B. mehrere Ströme zu einer Reduzierung der Fehlerrate und der damit verbundenen Korrekturen führen. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn die Eingabewerkzeuge ungenaue oder mehrdeutige Werte zurückliefern, wie dies häufig bei Spracheingaben der Fall ist. Desweiteren bieten multimodale Systeme für den Benutzer ein höheres Maß an Flexibilität, da er idealerweise die für ihn geeignetsten Eingabeströme auswählen und kombinieren kann.

Ein Beispiel wie Multimodalität verstanden werden kann, wir im Rahmen des ARVIKA Projektes vorgestellt (s. Beu u. a., 2003):

Multimodale Dialoge sind Dialoge, in denen in einer gegebenen Dialogsituation verschiedene Dialogformen alternativ zur Verfügung stehen, zum Beispiel Eingabe über Menü oder über feste Funktionstasten. Hier ist die Mehrkanaltauglichkeit (Interface unterstützt redundant unterschiedliche Sinneskanäle für Ein- und Ausgabe) und ein sinnvolles Feedback auf Eingaben z. B. über mehrere Kanäle wichtig. Außerdem sollte die Robustheit der Interaktion besonders bei Sprachein- und -ausgabe beachtet werden. Wenn alternative Eingabe/-Ausgabegeräte vorhanden sind, sollte der Benutzer die Möglichkeit haben, beliebig zwischen Tastatur- und Mauseingabe zu wechseln.

3.1.1. Terminologie

Auf die Randbedingungen der Augmented Reality besonders abgestimmte Schnittstellentypen findet man sehr selten. Vielmehr reihen sich hier Herangehensweisen ein, die Ihren Ursprung oftmals in einem anderen Umfeld haben. So hat sich Bolt bereits 1980 mit der Idee beschäftigt, eine komplexe Handlung durch die Verbindung zweier Eingabemodi zu vereinfachen und überdies der Semantik unserer alltäglichen Handlungsabläufe auch auf technischer Ebene nachzukommen (Bolt, 1980). Die „Put-that-there“-Metapher diente damals dem Verschieben eines Objekts auf dem Bildschirm durch das Sprachkommando „Put“, der Deutung des Objekts mit einer Stabgeste „that“ und der neuen Ortsbestimmung „there“.

Nach der von Oviatt (2003) aufgestellten Terminologie zu multimodalen Schnittstellen sind diese durch die koordinierte Verarbeitung der Anwenderdaten zweier oder mehrerer kombinierter Eingabemodi bestimmt. Es zählen hierzu etwa Sprache, Pen, berührungsempfindliche Geräte, Handgesten, Mimik sowie Kopf- und Körperbewegungen. Das System antwortet mit Ausgabe multimedialer Präsentationen.

Im Prinzip handelt es sich auch schon bei der Kombination aus Maus und Tastatur um eine multimodale Verknüpfung von Geräten. Ein wesentliches Ziel – und somit für das reale Empfinden eines Benutzers in einer halbrealen Umgebung ausschlaggebend – ist aber die Einbindung natürlicher menschlicher Kommunikationsformen und -verhaltensweisen. Erkennungsbasierte Verfahren sind ein notwendiges Mittel zur Detektion relevanter Merkmale in diesen kontinuierlichen Eingabedatenströmen.

Multimodale Eingabemodi unterscheiden sich auch hinsichtlich der Art, wie sie eingegeben werden. So werden vom Anwender absichtlich und gezielt eingesetzte Aktionen als aktive Eingabemodi bezeichnet, unabsichtlich und unauffällig erbrachte Aktionen dagegen werden als passive Eingabemodi bezeichnet. Zudem gibt es auch Unterscheidungen hinsichtlich der zeitlichen Reihenfolge von Ereignissen, bestimmter Mischungen aus Eingabedatenströmen („blended multimodal interfaces“) und auch hinsichtlich der Integration und Verkettung von syntaktischen Einheiten einzelner Datenströme. Eine ausführliche Beschreibung der Charakteristika findet sich bei Oviatt (2003).

Gestaltungs- und Evaluationsideen können bei Oviatt (1999) und Popescu u. a. (2002) gefunden werden. Vorschläge zu Hypothesen und Designrichtlinien, basierend auf vielerlei AR-Benutzungsschnittstellentypen und softwareergonomischen Richtlinien, können angepasst für multimodale Benutzungsschnittstellen samt Evaluation bei Thum (2005) gefunden werden.

3.1.2. Entwicklungen in der Erweiterten Realität

Entgegen der Forschung von den Grundzügen multimodaler Benutzungsschnittstellen wie sie in obiger Literatur vorzufinden sind, finden sich in der Erweiterten Realität nur bedingt Ansätze zur voneinander abhängigen Kombination und Integration mehrerer, vor allem natürlicher Eingabedatenströme. Oftmals findet man multimodale Eingabe in ihrer einfachsten Version vor, nämlich der Bereitstellung mehrerer Eingabegeräte und -datenströme für die Interaktion.

In Benko u. a. (2004) wurde ein System zur Darstellung archäologisch gewonnener Daten entwickelt. Über die Interaktion mit einem Table-top können zu visualisierende Artefakte in 2-D navigiert und ihre Beziehung zu verschiedenen Schichten der Ausgrabungsstätte verdeutlicht werden. Zur Interaktion mit einer *hybriden* UI – 2-D Touch-Displays und 3-D AR-Schnittstellen – werden *hybride Gesten* eingesetzt (s. Abschnitt. 3.5.2). Es werden zweidimensionale und dreidimensionale Gesten miteinander synchronisiert. Selbst beidhändig ausgeführte Gesten sind möglich. Konkretere Details zu diesen Gesten sind in Benko u. a. (2005) zu finden. Spracheingaben unterstützen die Gestensteuerung und verhelfen somit zur Lösung von Selektion und Navigaton in 3-D. Zur Auflösung von Zweideuigkeiten bei entfernten Objekten werden Senseshapes (Kaiser u. a., 2003) eingesetzt (in gleicher Publikation kann ein Modellierungsansatz für ein multimodales VR-UI-System sowie eine Evaluierung gefunden werden). Ein Smartbook dient als Lupe zur Welt und vergrößert Ausschnitte des augmentierten Table-Tops. Zur Rückverfolgung der eigenen Interaktionen kann eine virtuelle Statuszeile eingeblendet werden, die bereits erkannte Objekte speichert und sie wieder hervorholen kann (*Virtual Tray*). Als Eingabegeräte wurden Kopftracker, Handtracker, DiamondTouch Table Connector, P5 Glove und ein Mikrophon eingesetzt (s. Abschnitt 2.2.1).

Gesten müssen aber nicht immer auf Hände beschränkt sein. Eine einfache AR Applikation von Paelke und Reimann (2005) für Mobiltelefone arbeitet mit der Erkennung von Fußgesten. Es handelt sich dieser Applikation um ein Fussballspiel, dass mit der im Mobiltelefon eingebauten Kamera den Fuß des Spielers aufnimmt und die Trittgesten interpretiert.

3.2. Tangible UI

Mit Werkzeugen wird versucht Interaktionsmetaphern für Systeme zu finden, die möglichst nah an ihre Vorlagen aus der wirklichen Welt heranreichen. Zusätzlich zu der rein durch die Metapher bedingte Nähe wird auch versucht, durch die körperlichen Eigenschaften des Werkzeuges Nähe herzustellen. Physische Werkzeuge (auch *props* genannt) sollen möglichst eine Verbindung zwischen virtueller und realer Welt herstellen. Ishii und Ullmer (1997) definieren daher auch die sogenannten *Tangible User Interfaces* (TUI)¹ als eine Benutzerschnittstelle, die die reale Welt erweitert, indem Sie Gegenstände des Alltags mit digitalen Informationen erweitert.

Anders ausgedrückt sollen die Grenzen zwischen Eingabe und Ausgabe verschwinden. Die Unterscheidung zwischen Eingabe und Ausgabe herrscht in vielen traditionellen Computersystemen vor. Es existiert meist ein Gerät zur digitalen Darstellung der Ausgabe (grafisch oder textuell auf einem Monitor), wohingegen die Eingabe über die sogenannten „Peripherie“ abgewickelt wird (Tastatur, Maus, etc.). Der Begriff der Peripherie ist an dieser Stelle schon sehr bezeichnend, zeigt er doch die konzeptionelle Entfernung zwischen Ein- und Ausgabe klar auf. Grafisch dargestellt ist dieses Verhältnis in Abbildung 3.1, die den Model-View-Controller Archetypen zeigt. Die Kontroll- (Eingabe) und Anzeigeelemente (Ausgabe) besitzen sowohl einen physischen, als auch eine digitale Repräsentation (s. Ullmer und Ishii, 2000, S. 582), z.B. die Maus als physischen Part und der Mauszeiger als

¹Tangible (engl.): berührbar, dinghaft, fühlbar

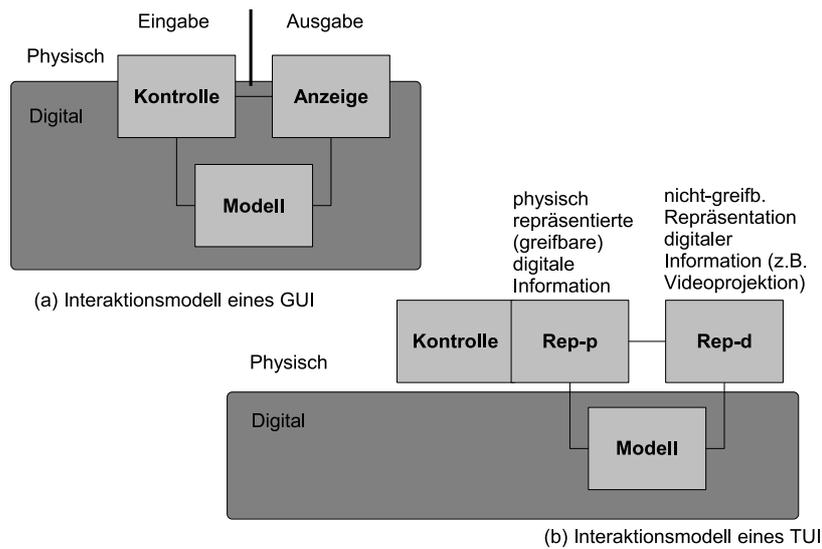


Abbildung 3.1.: Vergleich zwischen GUI (a) und TUI (b), Interaktionsmodell nach Ullmer und Ishii (2000, S. 583)

dessen digitale Repräsentation. Demgegenüber besitzen die TUI keine derartige Unterscheidung. Es wird zwar auch zwischen physisch und digital unterschieden, doch ist hier für die Repräsentation vielmehr interessant, ob diese Repräsentation „greifbar“ ist. Daher werden hier auch zweierlei Arten der Repräsentation unterschieden, die physische und die digitale, bzw. die greifbare und die nicht-greifbare Repräsentation. Kontroll- und Anzeige-, bzw. Repräsentationselemente liegen alle in der physischen Welt vor (siehe Abbildung 3.1). Beide Modelle beinhalten auch den Punkt „Modell“, der den internen Systemzustand darstellen soll. Dieser ist in beiden Fällen vollständig digital.

Etwas allgemeiner in seiner Definition ist Fishkin (2004), welche folgende drei Punkte enthält:

- Eine *Eingabe* erfolgt. Diese Eingabe ist typischerweise eine physische Veränderung, die durch den Benutzer ausgeführt wurde. Diese Veränderung sollte an einem „alltäglichen“ physischen Objekt erfolgen und könnte z.B. ein Ändern der Neigung, Schütteln, Drücken, Quetschen oder einfach eine Bewegung sein.
- Ein Computersystem *erkennt* diese Eingabe und verändert seinen internen Status.
- Das System liefert eine Rückmeldung. Diese *Ausgabe* erfolgt über eine Veränderung des physischen Objekts, z.B. indem es seine angezeigte Oberfläche oder Größe ändert, auditives oder haptisches Feedback liefert.

Diese sehr allgemeine Definition lässt aber keine eindeutige Klassifizierung oder Einordnung der Schnittstellen als TUI oder Nicht-TUI zu, da zu viele Grenzfälle existieren. Zur Er-



Abbildung 3.2.: Einsatz von Tangible User Interfaces in Form von Tiles. *Oben*: Data Tiles aus Rekimoto u. a. (2001); *Unten*: Augmentierte Visitenkarte aus DiVerdi u. a. (2003)

stellung einer Taxonomie dieses Benutzungskonzeptes schlägt er die Einführung von zwei Dimensionen vor: die *Verkörperung*² und die *Metapher*. Je mehr ein System also verkörpert und durch eine tragfähige Metapher gestützt ist, desto mehr „tangible“ ist es. Dies sagt noch nichts über die Qualität des Systems aus, also ob es sich um ein gutes oder schlechtes System handelt. Diese Frage muss separat mit Hilfe von Evaluationen geprüft werden.

Eingesetzt wird dieses Konzept z.B. von Poupyrev u. a. (2002) für die Konzeption sogenannter *Tiles* (s. Abbildung 4.9). Hierbei handelt es sich um einfache Marker, die mittels eines HMD Systems überblendet werden. Es existieren drei unterschiedliche Arten dieser Tiles: *Datentiles*, *Operatorentiles* und *Menütiles*. Datentiles werden als Container für Daten jeglicher Art genutzt, der Benutzer kann virtuelle Objekte zu ihnen hinzufügen oder auch wieder löschen. Operatorentiles führen Aktionen auf Datentiles aus, z.B. Löschen, Kopieren oder Hilfe einholen. Menütiles liegen in Form eines Katalogs vor, aus dem unterschiedliche Daten- und Operatorentiles ausgesucht werden können. Aktionen zwischen Tiles werden ausgeführt, indem zwei Tiles nebeneinander gelegt werden. Dieser Ansatz wurde schon zu-

²embodiment

vor von Rekimoto u. a. (2001) aufgegriffen, um ein TUI zu entwerfen. Es handelte sich dabei zwar um keine Augmented Reality Anwendung, doch nutzte auch er Tiles, die sich im Gegensatz zur Arbeit von Poupyrev u. a. (2002) zu weitaus komplexeren Strukturen zusammensetzen ließen (s. Abbildung 3.2).

3.2.1. Vor- und Nachteile des TUI Ansatzes

Der klare Vorteil beim Einsatz von Tangible User Interfaces in Augmented Reality Anwendungen ist das Fehlen von speziellen Eingabewerkzeugen, die ggf. einen Bruch in der Interaktion erzeugen würden. Der Einsatz von Pinch Gloves, wie z.B. im Tinmith Projekt gesehen, ermöglicht zwar eine gute Kontrolle über die virtuellen eingeblendeten Menüstrukturen, doch behindern die Handschuhe den Benutzer und machen ein Arbeiten mit der wirklichen Welt ggf. sogar unmöglich, da z.B. die Metallkontakte an den Fingerkuppen leiden könnten. Der Benutzer müsste also vor dem Benutzen eines alltäglichen Gegenstandes, wie einem Getränkeautomaten, erst die Handschuhe ausziehen, den Automaten benutzen, sein Getränk zu sich nehmen und dann die Handschuhe wieder anziehen um weiter mit der virtuellen Welt arbeiten zu können. Der Bruch in der Interaktion ist hier klar und es existiert folglich in diesen Anwendungen auch keine Verbindung zwischen Wirklichkeit und Virtualität, beide Welten existieren nebeneinander her.

Ziel einer Interaktion in einer Erweiterten Realität sollte es aber sein, gerade einen solchen Bruch zu verhindern und die Wirklichkeit zu erweitern, also eine Verbindung und keinen Bruch herzustellen. Diese Leitidee könnte durch die Benutzung von Tangible User Interfaces unterstützt werden.

Ob diese Trennung von Vor- oder von Nachteil ist, ist nicht klar. Doch sollte aus rein arbeitswissenschaftlichen Bedenken auf ein ständiges Umgreifen und Wechseln der Eingabewerkzeuge verzichtet werden. Die aktuellen Betrachtungen beziehen sich allerdings nur auf die Wahl des Eingabewerkzeuges, bzw. der Benutzungsschnittstelle. Sie sagen wenig aus über die Unterscheidung zwischen abstrakter oder photorealistischer Darstellung oder die Verwendung von Metaphern oder visuellen Formalismen. Alle diese Formen lassen sich sowohl mit TUI, als auch mit nicht-TUI Benutzungsschnittstellen nutzen. Der jeweiligen Eignungsgrad muss allerdings je nach Situation bestimmt werden.

3.2.2. TUI und direkte Manipulation

Ullmer und Ishii (2000) beschreiben die *direkte Manipulation* als essentiellen Bestandteil einer TUI Schnittstelle. Wie bereits in Abschnitt 4.5 beschrieben setzt der Begriff der direkten Manipulation eine ständige Visualisierung, physische Aktion und schnelle, inkrementelle Aktionen voraus. Ein weiterer Punkt, der von Shneiderman und Plaisant (2005, S. 218) angesprochen wird, ist allerdings die Möglichkeit Aktionen einfach rückgängig machen zu können. In direktmanipulativen Softwarepaketen, wie z.B. Textverarbeitungsprogrammen gibt es hierfür die sogenannte UNDO-Funktion, die es erlaubt Arbeitsschritte rückgängig zu machen und zu einem beliebigen ehemaligen Zustand des Dokumentes zurückzukehren. Intelligente UNDO Implementationen erlauben sogar ein vor- und zurückspringen im Lebensraum eines Dokumentes.

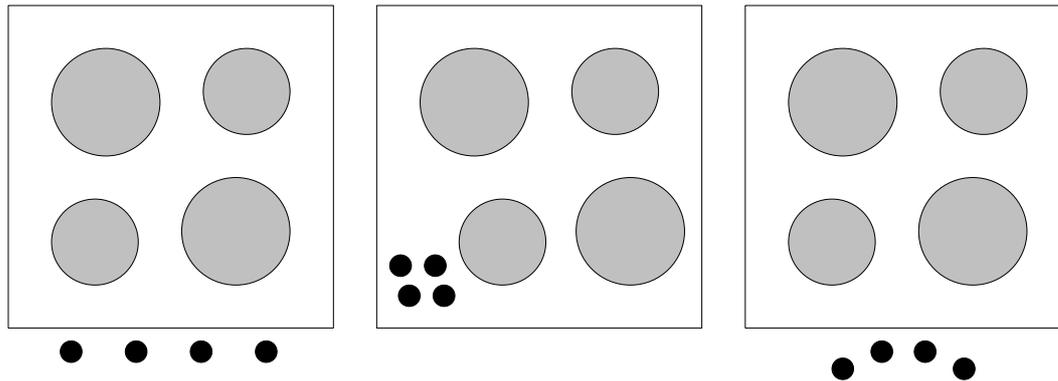


Abbildung 3.3.: Natural Mapping am Beispiel dreier Schalterelementanordnungen bei Küchenherden

Dies ist prinzipiell zwar mit TUI Schnittstellen möglich, da sich die realen Objekte jederzeit an ihren Ursprungspunkt zurück bewegen, bzw. sie sich physisch in Ihren Ursprungszustand versetzen lassen, doch ist eine wirkliche UNDO Funktion, mit einer Versionskontrolle etc. bisher noch nicht für TUI Anwendungen implementiert, bzw. konzipiert worden.

3.2.3. TUI und Natural Mapping

Natürliches Mapping (s. Norman, 1988) ist ein weiterer Punkte, der gerade beim Einsatz von TUI zu beachten ist. Norman beschreibt in seinem Buch die Anordnung von Schaltern bei Küchenherden. Hier ist häufig nicht klar, welcher Schalter für welche Herdplatte zuständig ist. Eine solche typische Schalterkombination ist in Abbildung 3.3 links zu sehen. Die mittlere Anordnung zeigt zwar eine ansich eindeutige Positionierung der Schalter, doch wird diese Lösung in einer praktischen Anwendung wahrscheinlich andere Probleme erzeugen, da Schalter und Herdplatte nahe beieinander liegen und so Verbrennungsgefahr besteht, oder auch dass die Schalter zu schnell verschmutzen. Eine quadratische eindeutige Anordnung der Schalter an der Front des Gerätes ist allerdings meist auch nicht möglich, da hier zu viel Platz verloren geht. Die meisten Hersteller von Küchenherden beschränken sich meist darauf, die Schalter mit Beschriftungen oder weiteren Beschreibungen zu versehen. Diese an sich unnötigen Maßnahmen ließen sich durch ein gutes Design, bzw. dem bewussten Ausnutzen von natürlichen Mappings vermeiden. An dieser Stelle soll nocheinmal der enge Bezug zu den visuellen Formalismen aufgezeigt werden (s. Abschnitt 4.5), die ebenso wie Natural Mappings auf kognitiven Grundfähigkeiten des Menschen basieren und sowohl physikalische Analogien und kulturelle Standards ausnutzen.

Gerade diese Konzepte können mittels TUIs auf die Gestaltung von Benutzungsschnittstellen übertragen werden. In Schaer (2006) wird z.B. ein TUI vorgestellt, dass ein Kreis-
menü auf ein physisches Drehrad abbildet und so ein greifbares, direktes Mapping zwischen Auswahl, Feedback und Benutzung herstellt. Benutzertests haben gezeigt, dass dieses Mapping direkt verstanden und umgesetzt werden konnte.

3.3. Virtual Reality Technologien

Im Gegensatz zur AR ist die Entwicklung auf dem Gebiet der VR schon älter und fortgeschrittener. Neben rein akademischen Anwendungen existieren für VR diverse kommerzielle Systeme, die z.B. im Design, in der Ausbildung oder der Produktentwicklung genutzt werden. Da sich die AR aus der VR heraus entwickelt hat, lag es nah bewährte Techniken aus dem Bereich der VR-Technologie auf AR-Anwendungszwecke zu übertragen. So wurden Spacemäuse, Pinch Gloves oder Piemenüs erstmals in VR Anwendungen eingesetzt. Einen sehr guten und breiten Überblick über den gegenwärtigen Stand der Entwicklungen bzgl. der Interaktion in VR bietet Bowman u. a. (2004) sowie Dachsel (2004).

Aus dem Bereich der VR Forschung stammt auch die Unterteilung der Haupttechniken der Interaktion in Selektion, Manipulation, Navigation und Systemkontrolle, die ebenfalls als Grundlage für eine Klassifizierung der AR Interaktionsmöglichkeiten dient, wenn auch in leicht abgewandelter Form (s. Abschnitt 5).

3.4. Desktopkonzepte

Neben kommandoorientierten Eingabeaufforderungen werden häufig Übernahmen traditioneller Konzepte der 2-D-Benutzungsoberflächen verwendet, z.B.:

- Fenster
- Menüs
- Standard 2-D-Widgets (Knöpfe, Schieberegler etc.)

Konzepte der 2-D-Benutzungsoberflächen werden in der Regel pragmatisch an die besonderen Verhältnisse der VR/AR angepasst, also z. B. Menüs stark eingeschränkt und nur in Form so genannter Ringmenüs zugelassen (s. Bowman und Wingrave, 2001). Diese Formen erlauben meist keine komplexen Strukturen und sind an spezielle Eingabewerkzeuge gebunden. Verbleibende Probleme sind: Unterschiedliche Möglichkeiten der Widgetpositionierung (z. B. welt- oder bildschirmfixiert), Probleme der Interaktion „mit dem leeren Raum“, kein haptisches Feedback usw. (zur Diskussion siehe Höllerer u. a., 1999; Popescu u. a., 2002).

Als generelle, meist pragmatisch motivierte Strategie lässt sich erkennen: Konzepte der 2-D-Benutzungsoberflächen werden der Einfachheit halber oder als bewusst von der Realität abgehobene zweite Ebene der Darstellung übernommen und ggf. abgeändert.

3.5. Sonstiges

Neben den bereits erwähnten Typen der Multimedialen, Tangible, VR und 2-D-Graphical User Interfaces gibt es noch weitere, die allerdings nur ein Nischendasein in der AR fristen. Dennoch wurden diese Typen eingesetzt und sollen daher im folgenden Abschnitt kurz vorgestellt werden.



Abbildung 3.4.: ARLego Anwendung. *Links*: Reparaturagent präsentiert nächstes Bauteil; *Rechts*: Agent zeigt korrekte Montage des Bauteils

3.5.1. Avatare

Agenten oder Interfaceagenten sind ein Ansatz, um den Benutzer von der Last zu befreien eine Reihe von expliziten Kommandos an den Rechner zu geben. Agenten werden entwickelt um den Benutzer intelligent zu unterstützen. Sie fungieren dabei als autonome Prozesse innerhalb des Computers, die den Benutzer unterstützen, wenn dies nötig erscheint. Ein komplexes Beispiel könnte so aussehen, dass ein Agent als vollkommener persönlicher Assistent entworfen wurde. Hierbei kennt der Agent alle beruflichen und privaten Termine und persönliche Vorlieben seines Benutzers. Solche Systeme erinnern ihren Benutzer an gebuchte Flüge, weisen auf ein hohes Verkehrsaufkommen auf der Autobahn hin und bieten den direkten Anruf beim Taxiunternehmen an. Diese komplexen Aufgaben beinhalten meist eine Reihe von Mechanismen der Künstlichen Intelligenz und arbeiten plattformübergreifend (Kommunikation mit Kalenderapplikation, Internet Verkehrsmeldungen und Telefongesellschaft). Allerdings können Agentensysteme auch wesentlich einfacher entworfen werden. So könnte ein Agent z.B. mitzählen wie häufig man vergebens versucht hat ein bestimmtes Kommando auszuführen und schliesslich Hilfe anbieten, sobald der Zähler einen definierten Schwellwert überschritten hat.

Studien zur Benutzerzufriedenheit haben allerdings gezeigt, dass viele Benutzer sich von Agentensystemen nicht immer unterstützt fühlen. Viele Benutzer fühlen sich sogar gestört durch die permanente Unterbrechung durch ein Agentensystem, so z.B. durch den bekannten Softwareagenten aus den Microsoft Office Produkten, Karl Klammer. Cooper und Reimann (2003) vergleichen diese Technik mit Stützrädern für die Fahrräder kleiner Kinder. Zuerst helfen die Stützräder dem Kind die Balance zu halten und ermöglichen so einen einfacheren Einstieg in die Welt des Fahrradfahrens, doch nach einer Weile wird diese Art der Hilfe nicht mehr benötigt und die Stützräder stören mehr, als dass sie helfen. Agentensysteme sollten also flexibel sein und sich der wachsenden Kenntnis der Benutzer über ein System anpassen und quasi mitwachsen. Coopers simpler Rückschluss:



Abbildung 3.5.: Mr. Virtuoso von Wagner u. a. (2006). Von Links: Nur Text und Audio; 2-D Repräsentation des Agenten; 3-D bildschirmfixierte animierte Darstellung; komplett 3-D registrierte Darstellung

„Don't weld on training wheels!³“

Agentensysteme haben sich dem Problem zu stellen, dass sie zwischen vielen verschiedenen Gruppen von Benutzern unterscheiden müssen. Oft wird dies durch sogenannte Softwareprofile zu reglementieren versucht. Das Problem dieser Ansätze liegt allerdings darin, dass es schwierig ist, jeden Benutzer mit seinen Eigenarten in ein Profil zu zwingen. Einfache Einsteiger-/Expertenmodi zeigen diese Problematik. Kein Benutzer ist entweder 100% Anfänger oder 100% Experte. Die Wirklichkeit wird meistens im kontinuierlichen Raum dazwischen liegen.

Agentensysteme in Augmented Reality arbeiten häufig mit Gesten- oder Spracherkennung, aber auch einfache step-by-step Systeme mit Tastatureingabe wurden entwickelt (s. Barakonyi u. a., 2004, Abbildung 3.4). Hier dient der Agent als Tutor, der die durchzuführenden Arbeiten vorspielt. Der Benutzer bestätigt eine durchgeführte Aktion mit Tastendruck und kommt so zur nächsten Instruktionseinheit. Das System ist also streng sequentiell aufgebaut.

Speziell für Tutoragenten stellen Wagner u. a. (2006) die Frage, wie real virtuelle Charaktere sein sollten. Speziell wurde untersucht, ob AR Charaktere lagerichtig in die Welt eingeblendet werden sollten, ob mit Animationen und 3-D Effekten gearbeitet werden sollte. All diese Faktoren haben auf die Lernleistung der Probanden anscheinend keinerlei Einfluss. Augmented Reality Charaktere waren den Bildschirmgebundenen Charakteren nicht überlegen. Die unterschiedlichen Ausprägungen des Avatars können in Abbildung 3.5 betrachtet werden.

3.5.2. Hybride Schnittstellen

Im Rahmen des in Höllerer u. a. (1999) beschriebenen Projekts MARS kam die Entwicklung sog. *hybrider* Benutzerschnittstellen auf, in welchen 2-D und 3-D Interaktions- und Ausgabegeräte miteinander gekoppelt werden, um ein und denselben Raum zu navigieren und zu manipulieren. Ein dreidimensionaler Raum mit Annotationen und virtuellen Objekten kann von einem 2-D Handheld aus manipuliert werden und vice versa. Dieser Ansatz sollte vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Dimensionalitäten gesehen werden, wie er in Abschnitt 5.3.2 beschrieben wird.

³engl.: „Schweiß die Stützräder nicht an!“

4. Visualisierung

Eines der Haupteinsatzgebiete von AR-Lösungen ist die (graphische) Erweiterung der Realität mit zusätzlichen Inhalten. Dies beginnt bei einfachen textuellen Einblendungen und reicht bis zu korrekt beleuchteten photorealistischen 3-D Modellen. Im Folgenden werden unter anderem die *Dimensionalität* der Visualisierung, *ästhetische Aspekte* und die Diskussion zwischen Metaphereneinsatz und visuellen Formalismen behandelt. Weiterhin sollen einige Hauptanwendungen der Visualisierung in AR vorgestellt werden: *Textdarstellung*, *Darstellung virtueller Objekte in der Welt* und die *Visualisierung von Interfacekomponenten*.

4.1. Dimensionalität

Allgemein kann man zwischen vier Hauptklassen der zu visualisierenden Elemente eines AR Systems unterscheiden, wie in Tabelle 4.1 dargestellt:

- 2-D Inhalte in einem 2-D Medium (Windowstech., generell WIMP Elemente)
- 2-D Inhalte in einem 3-D Medium (Text-Billboards, PIP/PEN, Bildschirmfixierte GUI Elemente)
- 3-D Inhalte in einem 2-D Medium (Fishtank VR-Anwendungen, Desktop-VR, 3-D-Computerspiele etc.)
- 3-D Inhalte in einem 3-D Medium (Vollimmersive VR und AR Anwendungen)

Mit einem 2-D-Medium ist hier z.B. ein traditioneller Desktop gemeint, unter einem 3-D Medium ist z.B. ein Head-Up-Display zu verstehen. Auch, wenn die Darstellung selbst, auf Grund von monokularer Darstellung nicht wirklich dreidimensional ist, sollen diese Display zu den 3-D-Medien gezählt werden.

Inhalt \ Medium	2-D	3-D
2-D	2-D Widgets, WIMP	PIP, Billboards, screen-stabilized
3-D	Fishtank/Desktop VR	Volle 3-D Immersion in AR/VR

Tabelle 4.1.: Gegenüberstellung von unterschiedlichen Dimensionalitäten von Inhalten und Darstellungsmedien

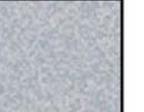
	PAVEMENT	GRANITE	RED BRICK	SIDEWALK	FOLIAGE	SKY
Outdoor Background Texture						
Average Pixel Color						
Billboard	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ
Red	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ
Green	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ
Complement	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ
Maximum HSV Complement	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ
Maximum Brightness Contrast	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ	A4KGCSZ

Abbildung 4.1.: Unterschiedliche Textvisualisierungsformen aus Gabbard u. a. (2005)

4.2. Darstellung von Text

Eines der gebräuchlichsten Mittel die Umwelt mit Informationen anzureichern, ist sie mit textuellen Annotationen zu belegen. Doch schon bei so einer trivialen Aufgabe wie die Einblendung von Text zeigt sich, dass im Bereich der AR viele unbekannte Probleme lauern.

