



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Augmented Reality (AR) – Der Einfluss
von AR auf die Geokommunikation“

Verfasser

Marko Einspieler

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, Oktober 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 455

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Kartographie und Geoinformation (Stzw) UniStG

Betreuerin / Betreuer:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	v
Abstract	vii
Vorwort	ix
Danksagung	xi
1. Einleitung	1
2. Thematische Einführung	7
2.1. Zur Geschichte von AR	8
2.2. Einordnung der AR im Raum	11
2.3. Definition	12
2.4. Location Based Services	13
2.5. Ubiquitous Computing - Die allgegenwärtige Rechnerpräsenz	16
2.6. Bausteine eines AR-Systems	17
3. Darstellungsmöglichkeiten	19
3.1. Head-Worn Displays	21
3.1.1. Head-Mounted Displays	21
3.1.2. Retinal Displays	23
3.1.3. Head-Mounted Projectors	23
3.2. Handheld Displays	25
3.3. Spatial Displays	27
3.3.1. Screen-Based Video See-Through Displays	27
3.3.2. Spatial Optical See-Through Displays	28
3.3.3. Projection-Based Spatial Displays	29

4. Tracking und Registrierung	33
4.1. Das Tracking	33
4.1.1. Sensor-Based Tracking	35
4.1.2. Vision-Based Tracking	40
4.1.3. Hybrid Tracking	45
4.1.4. Inside-Out und Outside-In Tracking	46
4.2. Registrierung	46
5. Interaktion	51
5.1. Human-Computer Interaction und Interfaces	51
5.2. Besonderheiten und Grundprinzipien von AR-Interfaces	53
5.2.1. Eight Golden Rules of Interface Design	55
5.2.2. Designprinzipien in der AR	56
5.3. Möglichkeiten der Eingabe bzw. Interaktionen in der AR	58
5.3.1. Marker-basierte Eingabe	58
5.3.2. Bewegungs-Erfassung (Motion-Capturing)	59
5.3.3. Spracheingabe	59
5.3.4. Eingaben mit dem Blick (Eye-Tracking)	60
5.4. Interfaces	60
5.4.1. Tangible AR Interfaces	60
5.4.2. Collaborative AR Interfaces	62
5.4.3. Hybride AR Interfaces	63
5.4.4. Multimodale AR Interfaces	63
6. Einsatzbereiche von AR und AR-Systeme	67
6.1. Einsatzbereiche von AR	67
6.2. AR-Systeme	69
7. AR für die breite Masse	73
7.1. Mobile AR (MAR)	74
7.2. Mobile AR Systeme	75
7.3. Entwicklung der MAR	76
7.4. Smartphones und AR	78
7.4.1. Personal Digital Assistant (PDA)	79
7.4.2. Smartphones	80
7.4.3. Meilensteine in der Entwicklung der Smartphones	82

7.5. AR auf Smartphones	86
7.6. Die elektronischen Bauelemente für die Realisierung von AR auf Smartphones	86
7.6.1. Digitale Kamera/Videokamera	88
7.6.2. GPS-Empfänger	89
7.6.3. Digitaler Kompass	93
7.6.4. Beschleunigungssensor (Accelerometer)	94
7.6.5. Gyroskop (Kreiselinstrument)	95
7.6.6. Drahtlose und mobile Kommunikation, Netzwerke sowie Internet	96
7.7. Wie funktioniert AR am Smartphone?	98
8. Kommerzielle AR-Applikationen für Smartphones	103
8.1. AR-Applikationen für Smartphones	103
8.2. Application Stores	105
8.3. AR-Browser als wichtigster Vertreter von GeoAR-Applikationen .	108
8.3.1. Was sind AR-Browser?	108
8.3.2. Anwendungsbereiche von AR-Browser	111
8.3.3. Der Aufbau von AR-Browsern	111
8.4. Die drei führenden AR-Browser-Plattformen	115
8.4.1. Wikitude World Browser	115
8.4.2. Layar Reality Browser	117
8.4.3. junaio Augmented Reality Browser	118
8.5. Stärken und Schwächen von AR-Browsern	120
8.5.1. Stärken von AR-Browsern	120
8.5.2. Schwächen von AR-Browsern	121
9. Fazit: Resümee, Ausblick	125
Literaturverzeichnis	129
Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	III
A. Erklärung	V
B. CURRICULUM VITAE	VII