Die Frage der Darstellung von Text in Outdoorszenen ist Thema von Untersuchungen, die Gabbard u. a. (2005) durchgeführt haben. Verschiedene Darstellungsarten von Text wurden gegeneinander evaluiert, wobei das Hauptaugenmerk auf den Punkten Hintergrundtextur, Schriftbild und deren Zusammenspiel liegt. Empirische Untersuchungen ergaben, dass sowohl die Billboard-Technik, als auch der Einsatz von grüner Schrift eine hohen Grad an Lesbarkeit ermöglicht. Die Billboardtechnik ermöglicht eine permant gute Lesbarkeit durch die Erzeugung eines künstlichen, homogen gefärbten Hintergrunds, der im Kontrast zur Textfarbe steht. Hierdurch wird aber unnötig viel Platz hinter dem Text verdeckt und die Wirklichkeit, die ja im eigentlich Interesse einer AR Anwendung liegt, verdeckt.

In Arbeiten von Leykin und Tuceryan (2004) wird versucht mit Hilfe von Algorithmen der Mustererkennung die Lesbarkeit von Text automatisch und quantitativ zu bestimmen.

Neben den unterschiedlichen Darstellungsformen in Bezug auf Farbe und Hintergrund, stellt sich weiterhin die Frage in welcher Dimension und in welcher Position der Text einblendend wird, sowohl zwei- als auch dreidimensionale Schriften werden eingesetzt und

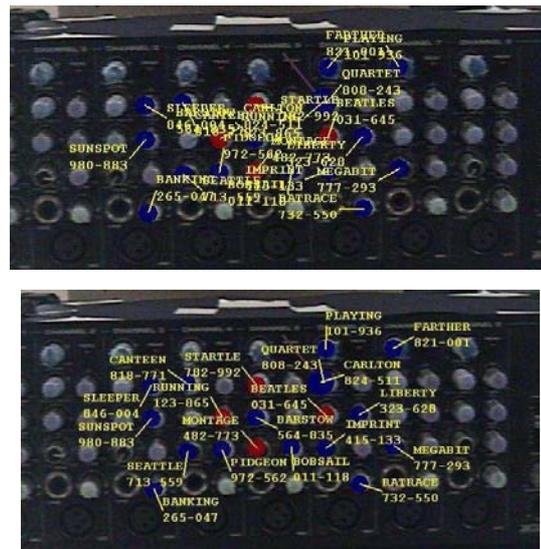


Abbildung 4.2.: Unterschiedliche Anordnungen von Textannotationen. *Links*: zufällige Anordnung, *rechts*: nach Einsatz von Map-Labeling Algorithmen (aus Azuma und Furmanski, 2003)

auch die Position und Orientierung der Schrift kann unterschiedliche sein. Zum einen kann die Schrift immer senkrecht zum Blickwinkel des Betrachters eingeblendet werden, so ist stets eine gute Lesbarkeit möglich, wohingegen eine lagerichtige Einblendung von Text zwar möglich ist, diese aber ab einem gewissen Neigungswinkel keine Lesbarkeit mehr zulässt. So liesse sich der Text eines Schildes in der ersten Variante auch dann lesen, wenn man es z.B. von der falschen Seite oder von einem sehr flachen Winkel betrachtet, dies widerspricht aber einem gewissen Realitätsanspruch.

Untersuchungen von Wiedenmaier (2004) zeigten, dass sowohl Animationen, als auch der Typ der darzustellenden Zeichen (einzelne Buchstaben, Zahlen, Wörter, technische Zeichen und Zeichnungen) einen erheblichen Einfluß auf die Erkenn- und Lesbarkeit hat. In Abhängigkeit der eingesetzten Displays und der darzustellenden Zeichen werden Größempfehlungen und Gestaltungsrichtlinien für die Darstellung gegeben, die im *Style Guide für Augmented Reality Systeme* zusammengefasst werden (s. Beu u. a., 2003). Der Styleguide wird in Abschnitt 4.4.1 nocheinmal genauer vorgestellt.

Weiterhin ist es teilweise schwer einen Bezug zwischen Texteinblendung und Objekt in der Welt herzustellen. Diese Fragen werden in Azuma und Furmanski (2003) behandelt. So stehen Visualisierungsansätze in AR vor den gleichen Problemen, wie z.B. mehrdeutigen Zuordnungen, Platzierungsprobleme von Labels, Fragen bzgl. Schriftgröße etc. Eine korrekte dreidimensionale Lageposition von Labels kann die Zuordnung vereinfachen, die Lesbarkeit aber erschweren – ein klassischer Zielkonflikt, bei dem das jeweilige Einsatzgebiet bedacht werden muss.

DiVerdi u. a. (2004) nutzen ein sogenanntes Level-of-Details Interfaces zur inhaltlichen Erweiterung von Textannotationen. Level-of-Details sind ein Konzept, dass in der Com-



Abbildung 4.3.: Level-of-Details Interfaces aus DiVerdi u. a. (2004)

putergrafik sehr verbreitet ist, um Rechenzeit zu sparen. Dazu werden weiter entfernte Objekte in einer geringeren Darstellungsqualität, z.B. durch niedrig aufgelöste Texturen, berechnet – Der Betrachter kann auf die Entfernung keinen Unterschied erkennen. Diese Idee wird nun auf unterschiedliche Ebenen der Informationsdichte angewandt. Der Ansatz besagt, dass ein weit entferntes Objekt nicht mit einer großen Dichte an Informationen bedeckt sein muss, sondern, dass eine oberflächliche Information („Dies ist das Deutsche Eck“) ausreicht. Erst wenn man sich dem Objekt weiter nähert, werden sowohl grafische, als auch inhaltliche Details sichtbar. Durch diese Technik soll also nicht die technische Rechenzeit, sondern der *Cognitive-Load* des Benutzers reduziert werden. Die je nach Entfernung zum augmentierten Objekt geänderte, kontextabhängige Informationsdarstellung ist in Abbildung 4.3 verdeutlicht.

4.3. Visualisierung der Umwelt und virtueller Objekte

Neben Text oder Interfacekomponenten werden hauptsächlich Gegenstände in die reale Umwelt eingeblendet. Hier werden sowohl abstrakte, als auch photorealistic Darstellungsformen angewendet. Gerade durch eine gewisse Abstraktheit in der Darstellung von virtuellen Objekten wird versucht zusätzliche Informationen in die Welt zu bringen, so werden im *AR Lego System* von Barakonyi und Schmalstieg (2005) neben der Unterstützung durch einen Agenten (s. Abschnitt 3.5.1) weitere abstrakte Visualisierungen eingesetzt, um die Interaktion und die Perzeption zu erleichtern. Neben Beschriftungen und Ikonen werden auch *Wireframe*-, *Zooming*-, *Röntgen*- und *3-D Fischaugen-Techniken* verwendet. Alle diese Techniken für sich alleine genommen, sind nicht neu (s. Azuma und Furmanski, 2003;



Abbildung 4.4.: *Links*: Shared Augmented Reality (aus Meyer u. a., 2005), *rechts*: Magic Lenses von Looser u. a. (2004)

Drascic u. a., 1993; Bane und Höllerer, 2004; Looser u. a., 2004) in ihrem Zusammenspiel allerdings noch nicht verbreitet und auch leider nicht untersucht.

4.3.1. Erweiterte menschliche Wahrnehmung

Durch den Einsatz z.B. von Röntgenblick-Visualisierungen (auch „Superman-Modus“ genannte) sollen in der Wirklichkeit verdeckte Gegenstände sichtbar gemacht werden (s. Bane und Höllerer, 2004). Zusätzlich kommen bei Meyer u. a. (2005) noch Elemente der Zusammenarbeit zwischen zwei Anwendern hinzu. Hier wurde der Inhalt einer Box visualisiert, obwohl der Benutzer nicht hineinschauen konnte und so ein gemeinsamen Arbeiten an einer Konstruktionsaufgabe ermöglicht. Anwendungsbereiche hierfür können z.B. Montageprozesse in der Industrie sein, in denen der Monteur sein Arbeitsfeld nicht direkt sehen kann. Eine weitere Anwendung, die diesem Prinzip folgt sind die Magic Lenses von Looser u. a. (2004), siehe Abbildung 4.4.

4.3.2. Nicht-Photorealitisches Rendering

Beim Einsatz von sogenannten *Nicht-Photorealitischen Renderingverfahren* (NPR) wird versucht Objekte abstrakt zu generieren und so hohe Detailgrade, Beleuchtungsmodelle etc. zu reduzieren. Von Halper u. a. (2003) wurden Untersuchungen zu den psychologischen Komponenten des Nicht-Photorealitischen Renderings angestellt, die den Einsatz von NPR Verfahren in virtuellen Szenarien empfehlen. Abbildung 4.5 zeigt zwei Beispielbilder aus Untersuchungen von Psychologien, Sozialpsychologen und Biologen zum Thema NPR in Bezug auf die Visualisierung zur Unterstützung von Navigationsaufgaben (s. Abschnitt 5.2). Hier zeigte sich, dass der Abstraktionsprozess nicht zu weit getrieben werden sollte. Während eines Benutzertests wurden die Probanden vor die Wahl gestellt ob sie den linken, stark abstrahiert dargestellten Weg oder den rechten, eher ausgeschmückten Weg gehen würden. Der Pfad, mit dem höheren Detailierungsgrad lud eher zum Erkunden ein.



Abbildung 4.5.: Optische Hinweise für Exploration (links) und Navigation (rechts). Benutzer neigten dazu den detaillierteren Pfad zu wählen (aus Halper u. a., 2003)



Abbildung 4.6.: Visualisierung einer Auswahl durch Unterstützung des Figur-Grund-Problems durch unterschiedliche Renderingverfahren. Das linke Bild zeigt eine Selektion des Autos, das rechte eine Selektion der Ente, (aus Halper u. a., 2003)



Abbildung 4.7.: Visualisierung von Bauteilgruppen im ARVIKA Projekt durch nicht-photorealistisches Rendering.

Selektionsaufgaben (s. Abschnitt 5.1.1) können durch NPR unterstützt werden. Abbildung 4.6 zeigt, wie durch unterschiedliche NPR Stile die Aufmerksamkeit gelenkt werden kann. Durch einen Cartoon-ähnlichen Renderstil konnte das Figur-Grund-Problem eindeutig gelöst werden. Übertragen auf AR Anwendungen könnte so z.B. das jeweils „aktive“ Objekt visuell hervorgehoben werden. Fischer u. a. (2002) zeigen ein Verfahren, das bewußt gegen das Paradigma der Photorealität in AR verstößt und NPR und AR mit den oben genannten Techniken verbindet.

Auch Luft und Deussen (2006) beschreiben die Vorteile eines solchen Renderings:

Die Ausgangsdaten werden abstrahiert und auf wesentliche Informationen konzentriert, wodurch sich eine vereinfachte und klare Darstellungsform der Daten ermöglicht und gleichzeitig Informationen selektiv hervorgehoben werden können.

Auch in Systemen, die für den produktiven Einsatz entwickelt wurden, wie dem ARVIKA Projekt, werden für den Kontext wichtige Bauelemente nicht photorealistisch, sondern bewußt abstrakt als nicht texturiertes VRML Modell eingeblendet (s. Abbildung 4.7). Dies hat zum einen technische Gründe, die in der beschränkten Fähigkeit der Hardware liegen, aber auch in der erhöhten Wahrnehmbarkeit und der besseren Unterscheidung zwischen Realität und virtuellen Inhalten (s. Friedrich, 2004).

4.4. Darstellung von Interaktionskomponenten

Gerne werden Benutzungsschnittstellen oder Interaktionstechniken für AR als *3-D User Interfaces* bezeichnet. Dies ist aber bei genauerer Betrachtung nur bedingt richtig. Tabelle 4.1 zeigt die verschiedenen Kombinationen von zwei- und dreidimensionalen Inhalten

und Darstellungsmedien und den daraus resultierenden Interaktionskonzepten. Auch zeigen industrielle Forschungsprojekte, wie z.B. das ARVIKA Projekt, dass die dargestellten Interaktionskomponenten nicht zwangsläufig dreidimensional sein müssen, dort wurden z.B. die gesamte Benutzungsschnittstelle streng zweidimensional gestaltet und auch so dargestellt. Das PIP/PEN Prinzip hingegen versucht zweidimensionale Inhalte, in Form von 2-D-Standardwidgets, wie Buttons und Schieberegler in einer dreidimensionalen Darstellung und Interaktion zu realisieren. Der Ansatz des „Virtual Cockpits“ (s. Terbu, 2004) wiederum visualisiert alle Bedienelemente streng dreidimensional, arrangiert aber die Elemente, ähnlich wie beim ARVIKA Projekt, zweidimensional auf einer parallel zur Bildebene aufgespannten Interaktionsebene.

4.4.1. Weltfixierte vs. bildschirmfixiert Darstellung

Zusätzlich zur der in Tabelle 4.1 angesprochen Unterscheidung bzgl. der Dimensionalität, kann die Position der jeweiligen Visualisierung von Bedeutung sein. Grob kann unterschieden werden zwischen einer *weltfixierten*, *objektfixierten*, *kopffixierten*, *körperfixierten* oder *gerätefixierten* Darstellung (vgl. Feiner u. a., 1993; Bowman u. a., 2004, als Ergänzung). Für die folgende Betrachtung sollen nur einige der Positionieren betrachtet werden.

Weltfixierte Darstellung Unter einer weltfixierten Darstellung versteht man die Positionierung an einer fixen Punkt in der Welt. Eingesetzt werden diese Verfahren z.B. für Textannotationen, Hinweisschilder, Wegweisersysteme oder globale Landmarken. Einige Repräsentanten dieser Art der Positionierung werden in Abschnitt 5.2 gezeigt. Interaktionselemente für die direkte Objektmanipulation oder für die Systemkontrolle werden selten, bis nie in einer Weltfixierten Darstellung eingesetzt.

Körperfixierte Darstellung Häufigster Anwendungsfall für diese Art der Darstellung sind wohl Menüsysteme (s. Abschnitt 5.3.2), die in die Hand des Benutzers eingeblendet werden oder auch Selektions- und Manipulationstechniken, die ihre virtuelle Repräsentanten in die Hand des Benutzers projizieren (z.B. virtuelle Hand Techniken, Abschnitt 5.1.1). Vorteile dieser Art der Darstellung sind eine mögliche Ausnutzung der Propriozeption des Menschen, also der Eigenwahrnehmung des Körpers. Diese Art der Interaktion wird in Kapitel 5 vorgestellt.

Objektfixierte Darstellung Im Gegensatz zur weltfixierten Darstellung werden bei der objektfixierten Darstellung Gegenstände der realen Welt als Referenzpunkte ausgewählt. Objekte der Welt können zum einen bestimmt Marker sein, auf die Benutzungselemente eingeblendet werden, was der häufigste Anwendungsfall für Tangible UI (s. Abschnitt 3.2) darstellt. Ein prototypischer Vertreter für diese Klasse ist die PIP/PEN (s. Szalavari, 1999), wie sie auch ausführlich in Abschnitt 5.3.2 beschrieben wird.

Bildschirmfixierte Darstellung Die bildschirmfixierte Darstellung ist eine sehr gebräuchliche Art der Positionierung von Interaktionsobjekten, bei der die Elemente zweidimensional parallel zur Bildebene angeordnet werden.

Das ARVIKA Projekt setzte auf ein konsequent zweidimensionale bildschirmfixierte Benutzungsoberfläche, die allerdings sowohl in einem HMD, als auch auf einem Tablett-PC dargestellt werden konnte. Mit Hilfe des Styleguides für AR-Systeme, der im Rahmen des Projektes entwickelt wurde (s. Abschnitt 6.1) wurden die beiden Systeme trotz der unterschiedlichen Interaktions- und Ausgabegeräte recht homogen gestaltet. Im Rahmen dieser sehr arbeitswissenschaftlich getriebenen Arbeit wurden *ästhetische Aspekte* (s. Eibl (2005) und Abschnitt 4.6) weitestgehend nicht berücksichtigt (s. Abbildung 6.1).

Das *Virtual Cockpit*, vorgestellt von Terbu (2004), wurde als Weiterentwicklung für den PIP Ansatz der Studierstube entwickelt. Als größter Nachteil des PIP/PEN Ansatzes wird die benötigte Kalibrierung identifiziert. Dies ist keine Kritik am eigentlichen Ansatz, sondern nur eine Beobachtung der technischen Beschränkungen. Als Folge dessen wurde ein Ansatz entwickelt, der auch mit schlecht kalibrierten Systemen funktionieren sollte. Das Virtual Cockpit setzt hierbei auf drei prinzipielle Designprinzipien, *Menüs*, *größenadaptive Widgets* und *Blickfixierte, ausblendbare Inhalte*. Fälschlicherweise wird das Virtual Cockpit als 3-D-User-Interface charakterisiert, obwohl alle Elemente strikt zweidimensional angeordnet sind, nicht einmal eine Überlappung der einzelnen Elemente, im Stile der 2½-D Oberflächen von Desktopsystemen möglich ist. Sehr wohl sind die einzelnen Interfaceelemente/Widgets dreidimensional visualisiert, doch fehlt der Oberfläche selbst die dritte Dimension. Die einzelnen Widgets werden durch eine Scrollmaus, ähnlich dem Drehdrückregler (ARVIKA, s. Anhang A), selektiert und manipuliert. Sobald der Fokus auf einem einzelnen Widget liegt, werden alle anderen Elemente ausgeblendet, so dass die Szene nicht unnötig mit z.Z. nicht benötigten Elementen verdeckt wird.

Das *AR-Telescope*¹ ist eine kommerzielle Lösung, die ebenfalls mit einer reiner 2-D Visualisierung, wie auch 2-D Interaktion arbeitet. Die einzelnen Interaktions- und Informationselemente werden als unterscheidbare Ebene zur Wirklichkeit in einer Kombination aus Billboard- und Comicvisualisierung realisiert. Der Benutzer steuert ein Fernrohr, das an einem festen Punkt in der Welt fixiert ist. Das Fernrohr selbst besitzt ein Fadenkreuz, das über bestimmte Punkte bewegt werden kann, zusätzlich besitzt das Fernrohr noch einen optionalen Knopf über den diskrete Eingabesignale abgegriffen werden können.

Neben den oben erwähnten Varianten existieren natürlich diverse Mischformen, wie z.B. auch im ARVIKA oder MARS Projekt Höllerer u. a. (1999). Diese Form der Interfaces wird manchmal auch *Hybride Interfaces* genannt (s. Abschnitt 3.5.2).

4.4.2. Visualisierung von Feedback

Wie in Abschnitt 5.1.1 beschrieben setzt sich die Selektion eines Objektes als drei Schritten zusammen, wobei die Rückmeldung über die erfolgreiche oder fehlgeschlagene Selektion der dritte und letzte Schritt in diesem Prozess ist. Neben speziellen Formen, wie dem haptischen Feedback oder dem Einsatz eines Audiosignals wird hier häufig mit einer visuellen Rückmeldung gearbeitet.

Hierbei fällt auf, dass sehr unterschiedliche Arten der visuellen Rückmeldung existieren. Mögliche Techniken können z.B. sein die Farbe des Objektes durch eine Schwarz-Weisse

¹<http://www.xc-01.de/>

Darstellung zu ersetzen. Andere Systeme arbeiten mit der Komplementärfarbe, Schärfe- bzw. Unschärfefeffekten, Rahmen, künstlichen Hintergründen, Helligkeitsveränderungen usw.

Tenmoku u. a. (2005) beschäftigen sich mit der Frage, wie ein Auswahlprozess visualisiert werden kann. Zwei unterschiedliche Verfahren wurden angewandt: Objekt Highlights und verdeckte Objekte durch das Komplementärbild darstellen. So soll gerade auch bei Bildannotationen die Beziehung zwischen Selektion und Annotation klargemacht werden. Die Annotationen selber sind durch ein View-Management-System verwaltet, das dafür sorgt, dass Annotationen sich nicht gegenseitig verdecken und dass eine visuelle Verbindung zwischen Objekt und Annotation hergestellt werden kann. Leider mangelt es dieser Arbeit an einer anschließenden Evaluation der beiden Verfahren.

Bisher sind keine genaueren Untersuchungen bzgl. der Evaluation verschiedener Feedbackvarianten bekannt.

4.5. Metaphern vs. visuelle Formalismen - Realität vs. Abstraktheit

Mixed-Reality Systeme sind laut Herczeg (2006, S. 90ff) den direkt manipulativen und metaphorischen Systemen zuzuordnen, deren Grundkonzepte sich laut Shneiderman und Plaisant (2005, S. 234) auf die drei Punkte *ständige Visualisierung*, *physische Aktion* und *schnelle, inkrementelle Aktionen* zusammenfassen lassen.

Gerade in Bezug auf Tangible User Interfaces (s. Abschnitt 3.2) mag dies korrekt sein - Doch wird die Existenz von abstrakten Komponenten außer acht gelassen. Unter Abstraktheit sind hier Lösungen in Form von visuellen Formalismen gemeint, wie sie z.B. in Schaer und Heuser (2006, S. 12ff) beschrieben werden. Die Formale Unterscheidung von Metaphern und visuellen Formalismen wird in der aktuellen Literatur nicht beachtet, vielmehr werden nahezu alle Lösungen als „metaphorisch“ beschrieben. So wird z.B. in Dachsel (2004, S. 52) der Begriff der Raummetapher verwendet um die Verbindung zu Action Spaces zu schaffen. Action Spaces sind räumlich angeordnete Funktionswidgets. So kann z.B. mit Hilfe der „Hebebühnen-Metapher“ vom reinen Betrachtungsmodus in den Funktionsmodus „gefahren“ werden. Die Widgets befinden sich also räumlich getrennt an einem anderen Ort. Widgetraum und Interaktionsraum sind getrennt. Krause (1996, S. 19) sieht hierin allerdings keine Metapher, sondern vielmehr die Ausnutzung kognitiver Grundfähigkeiten des Menschen und nicht zwangsläufig eine metaphorische Lösung.

Mag das obige Beispiel zwar als Streit um Worte abgetan werden, so zeigt es doch das die Begrifflichkeit des visuellen Formalismus bisher nicht in den Mixed-Reality Bereich vorgedrungen ist. Vielmehr wird der Begriff der Metapher freizügig, bzw. undifferenziert genutzt. Nahezu alle Lösungen werden als metaphorisch bezeichnet. Dies mag rein pragmatisch gesehen keinen Unterschied machen, da letztlich in der Anwendung entschieden werden muss, was eine bessere Handhabbarkeit und bessere Erlernbarkeit ermöglicht, sei es nur der Einsatz von von Photorealismus, visuell-graphischen Abstraktionen oder metaphorischen Lösungen. Von einem theoretisch geleiteten Gestaltungspunkt aus macht die Unterscheidung allerdings durchaus Sinn, da visueller Formalismus und Metapher kognitiv anders auf den Menschen wirken und somit eine gezieltere Anwendungsentwicklung

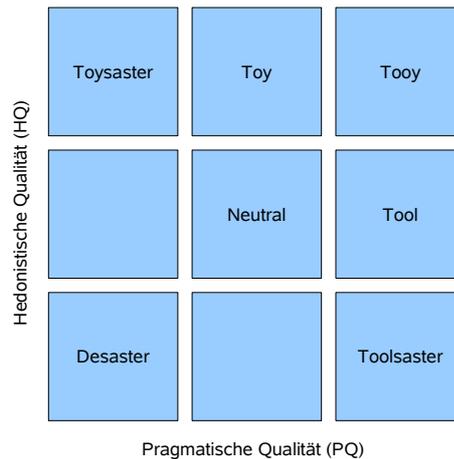


Abbildung 4.8.: Grafische Darstellung der Ergebnisse des AttrakDiff Fragebogens

möglich ist (Schaer und Heuser, 2006; Nardi und Zарmer, 1993; Krause, 1996).

4.6. Ästhetik und emotive Faktoren

Fragen der Ästhetik und der emotiven Faktoren spielen in der Software-Ergonomie traditionell keine übergeordnete Rolle. Obwohl z.B. die ISO 9241-11 als Maß für die Gebrauchstauglichkeit auch die Zufriedenstellung des Nutzers einbezieht, steht sie doch in der üblichen Entwicklungsarbeit neben den beiden anderen Kriterien Effektivität und Effizienz zurück.

So bricht z.B. Norman (2004) eine Lanze für die Zusammenführung von Ästhetik und Ergonomie, wenn er sagt, dass:

To be truly beautiful, wondrous, and pleasurable, the product has to fulfill a useful function, work well, and be usable and understandable.

Auch Eibl (2005, S. 159) spricht sich vehement für eine Annäherung aus. Die Diskussion ob die Ästhetik ein Teilgebiet der Ergonomie oder die Ergonomie ein Teilgebiet der Ästhetik sei, müsse beendet werden und die Erkenntnis reifen, dass die Trennung der beiden Disziplinen eine künstliche sei und beendet werden müsse.

Im AR Kontext wurden bisher nur zaghafte Versuche unternommen Ästhetik oder ganz allgemein hedonistische Aspekte in den Gestaltungsprozess mit aufzunehmen. Krauss und Quaet-Faslem (2004, S. 92) beschreiben den Evaluationsprozess der AR-Realisierungen im ARVIKA Projekt. Hierbei wird u.a. der Fragebogen AttrakDiff von Hassenzahl u. a. (2003) eingesetzt, der neben der Pragmatischen Qualität (ein Maß für die reine Gebrauchstauglichkeit, Effektivität und Effizienz) auch die Hedonistische Qualität (die eher spielerisch-unterhaltenden Aspekte des Systems) erfasst. Aufgetragen in ein zweidimensionales Koordinatensystem ergibt sich eine grafische Darstellung der Fragebogenergebnisse wie in Abbildung 4.8. Der ARVIKA Prototyp 2 wurde übrigens als Toy eingeordnet.

4.7. Objektorientierung

Das Prinzip der Objektorientierung, so wie es die Software-Ergonomie versteht, hat beim ersten Verständnis nicht viel mit der Objektorientierung der Softwareentwicklung gemeinsam. So wird hier z.B. von starker und schwacher Auslegung der Objektorientierung gesprochen, die so in der Softwareentwicklung nicht vorkommt. Krause (1995) beschreibt die Objektorientierung in der Gestaltung von Benutzungsoberflächen auch als ein „zugkräftiges Schlagwort...“, ohne das klar wäre, was Objektorientiertheit von Benutzungsoberflächen eigentlich bedeutet.“

4.7.1. Der Objekt-Begriff

Der klassische Ansatz der Objektorientierung im Programmwurf und in der Programmierung zielt darauf ab, Probleme und den daraus resultierenden Quellcode zu strukturieren und ggf. wiederzuverwerten. In der Software-Ergonomie steht vielmehr die Wiederverwertung von Anwenderwissen im Zentrum des Interesses. Dies bedeutet, dass die Objekte, mit denen der Benutzer interagiert, einer klaren Logik folgen und ein konsistentes Verhalten der Benutzungsoberfläche garantieren.

Dieser klare Unterschied zeigt sich auch dadurch, dass für Programmierer primär wichtig ist, was ein Objekt ist und welche Daten und Funktionalitäten es beinhaltet. Laut Eibl (2003a, S. 211) muss aus Sicht des Software-Ergonomen vielmehr geklärt werden, was der Benutzer unter einem Objekt versteht. Programmierer entwickeln Objekt-Modelle vor dem Hintergrund der späteren Wartbarkeit und der Weiterverwendung der entstehenden Klassen. Für die Entwicklung von Benutzungsoberflächen ist der große Vorteil der Objektorientierung der, dass Menschen ganz natürlich mit Hierarchien und Klassen arbeiten. Um die Welt um sich herum zu verstehen bilden Menschen mentale Modelle ihrer Umwelt, die ganz deutlich vom Objektgedanken getrieben werden (Krause, 2006, S. 5). Die Objektorientiertheit ist also eine normale menschliche kognitive Strategie.

Quibeldey-Cirkel (1994, S. 150) unterstützt diese Position, indem er sagt, dass „Die Lern disposition für objektorientierte Konzepte ... durch die natürliche Sprachfähigkeit mitgegeben.“ würde. Dies bedeutet, dass z.B. die besagten Hierarchienbildungen mit Datenabstraktion und Vererbungsprinzipien zusammenfallen. Das Prinzip des Überladens entspricht Wortanalogien und Polymorphie ist nichts anderes als sprachliche Mehrdeutigkeit. Er fasst weiterhin zusammen:

Die ureigenen Denk- und Verhaltensweisen des Menschen orientieren sich am Objekt. Um in der täglichen Auseinandersetzung mit einer komplexen Welt zu bestehen, abstrahieren wir vom Unwesentlichen, klassifizieren das Wesentliche und leiten neue Eigenschaften aus alten ab. Intuition kann nicht gelehrt werden. Sie entspringt dem unreflektierten Fundus an Wissen und Erfahrung. Intuition kann auch nicht exakt begründet werden... Intuition lässt sich aber plausibel machen.

Hierzu führt er drei Faktoren an, die die intuitive Akzeptanz bewirken: Integrative, kognitive und ontologische Faktoren. Diese einzelnen Faktoren macht sich die Software-

Ergonomie zu Nutzen, um effizientere und selbsterklärendere Schnittstellen zu entwerfen. Dies wird dadurch ermöglicht, dass der Benutzer nicht gezwungen wird seine gewohnte Sicht auf die Welt abzulegen und alleine auf die Strukturen der Software zu beschränken.

4.7.2. Vom Objekt-Funktions-Schema zur Werkzeugmetapher

Problematisch im Zusammenhang mit Objektorientierung ist allerdings der Aufruf von Methoden, die in der objektorientierten Programmierung fest an ein Objekt gebunden sind und durch Nachrichten parametrisiert aufgerufen werden können.

Ein verbreiteter Ansatz zur Interpretation von Objektorientierung ist die sogenannte *schwache* Auslegung der Objektorientierung, das *Objekt-Funktions-Schema*. Ein Objekt wird hierbei in einem ersten Schritt markiert und in einem zweiten Schritt, z.B. durch ein Kontextmenü, eine dem Objekt innewohnende Funktion aufgerufen (Löschen, Kopieren, etc.). Um der Vielzahl der möglichen Funktionen in einer typischen Anwendung Herr zu werden, setzt man Menüs, Tastaturkürzel und ähnliches ein.

Einen anderen Ansatz verfolgt die sogenannte *starke* Auslegung der Objektorientierung. Hierbei werden Objekte auf andere Objekte angewendet, wobei eines der beiden Objekte ein sogenanntes Funktionsobjekt ist, man spricht auch vom *Objekt-Objekt-Schema*. Auf Desktopsystemen wird dieses Verfahren allgemein mit direktmanipulativen Drag-and-Drop Mechanismen realisiert. Ein sehr eingängiges Beispiel für dieses Verfahren ist der Papierkorb in Desktopsystemen. Ein Objekt wird gelöscht, in dem es in den Papierkorb gezogen wird. Problematisch wird dieses Verfahren, wenn es sich nicht mehr mit Analogien aus der wirklichen Welt abdecken lässt, die Funktionalitäten also zu komplex werden.

Problematisch sind beim reinen Objekt-Objekt-Schema auch die prinzipiell nur einfunktionalen Werkzeuge. Möchte man nun Menüstrukturen durch den Einsatz von Funktionsobjekten ersetzen, so müssten potentiell viele unterschiedliche Funktionsobjekte zur Verfügung gestellt werden. Für das Beispiel einer Textanwendung würde das bedeuten, dass das Menü zur Auswahl der Schriftarten z.B. durch einen Stift ersetzt werden könnte. Jede Schriftart bräuchte aber bei einfunktionaler Funktionsweise einen eigenen Stift. Wie Krause (2006) eingängig beschreibt, würde auch niemand von einer Waschmaschine erwarten, nur ein Woll-Schon-Programm zu beherrschen. Vielmehr wird mit Hilfe von Knöpfen und Drehrädern eine bestimmte Konfiguration eingestellt.

Weiterhin bereitet die Unterscheidung in Funktions- und Datenobjekte Probleme. Wenn man davon ausgeht, dass ein passives auf ein aktives Objekt angewendet wird, ergeben sich Probleme bei der Deutung der Zugehörigkeit von Objekten. Wenn ein Dokument auf einen Papierkorb gezogen wird ist klar, dass das Dokument passiv (wird gelöscht) ist und der Papierkorb aktiv (löscht). Was passiert wenn der Papierkorb auf das Dokument gezogen wird? In diesem Fall ist die Reihenfolge passiv, aktiv aufgebrochen und die Bedeutung nicht mehr klar. Das Stift-Beispiel hat ebenfalls das Problem der Unterscheidung in passives und aktives Objekt. Wenn man von der Vorlage aus der realen Welt ausgeht, sollte der Stift zum Text gezogen werden, obwohl der Stift das aktive Funktionsobjekt ist und folglich der Text zum Stift gezogen werden müsste.

Es lässt sich also festhalten, dass sowohl das Objekt-Funktions-Schema als auch das Objekt-Objekt-Schema in ihrer ursprünglichen Form keine zufriedenstellende Lösungen

darstellen (s. Stempfhuber, 2002).

Um die Schwächen des Objekt-Funktions-Schemas, als auch des Objekt-Objekt-Schemas zu beseitigen schlägt Krause (1995) daher die Einführung der Werkzeugmetapher vor, die sich am Einsatz von Werkzeugen in der wirklichen Welt orientiert. In der Werkzeugmetapher werden Handlungen Werkzeugen zugeordnet und z.B. durch Ikonen repräsentiert, die diese Handlungen ausführen. „Diese Werkzeuge lassen sich wie die meisten technischen Geräte in unserer Umwelt auf spezifische Gegebenheiten einstellen, was einer Parametrisierung (...) entspricht (...).“ (Krause, 1995, S. 62). Mit Hilfe der Parametrisierbarkeit wird die Einschränkung von einer Funktion pro Werkzeugobjekt aufgehoben und es wird vom System eine Interpretationsrichtung zwischen zwei Objekten vorgegeben, um Missverständnisse, wie im reinen Objekt-Objekt-Ansatz, zu vermeiden.

4.7.3. Objektorientierung und Erweiterten Realitäten

Vergleicht man die Konzepte der Objektorientierung und die der Tangible User Interfaces, so sieht man schnell, dass sich einige essentielle Bestandteile überlappen.

Tangible User Interfaces sind durch ihre Fixierung auf die reale Welt und durch den Einsatz von physischen Werkzeugen als ein objektorientiertes Benutzungskonzept zu verstehen. Das am häufigsten eingesetzte Prinzip ist hierbei das Objekt-Objekt-Schema, also der Einsatz von einfunktionalen Werkzeugen. Anstatt allerdings Ikonen mit der Maus aufeinanderzuschieben, werden die Objekte direktmanipulativ aufeinander angewendet. Mit der Einführung der TUI kann im Grunde zum ersten Mal von wirklichen direktmanipulativen Konzepten im Sinne von Shneiderman (1983) die Rede sein: Direkte Manipulation mit der Hand an den Objekten, auf die sich die Aktion beziehen soll, ein direktes Mapping (s. Norman, 1988) ohne störendes, weil nötiges Umdenken.

Das Prinzip der direkten Manipulation ist, wie schon beschrieben (s. Abschnitt 4.5 und 3.2.2), in beiden Modellen vertreten und besitzt eine erhebliche Relevanz. Die ISO9241-16 definiert die direkte Manipulation wie folgt:

Direct Manipulation dialogues allow users to perform all available operations by acting on displayed „objects“ in ways analogous to physical entities. Such objects are typical concrete, often graphical representations of abstract software structures or capabilities [...]

Umsetzung dieser Verbindung von abstrakten Softwarestrukturen und den konkreten Objekten könnte die Werkzeugmetapher sein. Das Werkzeug fungiert hier als Bindeglied. Wichtig ist der Hinweis auf die analoge Behandlung von virtuellen und physischen „Objekten“. Gerade dies ist ein Kernpunkt der Tangible User Interfaces, auch wenn hier nicht auf einer metaphorischen Ebene, sondern von einer tatsächlichen Analogie ausgegangen wird. Beide arbeiten mit dem Grundsatz, dass Ausgabe und Eingabe möglichst nah beieinander liegen. Ahlberg und Shneiderman (1994) bezeichnen dies als „output-is-input“.

Der Zusammenhang von Objektorientierung und direkter Manipulation wird vielleicht bei Pflüger (2005) am klarsten:

Mit den Konzepten der direkten Manipulation wollten man die Nutzer von unnötigen Fesseln der Maschine befreien und alle Aktionen im Kontext der zu

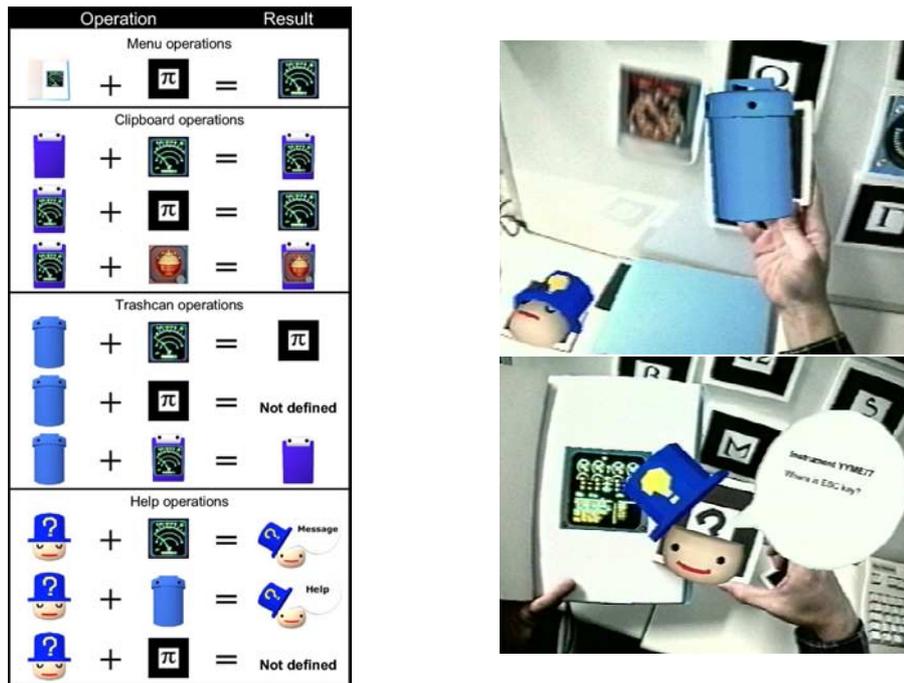


Abbildung 4.9.: Tiles von Poupyrev u. a. (2001)

bewältigenden Aufgabe zulassen. Die Maschine stellt im Interface einen Satz von Bausteinen bereit, mit denen der User kreativ etwas zusammenbauen kann. Die mit dem Manipulationsinterface zusammen auftretende Technik der Objektorientierung bindet Funktionalität an konkrete Objekte, und man hofft, so den Raum der möglichen Aktionen durch den Arbeitsgegenstand kontextualisieren zu können. Durch Interface-Elemente wie Menüs und Listen kann das Gedächtnis entlastet und die Qual der Wahl reduziert werden („knowledge in the world“ statt „knowledge in the head“) [...]

Objektorientierung und direktmanipulative Elemente sind also in beiden Ansätzen vorhanden. Ist die Objektorientierung also als gemeinsamer Nenner zu betrachten? Vieles spricht für diesen Ansatz. Objektorientierung besteht aus drei Teilbereichen: *Abstraktion*, *Teilen* und *Kommunikation*. Gerade der Prozeß der Abstraktion ist wohl der Ausschlaggebende für die Betrachtung von Benutzungskonzepten. Wie Quibeldey-Cirkel (1994) beschreibt, ist Abstraktion „(...) unsere geistige Fähigkeit, die Komplexität der Objekte in der Welt zu beherrschen.“. Dies erlaubt durch einfache Regeln und Konzepte, unendlich viele individuelle Phänomene zu erfassen. Ein sehr einfaches Beispiel einer solchen Umsetzung in ein Tangible User Interface und eine Werkzeuglogik ist auf Abbildung 4.9 zu sehen. Obwohl, nur drei Klassen von einfunktionalen Werkzeugen in diesem Beispiel existieren, ist doch schon eine beachtliche Funktionalität verfügbar. Durch die beschriebene Werkzeugstruktur erhält diese Schnittstelle eine innere Logik, auf die der Benutzer zurückgreifen kann, die es ihm ermöglicht ein *mentales Modell* der Anwendung zu bilden.

4.8. Ausblick

Die unterschiedlichen Ausprägungen der Visualisierung stehen im Gegensatz zu den in den 1990er Jahren stark vertretenen Meinung, dass sowohl Visualisierung, als auch Interaktion im Allgemeinen dem Paradigma der Photorealität, bzw. der 1:1 Simulation der Realität zu folgen hätte.

„... gilt es immer wieder, die technischen Möglichkeiten für den Dialog mit dem Computer zu verbessern, also eine nutzergerechte Arbeitsumgebung zu schaffen. Nutzergerechte Arbeitsumgebung heißt letzten Endes, dass der Mensch sich in der virtuellen Welt in der gleichen Weise fortbewegen möchte, wie in der realen Welt.“

Dieses Zitat von Schipanski (1997) steht im Gegensatz zum alltäglichen Einsatz von Menüs, Fenstertechniken, usw. in Virtuellen und Erweiterten Realitäten. (Dachselt, 2004, S. 54) merkt hierzu an:

Von mehreren Forschern wurde der Aspekt der Nachbildung von Realität für erfolgreiche VR-Anwendungen in den 90er Jahren überbetont. Dabei machen mehrere Jahrhunderte der Kunstausbildung und der Gestaltung von Landkarten oder anatomischen Atlanten deutlich, daß z.B. 2-D-Grafiken und nicht-photorealistische Darstellungen wichtige Vereinfachungen, Abstraktionen und für Betrachter verständlichere Abbildungen der Realität erlauben.

Ferner heisst es dort:

Statt die Realität zu kopieren, ist es also wichtig, die besonderen Möglichkeiten interaktiver 3-D-Grafik kreativ zu nutzen. So sprachen sich u.a. Shneiderman ... und Pierce ... gegen die Schaffung glaubwürdiger Realität aus und für Abstraktionen, Nicht-Linearitäten und „something better than reality“.

Tatsächlich sprechen sich Shneiderman (2003) und Pierce (2001) für den Einsatz von Techniken aus, die in der Realität nicht existieren, wie z.B. Transparenzen, hyperbolische oder perspektivische Verzerrungen und viele weitere Möglichkeiten der Informationsanreicherung, die gerade die AR bieten kann. Pierce weist weiterhin darauf hin, dass bekannte Vorstellungen nicht eins-zu-eins nachgebildet werden sollten und auch mit tradierten Vorstellungen gebrochen werden kann.

Dies führt in die Diskussion um die Frage wie sie z.B. von Shneiderman (2003) gestellt wird:

Why Not Make Interfaces Better than 3D Reality?

5. Grundlegende Interaktionsaufgaben und -techniken

Bowman u. a. (2004) beschreiben drei universelle Interaktionsaufgaben in 3-D User Interfaces. Obwohl diese Aufgaben massgeblich aus dem Forschungsgebiet der VR stammen, sind sie doch so universell, dass sie auch als Grundlage für AR Anwendungen gelten können (s. Broll u. a., 2004). Diese Interaktionsaufgaben sind *Navigation*, *Selektion* und *Manipulation* und *Systemkontrolle*. In einigen Fällen wird noch die *Zeicheneingabe* als vierte Aufgabe klassifiziert. Dies ist in unseren Augen allerdings eine zu spezielle Teilaufgabe und zu sehr von den verwendeten Interaktionswerkzeugen, nicht aber von den Konzepten beeinflusst, so dass wir dieses Teilgebiet hier nicht ausführlich behandeln wollen.

Der Bereich der Navigation wird in zwei weitere Unteraufgaben unterteilt, nämlich *Wegfindung* und *Bewegung*. Wegfindung beschreibt den kognitiven Teil der Navigation, mit Positionsänderung ist der (physische, wie virtuelle) Akt der (Fort-) Bewegung gemeint. Gerade diese Aufgabe stellt in Virtuellen Realitäten ein nicht triviales Problem dar, da in vollimmersiven VR Anwendungen (z.B. einer CAVE), der Benutzer in seiner Bewegungsfreiheit stark eingeschränkt ist. Eine Cave ist meist nicht größer als 2,5 x 2 Meter. Spezielle Techniken werden verwendet, um diese räumlichen Beschränkungen zu umgehen, z.B. eine omnidirektionale Tretmühle (s. Darken u. a., 1997). Solche Hilfsmittel sind in AR Anwendungen für gewöhnlich nicht nötig, da der Benutzer durch den Einsatz von mobilen Ein- und Ausgabegeräten nicht an einen festen Ort gebunden ist und somit jederzeit seine Position verändern kann. Ein weiterer Punkt ist die Frage der Veränderung der Blickrichtung, bzw. die Veränderung des Viewports. Der Viewport lässt sich meist einfach durch die entsprechende Bewegung des Kopfes ändern, ohne weitere Werkzeuge oder Interfaces. So kann man die Bewegung nur als passive Aufgabe in AR begreifen, da eine aktive Beeinflussung des Viewports durch das System nicht möglich ist. Allerdings kann durch geeignete Maßnahmen Einfluss auf den Blickfokus genommen werden.

Mit Selektion wird die Aufgabe beschrieben, aus einer Menge von Objekte ein oder mehrere Objekte auszuwählen. Objekte müssen dabei keine realen oder augmentierten Objekte sein, sondern auch abstrakte Elemente der Benutzerschnittstelle (z.B. Textelemente, Zeichnungen etc.). Selektion wird häufig im Zusammenhang mit Manipulation betrachtet. Manipulation beschreibt eine Änderung von Objekteigenschaften wie Position, Orientierung etc.

Die dritte und letzte Aufgabe wird als Systemkontrolle bezeichnet. Sie beschreibt das Ändern von internen Systemstadien oder den Modus der Interaktion.

Alle drei Aufgaben sind in einer Anwendung der Virtuellen und Erweiterten Realität als Einheit anzusehen. Keine Anwendung kommt mit nur einer dieser Aufgaben aus, sondern vielmehr bedingen sich die Aufgaben gegenseitig. Meist sind die Übergänge zwischen die-

Direkte Objektinteraktion	
Selektion	
	Direkte Selektion
	Okklusionsselektion
	Distanzselektion
Manipulation	
	Direkte Manipulation
	Pointer
	Manipulation am Repräsentanten
Navigation	
Wegfindung	
	Karten
	Markierungen in der Welt
Bewegung	
	Steuerung des Blickfokus
Visualisierung	
	Textdarstellung
	Visualisierung der Umwelt
	Interaktionskomponentenvisualisierung
	Wissenschaftliche Visualisierung
Systemkontrolle	
Zustandsänderung / Diskrete Wertegeber	
	Aktivierung
	Zwei Zustände
	Multiple Zustände
Kontinuierliche Wertegeber	
	Skalare Werte
	Multiple Werte
Menüselektion	
	Temporäre Optionsmenüs
	Einzelmenüs
	Menühierarchien
Sonstige Kontrolle	
	Farbwähler
	Container
	Texteingabe

Abbildung 5.1.: Überblick über die Klassifikation der Interaktionsaufgaben- und -techniken (basierend auf Dachsett, 2004)

sen Aufgaben fließend, so dass sich nicht klar sagen lässt, ob eine Handlung nun ausschließlich nur aus Selektion und Manipulation oder doch bestimmt Elemente der Systemkontrolle enthält. Die hier dargestellte Aufteilung ist also mehr theoretisch, als praktisch motiviert, wie bereits eingangs in Kapitel 1 erwähnt.

Manche Autoren bezeichnen die Eingabe von Zeichen oder auch symbolischene Eingaben als weitere grundlegende Aufgabe. Obwohl die Eingabe von Zeichen ein zentrales Element vieler Anwendungen ist, so ist die doch letztendlich meist geräteabhängig. Wie schon bereits erwähnt, soll der Fokus dieser Arbeit allerdings nicht auf der Beschreibung von Interaktionsgeräten liegen. Einen Überblick über vorhandene Techniken gibt (Bowman u. a., 2004, Kapitel 6)

Allgemein kann man sagen, dass viele Lösungen aus dem Gebiet der VR in die AR übernommen werden können, bzw. übernommen wurden. Das dies aber nicht immer die beste Lösung darstellt und sich durch die Einbeziehung der realen Umgebung in das System ganz neue Möglichkeiten ergeben, dies soll in den folgenden Kapitel betrachtet werden.

Abbildung 5.1 zeigt die beschriebene grobe Einteilung. Die einzelnen Widgets und konkreten technischen Lösungen wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die jeweiligen Unterkapitel aufgeteilt. Die hier gewählte Darstellung geht zurück auf Dachzelt (2004) und Bowman u. a. (2004) und wurde um eigene Unterkategorien und -punkte erweitert um sie für Augmented Reality anzupassen. Dem Unterpunkte Visualisierung wurde ein eigenes Unterkapitel gewidmet (s. Kapitel 4).

5.1. Direkte Objektmanipulation

Selektion und Manipulation stehen in engem Zusammenhang mit den gewählten Eingabewerkzeugen, wie sie in Anhang A vorgestellt werden. Im folgenden Abschnitt sollen nun einige spezielle Selektions- und Manipulationmethoden der Augmented Reality vorgestellt werden.

5.1.1. Selektion

Selektion beliebiger Objekte im Raum (virtuell oder real) stellt eine grundlegene Aufgabe für die Manipulation und Interaktion mit einer AR Anwendung dar. Klassische WIMP, bzw. Desktop-VR Anwendungen arbeiten meistens mit dem „Point-and-Click“ Verfahren, es wird also mittels der Maus eine 2-D-Koordinate ausgewählt, die ggf. bei VR Anwendungen noch mittels Strahlenprojekten in 3-D-Koordinaten umgewandelt wird. Allgemein lässt sich festhalten, dass sich eine Selektion aus drei Schritten zusammensetzt: *Andeutung des Objekts*, *Bestätigung der Auswahl* und eine *Rückmeldung über die Selektion*. Weitere Unteraufgaben zeigt Abbildung 5.4.

Direkte Selektion

Als Weiterentwicklung des „Point-and-Click“ Prinzips, bzw. zweidimensionaler Cursor können die Verfahren der Direkten Selektion angesehen werden. Neben den besagten 2-D-Cursorn (z.B. Fadenkreuze) kommen hier dreidimensionale Cursor bzw. eine virtuelle Hand zum

Einsatz. Üblicherweise werden diese Cursor mit einem Eingabegerät gesteuert, die drei oder sechs Freiheitsgrade besitzen. Der Umgang mit diesen Eingabegeräten gestaltet sich allerdings häufig schwer, so dass sich für die AR bestimmte Sonderformen entwickelt haben.

Woods u. a. (2003) stellten ein Verfahren vor, dass es ermöglichen sollte, sowohl in zwei- als auch in dreidimensionalen Räumen zu interagieren und einen Cursor zu steuern. Das Magic-Mouse System verwendet das ARToolkit und arbeitet daher mit einem Marker, der an der Hand des Benutzers angebracht ist. Die Translation und die Rotation um die x -, y - und z -Achsen werden durch das ARToolkit ausgewertet, wobei die gewonnenen Werte noch korrekt kalibriert, normalisiert und auf einen bestimmten Wertebereich abgebildet werden müssen. Es wurden vier Verfahren getestet, wobei sich zeigte, dass das Problem der Wertebildung stark vom gewünschten Einsatzbereich abhängt.

Ziel dieser Arbeit war es ein möglichst kostengünstiges Eingabeverfahren zu entwickeln. Es existiert zwar eine Fülle an Eingabewerkzeugen, die sechs Freiheitsgrade (drei Freiheitsgrade für die Translation in x -, y - und z - Richtung und drei Freiheitsgrade für die jeweilige Rotation um die Raumachsen) liefern, doch sind diese benötigten Eingabewerkzeuge sehr speziell, wie z.B. die SpaceMouse oder verschiedenste Trackingverfahren (z.B. Ultraschall-, Magnet- oder Mechaniktracking), die dann auch erhebliche Kosten verursachen.

Die vier eingesetzten Positionierungsverfahren arbeiteten jeweils im Zwei- und Dreidimensionalen und mit einer *absoluten* und einer *relativen Navigation*. Die absolute Navigation positioniert den „Cursor“ an die direkte Position des Markers, die relative verschiebt ihn entsprechend seiner relativen Lagen zum Bildmittelpunkt. Je weiter man den Marker vom Bildmittelpunkt entfernt positioniert, desto schneller bewegt sich der Cursor in die entsprechende Richtung. Vergleicht man diese Art der Positionierung mit herkömmlichen Eingabewerkzeugen, so entspricht das Arbeiten mit der Maus einer absoluten, der Einsatz eines Joysticks einer relativen Positionierung.

Die Probleme, die sich bei dieser Art der Selektion und Manipulation ergeben, sind offensichtlich. Es fehlt an Möglichkeiten diskrete Werte abzufragen, also z.B. ob ein Knopf gedrückt wurde oder nicht. Dieses Kriterium zur Bestätigung einer Auswahl kann mit dieser Technik nicht adäquat umgesetzt werden. Es wurde zwar experimentell versucht Knopffunktionen auf eine Rotation um die z -Achse abzubilden, doch fehlte es an haptischem Feedback und die gemessenen Werte waren nicht genau genug um eine verlässliche Funktionalität zu gewährleisten.

Piekarski (2004) beschreibt mit dem Tinmith System ein Verfahren zur Selektion und Manipulation von Objekten in Augmented Reality, das dem Verfahren der MagicMouse ähnelt, dieses aber funktional erweitert. Abbildung 5.14 zeigt die verwendeten Marker und Teile der Benutzungsoberfläche. Tinmith arbeitet nur mit einem 2-D-Cursor, bzw. mit zwei Cursor. Die Cursor sind auf einer Ebene parallel zur Sichtebeine angeordnet. So lässt sich eine beidhändige Selektion ermöglichen. Zur diskreten Bestätigung der Auswahl werden Pinch Gloves verwendet.

Die sogenannte *Virtuelle Hand* wird auch z.B. von Buchmann u. a. (2004) umgesetzt. Hiermit ist die bisher „natürlichste“ Objekts Selektion möglich, indem der Benutzer nach den Objekten greift. Die Virtuelle Hand ist bedingt durch die Realisierung durch einen mit Markern bestückten Handschuh an die Position der wirklich Hand gebunden. Es ist keine Selektion auf Distanz möglich. Zur Herstellung eines „natürlichen“, also immersiven Ge-

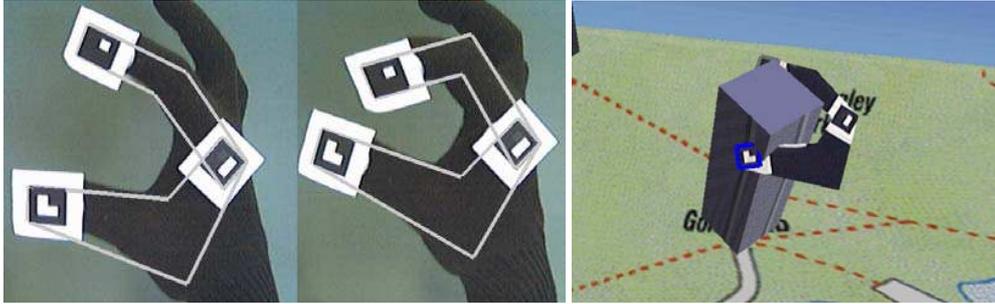


Abbildung 5.2.: Virtuelle Hand aus dem FingARTips Projekt (s. Buchmann u. a., 2004)

fühls ist der haptische Eindruck eine wesentlich beeinflussende Komponente. Gedacht für VR-Umgebungen, konstruieren Borst und Indugula (2005) mit Hilfe eines Feder-Masse-Modells und eines durch Force Feedback unterstützten Handschuhs realistische, haptische Greif- und Manipulationsinteraktion. Das Immersionsgefühl wird durch Beseitigung virtueller Artefakte (z.B. Greifen in Objekt) mittels Kollisionsdetektion verstärkt.

Okklusionsselektion

Eine weitere Technik, die zur Selektion eingesetzt wird, ist die sogenannte Okklusionsselektion. Hierbei wird das Objekt oder Teile des Objekts durch eine Selektionsgeometrie verdeckt bzw. eingeschlossen. Das Personal Interaction Panel (PIP/PEN, s. Szalavari, 1999) ermöglicht es z.B. mit einem sogenannten Fischnetz-Werkzeug größere Flächen auszuwählen. Hierzu wird mit dem beidhändig geführten PIP/PEN, wie mit einem Netz, durch die Szene gefahren, was die gleichzeitige Auswahl mehrerer Objekte ermöglicht. Einen auf Multi-Marker-Tracking basierten Ansatz zeigen Lee u. a. (2004b). Sie beschreiben einen typischen markerbasierten passiven Weg, mittels Verdeckung ein TUI zu entwickeln. Hierbei wird davon ausgegangen, dass der Benutzer, im Rahmen einer Tangible Augmented Reality Anwendung, seine Hand als Auswahlwerkzeug einsetzt. Es handelt sich hier um eine Lösung, deren Wirkungsprinzip sich aber auch auf markerlose Umgebungen anwenden lassen würde.

Beim Multi-Marker-Tracking werden mehrere Marker genutzt, um ein Objekt in der Welt zu tracken. Die Position der einzelnen Marker zueinander ist im Vorfeld bekannt und so kann, falls einer der Marker ausfällt, dessen Position rückgerechnet und weiterhin ein stabiler Trackingvorgang erreicht werden. Auf Grundlage der bekannten Position eines nicht detektierten Markers können nun Rückschlüsse auf die Ursachen des fehlgeschlagenen Detektionsvorgangs gezogen werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Marker eine feste Position auf einem stabilen, ebenen Untergrund besitzen und so eine fehlgeschlagene Detektion auf Grund von Verdeckungen oder von einem Herausrutschen des Markers aus dem Blickfeld basieren muss. Beleuchtungsprobleme oder Bewegungsunschärfe haben meist einen globalen Einfluss auf die Detektionsrate, so dass bei Ausfall einzelner Marker diese Ursachen ausgeschlossen werden können. Es fallen also entweder alle oder kein Marker aus. Diese Annahme ist allerdings idealisiert, wie z.B. von Fiala (2005) aufgezeigt, da

durchaus durch schlechte Beleuchtung auch nur Teilbereiche eines Markerfelds ausfallen können.

Selektion mit dem Prinzip der Verdeckung benötigen einige Hilfsmechanismen, da diese Methodik, wie auch das Prinzip der MagicMouse, ohne diskrete Eingabewerte auskommen muss. Es fehlt die Möglichkeit durch Knopfdrücke klare Eingaben zu realisieren. So werden auch beim Prinzip der Verdeckung Time-Out-Mechanismen eingesetzt. Ein Marker muss für eine bestimmte Zeit verdeckt bleiben, bevor die Auswahl bestätigt wird.

Wenn die Hand als Auswahlwerkzeug verwendet wird, so ist es meist bei der Selektion eines Markers, in einem umfangreicheren Feld von Markern, nicht möglich eine Auswahl zu treffen, ohne weitere, unbeteiligte Marker ebenfalls zu verdecken. Eine einfache heuristische Methode hilft, trotzdem den gewünschten Marker aus der Menge der verdeckten Marker herauszufinden. Unter der Annahme, dass der Benutzer Rechtshänder ist, kann davon ausgegangen werden, dass meist der oberste linke Marker der ausgewählte Marker ist. Diese Variante kann noch durch Verfahren des Rechnersehens, wie das Extrahieren der Hauptachse (Paulus, 2001, S. 225) erweitert werden.

McDonald und Roth (2003) erweitern den o.g. Ansatz durch Methoden der Bildverarbeitung, indem sie das Referenzbild eines Markers von einem tatsächlich aufgenommenen Bild eines Markers abziehen um so aus dem Differenzbild die Finger des Benutzers extrahieren zu können. Der Prozess der Selektion wird also durch die Berechnung der Position der Finger erreicht. Das Bestätigen wird dann durch eine einfache Geste erreicht. Wird ein Marker mit zwei zusammengehaltenen Fingern berührt, so wird dadurch die Selektion angedeutet, bewegt man die beiden Finger auseinander, so wird die Selektion bestätigt.

Distanzselektion

Techniken zur Distanzselektion wurden entwickelt, um speziell die Problem bei der Auswahl entfernter Objekte zu lösen. Das Prinzip der Virtuellen Hand im FingARTips war auf die Selektion und Manipulation von Objekten in der Nähe des Benutzers ausgerichtet. Durch die sogenannte „Go-Go“-Technik (s. Popyrev u. a., 1996) die Hand, bzw. der Arm nichtlinear virtuell ausgestreckt werden. In einer Anwendung von Tenmoku u. a. (2005) werden Gebäude in einer Outdoor-Umgebung durch den Blickfokus selektiert. Die Annahme ist, dass der Blickfokus immer in der Bildmitte liegt, zusätzlich kann, wie z.B. bei Grasset u. a. (2005b) oder dem ARTelescope¹, ein Fadenkreuz genutzt werden. Alternativ kann ebenfalls mit Raycastingmethoden gearbeitet werden, die z.B. aus einem höherdimensionalen Eingabegerät herausgeschossen werden. Ebenfalls möglich ist es, wie in Abbildung 5.3 gezeigt, Raycasting aus dem Viewport durch einen zweiten Pointer in der Welt zu betreiben.

Eine Rückmeldung an den Benutzer erfolgt in nahezu allen Anwendungen meist über visuelle Signale, z.B. durch eine veränderte Farbe, Transparenz oder durch grafische Symbole (s. Abbildung 5.14). Weitere Beschreibungen sind im Kapitel zur Visualisierung 4 zu finden.

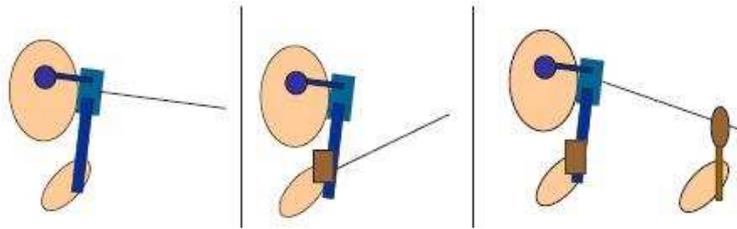


Abbildung 5.3.: Distanzselektion mittels Viewport und ggf. Raycasting durch Pointer in der Welt (entnommen aus Grasset u. a., 2005b)

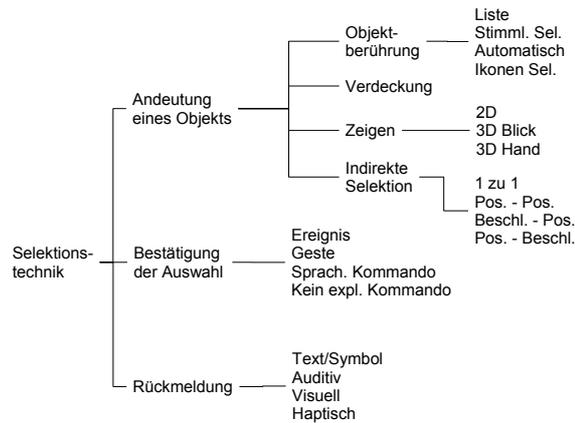


Abbildung 5.4.: Klassifikation von Selektionstechniken in dreidimensionalen Benutzerschnittstellen (übernommen aus Bowman u. a., 2004, S. 149).