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Thema *Augmented Reality* (AR) — der *erweiterten Realität*, und *Smartphones*. AR ist eine Variation der Virtual Reality (VR). Sie erlaubt es, die reale Umgebung mit virtuellen Informationen und Objekten zu überlagern und damit die Wahrnehmung des Users zu bereichern bzw. zu erweitern. Der Definition her, kann AR auf alle menschlichen Sinne angewendet werden. Diese Arbeit beschränkt sich auf Wahrnehmungen, die mit Hilfe von Sichtgeräten und Displays visualisiert werden.

Die Arbeit gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil wird der Fokus auf die AR gerichtet: nämlich auf die einzelnen Komponenten, wie z. B. die *Darstellungsmöglichkeiten*, das *Tracking* und die *Registrierung* sowie die *Interaktion*, die für ein AR-System benötigt werden. Zuletzt erfolgt noch ein Blick auf Einsatzbereiche von AR sowie eine Klassifizierung von AR-Systemen in *Indoor-* und *Outdoor-Systeme*.

Der zweite Teil der Diplomarbeit geht der Frage nach, wie AR für ein breites Publikum zugänglich gemacht werden kann. Der Schwerpunkt liegt hier bei mobilen Geräten — sogenannten *Handheld Devices*. Durch die Entwicklung und Einführung der *Smartphones* und auf Grund ihrer weiten Verbreitung, bieten sich diese „Alleskönner“ als eine hervorragende Plattform zur Verwirklichung von AR-Anwendungen im kommerziellen Sinne, an. Die mittlerweile standardmäßig eingebauten Sensoren in einem Smartphone, wie z. B. ein *GPS-Empfänger*, ein *digitaler Kompass*, *Beschleunigungssensoren* usw., sind die technischen Grundvoraussetzungen dafür. Darüber hinaus wird auf das Zusammenspiel der einzelnen Sensoren eingegangen. Ein Abschnitt dieser Arbeit geht konkret auf kommerzielle AR-Applikationen auf Smartphones ein. Das Augenmerk wird hier auf die sogenannten *AR-Browser* gelenkt, und es werden die drei wichtigsten Vertreter vorgestellt und beschrieben. Darüber hinaus werden die Stärken und Schwächen von *AR-Browsern* diskutiert. Zuletzt erfolgt noch ein kurzer Ausblick in die Zukunft von AR-Applikationen auf *Smartphones*.

Abstract

The topic of this diploma thesis is *augmented reality* (AR) and *smartphones*. AR is a variation of *virtual reality* (VR), enabling us to overlay the real environment with virtual information and objects, and therefore enrich or extend the user's perception. By definition, AR can be applied to all human senses. In this paper the main focus is exclusively directed towards visual perception, which can be visualized by means of displays.

The thesis is divided into two parts. The first one deals with the several components of AR such as *displays*, *tracking techniques* and *registration*, as well as *interaction techniques* that are needed for an AR system. Finally, the different fields of application of AR are examined and a classification of AR systems into *indoor* and *outdoor systems* is carried out.

The second part of the diploma thesis analyzes the question, how AR can be made accessible to a broader public. Here the emphasis is on mobile devices, so called *handheld devices*. Due to the rapid development and the massive distribution of *smartphones*, these „all-rounders“ offer a perfect platform for the commercial implementation of AR applications. Different sensors such as a *gps-receiver*, a *digital compass*, *accelerometers* etc., which are standard features for each and every smartphone nowadays, are the required technical preconditions. Furthermore, the interaction of individual sensors is examined. Beside that, also concrete commercial AR applications on smartphones are described in a further chapter of the thesis. Hereby the research focuses on the so called *AR browsers* and the respective three main browsers are presented. Additionally, the strengths and weaknesses of *AR browsers* are discussed, and finally, we reveal a brief foreshadowing of the future perspectives of AR applications on *smartphones*.