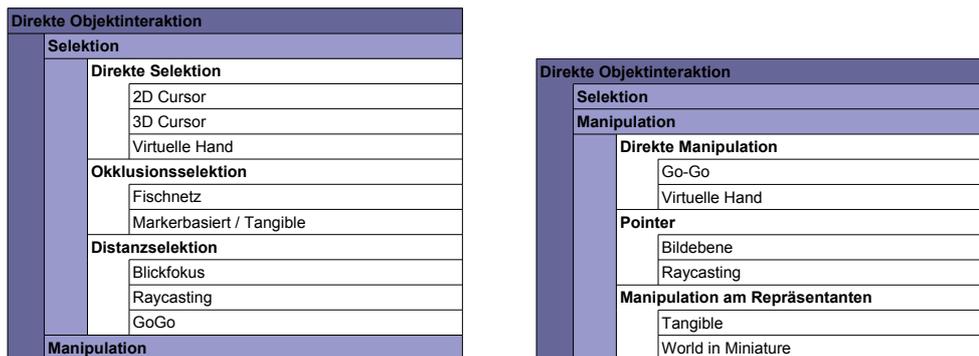
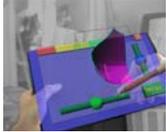
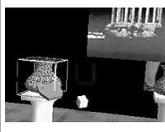


Abbildung 5.5.: Aufgliederung der Selektions- (links) und Manipulationstechniken (rechts)

Abbildung 5.6.: Übersicht über die gängigsten Verfahren zur Selektion

Selektion	Okklusionsselektion		Direkte Selektion			Distanzselektion		
	Fischnetz	Tangible	2D Cursor	3D Cursor	Virtuelle Hand	Blickfokus	Raycasting	Go-Go
Kurzbeschreibung	Selektion mehrerer Objekte durch Bewegung eines Grafiktablets durch die Szene	Verdeckung bestimmter Marker in einem Multimarkerfeld. Time-out getriggert	Auswahl durch einen zwei-dimensionalen Cursor	Auswahl durch einen drei-dimensionalen Cursor	Direkte Objektselektion durch eine vom Nutzer gesteuerte Virtuelle Hand	Auswahl durch Blickfokus	Objekt wird mit Laserpointer oder Kegelstrahl selektiert	Die Position der virtuellen Hand wird nichtlinear verlängert
Bild								
Referenz	Schmalstieg (2000)	Lee u.a. (2004)	Piekarski (2004)	Woods u.a. (2003)	z.B. Buchmann u.a. (2004), Borst (2005)	Tenmoku (2005)	Broll u.a. (2004)	Poupyrev (1996)
Für AR VR DVR	ja ja nein	ja ja nein	ja ja ja	ja ja ja	ja ja nein	ja ja evtl.	ja ja nein	ja ja nein
Eingabegeräte	PIP/PEN	Hand und Marker	Hand und Marker	Magic Mouse, Space Mouse	Handschuh mit Marker, Force-Handschuh	-	getracktes Prop, 3D Mouse	Handschuh
Dimensionalität der Interaktion	2D/3D	2D/3D	2D	3D	3D	2D	3D	3D
Geometrie der Visualisierung	3D	3D	2D	3D	3D	2D	3D	3D
Mehrere Objekte selektierbar	ja	ja/nein	nein	nein	ja/nein	ja	nein	nein
Formal Evaluert	ja	nein	ja	?	?, ja	ja	ja	ja
Kommentar / Besonderheiten	Effektive für Multiselektion	Auch für Menüselektion geeignet	Bei Piekarski von Pinch Gloves abhängig	Schwer zu kontrollieren	Sehr intuitiv, aber nur für lokale Selektion	Auch mit Sichtkegel und Fadenkreuz möglich	Intuitiv, aber schwer in der Anwendung	Effektiv für weit entfernte Objekte

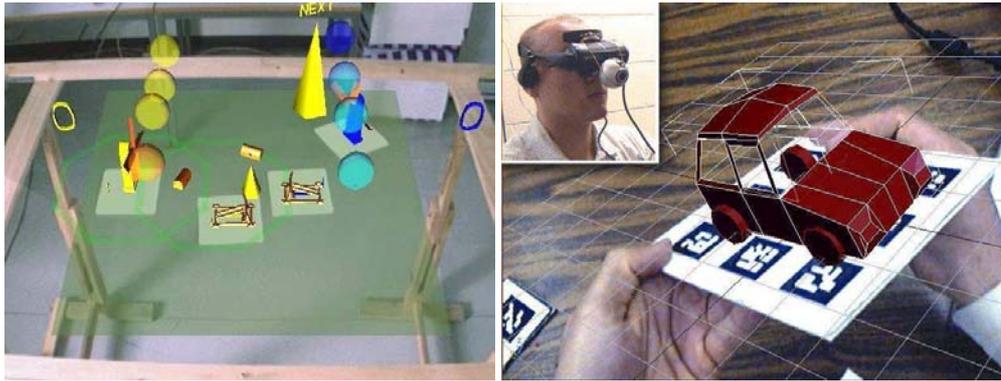


Abbildung 5.7.: Manipulation am Repräsentanten

5.1.2. Manipulation

Unter Manipulation versteht man die Aufgabe, die Position, Skalierung, Form oder auch die Orientierung eines zuvor selektierten Objektes, zu verändern. Gerade die Skalierung und Verformung stellt eine nicht-triviale Manipulation dar. Selektion und Manipulation stehen also in einem engen Zusammenhang, so dass einige der o.g. Techniken zur Selektion auch zur Manipulation von Objekten eingesetzt werden. Hinzukommt, dass ebenfalls häufig die gleichen Benutzungsschnittstellen eingesetzt werden (3- oder 6-DOF Geräte aus der VR, TUI etc.).

Direkte Manipulation

Die erste Untergruppe ist die Direkte Manipulation. Wie auch bei der Direkten Selektion sind hier die Go-Go-Technik oder die virtuelle Hand zu nennen. Am Beispiel der Virtuellen Hand (s. Abbildung 5.2) sieht man, dass nach einer erfolgreichen Selektion das Objekt z.B. beliebig skaliert werden kann. Um den mehrfachen Freiheitsgraden Herr zu werden, wird auch kontextabhängige Beschränkungen bei der Manipulation (*Constraints*) zurückgegriffen. Wird z.B. in der FingARTips Anwendung ein Objekt an seiner oberen Seite selektiert, so beschränkt sich die später angewendete Manipulation nur auf die Änderung der Höhe. Wird eine Seite selektiert, wird nur die Breite des Objekts verändert usw. Der Einsatz von *Constraints* ist also gerade bei der Anwendung von direkten Manipulationsverfahren äußerst wichtig.

Pointer

Das Tinmith Projekt ermöglicht eine beidhändige Benutzung, so dass sich der Funktionsumfang erhöht und auch der Pointer einfacher und sicherer positioniert werden kann. Tinmith stellt somit ein Zusammenwirken von zwei- und dreidimensionalen Konzepten dar.

¹<http://www.xc-01.de/> und http://www.trivisio.com/tech_Artelescope.html

Alle Interaktionselemente sind zweidimensional auf der *Bildebene* eingeblendet, wohingegen dreidimensionale Modellierungsarbeiten in der Welt möglich sind. Neu an diesem Verfahren ist, dass nicht nur ein 2-D Cursor auf der Bildebene durch die Marker gesteuert wird, sondern zwei Cursor gleichzeitig. Hierdurch lassen sich komplexere Selektions- und Manipulationsaufgaben bewältigen, welche bei der Modellierung benötigt werden.

Im ARTHUR Projekt Broll u. a. (2004) kann Manipulation auf mehrere Weisen gelöst werden, neben einem direkten Pointer, in Form eines Stiftes kann z.B. auch mittels der TUI Schnittstelle gearbeitet werden.

Manipulation am Repräsentanten

Während die beiden vorangegangenen Verfahren mit einem Cursor oder einer direkten Manipulation arbeiteten, also einer grafischen Repräsentation der aktuellen Bearbeitungsposition oder ganz allgemein einer „Pointing Metapher“, setzen Verfahren wie die Tangible Interfaces (s. Abschnitt 3.2) auf eine objektzentrierte Sicht der Interaktion, die auf einer Manipulation am Repräsentanten basiert.

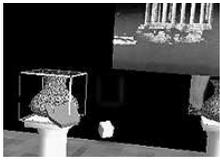
Fiala und Adamo-Villani (2005) zeigen wie markerbasierte TUI auch für Modellierungsaufgaben eingesetzt werden können. Das ARpm (Augmented Reality for Polygonal Modeling) System ist als zusätzliches Frontend für 3-D Studio Max entwickelt worden. Die markerbasierte Lösung hatte allerdings zu sehr mit Latenzproblemen zu kämpfen, als das diese Lösung praktisch einsetzbar gewesen wäre, auch wenn der tangible Ansatz bei Modellierungsaufgaben sicherlich unterstützend wirken könnte. Aktive Manipulation durch ein TUI im Spielbereich ist auch Thema der Arbeit von Ulbricht (2002).

Schließlich findet man auch Manipulationslösungen, die zusätzlich auf Ideen zu Selektion und Navigation eingehen. Dörner u. a. (2004) manipulieren desktopbasierte, virtuelle 3-D-Informationvisualisierungen auf 2-D-Flächen durch Interaktionen im realen (AR-) Raum. Wesentlicher Gegenstand der Arbeiten war die Integration mehrerer Interaktionskonzepte (*board, paddle, gyrom*) in eine kabellose, trägheitsgesteuerte Maus. Ein und dasselbe Eingabegerät dient verschiedenen Anforderungen. Die Interaktion mit dem Gerät erfolgt in einer festgelegten, helligkeitsinvarianten Box, ist also nicht frei und überall bedienbar. Dennoch sind mit dem Werkzeug mehrere Interaktionsaufgaben durchführbar, nämlich Lokalisieren, Explorieren, Aufteilen des 3-D-Raums, Vergleichen (zweihändig), Manipulieren (von 2-D-Fenstern im 3-D-Raum), Navigation (Zoomen und Zentrieren), Einfrieren und Wiederherstellen. Die Maus selbst wird durch einen 3-D-Pointer auf dem Schirm repräsentiert.

5.2. Navigation

Navigation wird auch häufig mit dem Schlagwort Reisen in Verbindung gebracht. Wie schon eingangs erwähnt muss der Bereich der Navigation in AR und VR Anwendungen unterschieden werden. Reisen, bzw. Bewegung ist in Erweiterten Realitäten allgemein durch die natürliche Bewegungsfähigkeit des Benutzer ohne Zuhilfenahme weiterer technischer Hilfsmittel möglich. Nichtsdestotrotz stellt die aktive Veränderung des aktuellen Viewport

Abbildung 5.8.: Übersicht über die gängigsten Verfahren zur Manipulation

Manipulation	Direkte Manipulation		Pointer		Manipulation am Repräsentanten	
	Go-Go	Virtuelle Hand	Bildebene	Raycasting	Tangible	World-in-Miniature
Kurzbeschreibung	Die Position der virtuellen Hand wird nichtlinear verlängert	Direkte Objektmanipulation durch eine vom Nutzer gesteuerte Virtuelle Hand	Manipulation auf einer Bildebene	Objekt wird mit Laserpointer oder Kegelstrahl manipuliert	Manipulation wird an einem fühlbaren Gegenstand der Umwelt durchgeführt	Manipulation an kleinen Repräsentanten
Bild						
Referenz	Poupyrev (1996)	Buchmann u.a. (2004)	Piekarski (2004)	z.B. Broll (2004)	z.B. Fiala (2005)	Bane (2004)
Für AR VR DVR	ja ja nein	ja ja nein	ja ja ja	ja ja nein	ja ja ja	ja ja ja
Dimensionalität der Interaktion	3D	3D	3D	3D	3D	3D
Geometrie der Visualisierung	3D	3D	2D	3D	3D	3D
Unterstützte Transformationen	Translation, Rotation	Freie Rotation, achsenabhängige Rotation, Translation, Skalierung, Formänderung	Achsenabhängige Rotation, Translation, Skalierung	Skalierung, Translation	Freie Rotation, Translation, Skalierung	Freie Rotation, Translation, Skalierung
Formale Evaluert	ja	?	ja	ja	nein	?
Kommentar	Erlaubt Manipulation auf Entfernung	Sehr intuitiv, nur für lokale Manipulation geeignet	Einfache Handhabung, aber bei Piekarski von Pinch Gloves abhängig	Intuitiv, aber schwer zu handhaben	Besonders für AR Anwendungen geeignet, da starke Verbindung zwischen Realem und Virtuellem	Erlaubt z.B. schnelle Translation von Objekten

(Blickrichtung) eine aktive Aufgabe des Benutzers dar, durch die er mit seiner Umwelt interagieren kann (s. z.B. Level-of-Details Interfaces in Abschnitt 4.3).

Der Schwerpunkt dieses Abschnitts liegt also auf Techniken zur Wegfindung, welche gerade im mobilen Umfeld eine Hauptaufgabe bleibt, was auch die Vielzahl der unterschiedlichen entwickelten Komponenten zu dieser Aufgabe zeigt.

Die Veränderung des Viewports kann in vollimmersiven Umgebungen als mächtiges Mittel zur gezielten Veränderung des Wahrnehmungsfokus eingesetzt werden. Dachsel (2000) verwendet sogenannte *Action Spaces*, die verschiedenen Aufgaben verschiedene Räume zuordnen, die dann für die Aufgabenbewältigung benötigte Werkzeuge zur Verfügung stellen. So soll die räumliche Wahrnehmung und das räumliche Gedächtnis des Menschen ausgenutzt und gleichzeitig eine „effektive Aufteilung des Bildschirms durch vordefinierte Anordnungen und Blickpunkte“ gewährleistet werden. Um die Orientierung für den Benutzer zu erleichtern wird empfohlen den Wechsel zwischen zwei Räumen animiert darzustellen und tragfähige Metapher (z.B. Theater- oder Liftmetapher). Diese Möglichkeit der Steuerung ist in Erweiterten Realitäten nicht anwendbar, da der Viewport des Benutzers nicht aktiv beeinflusst werden kann. Trotzdem kann das System den Benutzer passiv dazu anweisen seinen Viewport zu ändern, so dass diese Aktion auch in die Klassifikation aufgenommen wurde.

Navigation und Cybersickness

Vergleicht man die Problematik der Wegfindung zwischen Virtuellen und Erweiterten Realitäten, so haben die Erweiterten Realitäten einen entscheidenden Vorteil. Der Benutzer steht in ständigem Kontakt zum Boden und hat permanent das korrekte Gefühl für seine räumliche Wahrnehmung. Er kann oben und unten unterscheiden und kann sich durch die vorhandene Schwerkraft voll und ganz auf sein physisches Wahrnehmungsvermögen verlassen. Dies ist in manchen virtuellen Umgebungen nicht der Fall, da sich hier der Benutzer vollkommen frei bewegen kann und das Fehlen von Schwerkraft ihn in einen Zustand der Desorientierung versetzt. Dies kann soweit führen, dass von „Cybersickness“ gesprochen wird, also einem Unwohlsein oder auch Übelkeit während der Benutzung von VR oder ER Systemen. LaViola (2000) beschreibt einen der Hauptgründe für diese Art der Simulatorkrankheit. Es liegt eine Diskrepanz vor zwischen den wahrgenommenen visuellen Reizen und den Reizen, die der Gleichgewichtssinn wahrnimmt. Das Phänomen der Simulatorkrankheit tritt allerdings auch in ER Anwendungen auf. So berichten Tschirner u. a. (2002) von Problemen der Cybersickness oder einer verminderten Hand/Auge-Koordination bei einer ER-Anwendung zur Unterstützung von Schweißarbeiten. Um dies zu vermeiden sollte eine konstante Bildwiederholungsrate von 25 Bildern/Sekunde (fps) angestrebt werden.

Untersuchungen von Park und Schlick (2006) zeigen hingegen, dass kein signifikanter Effekt auf die Leistung der Schweißer bei einer Erhöhung der Bildwiederholungsrate von 16 auf 20 fps nachgewiesen werden konnte. Allerdings wurde bei einer erhöhten Rate eine deutliche Steigerung der Benutzerakzeptanz festgestellt.

5.2.1. Wegfindung

Im folgenden Abschnitt soll davon ausgegangen werden, dass die physische Verbindung zwischen realer und virtueller Welt die Frage der Wegfindung vereinfachen kann, da sich die Erschließung von Kenntnis über die räumliche Umgebung immer aus zwei Komponenten zusammensetzen kann, der *Beschaffenheit der Umgebung selbst* (primäre Quelle), also z.B. ob wir eine gerade Straße entlang laufen oder durch einen undurchsichtigen Wald und durch eine wie auch immer geartete *künstliche Repräsentation der Umgebung* (sekundäre Quelle). Als sekundäre Quellen werden meist Karten genutzt, aber auch Hinweise jeglicher Art, wie Himmelsrichtungen, Schilder, mündliche Anweisungen etc. können als sekundäre Quelle genutzt werden. Nur eine der beiden Alternativen soll genauer betrachtet werden, die sekundären Quellen. Da Augmented Reality Anwendungen nur zu einem sehr geringen Anteil wirklichen Einfluss auf die tatsächliche Umgebung haben können, ist die primäre Quelle für räumliche Erkenntnis als gegeben hinzunehmen, die nur durch weitere sekundäre Quellen angereichert werden kann.

Vorangestellt werden soll an dieser Stelle noch die Unterscheidung zwischen *ego-* und *exozentrischen Wegweisersystemen*. Egozentrisch beschreibt eine Perspektive aus Sicht des Menschen, oder aus der ersten Person, exozentrisch kann z.B. die Vogelperspektive aus einer anderen, von der Position des Benutzers unabhängigen Position sein.

Karten

Karten sind ein altes und verbreitetes Mittel zur Wegfindung. Sie zeigen eine exozentrische Repräsentation einer Umgebung und erlauben so einen Überblick über besagte Umgebung zu erlangen. Die exozentrische Perspektive von Karten kann allerdings mit der egozentrischen Perspektive des Menschen Probleme bereiten. Eine immer nach Norden ausgerichtete Karte kann missverstanden werden, wenn die Route z.B. nach Süden führt. In diesem Falle ist ein Umdenken des Benutzers nötig, um die Informationen aus Karte und Umgebung miteinander in Deckung zu bringen (s. Darken und Peterson, 2002, S. 496). Dieses Umdenken ist zu vernachlässigen, wenn die Kartenrepräsentation nur zur Vorausplanung einer Navigationshandlung genutzt wird. Soll die Karte aber während der Navigation helfen, so ist eine große Steigerung in der Orientierungsleistung zu beobachten, wenn die Karte sich mit dem Benutzer rotiert und immer in die aktuelle Laufrichtung zeigt, anstatt immer konstant in eine Himmelsrichtung zu zeigen, hier spricht man auch von *adaptiven Karten*.

Desweiteren ist bei Karten die Frage zu klären, wo der Benutzer sich z.Z. befindet („Sie befinden sich hier!“), meist in Form von farblichen Markierungen. Bei starren Karten ist ebenfalls die Ausrichtung des Benutzer einzuzeichnen, bei rotierenden Karten wird diese Information implizit mitgeliefert. Der Einsatz eines Kompasses kann in manchen Situationen die Orientierung verbessern, benötigt aber auch wieder Abstraktionsleistungen des Benutzers. Generell wird von Darken und Peterson (2002) empfohlen, starr ausgerichtete Karten bei exozentrischen, planenden Aufgaben und dynamisch orientierte Karten bei egozentrischen, situativen Szenarien einzusetzen.

Da Augmented Reality Anwendungen mehr egozentrisch, denn exozentrisch sind, haben sich hier auch die adaptiven Karten eher durchgesetzt, auch wenn Benutzerstudien von

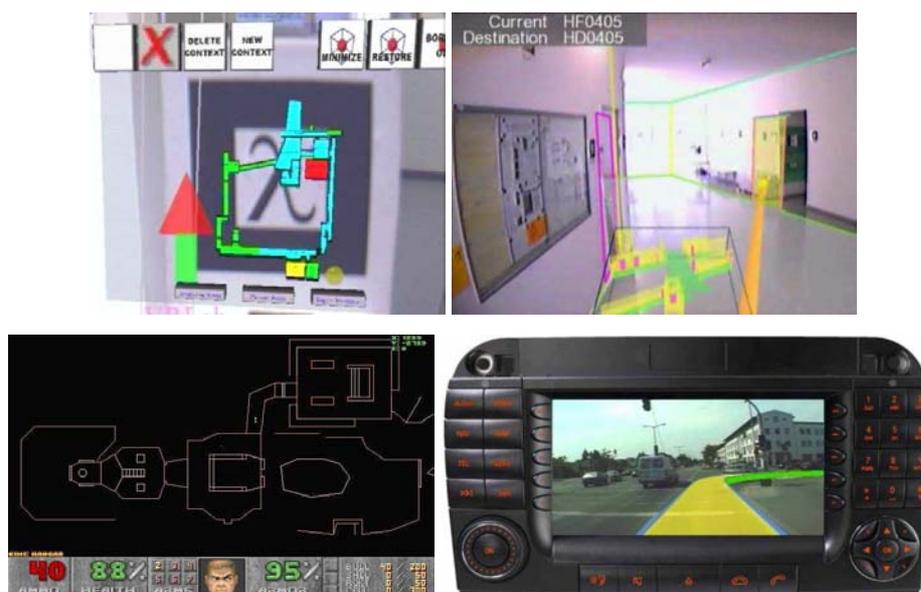


Abbildung 5.9.: Verschiedene Arten der Kartennutzung. *Oben links und rechts:* SignPost Anwendung (s. Knapp und Reitmayr, 2005); *Unten links:* Starre nach Norden ausgerichtete Karte im 1st Person Shooter Doom; *Unten rechts:* Streckeneinblendung für GPS Daten im PKW (s. Narzt u. a., 2004)

Aretz und Wickens (1992) ergeben haben, dass zwar die Orientierungsleistung höher und die Fehlerrate niedriger im Vergleich zu starren Karten ist, die starre Karte in einer auf den Test folgenden Befragung allerdings präferiert wurde. Als Begründung wurde bei einer Studie von (Darken und Peterson, 2002, S. 502) u.a. genannt, dass man diese Art der Darstellung aus Videospiele gewöhnt sei und man daher, unabhängig von der erhöhten Leistungsfähigkeit, die starren Karten lieber einsetzen würde. Der Einsatz von Karten in Computerspielen wird z.B. in Abbildung 5.9 dargestellt.

Das in Abbildung 5.9 dargestellte Beispiel des Computerspiels DOOM zeigt einen klaren Nachteil. Die eigentliche Szene ist nicht mehr zu sehen, während man die Karte betrachtet. Alternativ könnte, wie auch in späteren Computerspielumsetzungen gesehen, die Karte einen transparenten Hintergrund besitzen und so die Sicht auf die Szene erhalten oder aber auch einen kleineren Bildausschnitt in Anspruch nehmen um so die Verdeckungsproblematik zu vermeiden. Allerdings hat die letztere Lösung den Nachteil, dass durch den kleineren Weltausschnitt keine Übersicht über die Welt möglich ist und durch mögliche Verkleinerungen Details verloren gehen.

Eine weitere Kartenvariante ist die sogenannte *World in Miniature* (WIM) Technologie. Im Gegensatz zu reinen Karten sind sie meist dreidimensional und können auch zur Interaktion eingesetzt werden. Knapp und Reitmayr (2005) nutzen eine WIM Darstellung, die sich dynamisch an die aktuelle Blickrichtung anpassen, zusätzlich wird der Benutzer noch durch Markierungen in der Welt unterstützt.

Markierungen in der Welt

Markierungen in der Welt sind neben Karten ebenfalls eine große Unterstützung. Neben Karten sind andere sekundäre Quellen wie Hinweisschilder, Markierungen, Pfeile etc. meist häufiger in Gebrauch. Schilder können durch ihre Form schon einen Hinweis über die korrekte Richtung geben und ggf. durch Textannotationen angereichert werden.

Eingesetzt wird dieses Verfahren z.B. bei Kalkusch u. a. (2002). Hier wird ein Wegweiser-system für den Indoor Bereich vorgestellt, welches nur mit optischen Inside-Out Tracking funktioniert. GPS oder andere externe Positionierungsmechanismen kommen nicht zum Einsatz. In diesem Szenario werden unterschiedliche Formen der Navigationshilfen angeboten. Zum einen werden Gänge und Flure mit textuellen Annotationen angereichert (s. Abbildung 5.9), die z.B. den Namen des Gangs anzeigen. Desweiteren wird auch mit simplen Pfeilen gearbeitet, die in die Richtung des angewählten Ziels zeigen. Die Pfeile passen sich dabei der Umgebung an und passen ihre Länge z.B. auch einem langgestrecktem Flur an. Weiterhin wird in diesem Prototypen eine WIM Lösung eingesetzt, die eine sich der Umgebung und Richtung anpassende dreidimensionale Karte anbietet. Als dritte Komponente wird ein dreidimensionales Gittermodell der Umgebung auf Fenster, Türen und Wände gezeichnet.

Eine andere Variante sind sogenannte „Hänsel und Gretel“ Techniken, in Anlehnung an das Märchen der Gebrüder Grimm. Der Benutzer hinterlässt während der Bewegung in der Welt Brotkrumen, die es ihm später erlauben seinen zurückgelegten Weg wiederzufinden. Die Metapher der Brotkrumen wird auch im Webdesign eingesetzt (s. Eibl, 2003b, S. 64), wo sie ebenfalls die Navigation unterstützen. Diese Idee kann noch weiter verfeinert werden, indem die Brotkrumen z.B. durch Fußabdrücke oder kleine Pfeile ersetzt werden, so kann zusätzlich zum Weg auch eine Laufrichtung mit angegeben werden.

Untersuchungen von Ruddle (2005) zeigen allerdings das die Verwendung von Pfaden, bzw. Spuren Probleme bereiten kann. Hierzu wurden vier unterschiedliche Kombinationen untersucht: nur Pfade, Pfade und Landmarken, Landmarken, keine der beiden Möglichkeiten. Das Ziel für die Evaluationskandidaten bestand darin einen bestimmten Zielpunkt zu finden. Hier zeigten sich Probleme die durch eine zu hohe Dichte an Navigationsinformationen im System hervorgerufen wurden, die sogenannte „Trail Pollution“. Nach längerer Benutzung des Systems und vieler abgegangener Wege wurden zu viele Hinweise eingeblendet, die die Benutzer irritierten. Weiterhin wurde angemerkt, dass die Visualisierung der Pfade zu detailliert war und somit schlecht unterscheidbar waren.

Eine weitere Augmented Reality Anwendung, die diese Techniken der Spuranzeige aufgreift, wird in einer Anwendung der Firma Siemens (s. Narzt u. a., 2004) in Kooperation mit der TU Wien vorgestellt (s. Abbildung 5.9). Das Bild der Straße wird mit einer virtuellen Spur angereichert, die aus GPS- und Kartendaten ermittelt wird. Das aktuelle Bild der Straße wird von einer separaten Kamera aufgenommen und mit der eingezeichneten Spur auf einem zusätzlichen Monitor angezeigt. Der Fahrer muss also nur der angezeigten Spur folgen und braucht keine Kartendaten zu interpretieren oder ungenauen Pfeilen zu folgen. Nachteilig ist in der vorgestellten Variante aber noch, dass zuviel des eigentlichen Straßenbildes verdeckt wird und der Fahrer seinen Blick von der Straße nehmen muss, um die Spurdaten zu sehen. Alternativ kann der Fahrer auch die angezeigte Spur durch einen vir-



Abbildung 5.10.: Warnhinweise für den Straßenverkehr aus Vogelperspektive und als 3-D Visualisierung Tönnis u. a. (2005).

tuellen Avataren ersetzen, der in Form eines Fahrzeuges vor ihm herfährt. Der Fahrer muss also nur noch dem virtuellen Fahrzeug folgen, er wird sprichwörtlich an die Hand genommen und geführt.

Ebenfalls für den Einsatz von AR in Fahrzeugen zielten Untersuchungen von Tönnis u. a. (2005) ab. Es wurden zwei Visualisierungsschemata verglichen: Vogelperspektive und dreidimensionale Pfeile im Raum, die den Fahrer auf gefährliche Punkte auf der Strecke hinweisen sollten. Die Warnhinweise wurden in fast allen Fällen besser in der abstrakteren, exzentrischen Vogelperspektive wahrgenommen und auch der subjektive Eindruck der Testteilnehmer unterstützte diese Aussage. Diese Erkenntnisse stehen im Gegensatz zu früheren Untersuchungen, die eigentlich eine Überlegenheit der egozentrischen Visualisierungen für Lokalisierungsaufgaben im Nahbereich annahmen.

Eine weitere Technik, die eingesetzt wird, sind sogenannte *Landmarken*. Es kann zwischen *globalen* und *lokalen* Landmarken unterschieden werden. Global bedeutet, dass die Landmarken von nahezu jeder Position aus gesehen werden können, z.B. die Sonne, ein großes Gebäude oder ein Berg. Lokale Landmarken hingegen sind an bestimmte Punkte gebunden, können dort aber dem Benutzer weitere Informationen bieten. Ein Beispiel hierfür ist ein Navigationssystem für Büroräume, vorgestellt von Trumler u. a. (2003). Der Benutzer kann hier mit einem PDA an bestimmten Landmarken, in diesem Fall Türschilder, Informationen über weitere Wegpunkte herausfinden, z.B. wo eine Person, die nicht gerade in Ihrem Büro ist, sich befindet.

Für den Einsatz von Landmarken in virtuellen Umgebungen schlägt Vinson (1999) einen Richtlinienkatalog mit dreizehn Punkten vor. Nicht alle Punkte lassen sich für Erweiterte Realitäten übernehmen, doch wird ein Punkt in seiner Beschreibung sehr deutlich. Künstliche Landmarken müssen klar von der Umgebung unterscheidbar sein und müssen so platziert werden, dass sie auch erkennbar sind. Unterscheidbarkeit kann in Erweiterten Realitäten z.B. durch bewusste Missachtung der Photorealität, durch Farben oder generell durch Erkenntnisse der Gestaltgesetze erreicht werden (s. Goldstein, 1997).

5.2.2. Bewegung und Aufmerksamkeitssteuerung

Auf die Bewegung und den Viewport selbst hat das System in AR Anwendungen nur einen sehr geringen, bis gar keinen Einfluß. Dies unterscheidet diese Art der Mixed-Reality z.B. zu vollimmersiven VR oder Desktop-VR Anwendungen.

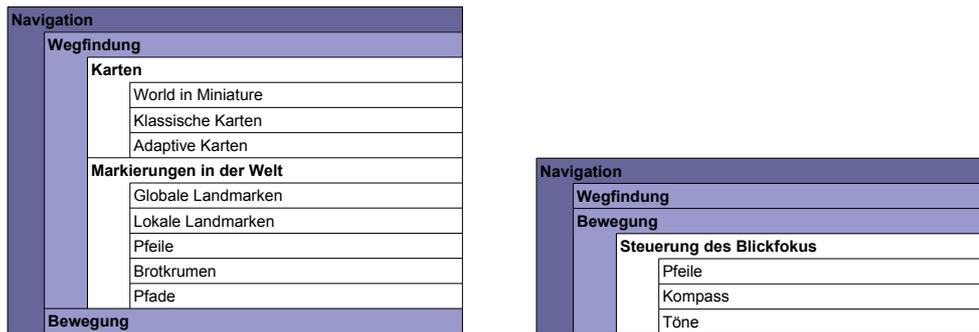


Abbildung 5.11.: Aufgliederung der Wegfindungs- (links) und Bewegungstechniken (rechts)

Der Benutzer selbst ist für die Veränderung seines Viewports und seiner Position verantwortlich, das System kann ihn nur durch bestimmte Hinweise dazu bringen seinen Blickfokus zu ändern. Die Steuerung des Blickfokus ist also eine zentrale Aufgabe des Systems. Curtis u. a. (1999) beschreibt diese Schwierigkeit am Anwendungsbeispiel des Flugzeugbaus. In dieser industriellen Anwendung hat der Benutzer eine Reihe von technischen Schritten beim Verlegen von Kabelbäumen zu bewerkstelligen und wird vom System Schritt für Schritt angeleitet. Frühe Prototypen zeigen allerdings, dass sich die Benutzer nicht zurechtfinden und nicht wussten wo in der Welt die nächsten Arbeitsschritte zu erledigen seien. Dies war vor allem auf den geringen Sichtwinkel des verwendeten HMDs (s. Abschnitt 2.2.2) zurückzuführen. Das System musste den Blickfokus des Benutzers also an die nächste Position führen. In besagtem System wurde ein Kompass element eingebaut, dass die Richtung der nächsten Interaktionsfläche anzeigte.

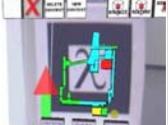
Anstelle eines Kompass können z.B. auch Pfeile eingesetzt werden (s. Tönnis u. a., 2005; Knapp und Reitmayr, 2005) um den Blick zu lenken. Auch im ARVIKA Projekt werden Pfeile eingesetzt.

Eine weitere Entwicklung sind die sogenannten Attentive User Interface (AUI). Diese interdisziplinäre Entwicklung beruht im Wesentlichen darauf durch die Benutzungsoberfläche die Aufmerksamkeit des Benutzers abhängig von Kontextinformationen (z. B. Warnungen im HUD eines Autos bei Staugefahr) zu steuern. Um die entsprechenden Informationen zu visualisieren, wurde von Novak u. a. (2004) eine interaktive Workbench konstruiert. Technisch gesehen ist die wesentliche Neuerung die Visualisierung des Fokusbereich durch einen virtuellen Kegel, der auf die aktuell betrachteten Objekte in der UI ausgerichtet ist. Zudem baut die Anwendung auf dem in der Forschergruppe entwickelten AR-Framework DWARF² auf (MacWilliams u. a., 2003, s. auch). Das Konzept selbst ist aber keine Neuerung und wird in der GUI-Entwicklung schon seit längerem eingesetzt, um den Benutzer zur Aufmerksamkeit zu zwingen. Allerdings gibt es dort keine automatisierte Systemreaktion, sobald der Benutzer seinen Blick auf die Meldung bezogen hat.

Eine weitere Variante, zu der bisher aber keine Veröffentlichungen bekannt sind, ist die

²<http://ar.in.tum.de/Chair/ProjectDwarf>

Abbildung 5.12.: Übersicht über die gängigsten Verfahren zur Wegfindung

Wegfindung	Karten			Markierungen in der Welt				
	WIM	Klassische Karte	Adaptive Karte	Globale Landmarken	Lokale Landmarken	Pfeile	Spuren	Pfade
Kurzbeschreibung	Welt wird in Miniaturansicht gezeigt	Einfache, starre zweidim. Karte	Karte richtet sich automatisch aus	Weltfixierte Punkte, die bei der Orientierung helfen (Sonne, Berge, etc.)	Schilder, Annotierungen, etc.	Pfeile, die die Richtung anzeigen	Der Benutzer hinterläßt Spuren in der Welt um seine zurückgel. Wege zu sehen	Der zu gehende Weg wird z.B. farblich hinterlegt
Bild								
Referenz	Kalkusch u.a. (2005)	Computerspiele z.B. Doom	Kalkusch u.a. (2005)	-	Höllerer u.a. (1999)	ARVIKA, Tönnis (2005)	Ruddle u.a. (2005)	Siemens VDO
Für AR VR DVR	ja ja ja	ja ja ja	ja ja ja	ja ja evtl.	ja ja ja	ja ja ja	ja ja ja	ja ja ja
Geometrie der Visualisierung	3D	2D	2D	2D/3D	2D/3D	2D/3D	3D	3D
Exo-/ egozentrisch	exo	exo	exo	ego	ego	ego	ego	ego
Evaluation	ja	ja	ja	-	ja	ja	ja	nicht publiziert
Kommentar	Gibt sehr gute Übersicht, auch für AR	Gut für Planung im Vorfeld, nicht für aktiven Einsatz in AR-Sitzung	Sehr für aktiven Einsatz in AR-Sitzung geeignet	Bisher noch nicht in AR bekannt, bzw. eingesetzt, aber prinzipiell machbar	Sehr mächtiges Mittel zur Wegfindung. Einfach Anwendung	Viele Varianten, 2D/3D oder auch starr und animiert etc.	Vorsichtig einsetzen, da ansonsten "Trail Pollution" droht	Technisch anspruchsvoll

Aufmerksamkeit durch Töne zu steuern. So könnte z.B. ein Avatar, der einen Touristen durch ein Gelände führt anhand seiner Stimme lokalisierbar sein. Sollte der Tourist seinen virtuellen Führer also aus dem Blick verloren haben, könnte der Avatar nach dem Benutzer rufen und dieser aus der Richtung der Stimme den Avatar finden.

5.3. Systemkontrolle

Unter dem Begriff der Systemkontrolle werden all diejenigen Funktionen zusammengefasst, die eine Änderung der maschineninternen Zustände bewirken. Bowman u. a. (2004, S. 256) definieren Systemkontrolle als eine Aufgabe, in der ein Kommando gegeben wird, um

- das System aufzufordern eine Funktion auszuführen,
- den Modus einer Interaktion zu ändern oder
- einen Systemzustand zu ändern.

Entscheidend in dieser Formulierung ist der Begriff des Kommandos. Im Gegensatz zu Selektion, Manipulation und Wegfindung hat der Benutzer die Möglichkeit anzugeben, *was* getan werden soll, aber nicht *wie*. Bei Kommandos für die Systemkontrolle wird der Benutzer dem System also nur auftragen, was zu tun ist, die Durchführung selbst ist für ihn nicht von Belang. Diese Aufgabe wird in traditionellen Benutzungsoberflächen in Form von textuellen Kommandos, Ikonen, Fenstern und Menüs verwirklicht.

Auch wenn die Kommandoorientiertheit nicht allgemein akzeptiert ist (so propagiert z.B. Nielsen (1993a) den Einsatz von nicht-kommandoorientierten Systemen), stellt sie doch in vielen Anwendungen den status quo dar. Abstrahiert man vom Begriff des Kommandos auf die Ebene der Objektorientiertheit, so sind diese Ansätze in das Objekt-Funktionsschema einzuordnen (mehr dazu im Abschnitt 4.7).

System- oder auch Anwendungskontrolle stellen eine wichtige Gruppierung innerhalb der Interaktionsaufgaben dar. Neben den eher auf direkte Manipulation fixierten Aufgaben bzgl. der Selektion und Manipulation, liegen Systemkontrollmechanismen meist abstraktere Techniken zu Grunde. Spätestens bei den Methoden der Systemkontrolle zeigt sich, dass das Ideal der nahtlosen eins-zu-eins Umsetzung der Wirklichkeit in die Virtualität noch lange nicht erreicht ist, bzw. nicht erreicht werden sollte. Wie schon in Abschnitt 4.3 beschrieben ist man nicht nur bei Fragen der Visualisierung von allgegenwärtigen Paradigma der Phorealität abgewichen. Gerade im Bereich der Systemkontrolle wird deutlich, dass alleine mit „natürlichen“ Interaktionsformen (im Sinne der eins-zu-eins Simulation der realen Umwelt) keine Applikation zu steuern ist. Gerade durch abstrakte Konzepte, wie Menüs, Listen usw. kann die Komplexität vieler Anwendungen erst beherrschbar, bzw. begreifbar gemacht werden.

Obwohl es sich um ein augenscheinlich wichtiges Aufgabengebiet der Interaktion mit AR Systemen, bzw. 3-D UI generell, handelt, so ist es doch eines der am wenigsten erforschten Teilgebiete (s. u.a. Hand, 1997; van Dam u. a., 2000; Dachselt und Hübner, 2006). Besonders im Bereich der Systemkontrolle scheinen die Interaktionskonzepte der bekannten

Systemkontrolle	
Zustandsänderung / Diskrete Wertegeber	
Aktivierung	
	Drucktaste
	Über Menü ->
Zwei Zustände	
	Druckschalter
	Kippschalter
	Schiebeschalter
	Check Box
Multiple Zustände	
	Radio Button
	Drehschalter
	Multiple Check Boxes
	Über Menü ->
Kontinuierliche Wertegeber	
Skalare Werte	
	Drehrad, Drehknopf
	Wippschalter
	Schieberegler
	Rollbalken
Multiple Werte	
	2-D-Schieberegler
	Farbwähler ->
Menüselektion	
Sonstige Kontrolle	
	Farbwähler
	Container
	Texteingabe

Systemkontrolle	
Zustandsänderung / Diskrete Wertegeber	
Kontinuierliche Wertegeber	
Sonstige Kontrolle	
Menüselektion	
Temporäre Optionsmenüs	
	Rotary Tool Chooser
	Menükugel
	Command & Control Cube
	Popup Menü
	Tool Finger
	TULIP
Einzelmenüs	
	Ringmenüs
	Listenmenüs
	Drop-Down-Menü
	Rondell
	Chooser Widget
	3D-Palette
Menühierarchien	
	Hands-off Menu
	Hierachical Pop-Up Menü
	Tool Rack
	Tortenmenü

Abbildung 5.13.: Techniken zur Systemkontrolle (links) und der Menüselektion im Speziellen (rechts)

grafischen Benutzungsoberflächen am verbreitetsten zu sein. Trotzdem haben sich einige interessante Teillösungen herausentwickelt, die hier genauer betrachtet werden sollen.

Tabelle 5.13 zeigt einen Überblick über die bekanntesten Techniken zur Sytemkontrolle. Nach einer kurzen Übersicht über die Interaktionstechniken zur Zustandsänderung wird in Abschnitt 5.3.2 genauer auch die verschiedenen Menuselektionstechniken eingegangen.

5.3.1. Zustandsänderung / Diskrete und kontinuierliche Wertegeber

Zustandsänderung lässt sich auch als die Eingabe diskreter Werte verstehen. Gerade im Bereich der TUI ist es meist schwer einen diskreten Wert vom physischen Objekt abzugreifen, so dass hier oft mit Time-Out-Mechanismen, Verdeckung, Drehwinkeln, Bewegungen etc. gearbeitet wird. Hierbei werden bestimmte Zeitintervalle oder Rotationswinkel eines Objektes oder eines Markers auf diskrete Eingabewerte abgebildet.

Ein Beispiel hierfür findet sich z.B. in den Arbeiten von Lee u. a. (2004b). Durch die Verdeckung bestimmter Marker kann hier die Funktion eines bestimmten Widgets ausgelöst werden. Um zufällige Verdeckungen auszusortieren wird ein Time-Out-Mechanismus angewendet. Bleibt der Marker noch eine längere Zeit verdeckt, so kann ein Wiederholungsmechanismus eingesetzt werden. Dies kann z.B. für die Simulation von Pfeiltasten zur Eingabe von numerischen Werten oder zur Simulation eines Scrollrads genutzt werden. Der Einsatz



Abbildung 5.14.: Beispielbilder aus der Tinmith Applikation (entnommen aus Piekarski, 2004)

mehrerer Marker erlaubt eine Messung der Position auf Submarkerebene. Sind Marker z.B. in einer Reihe angeordnet, kann bei der gleichzeitigen Verdeckung von zwei benachbarten Markern davon ausgegangen werden, dass eine Selektion zwischen den beiden Markern erfolgte. Auf diese Weise lassen sich z.B. Schieberegler zur Eingabe von kontinuierlichen Werten umsetzen. Die Funktionalität der hier beschriebenen Elemente (Schieberegler, Buttons etc.) unterscheidet sich aber nicht von den bekannten WIMP Anwendungen.

Ein weiteres Beispiel für die Umsetzung eines bekannten 2-D-Widgets in die AR stellt das von Hienert (2005) eingesetzte Prinzip der MagicMouse (s. Abschnitt 5.1.1), zur Produktion von Musik in Augmented Reality dar. Mit Hilfe der relativen zweidimensionalen Positionierung eines Markers wird ein Mediensequenzler bedient. Die Bewegungen auf der x - und y - Achse werden auf Geschwindigkeit und Rythmus abgebildet und bieten damit einen ähnlichen Interaktionsspielraum wie das Theremin, ein berührungslos gespieltes Musikinstrument. Das Problem der fehlenden diskreten Werteeingabe wurde durch einen Timeout-Mechanismus und durch einen zweiten Marker gelöst. Die beiden vorhabenen Marker werden an Daumen und Zeigefinger angebracht und der Abstand der beiden zueinander bestimmt. Unterschreitet der Abstand einen gewissen Schwellwert, so wird die aktuelle Funktion ausgewählt und es wird nur noch eine Positionsänderung auf der y -Achse ausgewertet. Mit Hilfe dieser Beschränkungen kann dann z.B. ein virtuelles Mischpult bedient werden, das aus Drehreglern besteht - Ein weiteres bekanntes Element traditioneller WIMP Anwendungen. Heutige WIMP Applikationen bestehen zu weiten Teilen aus standardisierten Widgets (s. Definition in Kapitel 2). Typische Widgets sind z.B.:

- Ikone (Grafisches Symbol, meist als Repräsentant einer Datei)
- Symbolleiste (Ein größeres Feld mit mehreren meist bildhaften Schaltflächen (Ikonen) für Programmfunktionen. Kann ein Menü ergänzen oder auch ganz ersetzen)
- Schaltfläche (Button, ein Knopf zum Drücken)
- Checkbox (Auswahlkästchen, die zu Gruppen zusammengefasst sein können, mehrere Möglichkeiten können dabei ausgewählt werden)

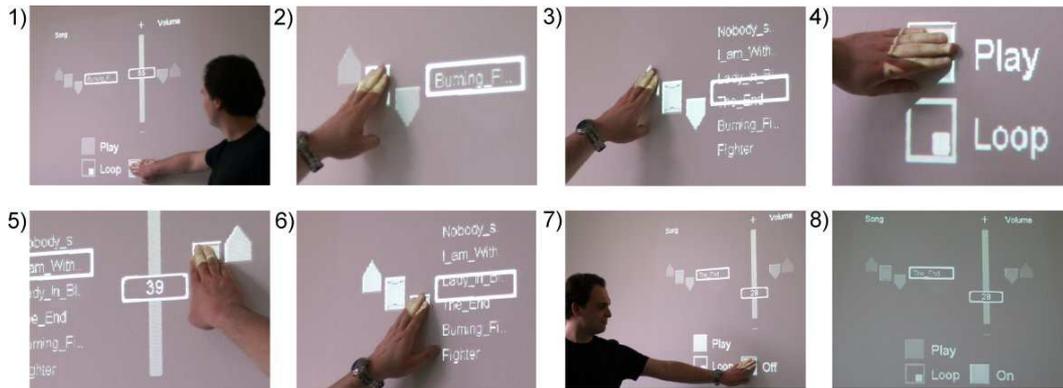


Abbildung 5.15.: Übersicht über mögliche Widgets aus dem FLUIDUM Projekt.

- Radiobutton (Auswahlkästchen die immer zu Gruppen zusammengefasst werden, nur eine Möglichkeit kann dabei ausgewählt werden)
- Listenfeld (Eine Auswahlliste, auch Listbox genannt, zur Auswahl von Zahlen, Wörtern und anderen Objekten. Mehrzeilig oft mit vertikaler Bildlaufleiste oder einzeilig mit zugehöriger Schaltfläche als so genanntes Drop-Down-Listenfeld)
- Textbox (Ein- oder mehrzeiliges Feld zur Ein- oder Ausgabe von alphanumerischen Werten)
- Combobox (Ein Kombinationsfeld, zusammengestellt aus einem Textfeld und einer Auswahlliste, meist einer Drop-Down-Auswahlliste)
- Bildlaufleiste (Rollbalken, Scrollbar; zum schnellen Blättern durch Texte)
- Schieberegler (Slider; Auswahl z.B. von numerischen Werten)

Viele dieser 2-D-Standardwidgets werden auch eins-zu-eins in AR Anwendungen umgesetzt, wobei Modifikationen bzgl. der Bedienbarkeit nötig sein können. An der Grundfunktionalität der 2-D-Widgets ändert sich allerdings nichts, daher soll hier auf eine weitere Beschreibung dieser Elemente verzichtet werden. Allerdings haben sich einige in der Desktopwelt ungewöhnlichen Widgets herausgebildet.

Beim Entwurf des iOrb³ (s. Abbildung 5.16) von Reitmayr u. a. (2005) wurden neben klassischen Listen und Drehreglern auch einige Techniken für die Systemkontrolle von mobilen Augmented Reality Anwendungen entwickelt. Da das Eingabegerät selbst eine mit Inertial Sensoren versehene Kugel war, lag es nahe auch eine Optionsauswahl über eine Kugelvisualisierung zu implementieren. Der sogenannte Optionsball ermöglicht durch ein direktes Mapping der Hand- und Armdrehung auf den Ball eine Optionsauswahl. Problematischer wird dieses Mapping allerdings, wenn die 3-D-Eingabedaten des iOrbs auf eine 1-D Auswahl, wie z.B. in einem Kreismenü oder einer Liste, abgebildet werden sollen.

³Beispielvideo unter <http://www.ims.tuwien.ac.at/media/videos/iOrb.avi>

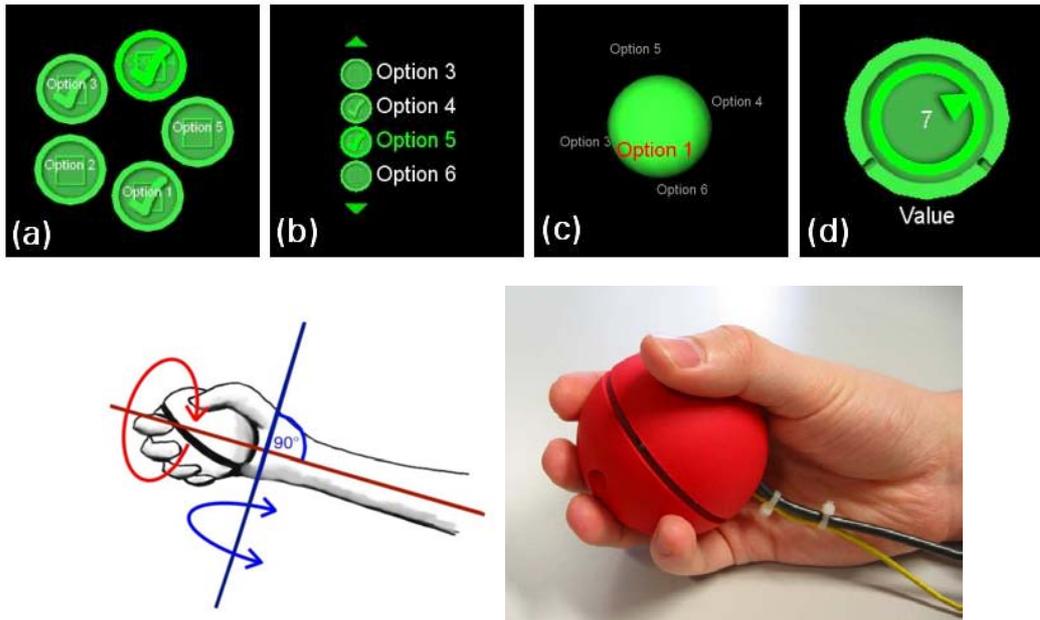


Abbildung 5.16.: Widget der iOrb Anwendung. (a) Ringmenü, (b) Listenwidget, (c) Optionsball, (d) Kontinuierlicher Drehregler

Der Bereich der Menüselektion allerdings unterscheidet sich teilweise enorm von bekannten GUI Konzepten, wobei auch nahezu alle diskreten und kontinuierlichen Wertegerber in Menüs wiederfinden, bzw. von diesen übernommen werden können (s. Tabelle 5.13). Daher soll der Fokus dieses Abschnittes auf dem Teilgebiet der Menüselektion liegen.

5.3.2. Menüselektion

Grafische Menüs können, wie in Abbildung 5.15 zu sehen, ähnlich den Desktopmenüs gestaltet werden. Speziell für den Einsatz in virtuellen Umgebungen haben sich, von den zweidimensionalen Menüs aus dem Desktopbereich ausgehend, einige spezielle Lösungen herausgebildet, wobei sich laut Dachelt und Hübner (2006) drei Hauptklassen unterscheiden lassen (s. Abbildung 5.13).

Temporäre Optionsmenüs stellen einfache Werkzeug-, Objekt- oder Optionsmenüs zur Verfügung. Meist werden diese Arten von Menüs nur kurzfristig angezeigt und beinhalten nur eine beschränkte Zahl an Optionen. Temporäre Optionsmenüs sind auf eine Menüebene beschränkt und unterstützen keine erweiterten Hierarchien. Bei der bedingungslosen Übernahme bekannter Menükonzepte, wie z.B. den Pop-Up-Menüs zeigt sich, dass die Existenz einer dritten Dimension Problem bereiten kann. Neben der erhöhten Komplexität der Interaktion ist die Lesbarkeit von Beschriftungen bei einem dreidimensional ausgerichteten Pop-Up-Menü nicht mehr gewährleistet (s. Abschnitt 4). Temporäre Optionsmenüs werden in Tabelle 5.19 zusammengefasst.

Einzelmenüs sind im Gegensatz zu den temporären Optionsmenüs meist permant sichtbar, bzw. an einen Ort oder ein Objekt gebunden. Ebenfalls stehen hier auch meist eine größere Anzahl an Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung. Viele von ihnen sind generalisierbar und folglich zu Menühierarchien erweiterbar. Auch hier bleiben die Probleme der Visualisierung bestehen. Einzelmenüs werden in Tabelle 5.20 zusammengefasst.

Menühierarchien werden eingesetzt um einem höheren Grad an Komplexität verwalten zu können. Hierzu werden z.B. generalisierbare Einzelmenüs erweitert. Aus einfachen Ringmenüs werden so Tortenmenüs, aus Pop-Up-Menüs Hierarchische Pop-Up-Menüs. Menühierarchien werden in Tabelle 5.21 zusammengefasst.

Neben der gezeigten Einteilung sind alternative Systematierungen denkbar. In Dachsel (2004) werden z.B. Einteilungen bzgl. der geometrischen Ausprägung der verwendeten Elemente benutzt. So lässt sich eine Unterscheidung zwischen Flächenmenüs, Volumenmenüs und Freien Menüformen treffen. Der Vorteil dieser Einteilung besteht darin, dass von einem Anwendungsentwickler nicht die Art der Anwendung (Temp. Optionsmenü etc.), sondern die Form der Darstellung als Auswahlkriterium genutzt werden kann. Weiterhin wäre es natürlich möglich Tabellen z.B. mit der Einteilung bzgl. der Eingabewerkzeuge (z.B. Pinch Gloves, Sprache, TUIs etc.) oder der Art der Orientierung im Raum (vertikal, horizontal zur Sichtachse des Nutzers oder parallel zur Bildebene in Form von *bildschirmfixierten* Inhalten etc.) zu entwerfen.

Menüselektion und Dimensionalität

Betrachtet man das Wesen der Menüselektion, so ist dies meist die Auswahl einer Option aus einer Liste. Dieser Auswahlprozess ist meist rein eindimensional. Trotzdem lässt sich diese eindimensionale Aufgabe in Desktopsystem meist recht gut mit einem zweidimensionalen Eingabegerät bewerkstelligen, da hier durch das System Beschränkungen (Constraints) vorgegeben werden. So kann z.B. der Cursor nicht über den Bildschirmrand hinaus geschoben werden. Dieses Phänomen lässt sich sehr einfach mit *Fitts Gesetz* (s. Fitts, 1954) beschreiben. Hierbei handelt es sich um eine Beschreibung der Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit eines Auswahlprozesses. Fitts Gesetz (Gleichung 5.1) beschreibt (in diesem Falle in der vereinfachten, eindimensionalen Fassung) die Zeit, die benötigt wird, von einem Startpunkt aus eine bestimmte Region zu erreichen, z.B. mit einem Mauszeiger zu einem Button oder mit der Hand zu einem Knopf.

$$T = a + b \log_2 \left(\frac{D}{W} + 1 \right) \quad (5.1)$$

T beschreibt dabei die durchschnittliche Zeit, die benötigt wird, die Bewegung auszuführen. a und b sind empirische Konstanten. D ist die Distanz zwischen dem Ausgangspunkt und dem Zentrum des Ziels. W ist die Größe des Ziels und kann auch als Fehlertoleranzgrenze verstanden werden, da der Zielpunkt innerhalb von $\pm \frac{W}{2}$ zum Zentrum des Zieles liegt (s. Abbildung 5.17). Aus dieser Gleichung kann abgeleitet werden, dass es ein Verhältnis

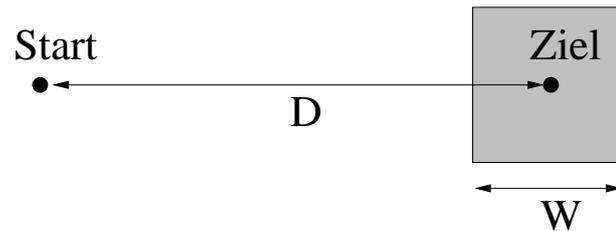


Abbildung 5.17.: Grafische Darstellung von Fitts Gesetz, s. Gleichung 5.1

zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit gibt, welches impliziert, dass kleine Ziele eine längere Zeit benötigen um getroffen zu werden.

Trotz seiner Einfachheit handelt es sich bei Fitts Gesetz wohl um eines der meist ignorierten Designprinzipien beim Entwurf von Benutzungsschnittstellen. Wie Tognazzini (2005) beschreibt, ist z.B. das Pull-Down Menü auf Apple Macintosh Rechnern um bis zu fünf mal effektiver, als das bei typischen Windowsoberflächen. Die Beschränkung, dass sich das Menü immer am oberen Bildschirmrand befindet, wie es bei Applesystemen üblich ist, erleichtert den Prozess der Menüauswahl. Bei Windowssystemen liegt die Menüleiste häufig zwischen Fensterrahmen und Werkzeugleiste, so dass es erschwert wird, das Ziel (den Menütitel) mit der Maus zu treffen. Durch die Platzierung am Bildschirmrand kann der Benutzer nicht mehr sprichwörtlich über das Ziel hinausschießen. Solche Beschränkungen können eingesetzt werden, Schwierigkeiten im Umgang mit dreidimensionalen Benutzungsschnittstellen und -werkzeugen zu umgehen.

Erhöht man die Anzahl der Menüeinträge, oder erhöht die Dimensionalität des Eingabewerkzeuges, erschwert man die Interaktion unnötig. Der Versuch aus einer eindimensionalen Liste, mittels einer vollständig getrackten Hand mit 6 Freiheitsgraden, einen Eintrag zu selektieren ist verhältnismäßig schwerer, als diese Aufgabe mit einem rein eindimensionalen Eingabegerät, wie z.B. einem Dreh-Drückregler, zu erledigen.

Untersuchungen von Darken und Durost (2005) zeigten ebenfalls die starke Abhängigkeit der Dimensionalität der Eingabe und der Dimensionalität der Aufgabe. Durch ein zu mächtiges Eingabewerkzeug steigt die Möglichkeit Fehler zu machen rapide an. Die Untersuchungen zeigten, dass ein genaues Abstimmen der Eingabetechnik mit der entsprechenden Aufgabe in Hinsicht auf ihre Dimensionalität zu einer gesteigerten Erfolgsrate führte. Es macht also durchaus Sinn sowohl Interaktionsgerät, Aufgabe und Interaktionstechnik aufeinander abzustimmen. Ein Beispiel hierfür wäre ein Dreh-Drückregler, der in einem Kreis- oder Ringmenü eine Auswahl tätigt. Hierbei handelt es sich dann wieder um ein natürliches Mapping, wie bereits in Abschnitt 3.2.3 beschrieben.

Spezielle Menülösungen in AR Systemen

Menüs im Allgemeinen bieten per se noch keinen nutzergerechte Benutzungsoberfläche. Krause (1992) zeigt, dass eine Gestaltung von Menüoberflächen klare Regeln befolgen muss, um Probleme wie den Häckchenformalismus oder auch simple kognitionswissenschaftliche Erkenntnisse über die Aufnahmefähigkeit des Menschen (z.B. nicht mehr als 7+1 Einträge in

einer Menüzzeile pro Ebene etc.) zu umgehen, auch wenn (Bowman u. a., 2004, S. 255) meinen, dass „wir nicht viel über die Gestaltung von zweidimensionalen Benutzungsoberflächen nachdenken“⁴. Gerade auf Grund von ungenauen oder komplizierten Zeigewerkzeugen haben sich andere Formen der Menüsysteme in ER Anwendungen herausentwickelt.

Sasaki u. a. (2000) stellen z.B. ein Menüsystem vor, das auf die Hand der Benutzers geblendet wird und eine direkte Interaktion mit der Hand erlauben. Der o.g. Prototyp arbeitet mit Mitteln der Bildverarbeitung, wobei die Hand mittels bestimmter Farbmerkmalen im HSV Farbraum⁵ vom Hintergrund getrennt wird. In einem zweiten Schritt werden die beiden größten zusammenhängenden Regionen gesucht. Die erste stellt die Menühand, die zweite die Selektionshand dar. Die Überlappungsregionen der Hände werden dann durch Kantendetektion voneinander unterschieden. Hierbei unterscheidet das System zwischen einer Region mit fünf Fingern (Menühand) und einer Region mit nur einem Finger (Selektionshand). Die einzelnen Menüeinträge werden dann auf die jeweiligen Finger geblendet und die Selektion der Einträge erfolgt über einfache Distanzmessung zwischen den Fingern der Menü- und der Selektionshand. Ein erweiterter Prototyp⁶ wurde entwickelt, der zusätzlich zu dem soeben beschriebenen eindimensionalen Menü ein zweidimensionales Menü erzeugt, das jedem Fingersegment ein Widget zuordnet.

Die soeben eingeführten eindimensionalen Menüs, werden auch manchmal auf Grund ihrer Form *Ringmenüs* (s. Liang und Green, 1993) genannt. Diese Art der Menüs erlaubt keine komplexen Strukturen, sondern nur eine Auflistung von Funktionen, die vom Benutzer ausgewählt werden können. Komplexere Menüstrukturen lassen sich meist nicht mit diesen Mitteln darstellen. Der Vorteil dieser Variante liegt in ihrer Schlichtheit. Ein nur eindimensionales Eingabegerät kann schon ausreichen um diese Art der Menüs zu benutzen. Ursprünglich wurde diese Art des Menüs durch den entsprechenden Neigungswinkel der Hand bedient, wie der Rotary Tool Chooser von Mine (1995). Wie aber auch schon beschrieben kann diese durch den Drehwinkel eines Markers oder auch z.B. durch einen Dreh-Drückregler genutzt werden.

Ebenfalls rein eindimensional sind einfache Listenmenüs (wie z.B. auf Abbildung 5.16 zu sehen), die ebenfalls mit sehr einfachen Eingabewerkzeugen zu bedienen sind. Entscheidungshilfe für die Wahl zwischen Ring- oder Listenmenüs kann die Wahl des Eingabewerkzeugs sein. Ist z.B. nur ein Wippschalter verfügbar kann die Liste von Vorteil sein, bei einem Dreh-Drückregler mag das Ringmenü das direktere Mapping (s. Abschnitt 3.2.3) liefern.

Die Funktionalität der eindimensionalen Menüs kann erweitert werden, wie z.B. in einem Vorschlag von Bowman und Wingrave (2001). Die TULIP (Three Up, Labels In Palm) Technik arbeitet, so wie auch das Tinmith Projekt mit Pinch Gloves. Jedem Finger ist hierbei ein Menüeintrag zugeordnet, der Daumen dient als Auswahlinstrument. Werden mehr als vier Menüeinträge angezeigt, so erhält der kleine Finger die Funktion zum Weiterblät-

⁴Englisches Original: „Although we don't think much about the design of such techniques in 2-D UIs, system control interfaces for 3-D UIs are not trivial“

⁵Der HSV Farbraum beschreibt Farben nicht als additive oder subtraktive Mischung der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau sondern mit Hilfe von einem durch einen Winkel beschriebene Grundfarbe aus dem Vollkreis (0 entspricht hierbei z.B. der Farbe Rot), der Sättigung der Farbe und eines Wertes, der die Position auf der Unbuntachse angibt. Für weitere Erläuterungen siehe (Paulus, 2001, S. 51)

⁶http://marisil.org/?02_development/05_demo

tern. Die nächsten drei Einträge werden dabei schon in der Handfläche angezeigt, so dass der Benutzer jeweils einen Überblick über bis zu sechs Einträge hat. Komplexere Gebilde, wie Dialogboxen oder auch Felder zur Eingabe textueller oder numerischer Werte sind mit dieser Technik allerdings nicht möglich.

Aus diesem Grund wird häufig versucht komplexere Strukturen auf „Remotemenüs“, also Menüs, die aus der Ferne bedient werden, abzubilden, z.B. auf einen Tablet-PC oder einen PDA. Vorteile dieser Lösungen sind, dass man Interaktionsmetaphern und Konzepte aus der zweidimensionalen WIMP Welt eins-zu-eins übernehmen kann. Komplexe Menüstrukturen sind mit diesen Interaktionswerkzeugen leicht zu verwirklichen. Nachteilig an diesen Lösungen ist aber ein klarer Bruch in der Interaktion. Dreidimensionale Umwelt und Eingabewerkzeug haben nicht viel miteinander zu tun, es existieren zwei Welten parallel nebeneinander her. Nachteilig sind diese Technologien auch, wenn mit kopfbasierten Videodurchsichtgeräten gearbeitet wird. Wie in Abschnitt 2.2.2 dargestellt, gehen durch die Videoumwandlung der wirklichen Welt viele Detailinformationen verloren.