Vorwort

Schon als Kind schmökerte ich gerne in Atlanten und Landkarten. Mit dem Eintritt ins Gymnasium wurde mit „*Geographie und Wirtschaftskunde*“ endlich ein Unterrichtsfach angeboten, das mich enorm interessierte und mir immer sehr viel Spaß machte. Durch meine persönliche Begeisterung für dieses Fach musste ich auch nie außerordentlich viel lernen und hatte immer gute Noten. Auch in der Oberstufe belegte ich als zusätzliches freies Wahlpflichtfach den Schwerpunkt Geografie. Bei der mündlichen Matura war „*Geografie und Wirtschaftskunde*“ eines meiner Prüfungsfächer.

Doch führte mich nach der Matura mein Lebensweg vorerst in eine Bank.

Mein Interesse für *Geografie* ließ in all den Berufsjahren als Bankangestellter nicht nach. Somit entschied ich, nach langem Überlegen einen neuen Berufsweg einzuschlagen. Während dieser Phase wurde für mich auch bald klar, dass ich mich im weiteren Verlauf des Geografiestudiums auf „*Kartographie und Geoinformation*“ vertiefen will.

Im Herbst 2005 war es endlich soweit: ich zog nach Wien; inskribierte *Geografie* auf der Hauptuniversität und begann das Studium mit dem Schwerpunkt „*Kartographie und Geoinformation*“.

Im Frühjahr 2011 musste ich ein passendes Diplomarbeitsthema finden. Während meines zweiten Studienabschnittes belegte ich auch einige freie Wahlfächer am Institut für Geoinformation und Kartographie auf der TU in Wien. Dort erfuhr ich einiges über *standortbezogene Dienste (Location Based Services)* und fasste den Entschluss über mobile Applikationen und mobile Geräte zu schreiben.

Mit dieser Idee trat ich dann an meinen Professor und späteren Diplomarbeitbetreuer Andreas Riedl heran, der mich auf die Thematik der „*Augmented Reality*“ — der „*erweiterten Realität*“, neugierig gemacht hatte. Nach dem Einlesen in die Literatur beschloss ich eine Diplomarbeit über „*Augmented Reality*“ im Zusammenhang mit *Smartphones* zu verfassen.

Wien, am 11. September 2012

Danksagung

Herzlich bedanke ich mich bei meinem Betreuer Andreas Riedl für seine umfangreiche Hilfestellung und Unterstützung beim Verfassen dieser Arbeit. Er hatte immer ein offenes Ohr und Ideen parat, wenn ich mich mit einer Frage an ihn wandte. Ein weiterer Dank gilt meinem Studienkollegen Frederik, der, trotz großer Entfernung, immer Zeit zum Korrekturlesen fand und viele Verbesserungsvorschläge einbrachte. Der größte Dank gilt aber meiner gesamten Familie und meinen Freunden, die mich während meiner Studienzeit sowie in der intensiven Phase des Schreibens unterstützten.

1. Einleitung

Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Thema *Augmented Reality*, *Erweiterte Realität*. Dieser Begriff findet in der breiten Öffentlichkeit, vor allem auf Internetseiten, in Tageszeitungen sowie in fachspezifischen Printmedien, immer öfter Verwendung. Oft ist der Terminus *Augmented Reality* (AR) in diesen Medien nicht klar definiert, und für die Allgemeinheit ist dieser Ausdruck sehr schwer einordbar und klingt nach Science-Fiction. Im Gegenzug dazu ist nahezu jedem der Begriff *Virtual Reality* (VR, *virtuelle Realität*) geläufig und jeder kann sich darunter auch etwas vorstellen. In weiterer Folge drängt sich die Fragen, wie diese sogenannte *erweiterte Realität* überhaupt zustande kommt bzw. wie sie im Allgemeinen funktioniert.