Es existieren eine Reihe von unterschiedlichen Eingabewerkzeugen zur Benutzung von Menüsystemen. Die schon vorgestellten Pinch Gloves oder Dreh-Drückregler stellen nur ein Beispiel hierfür dar. Auch Eingabegeräte, die mit sechs Freiheitsgraden arbeiten, können benutzt werden. Hierzu werden allerdings nur die Werte für die x - und y - Koordinate ausgelesen, um mit einem zweidimensionalen Menü interagieren zu können, im Falle der eindimensionalen Menüs reicht sogar nur eine einzige Raumachse aus (s. Hienert, 2005).

Generell stellt sich die Frage nach der Positionierung der Menüelemente. Wie schon in Abschnitt 4.4.1 beschrieben, muss unterschieden werden zwischen Informationen, die in der Welt oder an Bildschirmkoordinaten fixiert sind. Bei Menüsystemen könnte man weiter unterscheiden zwischen *weltfixiert*, *handfixiert*, *objektfixiert*, *bildschirmfixiert* etc.

Weltfixierte Menüs bieten sich an für Konfigurationen von Eigenschaften, die spezielle Objekte in der Welt betreffen. Nachteilig an diesen Lösungen sind die schwere Bedienung über Distanzen, da z.B. in der Regel kein haptisches Feedback gegeben werden kann. Der Benutzer interagiert quasi mit dem leeren Raum. Handfixierte Systeme bieten den Vorteil, dass sie eine enge körperliche Bindung zum Benutzer darstellen, die Funktionalitäten sind sprichwörtlich „immer zur Hand“. Nachteilig ist allerdings der eingeschränkte Funktionsumfang und die teilweise nötigen Eingabewerkzeuge wie Pinch Gloves. Objektfixierte Lösungen besitzen klare Vorteile, wenn es um passives haptisches Feedback geht.

Das *Personal Interaction Panel* (PIP) wurde an der TU Wien entwickelt und als ein vollkommen neues Interaktionsparadigma vorgestellt. Das PIP besteht aus einem beidhändig zu benutzendem Hardwareaufbau, der zur Steuerung von dreidimensionalen Applikationen genutzt wird (s. Szalavari und Gervautz, 1997). Der Benutzer trägt zusätzlich zu einem HMD eine Platte (PIP) und einen Stift (PEN). Platte und Stift sind beide mit magnetischen Trackingsensoren ausgerüstet, um insgesamt sechs unterschiedliche Freiheitsgrade abdecken zu können. Durch das magnetische Tracking sind die Positionen der Platte und des Stifts dem System bekannt. Die Platte wird mit einer virtuellen Benutzeroberfläche überblendet, die aus Knöpfen, Schieberegler und Farbfeldern besteht. Der Stift wird benutzt, um eine „point and click“ Interaktion mit den virtuellen Elementen der Benutzeroberfläche zu ermöglichen. Mit Hilfe des PIPs können neue virtuelle Objekte im Raum erschaffen werden, welche dann ausgewählt und manipuliert werden können. Weiterhin ist es mög-

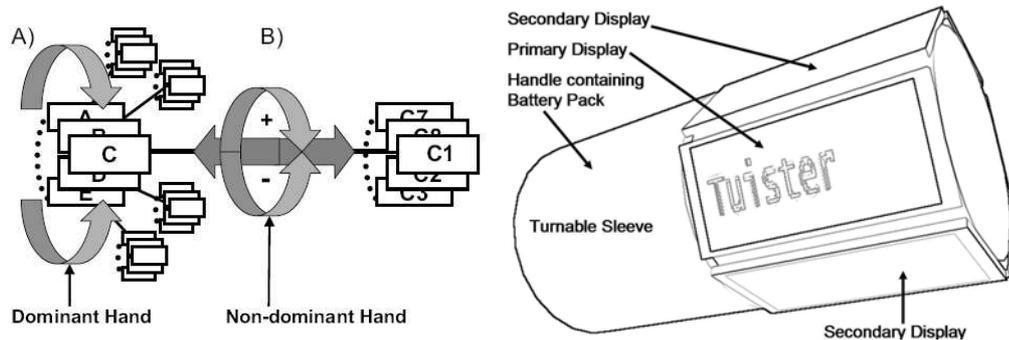


Abbildung 5.18.: TUISTER, ein zweihändig zu bedienendes TUI für den Einsatz von hierarchischen Menüstrukturen von Butz u. a. (2004)

lich Schnittstellen zu entwerfen, die es mehreren Benutzer erlauben, gleichzeitig mit dem System interagieren zu können.

Vorteil des PIP/PEN Ansatzes ist der Einsatz natürlicher Beschränkungen (constraints). Der Benutzer erlangt durch die Kombination von Platte und Stift ein passives haptisches Feedback und interagiert nicht „mit der Luft“. Weiterhin sind die verwendeten Widgets Reimplementationen bekannter Konzepte von traditionellen GUIs. Während der Evaluierung des PIP/PEN Ansatzes zeigte sich allerdings eine hohe Abhängigkeit durch pixelgenaues Tracking. Schon leichte Fehler oder Abweichungen in der Kalibrierung führten zu Bedienungsfehlern.

Lösungen, wie z.B. das PIP oder der Einsatz von Tablet-PCs und PDA, bieten dem Benutzer also eine Arbeitsfläche auf der z.B. mit einem Stift interagiert werden kann. Diese Beschränkung der Freiheit (constraints) bietet eine akurater Zielleistung, als dies mit reinen Raycasting Methoden möglich ist. Allerdings bedienen sich diese Methoden keiner neuen Technik und kopieren nur bekannte Konzepte aus der WIMP Welt. Potenziale der Erweiterten Realitäten werden hier nicht beachtet oder bewusst ausgeblendet. Sie bieten also keinen erkennbaren Mehrwert und sind weiterhin auch von zusätzlichen Eingabewerkzeugen abhängig.

Eingesetzt wurden Menüs auch im ARVIKA Projekt Beu u. a. (2003). Der Vorteil der hier verwendeten Menüs, bzw. des kompletten Interaktionskonzeptes war, dass der Nutzer nicht an ein Interaktions-, bzw. ein Ausgabegerät gefesselt war. So war es z.B. möglich das System mit Sprache oder auch einem Dreh-Drückregler zu steuern. Die Informationsdarstellung war so angepasst, dass sie sowohl auf einem Tablet-PC, als auch in einem optischen See-Through- und einem Look-Around-Display genutzt werden konnte. Hierzu mussten allerdings für jedes Gerät gewisse Beschränkungen beachtet werden. Die Oberfläche nutzte darüber hinaus noch weitere Widgets, wie z.B. Ikonen, Listen oder Checkboxes.

Einen sehr hardwarenahen Entwurf zeigen Butz u. a. (2004). Der Tuister ist ein Tangible User Interface (s. Abbildung 5.18), das zweihändig bedient wird. Wie in der Abbildung zu sehen ist es mit Hilfe des Tuisters möglich durch Menühierarchien zu navigieren, indem die zwei Hälften des Tuisters gedreht werden. Gleichzeitig ist der jeweils gewählte Menüeintrag

auf einem kleinen Display zu sehen, ebenso wie seine benachbarten Displays. So ergibt sich eine jeweilige Visualisierung des Kontextes. Die Hierarchie des Menüs ist an Cone Trees (s. Heuser, 2006) angelehnt. Das Bedienkonzept ermöglicht hier allerdings durch die haptische Komponente ein besseres mentales Modell der Menüstruktur auszubauen, da dieses mit Handbewegungen verbunden ist, die sich der Benutzer recht gut merken kann. Nachteilig ist natürlich die recht bescheidene Visualisierungsqualität der verwendeten Displays, die im Fokus sind und auch die nur beschränkte Kontextvisualisierung.

Darüber hinaus gibt es noch einige weitere spezielle Menükonstrukte, wie z.B. den *Command and Control Cube* (s. Grosjean u. a., 2002) oder auch den *ToolFinger* (s. Wesche und Droske, 2000), die an dieser Stelle aber nicht weiter detailliert beschrieben werden sollen. Eine Kurzbeschreibung dieser Lösungen sind in den Tabellen ab Seite 66 enthalten.

5.3.3. Sonstige Kontrolle

Zusätzlich zu den hier vorgestellten Interaktionselementen gibt es eine Reihe weiterer Widgets und Interaktionstechniken für spezielle Aufgaben. In Abbildung 5.13 werden z.B. noch *Farbwähler*, *Container* und *Texteingabe* genannt. Die Texteingabe ist wie beschrieben meist sehr stark vom Eingabewerkzeug abhängig und auch der Einsatz von Farbwählern ist ein sehr spezielles Problem, zu dem es allerdings einige interessante Lösungen auf Basis von TUIs gibt (s. Keefe u. a., 2001).

Abbildung 5.19.: Übersicht über die gängigsten Verfahren für Temporäre Menüs

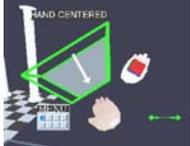
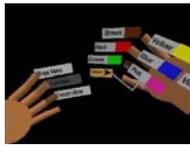
Menüeselektion	Temporäre Optionsmenüs					
	Menükugel	Rotary Tool Chooser	Command & Command Cube	Popup Menü	Tulip	Menu in Hand
Kurzbeschreibung	Durch Drehung der Hand oder eines Gegenstands wird die ausgewählte Option in den Vordergrund gebracht	Die Drehung der Hand wird auf eine Menüauswahl gemappt	3D-Menü, dass aus 3x3x3 Optionen besteht	Analog zu bekannte 2D Lösungen. Kann im Raum ausgerichtet werden	Auswahl der Menüpunkte durch Berührung von Finger und Daumen	Menüelemente werden in die Handfläche projiziert und durch Berührung der 2. Hand ausgewählt
Bild						
Referenz	z.B. Reitmayr (2005)	Mine (1995)	z.B Grosjean (2002)	Wloka (1995)	Bowman (2001)	Antoniac (2001)
Für AR VR DVR	ja ja ja	ja ja evtl.	ja ja evtl.	ja ja ja	evtl. ja nein	ja evtl. nein
Dimensionalität der Interaktion	2D	1D	3D	1-3D	8D	1-2D
Geometrie der Visualisierung	3D	3D	3D	2-3D	2D	2D
Max. Einträge	ca. 8.	ca. 5 - 8	27	ca. 7	ca. 7	ca. 12
Hierarchie	nein	nein	nein	nein	ja, 1 Stufe	nein, erweiterbar
3D-Objekte	ja	ja	ja	evt.	nein	evtl.
Icons	ja	ja	ja	evtl.	evtl.	ja
Text	ja	evtl.	ja	ja	ja	evtl.
Platzbedarf	gering	gering	groß	mittel	gering	gering
Äquivalenz in 2D	nein	nein	nein	ja	nein	nein
Formal Evaluert	nein	nein	ja	ja	ja	nein
Kommentar / Besonderheiten	Anstelle der Hand auch mit einem TUI realisierbar	Anstelle der Hand auch mit einem TUI realisierbar	Stark von Eingabegerät abhängig	Interaktion mit mehr als 3 DOF Geräten schwierig, Problem Textlesbarkeit	Speziell auf Pinch Gloves ausgerichtet	Stark von Bildverarbeitung abhängig

Abbildung 5.20.: Übersicht über die gängigsten Verfahren für Einzelmenüs

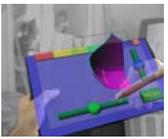
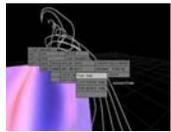
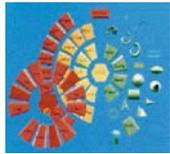
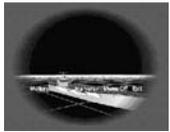
Menüselektion	Einzelmenüs					
	Drop-Down-Menü	Ringmenü	Listenmenü	Pen and Tablet	FingARtips	Menu Tiles Book
Kurzbeschreibung	Analog zu bekannte 2D Lösungen. Kann im Raum ausgerichtet werden	Optionen sind in Kreisform angeordnet	Optionen sind in Form einer Liste angeordnet, durch Scrollbars können mehr Optionen untergebracht werden	2D Widgets werden auf einer Platte angezeigt und mittels eines Stifts ausgewählt	Erlaubt die Auswahl aus einer Menge von Objekten aus einem Menü mit einer behandschuhten Hand	Menükarten werden aus einem physischen Buch ausgesucht und dann mit virtuellen Elementen kombiniert
Bild						
Referenz	z.B. Mine (1995)	z.B. Reitmayr (2005)	z.B. Reitmayr (2005)	Schmalstieg (2000)	Buchmann u.a. (2004)	Poupyrev u.a. (2001)
Für AR VR DRV	evtl. ja ja	ja ja ja	ja ja ja	ja evtl. nein	ja ja nein	ja evtl. nein
Dimensionalität der Interaktion	1D	1D	1D	2D	3D	3D
Geometrie der Visualisierung	2D	2D	2D	3D	3D	3D
Max. Einträge	ca 7 (+ Scrollfunkt.)	ca. 7	ca. 7 (+ Scrollfunkt.)	ca. 12.	ca. 7	beliebig
Hierarchie	nein	nein	nein	nein	nein	nein
3D-Objekte	evtl.	evtl.	evtl.	ja	ja	evtl.
Icons	ja	ja	ja	evtl.	nein	ja
Text	ja	ja	ja	nein	nein	evtl.
Platzbedarf		mittel	gering	mittel - groß	groß	mittel
Äquivalenz in 2D	ja	ja	ja	nein	nein	nein
Formal Evaluert	ja	ja	ja	ja	nein	nein
Kommentar / Besonderheiten	Ähneln Listen oder Pop-up Menüs. Problem mit der Textlesbarkeit	Beste Darstellung parallel zum Bildschirm	Beste Darstellung parallel zum Bildschirm	Gute Performanz in AR Anwendung durch hapt. Feedback, aber von Trackern abhängig.	Auch gut mit TUI realisierbar	Spezielle AR Lösung mit einer TUI

Abbildung 5.21.: Übersicht über die gängigsten Verfahren für Hierarchiemenus

Menüselektion	Einzelmenüs (Forts.)	Menühierarchien				
	TUI Ringmenü	Tinmith-Hand	Hierachical Pop-Up Menu	Tortenmenü	TUISTER	Hands-off Menu
Kurzbeschreibung	Auswahl aus einem Ringmenü mittels TUI, Marker in Broschüre angeordnet, Timeout-Auswahl	Steuerung durch ein hier. Menü mittels Pinch Gloves, jedem Finger ist ein Menüeintrag zugeordnet	Vergleichbare Funktionalität wie in WIMP Lösungen	Erweiterung des Ringmenüs um Hierarchien	Durch Rotieren der am Handgelenk getragenen TUISTER werden Einträge geändert, 2 Hände möglich	Steuerung eines 2D Menüs im Raum durch Sprache
Bild						
Referenz	Schaer (2006)	Piekarski (2004)	VWT NASA	-	Butz u.a. (2004)	Darken (1994)
Für AR VR DVR	ja evtl. nein	ja evtl. nein	evtl. ja ja	evtl. evtl. ja	ja nein nein	evtl. ja evtl.
Dimensionalität der Interaktion	1D	8D	2D	2D	1D	-
Geometrie der Visualisierung	3D	2D	2D	2D	-	3D
Max. Einträge	4-8	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
Hierarchie	nein	ja	ja	ja	ja	ja
3D-Objekte	ja	nein	nein	evtl.	nein	ja
Icons	evtl.	evtl.	evtl.	ja	nein	evtl.
Text	ja	ja	ja	evtl.	ja	evtl.
Platzbedarf	mittel	mittel	mittel - groß	groß	gering	mittel
Äquivalenz in 2D	nein	nein	ja	ja	nein	nein
Formal Evaluert	ja	ja	ja	ja	?	ja
Kommentar / Besonderheiten	TUI Lösung, arbeitet mit Timeouts, Starke Abhängigkeit von Markern	Stark von Pinch Gloves abhängig	Einsatz von Pointing kann Interaktion erschweren	Einsatz von Pointing kann Interaktion erschweren	Keine universelle Lösung, von Hardware abhängig	Stark von Sprache abhängig, in Mobilien Anwendungen ggf. Problem

6. Gesamtsysteme und Anwendungen

Neben Arbeiten, die sich mit bestimmten Teilproblemen der Interaktion mit AR Systemen beschäftigen, finden sich in der Literatur auch viele ganzheitliche Lösungsansätze, die versuchen, Gesamtsysteme zu entwerfen. Diese Anwendungen sollen in diesem Abschnitt betrachtet werden um einen Überblick über die aktuellen Arbeiten im Bereich der AR zu ermöglichen.

6.1. ARVIKA - Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service

Neben den rein technischen Problemen und Umsetzungen setzte das ARVIKA Projekt von vornherein auf ein *human centered design*. Das ARVIKA Projekt wurde gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) von 1998 bis 2003. Unterschiedliche Prototypen wurden entwickelt, die sich auf die ISO13407 „Human centered design processes for interactive systems“ stützten. Ein zentrales Element dieser Norm ist die frühe Einbeziehung der potentiellen Nutzer in den Entwurfs- und Entwicklungsprozess. Während zahlreicher Evaluationsphasen wurde das starke Potential der auf ER basierten Hilfesysteme, während der Konstruktion oder auch bei Serviceprozessen, aufgezeigt, was zu einem hohen Maß an Akzeptanz der Systeme unter den Teilnehmern sorgte.

Das innerhalb des ARVIKA Projektes (s. Friedrich, 2004) entwickelte Benutzungskonzept war eine typische zweidimensionale bildschirmfixierte AR-Oberfläche. Es wird ein HUD eingeblendet, das alle Interaktionsmöglichkeiten grafisch in Form von Ikonen repräsentiert. Das Konzept lässt sich ggf. verfeinern durch eine gewisse Kontextsensitivität, so



Abbildung 6.1.: Visualisierung der Interaktionskomponenten im HMD des ARVIKA Projekts (aus Friedrich, 2004)



Abbildung 6.2.: Anwendungen im Kontext des Black Magic Books (s. Billinghamurst u. a., 2001)

dass nur die aktuell möglichen/verwendbaren Interaktionselemente präsentiert werden.

Im Rahmen des ARVIKA Projekts wurde in Zusammenarbeit mit der UI Design GmbH ein Styleguide¹ für Augmented Reality (s. Beu u. a., 2003) Benutzungsoberflächen geschaffen. Im Fokus der Entwicklung lagen fünf Hauptpunkte:

- Einsatz von AR dort, wo es sinnvoll ist und dem Benutzer einen Vorteil bei der Bearbeitung seiner Aufgaben bringt
- Einsatz des AR-Systems für mobiles Arbeiten und - soweit möglich - ohne bzw. mit wenig Benutzung der Hände für die Bedienung
- Angemessene Informationsdarstellung im Head Mounted Display (HMD; beispielsweise bei wechselnden Hintergründen, unterschiedlichen Kontrasten, bei Verwendung von augmentierten Elementen, etc.)
- Entwicklung eines generischen UI-Konzepts, das drei unterschiedliche Konfigurationen für das AR-Zielsystem (Mobiles Notepad mit Touchscreen, mobiles System mit Look-around HMD, mobiles System mit optischem See-through HMD) berücksichtigt
- Orientierung an typischen Arbeitsaufgaben aus den Bereichen Entwicklung, Produktion und Service

Beim Gestaltungsprozess des Benutzungskonzeptes wurde die ISO 13407 zugrunde gelegt, so dass eine Benutzerzentrierte Gestaltung ermöglicht wurde (s. Schmidt u. a., 2005).

6.2. Das Magic Book - Zusammenarbeit zwischen AR- und VR-Umgebungen

Das Black Magic Book² (s. Billinghamurst u. a., 2001) ist eine sehr einfache aber wirkungsvolle Präsentation von AR-Technologie. Ein Lehrbuch wird sowohl mit Textdaten, als auch

¹Onlineversion einsehbar unter <http://www.ui-design.de/arvika>

²Videoaufzeichnungen unter <http://www.hitlabnz.org/route.php?r=movie-list>

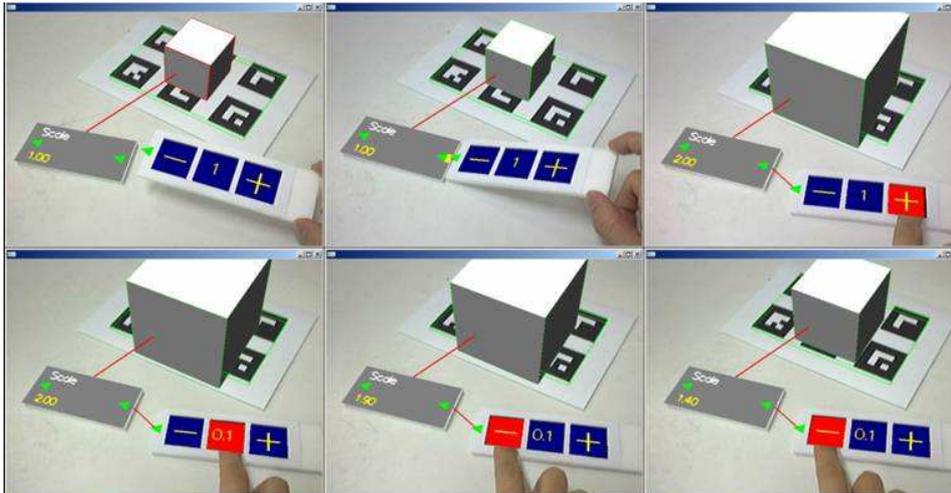


Abbildung 6.3.: Objektbasiertes Autorensystem von Lee u. a. (2004a)

mit Bild- und Videodaten angereichert, die mittels AR eingeblendet werden können. Die Interaktion mit dem Buch gestaltet sich sehr einfach, indem durch das Systemdesign bedingt nur Blättern innerhalb des Buches möglich ist. Weiterführende Interaktion, wie z.B. das Steuern des Videoplayers etc. wird hier explizit ausgeblendet. Die Anwendung besteht allerdings durch ihre Schlichtheit.

Eine Erweiterung dieses Ansatzes wird genutzt um ein Digital Storytelling sowohl in einer AR- als auch in VR-Umgebungen zu realisieren. Um die jeweiligen Vorteile von AR- und VR-Umgebungen in einer kollaborativen Umgebung nutzen zu können, müssen Benutzeraktionen für alle Parteien sichtbar und nachvollziehbar sein. Analog zum Magic Book haben Grasset u. a. (2005a) ein transitionales Modell entwickelt, um die Viewports einer exozentrischen AR-Schnittstelle und einer egozentrischen VR-Schnittstelle miteinander zu koppeln. Die Benutzer können außerdem zwischen beiden Welten wechseln. Anhand von Navigationsaufgaben wurde das System in einer Benutzerevaluation getestet. Ein weiteres Szenario hat Abhängigkeiten zwischen Interaktionsverhalten und unterschiedlicher Visualisierung festgestellt.

6.3. Autorensysteme und Rapid Prototyping

Nach dem WYSIWYG-Prinzip und struktureller Vorgehensweise haben Lee u. a. (2004a) ein komponentenbasiertes Autorensystem für TUI entwickelt. Vor der Konzeption wurden die hauptsächlichen Aufgaben identifiziert, die bei der Manipulation von Objekten anfallen. Im Einzelnen sind dies *Erstellen*, *Löschen*, *Modifizieren* und *Verbinden*.

Die Anwendung erinnert stark an das Tiles Prinzip (s. Seite 35), denn auch hier werden Markern Objekte zugeordnet, die dann durch Verdeckung oder Annäherung aneinander Funktionen auslösen.

Als weitere Eingabewerkzeuge zusätzlich zu den Tiles dienen ein getracktes Pad und ein

Würfel. Softwaretechnisch wurden ein Komponentenbrowser, ein Manipulator und ein Disposer zur Interaktion mit dem System entwickelt. Als Beispielapplikationen zur Benutzerevaluation wurden mehrere Szenarien entwickelt, wie z.B. die Konstruktion von Objekten am Beispiel einer Windmühle, eine Avataranimation und Digital Story Telling.

Die Testgruppen bestanden aus Teilnehmern eines Modellierungs-Workshops (24 Personen; Kinder zwischen 9 und 14 Jahren und ihre Eltern). Als Evaluationsgrößen wurde die Zeit zur Lösung der Aufgaben und die Anzahl der aufgetretenen Fehler (seitens der Benutzer) gemessen. Subjektive Fragen ergänzen die Tests. Die gleichen Tests wurden mit dem 2-D-basierten Referenzsystem CATOMIR (s. Zauner und Haller, 2004) durchgeführt und schließlich miteinander verglichen. Die tangible Version schneidete hier subjektiv besser ab.

Wie bei ARVIKA schon im Besonderen aufgefallen, eignen sich AR-Umgebungen gut zur Visualisierung von Anleitungen zur Wartung, Pflege und Konstruktion. In Zauner u. a. (2003) wird ein System zur Erstellung von interaktiven Montageanleitungen in der AR vorgestellt. Angelehnt an das *PowerSpace*-Konzept von Haringer und Regenbrecht (2002) erfolgt die Montage Schritt für Schritt, indem die Montagepositionen der Bauteile virtuell angezeigt werden. Während kleinere Bauteile man über einen manuellen schematischen Vergleich suchen muss, können größere Bauteile getrackt und der virtuelle Pfad zur Einbauposition animiert werden.

6.4. TUI im Produktdesign

Produktdesigner müssen oftmals Produktstudien verschiedener Modelle durchführen, um die ideale Konfiguration zu finden. Entscheidend ist auch hier das haptische Gefühl für den Anwender. In Lee und Park (2005) wurde ein System entwickelt, das herkömmliche 3-D-CAD-Daten auf durch diese Daten zugeschnittene Schaumstoffmodelle (blau, zur Segmentierung und einfachen Detektion) augmentiert. Der größte Vorteil besteht in der einfachen, günstigen Produktion solcher Modelle. Zur Erhöhung des Immersionsgefühls berechnete man zudem die Verdeckung der Hand in der Sichtlinie des Betrachters zum Modell. So entsteht eine Mischung aus 2-D und 3-D Elementen zur Steuerung der Schnittstelle.

6.5. Taxonomien

Melchior u. a. (2005) behandeln das sehr spezielle Thema der Benutzerinteraktion in der Musikproduktion. Die Simulation eines solchen Workflow umfasst die Optionen zum Aufnehmen, Editieren, Mixen und Mastering. Für den Sounddesigner ergeben sich daraus die Interaktionsmöglichkeiten Editieren, Quellenspezifikation, räumliches Layout, Filtern, Dynamic Processing, Effekte und Raumsimulation. Melchior leitet hieraus drei Kategorien der Interaktion ab, nämlich die Objektinteraktion (Selektion, Positionierung und Orientierung), die Manipulation des Viewpoint und die Systemkontrolle. Als Resultat wurde eine Taxonomie erstellt, die die Interaktionsaufgaben und das zugehörige passende Interaktionssystem im Hintergrund spezifiziert.

Zur Herstellung des Immersionsgefühls eines Anwenders in der Mixed Reality sind vor allem die auditiven, visuellen und taktilen Wahrnehmungskanäle anzusprechen und zu simulieren. Während die Simulation von Audio und Video sich noch recht einfach gestaltet, stößt man spätestens beim Berührungsversuch virtueller Objekte auf ein Problem. TUI ermöglichen noch die physische Interaktion mit Steuerelementen, können aber evtl. nur temporal an den Anwendungszweck gebunden werden (z.B. Automodellnachbau mit unterschiedlichen Visualisierungen, oder Berührung einer Tempelrune mit anschließender Türöffnungsanimation). Eine von Bloomfield u. a. (2003) aufgestellte Taxonomie versucht, die grundlegenden Anforderungen an haptisches Feedback bzw. haptische Aufgaben in MR-Systemen bzw. zu definieren:

- Feinmotorik (z.B. Nagel aufheben)
- Kraftaufwand (z.B. Tür aufstoßen)
- Fingerdruck (z.B. Knopf drücken)
- Zweihändige, kooperative Operationen (z.B. Aufheben eines schweren Objekts)
- Zweihändige, kollaborative Operationen (z.B. Halten eines Möbelteils und Montieren einer Schraube)
- Manipulation deformierbarer Objekte
- Werkzeugunterstützte Aufgaben (z.B. Hammer)
- Interaktion mit mehreren Fingern

Die Taxonomie wird durch die Definition von verschiedenen Kraft- und Drehmomentmaßen festgelegt.

6.6. Anwendung in der Medizin - heARt

Zur präoperativen Planung und intraoperativen Unterstützung von Operationen sind zwischen März 2003 und November 2003 im Rahmen des Projekts *heARt*³ am Lehrstuhl für Informatikanwendungen in der Medizin und Augmented Reality an der TU München mehrere Anwendungen entstanden.

Das Teilsystem *PORT*⁴ soll den Chirurgen bei der Planung operativer, kardiologischer Patienteneingriffe unterstützen. Anhand von CT-Daten des Patienten werden die Eintrittspunkte bestimmt, an welchen der Chirurg in den Körper des Patienten eingreift. In der Vergangenheit hatte der Arzt diese Punkte, auch *Ports* genannt, selbst bestimmt. In diesem Szenario assistiert ihm ein minimalinvasiv operierender Roboter, der über ein Teleoperations-System die Eingaben des Chirurgen ausführt. Zur Planung wird anhand des Bildmaterials ein dreidimensionales Modell des Patienten und des Operationsszenarios erstellt, an welchem die Punkte präoperativ festgelegt werden können⁵.

³<http://campar.in.tum.de/Chair/ProjectHeart>

⁴<http://campar.in.tum.de/Chair/HeartPort>

⁵<http://campar.in.tum.de/Students/DaFeuerstein>

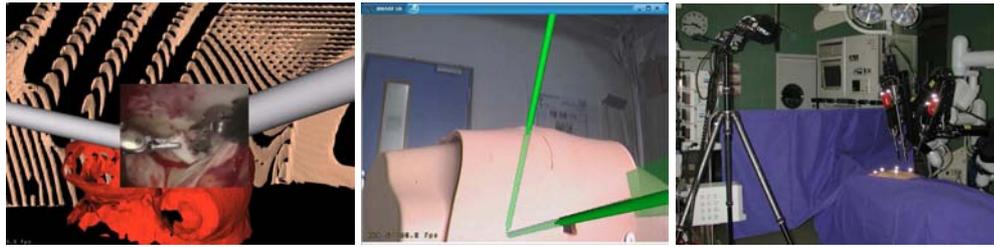


Abbildung 6.4.: Anwendung von AR in der Medizin: Simulierte, endoskopische Ansicht (links), AR-Ansicht zur unterstützten Navigation (mitte), Intraoperatives Setup (rechts)

Darüber hinaus wurde für die eigentliche Navigation während der Operation das System dahingehend erweitert, dass die aus dem CT gewonnenen Patientendaten auf den Patienten selbst während der Operation mit Hilfe von AR abgebildet werden⁶. Der Chirurg kann somit das auf daVinci⁷ basierende Robotikoperationssystem anhand von A-priori Wissen steuern.

⁶<http://campar.in.tum.de/Students/DaTraub>

⁷http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci_surgicalsystem/index.aspx

7. Fazit und Ausblick

Der vorliegende Arbeitsbericht gibt einen Überblick über die Fragen der Interaktion in Erweiterten Realitäten. Neben generellen Fragen zu Benutzungsschnittstellentypen (Kapitel 3) und Problemen der Visualisierung (Kapitel 4) wurde auf die spezielle Interaktionsaufgaben und -techniken (Kapitel 5) in der Erweiterten Realität eingegangen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entwicklung der Erweiterten Realität, insbesondere in Fragen der Interaktion noch in den Kinderschuhen steckt. Dies zeigt auch eine Studie der Unternehmensberatung Gartner (s. Fenn und Linden, 2005), die im August 2005 die Augmented Reality als eine Technologie beschrieb, die noch mindestens 5–10 Jahre benötigen würde um in das „Plateau der Produktivität“ zu gelangen. Die aktuelle Einschätzung aus dem Jahr 2006 ändert an dieser Prognose nichts, noch immer ist die Augmented Reality weit von einem produktiven Einsatz entfernt.

Das reine Produktivität vielleicht nicht der alleinige Schlüssel zum Erfolg von Augmented Reality sein kann, zeigen z.B. Studien von (s. Oppermann und Specht, 1999; Oppermann, 2003). Bei der Entwicklung eines nomadischen Systems für Museumsführungen zeigte sich, dass 40% der Museumsbesucher einen Katalog oder einen gedruckten Museumsführer während ihres Aufenthalts in einem Museum benutzen und sogar 46% auf Karten, Schilder und andere Navigationshilfen zurückgreifen. Diese Hilfsmittel sollten mit Hilfe von Multimediasystemen, darunter auch einem Augmented Reality System erweitert werden. Eine herkömmliche Informationsbroschüre erzielte die besten Ergebnisse hinsichtlich der Informationsvermittlung. Ermittelt wurde unter anderem die Bearbeitungszeit zur Suche nach einer bestimmten Information und die Frage, ob die Information überhaupt gefunden wurde. Die Informationsvermittlung wurde durch Wissenstests überprüft und auch die Attraktivität des Mediums erfragt. Einzig in der Frage nach „Umgang macht Spaß“ konnte die Multimedia Anwendung die Informationsbroschüre übertrumpfen.

Diese prototypischen Testsysteme leiden natürlich an vielen Kinderkrankheiten, die eine objektive Bewertung erschweren. So ist ein zuverlässiges Tracking immer noch eine große Herausforderung und auch geeignete Ein- und Ausgabegeräte sind noch nicht etabliert. Auch von standardisierten Interaktionstechniken sind die Erweiterten Realitäten noch weit entfernt. Schmalstieg (2005) betrachtet daher die Verbindung zwischen Augmented Reality und Computerspieltechnologien. Da viele AR Anwendungen noch mit technischen Problemen kämpfen, die einen produktiven Einsatz verhindern, sind hier noch wenige inhaltliche und gestalterische Lösungen zu sehen, wie auch die Gartner Studie zeigt. Computerspiele hingegen können viele technische Probleme, wie z.B. korrektes Tracking ignorieren, da sich alle Objekte in einer bekannten (virtuellen) Welt befinden. Schmalstieg sieht vier Überschneidungspunkte zwischen AR und Computerspielen: Selektionstechniken, Hervorhebungen und Annotierungen, Nicht-registrierte Overlays (HUDs) und Visualisierungstechniken. Computerspielwelten würden also die Möglichkeit bieten sich mehr um inhaltliche

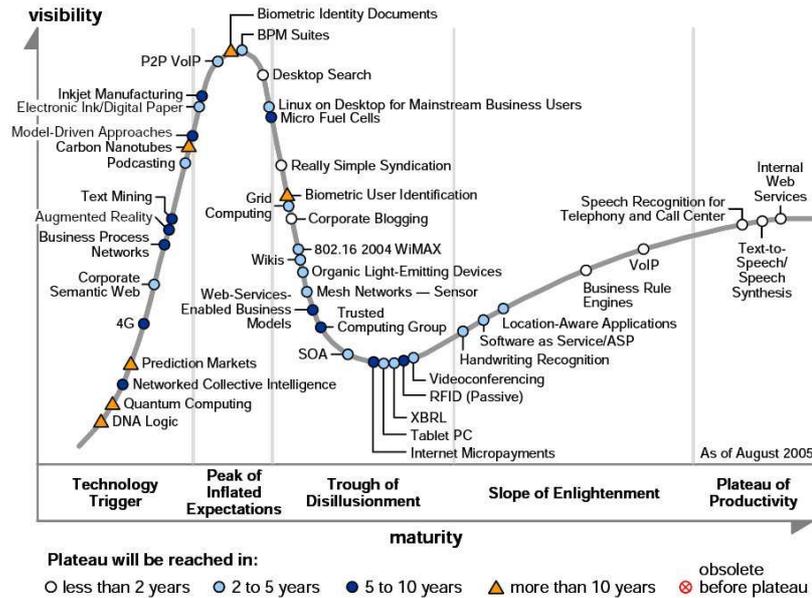


Abbildung 7.1.: Hype Cycle for Emerging Technologies aus Fenn und Linden (2005)

Probleme zu kümmern und verschiedene Ansätze ausprobieren zu können. Auch dies ist ein Problem der aktuellen AR-Entwicklung, es fehlt an überzeugenden Werkzeugen, die eine schnelle und einfache Entwicklung ermöglichen.

Desweiteren ist die Entwicklung im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion für Erweiterte Realitäten noch sehr intuitiv, es herrscht keine feste Methodik. So ergab eine Literaturstudie von Swan II und Gabbard (2005), dass aus einem betrachteten Korpus von 266 Publikationen, die sich mit Augmented Reality beschäftigten, ganze 21 Arbeiten einen formalen Benutzertest durchführten. Dies entspricht nur einem Anteil von 8% aller Arbeiten. Nicht erst seit Nielsen's Arbeiten zum Thema Usability Engineering (Nielsen, 1993b) ist klar, dass Benutzertest unverzichtbares Element einer Programmentwicklung sein sollten. Gerade dann, wenn in diesem Einsatzbereich so wenig Erfahrung existiert, wie dies bei Erweiterten Realitäten der Fall ist.

Augmented Reality ist bisher kein dominierendes Thema in der Mensch-Maschine-Interaktion und der Software-Ergonomie, wie z.B. die geringe Zahl von Publikationen zu diesem Thema in den Proceedings der Mensch & Computer zeigt. Bemerkenswert ist allerdings, dass der „Best Paper Award“ des Jahres 2005 an ein AR Projekt (ARVIKA) ging. Überraschenderweise, war es aber auch der einzige Beitrag zu AR in diesem Jahr.

Literaturverzeichnis

- [Ahlberg und Shneiderman 1994] AHLBERG, Christopher ; SHNEIDERMAN, Ben: Visual Information Seeking: Tight Coupling of Dynamic Query Filters with Starfield Displays. In: *Human Factors in Computing Systems. Conference Proceedings CHI'94*, URL citeseer.ist.psu.edu/ahlberg94visual.html, 1994, S. 313–317
- [Aretz und Wickens 1992] ARETZ, A. J. ; WICKENS, C. D.: The Mental Rotation of Map Displays. In: *Human Performance* 5 (1992), Nr. 4, S. 303–328
- [Azuma u. a. 2001] AZUMA, Ronald ; BAILLOT, Yohan ; BEHRINGER, Reinhold ; FEINER, Steven K. ; JULIER, Simon ; MACINTYRE, Blair: Recent Advances in Augmented Reality. In: *Computer Graphics and Applications* 21 (2001), 11, Nr. 6, S. 34–47
- [Azuma und Furmanski 2003] AZUMA, Ronald ; FURMANSKI, Chris: Evaluating Label Placement for Augmented Reality. In: (Kawada, 2003), S. 66–75
- [Azuma 1995] AZUMA, Ronald T.: *Predictive Tracking for Augmented Reality*, UNC Chapel Hill, Dept. of Computer Science, Doktorarbeit, 2 1995. – URL <http://www.cs.unc.edu/~azuma/dissertation.pdf>
- [Bane und Höllerer 2004] BANE, Ryan ; HÖLLERER, Tobias: Interactive Tools for Virtual X-Ray Vision in Mobile Augmented Reality. In: *ISMAR*, URL <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ISMAR.2004.36>, 2004, S. 231–239
- [Barakonyi u. a. 2004] BARAKONYI, I. ; PSIK, T. ; SCHMALSTIEG, D.: Agents That Talk And Hit Back: Animated Agents in Augmented Reality. In: *Proc. IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2004 (ISMAR'04)*, Nov. 2–5, 2004, Arlington, VA, USA, URL http://www.ims.tuwien.ac.at/~bara/download/papers/arpuppet_ismar04.pdf, 2004, S. 141–150
- [Barakonyi und Schmalstieg 2005] BARAKONYI, Istvan ; SCHMALSTIEG, Dieter: Exploiting the Physical World as User Interface in Augmented Reality Applications. In: (Bowman u. a., 2005), S. 45 – 48. – URL http://www-human.ist.osaka-u.ac.jp/3dui_workshop/
- [Benko u. a. 2004] BENKO, Hrvoje ; ISHAK, Edward W. ; FEINER, Steven K.: Collaborative Mixed Reality Visualization of an Archaeological Excavation. In: (Titsworth, 2004), S. 132–140
- [Benko u. a. 2005] BENKO, Hrvoje ; ISHAK, E.W. ; FEINER, Steven K.: Cross-dimensional gestural interaction techniques for hybrid immersive environments. In: *Virtual Reality, 2005. Proceedings. VR 2005. IEEE*, 1 2005, S. 209–216

- [Beu u. a. 2003] BEU, Andreas ; BURMESTER, Michael ; EPSTEIN, A. ; FLESSA, S. ; KIESEL, B. ; LOOS, S. ; MURR, F. ; NIEMEYER, G. ; OEHME, Olaf ; QUAET-FASLEM, Philipp ; TRIEBFÜRST, G. ; VOLLMER, J. ; WIEDENMAIER, Stefan: *Style Guide für Augmented Reality Systeme*. User Interface Design GmbH (Veranst.), 2003. – URL <http://www.uidesign.de/arvika>. – Onlinequelle. Letzer Zugriff 15. Mai 2006
- [Billinghurst u. a. 2001] BILLINGHURST, Mark ; KATO, Hirokazu ; POUPYREV, Ivan: The MagicBook - Moving Seamlessly between Reality and Virtuality. In: *IEEE Comput. Graph. Appl.* 21 (2001), Nr. 3, S. 6–8
- [Bloomfield u. a. 2003] BLOOMFIELD, A. ; DENG, Yu ; WAMPLER, J. ; RONDOT, P. ; HARTH, D. ; MCMANUS, M. ; BADLER, N.: A taxonomy and comparison of haptic actions for disassembly tasks. In: *Virtual Reality, 2003. Proceedings. IEEE*, 1 2003, S. 225–231
- [Bolt 1980] BOLT, Richard A.: Put-that-there: Voice and Gesture at the Graphics. In: *SIGGRAPH '80: Proceedings of the 7th annual*. New York, NY, USA : ACM Press, 1980, S. 262–270
- [Borst und Indugula 2005] BORST, C.W. ; INDUGULA, A.P.: Realistic virtual grasping. In: *Virtual Reality, 2005. Proceedings. VR 2005. IEEE*, 1 2005, S. 91–98
- [Bowman 2002] BOWMAN, Doug A.: Principles for the Design of Performance-oriented Interaction Techniques. In: (Stanney, 2002), Kap. 13, S. 277–300
- [Bowman u. a. 2005] BOWMAN, Doug A. (Hrsg.) ; FRÖHLICH, Bernd (Hrsg.) ; KITAMURA, Yoshifumi (Hrsg.) ; STÜRZLINGER, Wolfgang (Hrsg.) ; IEEE Computer Society (Veranst.): *IEEE VR 2005 Workshop: New Directions in 3D User Interfaces*. Aachen : Shaker, 2005. – URL http://www-human.ist.osaka-u.ac.jp/3d_ui_workshop/
- [Bowman u. a. 2004] BOWMAN, Doug A. ; KRUIJFF, Ernst ; LAVIOLA, Joseph J. ; POUPYREV, Ivan: *3D User Interfaces: Theory and Practice*. New Jersey : Addison-Wesley, 2004
- [Bowman und Wingrave 2001] BOWMAN, Doug A. ; WINGRAVE, Chadwick A.: Design and Evaluation of Menu Systems for Immersive Virtual Environments. In: *Proceedings of IEEE Virtual Reality* (2001), S. 149–156. – (also available as technical report TR-01-20)
- [Broll u. a. 2004] BROLL, Wolfgang ; LINDT, Irma ; OHLENBURG, Jan ; HERBST, Iris ; WITTKÄMPER, M. ; NOVOTNY, T.: Custom-Tailored Interaction Mechanisms for Augmented Reality Applications. In: *IEEE Transactions on visualization and computer graphics* (2004)
- [Buchmann u. a. 2004] BUCHMANN, Volkert ; VIOLICH, Stephen ; BILLINGHURST, Mark ; COCKBURN, Andy: FingARtips: gesture based direct manipulation in Augmented

- Reality. In: *GRAPHITE '04: Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia*. New York, NY, USA : ACM Press, 2004, S. 212–221
- [Butz u. a. 2004] BUTZ, Andreas ; GROSS, Markus ; KRÜGER, Antonio: TUISTER: a tangible UI for hierarchical structures. In: *IUI '04: Proceedings of the 9th international conference on Intelligent user interface*. New York, NY, USA : ACM Press, 2004, S. 223–225
- [Chen u. a. 2003] CHEN, Jim (Hrsg.) ; FROELICH, Bernd (Hrsg.) ; LOFTIN, Bowen (Hrsg.) ; NEUMANN, Ulrich (Hrsg.) ; TAKEMURA, Haruo (Hrsg.): *IEEE Virtual Reality Conference 2003 (VR 2003), 22- 26 March 2003, Los Angeles, CA, USA, Proceedings*. IEEE Computer Society, 2003
- [Conner u. a. 1992] CONNER, Brookshire D. ; SNIBBE, Scott S. ; HERNDON, Kenneth P. ; ROBBINS, Daniel C. ; ZELEZNIK, Robert C. ; DAM, Andries van: Three-dimensional widgets. In: *SI3D '92: Proceedings of the 1992 symposium on Interactive 3D graphics*. New York, NY, USA : ACM Press, 1992, S. 183–188
- [Cooper und Reimann 2003] COOPER, Alan ; REIMANN, Robert: *About Face 2.0 - The essentials of interaction design*. Wiley Publishing, 2003
- [Cremers u. a. 2005] CREMERS, Armin B. (Hrsg.) ; MANTHEY, Rainer (Hrsg.) ; MARTINI, Peter (Hrsg.) ; STEINHAGE, Volker (Hrsg.): *INFORMATIK 2005 - Informatik LIVE! Band 1, Beiträge der 35. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Bonn, 19. bis 22. September 2005*. Bd. 67. GI, 2005. (LNI)
- [Curtis u. a. 1999] CURTIS, Dan ; MIZELL, David ; GRUENBAUM, Peter ; JANIN, Adam: Several devils in the details: making an AR applicationwork in the airplane factory. In: HUANG, T. S. (Hrsg.): *IWAR '98: Proceedings of the international workshop on Augmented reality : placing artificial objects in real scenes*. Natick, MA, USA : A. K. Peters, Ltd., 1999, S. 47–60
- [Dachselt 2000] DACHSELT, Raimund: Action Spaces - A Metaphorical Concept to Support Navigation and Interaction in 3D Interfaces. In: *Workshop 'Usability Centred Design and Evaluation of Virtual 3D Environments'*, URL <http://citeseer.ist.psu.edu/dachselt00action.html>, 2000
- [Dachselt 2004] DACHSELT, Raimund: *Eine deklarative Komponentenarchitektur und Interaktionsbausteine für dreidimensionale multimediale Anwendungen*, Technische Universität Dresden, Dissertation, 2004
- [Dachselt und Hübner 2006] DACHSELT, Raimund ; HÜBNER, Anett: A Survey and Taxonomy of 3D Menu Techniques. In: *Proceedings of the 12th Eurographics Symposium on Virtual Environments (EGVE'06), Lissabon (Portugal), 8.-10. Mai 2006*, URL <http://www-mmt.inf.tu-dresden.de/projekte/publikationen/details/0605.pdf>, 2006

- [van Dam u. a. 2000] DAM, Andries van ; FORSBERG, Andrew S. ; LAIDLAW, David H. ; LAVIOLA, Joseph J. ; SIMPSON, Rosemary M.: Immersive VR for Scientific Visualization: A Progress Report. In: *IEEE Computer Graphics and Applications* 20 (2000), Nr. 6, S. 26–52
- [Darken u. a. 1997] DARKEN, Rudolph P. ; COCKAYNE, William R. ; CARMEIN, David: The Omni-Directional Treadmill: A Locomotion Device for Virtual Worlds. In: *Proceedings of UIST* (1997), 10, S. 213–221
- [Darken und Durost 2005] DARKEN, Rudolph P. ; DUROST, Richard: Mixed-dimension interaction in virtual environments. In: *VRST '05: Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 2005, S. 38–45
- [Darken und Peterson 2002] DARKEN, Rudolph P. ; PETERSON, Barry: Spatial Orientation, Wayfinding, and Representation. In: (Stanney, 2002), S. 493–518
- [Deussen und Lorenz 1997] DEUSSEN, Oliver (Hrsg.) ; LORENZ, Peter (Hrsg.): *Simulation und Animation 1997 (SimVis 1997)*, 6-7 März 1997, Magdeburg. SCS Publishing House e.V., 1997
- [DiVerdi u. a. 2004] DIVERDI, S. ; HLLERER, T. ; SCHREYER, R.: Level of detail interfaces. In: *Proc. ISMAR 2004 (IEEE/ACM Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality)*. Arlington, VA, 11 2004. – URL <http://media.igert.ucsb.edu/pubdls/diverdi-2004-ismar.pdf>
- [DiVerdi u. a. 2003] DIVERDI, Stephen ; NURMI, Daniel ; HÖLLERER, Tobias: ARWin-A Desktop Augmented Reality Window Manager. In: *ISMAR*, URL <http://csdl.computer.org/comp/proceedings/ismar/2003/2006/00/20060298.pdf>, 2003, S. 298–299
- [Dörner u. a. 2004] DÖRNER, Ralf ; OPPERMAN, Leif ; GEIGER, Christian: Implementing MR-based Interaction Techniques for Manipulating 2D Visualizations in 3D Information Space. In: (Titsworth, 2004)
- [Drascic u. a. 1993] DRASCIC, David ; GRODSKI, Julius J. ; MILGRAM, Paul ; RUFFO, Ken ; WONG, Peter ; ZHAI, Shumin: ARGOS: a display system for augmenting reality. In: *CHI '93: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1993, S. 521
- [Eibl 2003a] EIBL, Maximilian: *Forschungsberichte*. Bd. 7: *Visualisierung im Document Retrieval - Theoretische und praktische Zusammenführung von Softwareergonomie und Graphik Design*. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Bonn : Informationszentrum Sozialwissenschaften, 2003. – 276 Seiten, kart.
- [Eibl 2003b] EIBL, Maximilian: *WEB Usability - Normen zur Gestaltung von Webauftritten* / *GESIS - Berlin*, Bonn. *GESIS*, Schiffbauerdamm 19, 10117 Ber-

lin, eibl@berlin.iz-soz.de, 1 2003. – Forschungsbericht. – URL <http://www.uni-koblenz.de/~krause/skripte/Normen.pdf>

- [Eibl 2005] EIBL, Maximilian: Natural Design: Some Remarks on the Human Nature and the Design of User Interfaces. In: EIBL, Maximilian (Hrsg.) ; WOMSER-HACKER, Christa (Hrsg.) ; WOLFF, Christian (Hrsg.): *Designing Information Systems: Festschrift für Jürgen Krause*. Konstanz : UVK Verl.-Ges., 2005 (Schriften zur Informationswissenschaft; Bd. 43), S. 157 – 170
- [Feiner u. a. 1993] FEINER, Steven K. ; MACINTYRE, Blair ; HAUPT, Marcus ; SOLOMON, Eliot: Windows on the world: 2D windows for 3D augmented reality. In: *UIST '93: Proceedings of the 6th annual ACM symposium on User interface software and technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 1993, S. 145–155
- [Fenn und Linden 2005] FENN, Jackie ; LINDEN, Alexander: *Gartner's Hype Cycle Special Report for 2005*. 2005
- [Fiala 2005] FIALA, Mark: ARTag, a Fiducial Marker System Using Digital Techniques. In: (Schmid u. a., 2005), S. 590–596
- [Fiala und Adamo-Villani 2005] FIALA, Peter ; ADAMO-VILLANI, Nicoletta: ARpm: An Augmented Reality Interface for Polygonal Modeling. In: *ISMAR, 2005*, S. 196–197
- [Figueroa u. a. 2006] FIGUEROA, Pablo ; DACHSELT, Raimund ; LINDT, Irma: A Uniform Specification of Mixed Reality Interface Components. In: *Virtual Reality 2006 Workshop Specification of Mixed Reality User Interfaces: Approaches, Languages, Standardization*. Los Alamitos, CA, USA : IEEE Computer Society, 2006, S. 289–290
- [Fischer u. a. 2002] FISCHER, Jan ; BARTZ, Dirk ; STRASSER, Wolfgang: Stylized Augmented Reality for Improved Immersion. In: (Loftin u. a., 2002), S. 195–202
- [Fishkin 2004] FISHKIN, Kenneth P.: A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. In: *Personal Ubiquitous Comput.* 8 (2004), Nr. 5, S. 347–358. – URL <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-004-0297-4>
- [Fitts 1954] FITTS, P. M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. In: *Journal of Experimental Psychology* (1954), Nr. 47, S. 381–391
- [Friedrich 2004] FRIEDRICH, Wolfgang (Hrsg.): *ARVIKA Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service*. Publicis Corporate Publishing, 2004
- [Fröhlich u. a. 2005] FRÖHLICH, Bernd (Hrsg.) ; JULIER, Simon (Hrsg.) ; TAKEMURA, Haruo (Hrsg.): *IEEE Virtual Reality Conference 2005 (VR 2005), 12- 16 March 2005, Bonn, Germany, Proceedings*. IEEE Computer Society, 2005

- [Fröhlich u. a. 2004] FRÖHLICH, Bernd (Hrsg.) ; KITAMURA, Yoshifumi (Hrsg.) ; BOWMAN, Doug A. (Hrsg.) ; IEEE Computer Society (Veranst.): *IEEE VR 2004 Workshop: Beyond Wand and Glove Based Interaction*. URL http://www-human.ist.osaka-u.ac.jp/vr04w2/Workshop_BF_Proceeding.pdf, 2004
- [Gabbard u. a. 2005] GABBARD, Joseph L. ; SWAN IL, J. E. ; HIX, Deborah ; SCHULMAN, Robert S. ; LUCAS, John ; GUPTA, Divya: An Empirical User-based Study of Text Drawing Styles and Outdoor Background Textures for Augmented Reality. In: *Proceedings IEEE Virtual Reality 2005*, IEEE Computer Society, 2005, S. 11–18
- [Glaser 1994] GLASER, Wilhelm R.: Menschliche Informationsverarbeitung. In: EBERLEH, E. (Hrsg.) ; OBERQUELLE, Horst (Hrsg.) ; OPPERMAN, Reinhard (Hrsg.): *Einführung in die Software-Ergonomie; Mensch - Computer - Kommunikation; Grundwissen 1/2*. Berlin, New York : de Gruyter, 1994, Kap. 1
- [Goldstein 1997] GOLDSTEIN, Eugene B.: *Wahrnehmungspsychologie: eine Einführung*. Heidelberg [u.a.] : Spektrum, Akad. Verl., 1997
- [Grasset u. a. 2005a] GRASSET, Raphael ; LAMB, P. ; BILLINGHURST, Mark: Evaluation of mixed-space collaboration. In: *Mixed and Augmented Reality, 2005. Proceedings. Fourth IEEE and ACM International Symposium on*, 1 2005, S. 90–99
- [Grasset u. a. 2005b] GRASSET, Raphael ; LOOSER, Julian ; BILLINGHURST, Mark: A Step Towards a Multimodal AR Interface: A New Handheld Device for 3D Interaction. In: *ISMAR, 2005*, S. 206–207
- [Grosjean u. a. 2002] GROSJEAN, Jerome ; BURKHARDT, Jean-Marie ; COQUILLART, Sabine ; RICHARD, Paul: Evaluation of the Command and Control Cube. In: *icmi 00* (2002), S. 473
- [Halper u. a. 2003] HALPER, Nick ; MELLIN, Mara ; HERRMANN, Christoph S. ; LINNEWEBER, Volker ; STROTHOTTE, Thomas: Psychology and Non-Photorealistic Rendering: The Beginning of a Beautiful Relationship. In: (Szwilius und Ziegler, 2003)
- [Hand 1997] HAND, Chris: A Survey of 3D Interaction Techniques. In: *Computer Graphics forum* 16 (1997), Nr. 5, S. 269 – 281. – URL <http://www.inf.ufrgs.br/~nedel/cmp517/papers/hand-97.pdf>
- [Haringer und Regenbrecht 2002] HARINGER, M. ; REGENBRECHT, H.T.: A pragmatic approach to augmented reality authoring. In: *Mixed and Augmented Reality, 2002. ISMAR 2002. Proceedings. International Symposium on*, 1 2002, S. 237–245
- [Hassenzahl u. a. 2003] HASSENZAHL, Marc ; BURMESTER, Michael ; KOLLER, Franz: AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In: (Szwilius und Ziegler, 2003)
- [Heinecke und Paul 2006] HEINECKE, Andreas M. (Hrsg.) ; PAUL, Hansjürgen (Hrsg.): *Mensch & Computer 2006: Mensch und Computer im StrukturWandel*. München : Oldenbourg Verlag, 2006

- [Herczeg 2006] HERCZEG, Michael: *Interaktionsdesign - Gestaltung interaktiver und multimedialer Systeme*. München : Oldenbourg Verlag, 2006 (Lehrbücher Interaktive Medien)
- [Herczeg und Oberquelle 2002] HERCZEG, Michael (Hrsg.) ; OBERQUELLE, Horst (Hrsg.): *Mensch & Computer 2002: Vom interaktiven Werkzeug zu kooperativen Arbeits- und Lernwelten, 2. bis 5. September 2002 in Hamburg*. Teubner, 2002
- [Heudin 2000] HEUDIN, Jean-Claude (Hrsg.): *Virtual Worlds - Proceedings of the Second International Conference on Virtual Worlds*. Springer-Verlag, 2000. (Lecture Notes in Artificial Intelligence 1484)
- [Heuser 2006] HEUSER, Holger: *Suche vs. Browsing im Information Retrieval*, Universität Koblenz Landau, Campus Koblenz, Fachbereich 4 Informatik, Institut für Computervisualistik, Diplomarbeit, 2 2006. – Verbindung der Modalitäten unter Berücksichtigung kontextsensitiver Durchlässigkeit
- [Hienert 2005] HIENERT, Daniel: *Musikproduktion in Augmented Reality*, Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz, Fachbereich 4 Informatik, Institut für Computervisualistik, Diplomarbeit, 2005
- [Höllerer u. a. 1999] HÖLLERER, Tobias ; FEINER, Steven K. ; TERAUCHI, T. ; RASHID, G. ; HALLAWAY, D.: Exploring MARS: Developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system. In: *Computers and Graphics* (1999), Nr. 23(6), S. 779–785. – URL <http://citeseer.ist.psu.edu/hollerer99exploring.html>
- [Ikei u. a. 2004] IKEI, Yasushi (Hrsg.) ; GÖBEL, Martin (Hrsg.) ; CHEN, Jim (Hrsg.): *IEEE Virtual Reality Conference 2004 (VR 2004), 27- 31 March 2004, Chicago, IL, USA, Proceedings*. IEEE Computer Society, 2004
- [Ishii und Ullmer 1997] ISHII, Hiroshi ; ULLMER, Brygg: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In: *CHI*, URL citeseer.ist.psu.edu/ishii97tangible.html, 1997, S. 234–241
- [Jacobs 2002] JACOBS, Anne (Hrsg.): *First IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2002), 30 September - 1 October, Darmstadt, Germany*. IEEE Computer Society, 2002
- [Kaiser u. a. 2003] KAISER, Ed ; OLWAL, Alex ; MCGEE, David ; BENKO, Hrvoje ; CORRADINI, Andrea ; LI, Xiaoguang ; COHEN, Phil ; FEINER, Steven K.: Mutual disambiguation of 3D multimodal interaction in augmented and virtual reality. In: *ICMI '03: Proceedings of the 5th international conference on Multimodal interfaces*. New York, NY, USA : ACM Press, 2003, S. 12–19
- [Kalkusch u. a. 2002] KALKUSCH, Michael ; LIDY, Thomas ; KNAPP, Michael ; REITMAYR, Gerhard ; KAUFMANN, Hannes ; SCHMALSTIEG, Dieter: *Structured Visual*

- Markers for Indoor Pathfinding. In: *The First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop 29 September 2002 Darmstadt Germany, 2002*
- [Kawada 2003] KAWADA, Stephanie (Hrsg.): *Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2003), 7-10 October 2003, Tokyo, Japan*. IEEE Computer Society, 2003
- [Keefe u. a. 2001] KEEFE, Daniel ; ACEVEDO, Daniel ; MOSCOVICH, Tomer ; LAIDLAW, David H. ; LAVIOLA, Joseph J.: CavePainting: A Fully Immersive 3D Artistic Medium and Interactive Experience. In: *Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics*, 3 2001, S. 85–93
- [Keil-Slawik u. a. 2004] KEIL-SLAWIK, Reinhard (Hrsg.) ; SELKE, Harald (Hrsg.) ; SZWILLUS, Gerd (Hrsg.): *Mensch & Computer 2004: Allgegenwärtige Interaktion*. Oldenbourg, 2004. – URL <http://mc.informatik.uni-hamburg.de/konferenzbaende/mc2004/index.html>
- [Knapp und Reitmayr 2005] KNAPP, Michael ; REITMAYR, Gerhard: *SignPost 2 - Mobile AR Navigation System*. 12 2005. – URL <http://www.studierstube.org/projects/mobile/SignPost2/>
- [Krause 1992] KRAUSE, Jürgen: *Komplexe Menüs und Häkchenformalismus - Teilskript Vorlesung Softwareergonomie*. 8 1992. – URL <http://www.uni-koblenz.de/~krause/skripte/Skript2.pdf>
- [Krause 1995] KRAUSE, Jürgen: Das WOB-Modell / InformationsZentrum Sozialwissenschaften. Bonn, 12 1995 (Nr. 1). – IZ-Arbeitsbericht. – URL http://www.gesis.org/Publikationen/Berichte/IZ_Arbeitsberichte/pdf/ab1.pdf
- [Krause 1996] KRAUSE, Jürgen: Visualisierung und graphische Benutzeroberflächen / InformationsZentrum Sozialwissenschaften. Bonn, 5 1996 (Nr. 3). – IZ-Arbeitsbericht. – URL http://www.gesis.org/Publikationen/Berichte/IZ_Arbeitsberichte/pdf/ab3.pdf
- [Krause 2006] KRAUSE, Jürgen: Visual Interaction on the Basis of the WOB-Model. In: RAPP, Reinhard (Hrsg.) ; SEDLMEIER, Peter (Hrsg.) ; ZUNKER-RAPP, Gisela (Hrsg.): *Perspectives on Cognition - A Festschrift for Manfred Wettler*. Dustri, 2006. – URL <http://www.uni-koblenz.de/~krause/skripte/WOB06.pdf>
- [Krauss und Quaet-Faslem 2004] KRAUSS, Michael ; QUAET-FASLEM, Philipp: Evaluation von AR-Realisierungen im Service. In: (Luczak u. a., 2004), S. 83–93
- [LaViola 2000] LAVIOLA, Joseph J.: A discussion of cybersickness in virtual environments. In: *SIGCHI Bull.* 32 (2000), Nr. 1, S. 47–56. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/333329.333344>