Durch die rasante Entwicklung der Computer- und anderer verwandter Technologien in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren ergaben sich für die Wissenschaft, Wirtschaft sowie für den Privatnutzer immer neuere und bessere Möglichkeiten AR realisierbar bzw. nutzbar zu machen. AR ist eine Variation der VR. Im Falle der VR taucht der Nutzer in eine vollkommen künstliche bzw. synthetisch hergestellte Welt ein, in der er sein reales Umfeld nicht sehen kann. AR jedoch erlaubt dem Nutzer die reale Welt mit Einblendung von virtuellen Objekten bzw. eine gemischte Welt zu sehen. Daher ergänzt AR die Realität und ersetzt diese nicht [Azu97]. Genauer gesagt werden in der AR keine neuen Welten geschaffen, sondern die vorhandene Realität wird mit einer virtuellen Realität vervollständigt [MBRS11].

Vor allem durch die Entwicklung bzw. Einführung von *Smartphones* (siehe Kapitel 7.4.2) ergeben sich für die Geowissenschaften neue Möglichkeiten der Kommunikation. Durch die Verfügbarkeit entsprechender Sensoren in Smartphones, wie z. B. *GPS-Empfänger*, *Beschleunigungssensoren*, ein *digitaler Kompass*, ein *Gyroskop*, eine *digitale Kamera* usw., kann AR auf solchen „intelligenten Geräten“ für jedermann nutzbar gemacht werden. Auch durch das Freischalten der Hersteller von Smartphones für zusätzliche Programme (sogenannte *Apps*) wird

1. Einleitung

die Funktionalität solcher Geräte gesteigert und für einen breiten Benutzerkreis zugänglich gemacht.

Die vorliegende Diplomarbeit gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil behandelt im Allgemeinen das Thema AR. Dieser bietet eine Einführung in die AR sowie eine Bestandsaufnahme der bisherigen Forschung, den aktuellen Stand sowie Ausblicke in die Zukunft.

Der zweite Teil der Arbeit geht konkret auf die mobile AR sowie deren Entwicklung ein und spannt den Bogen zu den Smartphones, die eine vielversprechende Plattform für AR-Anwendungen bieten. Es wird auch auf die benötigten Sensoren hingewiesen, um AR-Inhalte auf einem Smartphone visualisieren zu können sowie auf das Zusammenspiel dieser Komponenten. Es sollen auch AR-Applikationen, im Speziellen GeoAR-Applikationen für Smartphones, beleuchtet und analysiert werden. Darüber hinaus sollen im Allgemeinen AR-Browser auf ihre Stärken und Schwächen untersucht werden.

Folgende Fragestellungen werden behandelt:

- Was ist AR und wie hat sie sich seit der Einführung des Begriffes Anfang der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts entwickelt?
- Was sind die Voraussetzung, die uns AR im alltäglichen Gebrauch ermöglicht?
- Welche gängigen AR-Applikationen gibt es?
- Welche Stärken/Schwächen weisen GeoAR-Applikationen auf?
- Welche Empfehlungen lassen sich für die Zukunft ableiten.

In Kapitel 2 erfolgt eine thematische Einführung in die AR. Darauf folgt ein kurzer historischer Abriss der AR, von den ersten Schritten bis zu den neuesten Entwicklungen und Fortschritten in dieser Technologie. Es wird auch auf die Entwicklung in anderen, verwandten Technologien sowie Disziplinen, die in Hinblick auf den technologischen Fortschritt in der AR eine wichtige Rolle spielen, hingewiesen. In den weiteren Unterkapiteln 2.2 und 2.3 erfolgt eine Einordnung der AR in den Raum sowie die Abgrenzung zur VR (*Virtual Reality*) und es wird eine, in der Fachliteratur, sehr häufig verwendete Definition von AR (siehe Kapitel 2.3) nach Ronald Azuma [Azu97], wiedergegeben. Zusätzlich werden noch die Begriffe

Location Based Services sowie *Ubiquitous Computing* aufgegriffen und erklärt sowie in einen Bezug zur AR gestellt. Im letzten Abschnitt dieses Kapitels werden die für ein AR-System benötigten Bausteine angeführt.