- [Lee u. a. 2004a] LEE, G.A. ; NELLES, C. ; BILLINGHURST, M. ; KIM, G.J.: Immersive authoring of tangible augmented reality applications. In: *Mixed and Augmented Reality, 2004. ISMAR 2004. Third IEEE and ACM International Symposium on*, 1 2004, S. 172–181
- [Lee u. a. 2004b] LEE, Gun A. ; BILLINGHURST, Mark ; KIM, Gerard J.: Occlusion based interaction methods for tangible augmented reality environments. In: *VRCAI '04: Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry*. New York, NY, USA : ACM Press, 2004, S. 419–426. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/1044588.1044680>
- [Lee und Park 2005] LEE, Woohun ; PARK, Jun: Augmented foam: a tangible augmented reality for product design. In: *Mixed and Augmented Reality, 2005. Proceedings. Fourth IEEE and ACM International Symposium on*, 1 2005, S. 106–109
- [Leiner u. a. 1997] LEINER, Ulrich ; PREIM, Bernhard ; RESSEL, Stephan: Entwicklung von 3D-Widgets - Übersichtsvortrag. In: (Deussen und Lorenz, 1997), S. 171–188
- [Lessels und Ruddle 2005] LESSELS, Simon ; RUDDLE, Roy A.: Movement Around Real and Virtual Cluttered Environments. In: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 14 (2005), 10, Nr. 5, S. 580–596. – URL <http://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/105474605774918778>
- [Leykin und Tuceryan 2004] LEYKIN, Alex ; TUCERYAN, Mihran: Automatic Determination of Text Readability over Textured Backgrounds for Augmented Reality Systems. In: *ISMAR 2004*, 2004, S. 224–230
- [Liang und Green 1993] LIANG, Jiandong ; GREEN, Mark: Geometric modeling using six degrees of freedom input devices. In: *Proc. of the 3rd International Conference on CAD & Computer Graphics (CAD/Graphics '93), Beijing, China*, URL citeseer.ist.psu.edu/liang93geometric.html, 1993
- [Loftin u. a. 2002] LOFTIN, Bowen (Hrsg.) ; CHEN, Jim (Hrsg.) ; RIZZO, Skip (Hrsg.) ; GOEBEL, Martin (Hrsg.) ; HIROSE, Michitaka (Hrsg.): *IEEE Virtual Reality Conference 2002 (VR 2002), 24- 28 March 2002, Orlando, FL, USA, Proceedings*. IEEE Computer Society, 2002
- [Looser u. a. 2004] LOOSER, Julian ; BILLINGHURST, Mark ; COCKBURN, Andy: Through the looking glass: the use of lenses as an interface tool for Augmented Reality interfaces. In: *GRAPHITE '04: Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia*. New York, NY, USA : ACM Press, 2004, S. 204–211. – URL http://www.hitlabnz.org/fileman_store/2004-Graphite-ARLens-Looser.pdf
- [Luczak u. a. 2003] LUCZAK, H. ; RÖTTING, M. ; OEHME, Olaf: Visual Displays. In: *The Human-Computer Interaction Handbook -*. Mahwah, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates, 2003, S. 187–205

- [Luczak u. a. 2004] LUCZAK, Holger (Hrsg.) ; SCHMIDT, Ludger (Hrsg.) ; KOLLER, Franz (Hrsg.): *Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented-Reality-Systemen*. Düsseldorf : VDI Verlag GmbH, 2004 (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 22 17)
- [Luft und Deussen 2006] LUFT, Thomas ; DEUSSEN, Oliver: Interaktive Aquarelle. In: *Informatik Spektrum* 29 (2006), 6, Nr. 3, S. 249–251
- [MacIntyre und Feiner 1996] MACINTYRE, Blair ; FEINER, Steven K.: Future Multimedia User Interfaces. In: *Multimedia Syst.* 4 (1996), Nr. 5, S. 250–268
- [MacWilliams u. a. 2003] MACWILLIAMS, A. ; SANDOR, C. ; WAGNER, M. ; BAUER, M. ; KLINKER, G. ; BRUEGGE, B.: Herding sheep: live system for distributed augmented reality. In: *Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings. The Second IEEE and ACM International Symposium on*, 1 2003, S. 123–132
- [McDonald und Roth 2003] MCDONALD, C. ; ROTH, G.: Replacing a Mouse with Hand Gesture in a Plane- Based Augmented Reality System. In: *The 16th International Conference on Vision Interface. Halifax, Nova Scotia, Canada., 2003*
- [Melchior u. a. 2005] MELCHIOR, F. ; LAUBACH, T. ; VRIES, D. de: Authoring and user interaction for the production of wave field synthesis content in an augmented reality system. In: *Mixed and Augmented Reality, 2005. Proceedings. Fourth IEEE and ACM International Symposium on*, 1 2005, S. 48–51
- [Meyer u. a. 2005] MEYER, Dennis ; STEIL, Thomas ; MÜLLER, Stefan: Shared Augmented Reality zur Unterstützung mehrerer Benutzer bei kooperativen Montagearbeiten im verdeckten Bereich. In: *2. Workshop Virtuelle und Erweiterte Realität der GI-Fachgruppe VR/AR. RWTH Aachen, 2005.* – URL <http://geri.uni-koblenz.de/Veroeffentlichungen/Paper-SARA.pdf>
- [Milgram und Kishino 1994] MILGRAM, Paul ; KISHINO, Fumio: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. In: *IEICE Trans. Information Systems* Bd. E77-D, URL http://vered.rose.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html, 1994, S. 1321–1329
- [Mine 1995] MINE, Mark R.: ISAAC: A Virtual Environment Tool for the Interactive Construction of Virtual Worlds / UNC Chapel Hill Computer Science. URL <ftp://ftp.cs.unc.edu/pub/technical-reports/95-020.ps.gz>, 1995 (TR95-020). – Technical Report
- [Nardi und Zamer 1993] NARDI, B. A. ; ZARMER, C. L.: Beyond models and metaphors: Visual formalisms in user interface design. In: *Journal of Visual Languages and Computing* (1993), Nr. 4, S. 5–33
- [Narzt u. a. 2004] NARZT, Wolfgang ; POMBERGER, Gustav ; FERSCHA, Alois ; KOLB, Dieter ; MÜLLER, Reiner ; WIEGHARDT, Jan ; HÖRTNER, Horst ; LINDINGER, Christopher: A New Visualization Concept for Navigation Systems. In: *Lecture Notes in Computer Science* 3196 (2004), 1, S. 440 – 451

- [Nielsen 1993a] NIELSEN, Jakob: Noncommand User Interfaces. In: *Communications of the ACM* 36 (1993), 4, Nr. 4, S. 83–99. – URL <http://www.useit.com/papers/noncommand.html>
- [Nielsen 1993b] NIELSEN, Jakob: *Usability Engineering*. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993
- [Norman 1988] NORMAN, Donald A.: *The psychology of everyday things*. Basic Books, 1988
- [Norman 2004] NORMAN, Donald A.: *Emotional Design: Why We Love (Or Hate) Everyday Things*. Basic Books, 2004
- [Novak u. a. 2004] NOVAK, V. ; SANDOR, Christian ; KLINKER, Gudrun: An AR workbench for experimenting with attentive user interfaces. In: *Mixed and Augmented Reality, 2004. ISMAR 2004. Third IEEE and ACM International Symposium on*, 1 2004, S. 284–285
- [Oehme 2004] OEHME, Olaf: *Ergonomische Untersuchung von kopfbasierten Displays für Anwendungen der erweiterten Realität in Produktion und Service*, RWTH Aachen, Dissertation, 2004
- [Oppermann 2003] OPPERMAN, Reinhard: Ein Nomadischer Museumsführer aus Sicht der Benutzer. In: (Szwilius und Ziegler, 2003). – URL <http://mc.informatik.uni-hamburg.de/konferenzbaende/mc2003/konferenzband/muc2003-04-oppermann.pdf>
- [Oppermann und Specht 1999] OPPERMAN, Reinhard ; SPECHT, Marcus: A Nomadic Information System for Adaptive Exhibition Guidance. In: *ICHIM*, 1999, S. 103–109
- [Oviatt 1999] OVIATT, Sharon: Ten myths of multimodal interaction. In: *Commun. ACM* 42 (1999), Nr. 11, S. 74–81
- [Oviatt 2003] OVIATT, Sharon: Multimodal interfaces. In: JACKO, J. (Hrsg.) ; SEARS, A. (Hrsg.): *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 2003, Kap. 14, S. 286–304
- [Paelke und Reimann 2005] PAELKE, Volker ; REIMANN, Christian: Interaction Techniques Based on Inside-Out Computer Vision. In: (Bowman u. a., 2005), S. 69 – 72. – URL http://www-human.ist.osaka-u.ac.jp/3dui_workshop/
- [Park und Schlick 2006] PARK, Milda ; SCHLICK, Christopher: Untersuchung der Hand-Auge-Koordination bei einer industriellen Anwendung von Augmented Reality. In: (Heinecke und Paul, 2006)
- [Paulus 2001] PAULUS, Dietrich: *Aktives Bildverstehen*. Osnabrück : Der Andere Verlag, 2001. – URL http://www.der-andere-verlag.de/buecher/paulus_xlink.html

- [Pflüger 2005] PFLÜGER, Jörg: Verrechnerter Kontext. Wandel der Interaktionsparadigmen. In: (Cremers u. a., 2005), S. 230–231
- [Piekarski 2004] PIEKARSKI, Wayne: *Interactive 3D Modelling in Outdoor Augmented Reality Worlds*, Wearable Computer Lab, School of Computer and Information Science, Division of Information Technology, Engineering, and the Environment, University of South Australia, Dissertation, 2004
- [Pierce 2001] PIERCE, Jeffrey S.: *Expanding the Interaction Lexicon for 3D Graphics*, Carnegie Mellon, Dissertation, 2001. – URL <http://www-static.cc.gatech.edu/~jpierce/papers/Thesis.pdf>
- [Popescu u. a. 2002] POPESCU, George V. ; BURDEA, Grigore C. ; TREFFTZ, Helmut: Multimodal Interaction Modeling. In: (Stanney, 2002), S. 435–454
- [Poupyrev u. a. 1996] POUPYREV, Ivan ; BILLINGHURST, Mark ; WEGHORST, Suzanne ; ICHIKAWA, Tadao: The Go-Go Interaction Technique: Non-Linear Mapping for Direct Manipulation in VR. In: *ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, URL <http://citeseer.ist.psu.edu/poupyrev96gogo.html>, 1996, S. 79–80
- [Poupyrev u. a. 2001] POUPYREV, Ivan ; TAN, Desney S. ; BILLINGHURST, Mark ; KATO, Hirokazu ; REGENBRECHT, Holger ; TETSUTANI, Nobuji: Tiles: A Mixed Reality Authoring Interface. In: *INTERACT 2001 Conference on Human Computer Interaction*. Tokyo, Japan, 2001. – URL citeseer.ist.psu.edu/poupyrev01tiles.html
- [Poupyrev u. a. 2002] POUPYREV, Ivan ; TAN, Desney S. ; BILLINGHURST, Mark ; KATO, Hirokazu ; REGENBRECHT, Holger ; TETSUTANI, Nobuji: Developing a Generic Augmented-Reality Interface. In: *Computer* 35 (2002), Nr. 3, S. 44–50. – URL <http://dx.doi.org/10.1109/2.989929>
- [Quibeldey-Cirkel 1994] QUIBELDEY-CIRKEL, Klaus: *Das Objekt-Paradigma in der Informatik*. Teubner, 1994
- [Reitmayr u. a. 2005] REITMAYR, Gerhard ; CHIU, Chris ; KUSTERNIG, Alexander ; KUSTERNIG, Michael ; WITZMANN, Hannes: iOrb - Unifying Command and 3D Input for Mobile Augmented Reality. In: (Bowman u. a., 2005). – URL http://www-human.ist.osaka-u.ac.jp/3dui_workshop/
- [Rekimoto u. a. 2001] REKIMOTO, Jun ; ULLMER, Brygg ; OBA, Haruo: DataTiles: a modular platform for mixed physical and graphical interactions. In: *CHI*, URL <http://doi.acm.org/10.1145/365024.365115>, 2001, S. 269–276
- [Ruddle 2005] RUDDLE, Roy A.: The Effect of Trails on First-time and Subsequent Navigation in a Virtual Environment. In: *VR '05: Proceedings of the 2005 IEEE Conference 2005 on Virtual Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2005, S. 115–122, 321

- [Ruddle und Jones 2001] RUDDLE, Roy A. ; JONES, Dylan M.: Movement in Cluttered Virtual Environments. In: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 10 (2001), Nr. 5, S. 511–524
- [Sasaki u. a. 2000] SASAKI, Hiroshi ; KURODA, Tomohiro ; MANABE, Yoshitsugu ; CHIHARA, Kunihiro: Augmented Reality Based Input Interface for Wearable Computers. In: (Heudin, 2000), S. 294–302
- [Schaer 2006] SCHAER, Philipp: *Abstrakte Interaktionskonzepte in Erweiterten Realitäten*, Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz, Fachbereich 4 Informatik, Institut für Computervisualistik, Diplomarbeit, 2006
- [Schaer und Heuser 2006] SCHAER, Philipp ; HEUSER, Holger: Grundlagen der Kognition und Perzeption für die Software-Ergonomie / Universität Koblenz-Landau, Institut für Computervisualistik. URL <https://www.uni-koblenz.de/FB4/Institutes/ICV/AGKrause/Teachings/WS0607/kogniperzep.pdf>, 2006. – Arbeitsbericht
- [Schipanski 1997] SCHIPANSKI, Dagmar: Virtuelle Umgebung - Anwendungsorientierung und Nutzungsmöglichkeiten. In: ENCARNACAO, Jose (Hrsg.) ; PÖPPEL, Ernst (Hrsg.) ; SCHIPANSKI, Dagmar (Hrsg.): *Wirklichkeit versus Virtuelle Realität: Strategische Optionen, Chancen und Diffusionspotentiale*. Baden-Baden : Nomos Verlagsgesellschaft, 1997, S. 69–81
- [Schmalstieg 2005] SCHMALSTIEG, Dieter: Augmented Reality Techniques in Games. In: *ISMAR*, 2005, S. 176–177
- [Schmid u. a. 2005] SCHMID, Cordelia (Hrsg.) ; SOATTO, Stefano (Hrsg.) ; TOMASI, Carlo (Hrsg.): *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2005), 20-26 June 2005, San Diego, CA, USA*. IEEE Computer Society, 2005
- [Schmidt u. a. 2005] SCHMIDT, Ludger ; WIEDENMAIER, Stefan ; OEHME, Olaf ; LUCZAK, Holger: Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented Reality in der Produktion. In: (Stary, 2005), S. 51–60. – URL http://mc.informatik.uni-hamburg.de/konferenzbaende/mc2005/konferenzband/muc2005_04_schmidt_etal.pdf
- [Shneiderman 1983] SHNEIDERMAN, Ben: Direct Manipulation: A Step Beyond Programming languages. In: *IEEE Computer* 16(8) (1983)
- [Shneiderman 2003] SHNEIDERMAN, Ben: Why Not Make Interfaces Better than 3D Reality? In: *IEEE Comput. Graph. Appl.* 23 (2003), Nr. 6, S. 12–15
- [Shneiderman und Plaisant 2005] SHNEIDERMAN, Ben ; PLAISANT, Catherine: *Designing the User Interface : Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. 4th Edition. Addison Wesley, 2005

- [Stanney 2002] STANNEY, Kay M. (Hrsg.): *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 2002 (Human Factors and Ergonomics)
- [Stary 2005] STARY, C. (Hrsg.): *Mensch & Computer 2005: Kunst und Wissenschaft - Grenzüberschreitungen der interaktiven ART*. München : Oldenbourg Verlag, 2005.
– URL <http://mc.informatik.uni-hamburg.de/konferenzbaende/mc2005/index.html>
- [Stempfhuber 2002] STEMPFHUBER, Maximilian: *Objektorientierte Dynamische Benutzungsoberflächen - ODIN: Behandlung semantischer und struktureller Heterogenität in Informationssystemen mit den Mitteln der Softwareergonomie*, Fachbereich 4: Informatik, Softwareergonomie. Universität Koblenz, Dissertation, 2002
- [Swan II und Gabbard 2005] SWAN II, J. E. ; GABBARD, Joseph L.: Survey of User-Based Experimentation in Augmented Reality. In: *Proceedings of 1st International Conference on Virtual Reality, July 22-27, Las Vegas, Nevada, 2005*
- [Szalavari 1999] SZALAVARI, Zsolt: *The Personal Interaction Panel - a two-handed Interface for Augmented Reality*. Favoritenstrasse 9-11/186, A-1040 Vienna, Austria, Institute of Computer Graphics and Algorithms, Vienna University of Technology, Dissertation, 1999. – URL <http://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/1999/Szalavari-thesis/>
- [Szalavari und Gervautz 1997] SZALAVARI, Zsolt ; GERVAUTZ, Michael: The Personal Interaction Panel - a Two-Handed Interface for Augmented Reality. In: *Computer Graphics Forum* 16 (1997), Nr. 3, S. 335–346. – URL <http://citeseer.ist.psu.edu/szalavari97personal.html>
- [Szwilius und Ziegler 2003] SZWILLUS, Gerd (Hrsg.) ; ZIEGLER, Jürgen (Hrsg.): *Mensch & Computer 2003: Interaktion in Bewegung, 7. bis 10. September 2003 in Stuttgart*. Teubner, 2003
- [Task 1997] TASK, H. L.: HMD Image Source, Optics, and the Visual Interface. In: MELZER, J. E. (Hrsg.) ; MOFFITT, K. (Hrsg.): *Head Mounted Displays - Designing for the User*. New York : McGraw-Hill, 1997, S. 55–82
- [Tenmoku u. a. 2005] TENMOKU, Ryuhei ; KANBARA, Masayuki ; YOKOYA, Naokazu: Annotating User-Viewed Objects for Wearable AR Systems. In: (Werner, 2005), S. 192–193
- [Terbu 2004] TERBU, Alexander: Virtual Cockpit: An alternative augmented reality user interface. In: WIMMER, Michael (Hrsg.) ; TRAXLER, Andreas (Hrsg.): *CESCG - Web Proceedings* Technische Universität Wien, Institut für Computergraphik und Algorithmen, Abteilung für Computergraphik (Veranst.), URL http://www.cescg.org/CESCG-2004/papers/14_TerbuAlexander.pdf, 2004

- [Thum 2005] THUM, Marco: *Extension of ARGuide - A Multi-Modal User Interface Component for an Augmented Reality Mobile User Guidance System*, Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz, Fachbereich 4 Informatik, Institut für Computervisualistik, Diplomarbeit, 2005
- [Titsworth 2004] TITSWORTH, Frances M. (Hrsg.): *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2004), 2-5 November 2004, Arlington, VA, USA*. IEEE Computer Society, 2004
- [Tognazzini 2005] TOGNAZZINI, Bruce: *First Principles of Interaction Design*. 12 2005. – URL <http://www.asktog.com/basics/firstPrinciples.html>
- [Tönnis u. a. 2005] TÖNNIS, Marcus ; SANDOR, Christian ; LANGE, Christian ; KLINKER, Gudrun ; BUBB, Heiner: Experimental Evaluation of an Augmented Reality Visualization for Directing a Car Driver's Attention. In: *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 10 2005
- [Trumler u. a. 2003] TRUMLER, Wolfgang ; BAGCI, Faruk ; PETZOLD, Jan ; UNGERER, Theo: Smart Doorplate. In: *The First International Conference on Appliance Design (IAD), Bristol, UK, May 6-8, 2003*
- [Tschirner u. a. 2002] TSCHIRNER, Petra ; HILLERS, Bernd ; GRÄSER, Axel: A Concept for the Application of Augmented Reality. In: *ISMAR 2002*, URL <http://csdl.computer.org/comp/proceedings/ismar/2002/1781/00/17810257.pdf>, 2002, S. 257–258
- [Ulbricht 2002] ULBRICHT, Christiane: *Tangible Augmented Reality for Computer Games*, Technische Universität Wien, Diplomarbeit, 2002. – URL <http://www.cg.tuwien.ac.at/~cu/tangibleAR/thesis.pdf>
- [Ullmer und Ishii 2000] ULLMER, Brygg ; ISHII, Hiroshi: Emerging frameworks for tangible user interfaces. In: *IBM Systems Journal* 39 (2000), Nr. 3-4, S. 915–935. – URL <http://www.research.ibm.com/journal/sj/393/part3/ullmer.html>
- [Vinson 1999] VINSON, Norman G.: Design Guidelines for Landmarks to Support Navigation in Virtual Environments. In: *Proceedings of CHI '99*. Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 1999, S. 278–285. – URL <http://iit-iti.nrc-cnrc.gc.ca/iit-publications-iti/docs/NRC-43578.pdf>
- [Wagner u. a. 2006] WAGNER, Daniel ; BILLINGHURST, Mark ; SCHMALSTIEG, Dieter: How Real Should Virtual Characters Be? In: *Conference on Advances in Computer Entertainment Technology 2006 (ACE 2006)* SIGCHI (Veranst.), ACM Press, 6 2006. – URL http://www.icg.tu-graz.ac.at/Members/daniel/Publications/ACE2006_Wagner_ARcharacters/download

- [Werner 2005] WERNER, Bob (Hrsg.): *Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2005), 5-8 October, Vienna, Austria*. IEEE Computer Society, 2005
- [Wesche und Droske 2000] WESCHE, Gerold ; DROSKE, Marc: Conceptual free-form styling on the responsive workbench. In: *VRST*, 2000, S. 83–91
- [Wiedenmaier 2004] WIEDENMAIER, Stefan: *Unterstützung manueller Montage durch Augmented Reality-Technologien*, RWTH Aachen, Dissertation, 2004
- [Wiedenmaier u. a. 2003] WIEDENMAIER, Stefan ; OEHME, Olaf ; SCHMIDT, L. ; LUCZAK, H.: Vergleichende Untersuchung alternativer Gestaltungsmerkmale für eine Augmented Reality-Unterstützung in der manuellen Montage. In: STRASSER, H. (Hrsg.) ; KLUTH, K. (Hrsg.) ; RAUSCH, H. (Hrsg.) ; BUBB, H. (Hrsg.): *Qualität von Arbeit und Produkt in Unternehmen der Zukunft*. Stuttgart : Ergonomia Verlag, 2003, S. 307–310
- [Woods u. a. 2003] WOODS, Eric ; MASON, Paul ; BILLINGHURST, Mark: MagicMouse: an inexpensive 6-degree-of-freedom mouse. In: *GRAPHITE '03: Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia*. New York, NY, USA : ACM Press, 2003, S. 285–286. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/604471.604539>
- [Zauner und Haller 2004] ZAUNER, J. ; HALLER, M.: Authoring of mixed reality applications, including multi-marker calibration for mobile devices. In: *Proceedings of the 10th Eurographics Symposium on Virtual Environments*. Grenoble, France : Eurographics Association, Aire-la-Ville, Switzerland, 6 2004, S. 8790
- [Zauner u. a. 2003] ZAUNER, J. ; HALLER, M. ; BRANDL, A. ; HARTMAN, W.: Authoring of a mixed reality assembly instructor for hierarchical structures. In: *Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings. The Second IEEE and ACM International Symposium on*, 1 2003, S. 237–246

A. Eingabegeräte für den mobilen Einsatz

Die folgenden beiden Tabellen geben einen groben Überblick über gängige Eingabegeräte, die für einen AR Prototypen in Betracht kommen könnten. Wie bereits die vorherigen Abschnitte gezeigt haben, ist es nicht immer notwendig aufwändige Trackingverfahren für eine vollkommen natürliche Interaktion mit der Hand zur Verfügung zu stellen. Die Tabellen können aber ggf. als Entscheidungshilfe für Entwickler dienen, welches Eingabegeräte für eine bestimmte Interaktionstechnik (s. Abschnitt 5) nötig ist.

Abbildung A.1.: Übersicht über gängige Eingabegeräte

Eingabegeräte	Handschuhe				2-D-Gestenerkennung	
	Pinch Gloves	Data Glove	Cyber Glove	P5 Glove	Optische Marker	Touchpad
Kurzbeschreibung	Ausgestattet mit elektronischen Sensoren an den Fingerspitzen. Sobald ein Kontakt zwischen zwei Fingern hergestellt wurde kann das Signal weiterverarbeitet werden.	Misst Fingerbeugungen (ein Sensor pro Finger) und die Orientierung der Hand (Pitch und Roll).	Aufwendiger Handschuh, der offene Fingerkuppen besitzt, so dass z.B. normal getippt werden kann. Weitere Modell verfügbar	Vergleichsweise günstiger Handschuh, der sechs Parameter trackt (X, Y, Z, Yaw, Pitch und Roll).	Optisches Tracking mit Hilfe von Marker. Sehr günstige Variante, die sowohl an Handschuhen, als auch an physischen Gegenständen angebracht werden.	Eingabe von Gesten mittels eines vom Notebook bekannten Touchpads. Diskrete Werteeingabe durch Tasten möglich.
Bild						
Kalibrierung	nein	ja	ja	ja	ja	nein
Diskr. Sensoren	ja (10)	ja (10)	ja (18)	nein	nein	2-4
Gestenerkennung	eingeschränkt	ja	eingeschränkt	ja	ja	ja
2-D/3-D Tracking	nein / nein	ja / nein	nein / nein	ja / ja	ja / ja	nein / nein
Freiheitsgrade	-	-	-	6 DOF	6 DOF	2 DOF
Kabelgebunden	ja / nein	ja / nein	ja / nein	nein (Infrarot)	nein	ja
Kosten	hoch	hoch	sehr hoch	mittel	niedrig	niedrig
Besonderheiten	Beispielcode ist für SGI oder PC Plattformen erhältlich. Tragen von Handschuhen kann unangenehm sein. Gesten nur auf Fingerberührung beschränkt.	USB Adapter verfügbar. Links- und Rechtshänderversion verfügbar. Tragen von Handschuhen kann unangenehm sein.	Gleiche Nachteile, wie andere Handschuhe. Kein eingebautes Tracking. Feedback über LEDs am Handschuh möglich	Infrarot Sensor erfordert Sichtkontakt. Gleiche Nachteile, wie andere Handschuhe. SDK erhältlich.	Handgestenerkennung möglich. Da optisches Verfahren, starke Abhängigkeit von Beleuchtung etc.	Kein Tracking im Raum möglich, dafür zuverlässige Fingergeräten und diskrete Eingaben durch Tasten. Günstig und leicht.

Abbildung A.2.: Übersicht über die gängigsten Verfahren zur Selektion

Eingabegeräte	Fernbedienungen				Sonstiges	
	Neowand	VWand	LogiTech Presenter	Gamepad	Dreh-Drückregler	Funkmaus
Kurzbeschreibung	Eingebaute Tracking-sensoren ermöglichen Gestenerkennung und darüber hinaus auch eine diskrete Werteingabe.	Eingebaute Tracking-sensoren ermöglichen Gestenerkennung, Tasten und zusätzlich ein Trackball zur Steuerung eines Cursor.	Kabelloser Mauseinsatz mit Bluetooth-Anbindung	Bekanntes Gamepad, wie bei Spielekonsolen verbreitet. Sehr günstig und weit verbreitet. Steuerkreuz und Analogstick z.Z. zu bis zu 10 Tasten.	Ein simpler Drehregler, der zusätzlich noch ein Drücken auswerten kann. Strikt eindimensionales Eingabegerät.	Desktopmaus, bei der nur die Tasten ausgelassen werden. Durch Scrollrad und bis zu 5 Tasten sind doch viele Interaktionsmöglichkeiten gegeben.
Bild						
Kalibrierung	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Diskr. Sensoren	ja (11 Tasten)	ja (3)	ja (3)	ja	ja (1 Rad, 1 Taste)	ja (Scrollrad, Tasten)
Gestenerkennung	ja	ja	ja (2D)	nein	nein	nein
2-D/3-D Tracking	ja / ja	ja / ja	nein / nein	nein / nein	nein / nein	nein / nein
Freiheitsgrade	6 DOF	6 DOF	2 DOF	-	1 DOF	1 DOF
Kabelgebunden	ja	ja	nein	nein	ja	nein
Kosten	mittel	mittel	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig
Besonderheiten	Liegt gut in der Hand, doch die 11 Tasten sind ggf. zuviel, so dass Zuordnung nicht mehr möglich ist.	Drei Tasten, Übertragungsprotokoll muss selbst geschrieben werden, keine API.	Durch Bluetooth ca. 10 Meter Reichweite ohne Sichtlimitierung, eingebauter Laserpointer	Sehr einfache Einbindung in eigene Anwendungen, da Standardtreiber vorhanden. Force-Feedback möglich. Liegt gut in der Hand.	Feedback über eingebaute LED möglich. Sehr robuste Ausführung, sehr genaues und zuverlässiges Eingabegerät.	Drahtloseanbindung z.B. über Bluetooth möglich. Sehr einfache Einbindung, da Standardtreiber verwendet werden können.

Bisher erschienen

Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik

(<http://www.uni-koblenz.de/fb4/publikationen/arbeitsberichte>)

Philipp Schaer, Marco Thum: State-of-the-Art: Interaktion in erweiterten Realitäten, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 10/2007

Ulrich Furbach, Claudia Obermaier: Applications of Automated Reasoning, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 9/2007

Jürgen Ebert, Kerstin Falkowski: A First Proposal for an Overall Structure of an Enhanced Reality Framework, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 8/2007

Lutz Prieße, Frank Schmitt, Paul Lemke: Automatische See-Through Kalibrierung, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 7/2007

Rüdiger Grimm, Robert Krimmer, Nils Meißner, Kai Reinhard, Melanie Volkamer, Marcel Weinand, Jörg Helbach: Security Requirements for Non-political Internet Voting, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 6/2007

Daniel Bildhauer, Volker Riediger, Hannes Schwarz, Sascha Strauß, „grUML – Eine UML-basierte Modellierungssprache für T-Graphen“, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 5/2007

Richard Arndt, Steffen Staab, Raphaël Troncy, Lynda Hardman: Adding Formal Semantics to MPEG-7: Designing a Well Founded Multimedia Ontology for the Web, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 4/2007

Simon Schenk, Steffen Staab: Networked RDF Graphs, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 3/2007

Rüdiger Grimm, Helge Hundacker, Anastasia Meletiadou: Anwendungsbeispiele für Kryptographie, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 2/2007

Anastasia Meletiadou, J. Felix Hampe: Begriffsbestimmung und erwartete Trends im IT-Risk-Management, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 1/2007

„Gelbe Reihe“

(<http://www.uni-koblenz.de/fb4/publikationen/gelbereihe>)

Lutz Prieße: Some Examples of Semi-rational and Non-semi-rational DAG Languages. Extended Version, Fachberichte Informatik 3-2006

Kurt Lautenbach, Stephan Philippi, and Alexander Pinl: Bayesian Networks and Petri Nets, Fachberichte Informatik 2-2006

Rainer Gimnich and Andreas Winter: Workshop Software-Reengineering und Services, Fachberichte Informatik 1-2006

Kurt Lautenbach and Alexander Pinl: Probability Propagation in Petri Nets, Fachberichte Informatik 16-2005

Rainer Gimnich, Uwe Kaiser, and Andreas Winter: 2. Workshop "Reengineering Prozesse" – Software Migration, Fachberichte Informatik 15-2005

Jan Murray, Frieder Stolzenburg, and Toshiaki Arai: Hybrid State Machines with Timed Synchronization for Multi-Robot System Specification, Fachberichte Informatik 14-2005

Reinhold Letz: FTP 2005 – Fifth International Workshop on First-Order Theorem Proving, Fachberichte Informatik 13-2005

Bernhard Beckert: TABLEAUX 2005 – Position Papers and Tutorial Descriptions, Fachberichte Informatik 12-2005

Dietrich Paulus and Detlev Droege: Mixed-reality as a challenge to image understanding and artificial intelligence, Fachberichte Informatik 11-2005

Jürgen Sauer: 19. Workshop Planen, Scheduling und Konfigurieren / Entwerfen, Fachberichte Informatik 10-2005

Pascal Hitzler, Carsten Lutz, and Gerd Stumme: Foundational Aspects of Ontologies, Fachberichte Informatik 9-2005

Joachim Baumeister and Dietmar Seipel: Knowledge Engineering and Software Engineering, Fachberichte Informatik 8-2005

Benno Stein and Sven Meier zu Eißén: Proceedings of the Second International Workshop on Text-Based Information Retrieval, Fachberichte Informatik 7-2005

Andreas Winter and Jürgen Ebert: Metamodel-driven Service Interoperability, Fachberichte Informatik 6-2005

Joschka Boedecker, Norbert Michael Mayer, Masaki Ogino, Rodrigo da Silva Guerra, Masaaki Kikuchi, and Minoru Asada: Getting closer: How Simulation and Humanoid League can benefit from each other, Fachberichte Informatik 5-2005

Torsten Gipp and Jürgen Ebert: Web Engineering does profit from a Functional Approach, Fachberichte Informatik 4-2005

Oliver Obst, Anita Maas, and Joschka Boedecker: HTN Planning for Flexible Coordination Of Multiagent Team Behavior, Fachberichte Informatik 3-2005

Andreas von Hessling, Thomas Kleemann, and Alex Sinner: Semantic User Profiles and their Applications in a Mobile Environment, Fachberichte Informatik 2-2005

Heni Ben Amor and Achim Rettinger: Intelligent Exploration for Genetic Algorithms – Using Self-Organizing Maps in Evolutionary Computation, Fachberichte Informatik 1-2005