Kapitel 3 behandelt alle gängigen Darstellungsmöglichkeiten, die für die Visualisierung von AR verwendet werden können. In einer kurzen Einleitung werden die zwei möglichen Displaytechnologien — *Optical See-Through* und *Video See-Through Displays*, die die Darstellung von AR-Inhalten erst ermöglichen, beschrieben und erklärt. In den darauffolgenden Unterkapiteln werden die unterschiedlichen Arten von AR-Displays charakterisiert. In Unterkapitel 3.1 werden die wohl gängigsten Displays vorgestellt. Hierbei handelt es sich um *Head-Worn Displays* — also Displays, die am Kopf getragen werden. Die zwei wichtigsten Vertreter unter diesen Displays sind wohl die *Head-Mounted Displays*, die mittlerweile zu den Klassikern in der AR zählen. Abschnitt 3.2 beschreibt Darstellungsmöglichkeiten, sogenannte *Handheld Displays*, die der Nutzer in der Hand halten kann. Dieser Ansatz wird, wie z. B. bei AR-Applikationen, die auf Smartphones realisiert werden, verwendet. Zu guter Letzt, unter Punkt 3.3, werden sogenannte *Spatial Displays* erläutert. Bei dieser Art von Displays wird der Nutzer von jeglichem Tragen von Gerätschaften befreit.

Ein sehr wichtiger Aspekt in der AR ist die Erkennung und Verfolgung von Objekten. Dies wird als *Tracking* bezeichnet und wird in Kapitel 4 behandelt und beschrieben. In den Abschnitten 4.1.1, 4.1.2 und 4.1.3 werden die bestehenden Technologien vorgestellt und ausführlich veranschaulicht. Anschließend werden im Unterkapitel 4.1.4 noch die beiden Prinzipien — *Inside-Out*- sowie das *Outside-In Tracking*, erläutert. Abschließend wird in diesem Zusammenhang noch auf die *Registrierung* (siehe Kapitel 4.2), das korrekte Überlagern der virtuellen Objekte bzw. Informationen mit der realen Umgebung des Nutzers, hingewiesen.

Kapitel 5 beschäftigt sich ausschließlich mit der Fragestellung der Interaktionsmöglichkeiten in der AR. In Abschnitt 5.1 wird der Leser in die Wissenschaft und Fragestellungen der *Human-Computer Interaction* — der Mensch-Computer Interaktion, sowie in die Thematik von *Interfaces (Schnittstellen)*, insbesondere von *User Interfaces (Benutzeroberfläche)* und *Graphical User Interfaces (grafische Benutzeroberfläche)*, eingeführt. Unter Punkt 5.2 wird die Problematik bei der Entwicklung von *Interfaces* angeschnitten sowie welche Interaktionsstile heutzutage bevorzugterweise bei der *Mensch-Computer Interaktion* ihre Verwendung

1. Einleitung

finden. In weiterer Folge werden Empfehlungen für das *Interface Design* — die sogenannten „*Eight Golden Rules of Interface Design*“ (siehe Kapitel 5.2.1) nach Shneiderman [Shn98], vorgestellt. Diese „*Eight Golden Rules of Interface Design*“ können nicht eins zu eins auf ein *AR-Interface* umgelegt werden. Im Anschluss wird darauf hingewiesen, dass es für die Gestaltung von *AR-Interfaces* eine Vielzahl von Besonderheiten gibt, die berücksichtigt werden müssen. Diesbezüglich wird auf die Designprinzipien für AR-Umgebungen (siehe Kapitel 5.2.2) von Dünser et al. [DGSB07], verwiesen. Das Unterkapitel 5.3 befasst sich mit der Vielzahl von Eingabe- bzw. Interaktionsmöglichkeiten in der AR. Abschließend werden unter Punkt 5.4 die heutzutage zum Einsatz kommenden Interaktionstechniken bzw. *User Interfaces* (siehe Kapitel 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3 und 5.4.4) in der AR veranschaulicht und erläutert.

Im nächsten Diplomarbeitsabschnitt werden bereits bestehende bzw. mögliche Anwendungsbereiche für AR (siehe Kapitel 6.1) erläutert sowie eine Einteilung von AR-Systemen in fünf Kategorien vorgenommen und aufgelistet (siehe Kapitel 6.2). Anschließend werden diese Kategorien kurz charakterisiert.

Kapitel 7 behandelt die Thematik, wie AR einer breiten Masse zugänglich gemacht werden konnte. Bis vor wenigen Jahren war AR nur in Forschungslaboren bzw. in extra zu diesem Zweck vorbereiteten Umgebungen anzufinden. Auch die Technologie war dafür noch nicht soweit ausgereift und es gab noch kein „ultimatives“ Medium, das AR ohne viel zusätzliches Equipment für mehr oder minder jederman ermöglichte. Darüber hinaus wird deutlich gemacht, auf welche AR-Systeme in dieser Diplomarbeit der Fokus gelegt wird. Anschließend wird unter Punkt 7.1 der Begriff der *mobilen Augmented Reality* (MAR) erläutert und genauer definiert, außerdem werden auch die hierfür benötigten Technologien erwähnt und aufgezählt. Der nächste Abschnitt (siehe Kapitel 7.2) beschäftigt sich im Speziellen mit MAR-Systemen und gibt einen Überblick über das Zusammenspiel der einzelnen Technologien. Kapitel 7.3 gibt einen kleinen Einblick in die Entwicklung der MAR seit den späten 90er Jahren des vergangenen Jahrtausends bis heute.

Der nächste Teilabschnitt (siehe Kapitel 7.4) setzt sich mit der Fragestellung der Smartphones auseinander und gibt eine detailreiche Definition zum Begriff Smartphone preis. Wenn von Smartphones die Rede ist, sollte auch der Ausdruck des *Personal Digital Assistant* (PDA) — einer verwandten Technologie, erwähnt und erklärt werden. Um den Unterschied zwischen diesen beiden Gerätetypen auf-

zuzeigen, wird unter Punkt 7.4.1 kurz die Entwicklung und die Funktionsweise sowie der Funktionsumfang von PDAs aufgezeigt. Danach wird näher auf die Smartphones eingegangen, da es sich um die für dieses Thema relevante Technologie handelt (siehe Kapitel 7.4.2). Hier werden die Grundlagen sowie -funktionen von modernen Smartphones der neuesten Generationen umfangreich dargelegt. Abschnitt 7.4.3 befasst sich ausführlich mit den Meilensteinen in der Entwicklung von Smartphones — vom weltweit ersten Smartphone auf dem Markt bis zu den heutigen High-End-Geräten von Unternehmen, wie z. B. Apple, Nokia, HTC, Samsung usw. Darauf aufbauend folgt die Einführung in die Welt von AR auf *Smartphones* (siehe Kapitel 7.5). Hier wird erläutert, wann das erste kommerzielle AR-fähige Smartphone auf den Markt kam und es wird auch darauf eingegangen, welche Sensoren dafür benötigt werden. Darüber hinaus wird auch auf die erste kommerzielle AR-Applikation hingewiesen. Anschließend richtet sich die Aufmerksamkeit in Abschnitt 7.6 dieser Arbeit auf die erwähnten elektronischen Bauelemente — genauer gesagt auf die eingebauten Sensoren und Hardwarekomponenten, die AR auf Smartphones ermöglichen. Im Speziellen handelt es sich hierbei um die folgenden elektronischen Bauelemente: *digitale Kamera/Videokamera* (siehe Kapitel 7.6.1), *GPS-Empfänger* (siehe Kapitel 7.6.2), *digitaler Kompass* (siehe Kapitel 7.6.3), *Beschleunigungssensor* (siehe Kapitel 7.6.4), *Gyroskop* (siehe Kapitel 7.6.5) sowie Halbleiterbauelemente und Schnittstellen für eine *drahtlose* und *mobile Kommunikation* (siehe Kapitel 7.6.6). In den einzelnen Unterkapiteln werden diese ausführlich beschrieben und erklärt.

Abschließend wird im letzten Abschnitt dieses Kapitels unter Punkt 7.7 beschrieben, wie AR auf dem Smartphone realisiert werden kann. Konkret wird auf das Zusammenspiel der einzelnen eingebauten Sensoren und Komponenten eingegangen.

In Kapitel 8 wird das Hauptaugenmerk auf *kommerzielle AR-Applikationen* gelegt. Der allgemeine Teil beschäftigt sich mit bestehenden AR-Applikationen (siehe Kapitel 8.1) und wie diese dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden. Es erfolgt auch ein kleiner Exkurs in die Welt der *App-Stores* (siehe Kapitel 8.2) mit einer kurzen Erläuterung sowie einigen statistischen Daten. Danach wird der Fokus auf *GeoAR-Applikationen* gerichtet. Als wichtigste Vertreter von *GeoAR-Applikationen* stehen *AR-Browser* hervor. Unter Punkt 8.3 werden diese ausführlich veranschaulicht und erläutert. In Abschnitt 8.4 werden die drei wichtigsten *AR-Browser-Plattformen* vorgestellt und beschrieben. Abschließend werden noch

1. Einleitung

die *Stärken* und *Schwächen* von AR-Browsern (siehe Kapitel 8.5) diskutiert.

2. Thematische Einführung

Was ist *Augmented Reality*?, ist eine häufig gestellte Frage in Bezug auf dieses Thema. In Filmen wie *Terminator* oder ähnlichen Science-Fiction-Filme wird der Zuseher zumindest unbewusst mit dieser, mehr oder weniger, „neuen“ Technologie in Berührung gebracht. In solchen Kinofilmen wird die Realität mit der Virtualität kombiniert. Dieser Vergleich mit AR zu Kinofilmen ist allerdings nur zum Teil richtig, da diese Szenen zuvor aufgezeichnet wurden.

Eine der wichtigsten Merkmale von *Augmented Reality* (AR) ist die Verwendung von Live-Videobildern. Ein gutes Beispiel hierfür sind Live-Sportsendungen, wie z. B. Fußball, NASCAR-Rennen oder auch American Football-Spiele (siehe Abbildung 2.1(a) und 2.1(b)). Bei Fußballspielen wird oft die Entfernung des Balles zur Torlinie bei einem Freistoß bzw. bei einem American Footballspiel wird die *first down-Linie* als Hilfestellung für die Zuseher vor den Fernsehapparaten in Echtzeit dargestellt. Dieser Vergleich kommt schon sehr nah an die Definition von AR heran. Eine genaue Definition wird im Abschnitt 2.3 dieses Kapitels gegeben.

Die *erweiterte Realität* stellt eine Weiterentwicklung bzw. eine Variation der *virtuellen Realität* (VR, *Virtual Reality*) dar. In der VR taucht der Nutzer in eine vollkommen künstliche bzw. synthetisch hergestellte Welt ein, in der er sein reales Umfeld nicht sehen kann [Azu97]. Hierbei kann es sich aber auch um eine unwirkliche, rein fiktive Welt handeln, in der z. B. uns bekannte physikalische Gesetze oder andere uns bekannte Eigenschaften der realen Welt (z. B. von Materialien) nicht gelten.

Demgegenüber erlaubt AR dem Nutzer die reale Welt mit Einblendung von virtuellen Objekten sowie durch Überblendung der realen Umgebung durch virtuelle Objekte, die Welt zu sehen. Somit ergänzt AR die Realität, ersetzt diese aber nicht — es entsteht eine Art *gemischte Realität* (MR, *Mixed Reality*) [Azu97]. Darüber hinaus ist AR nicht nur auf die visuelle Wahrnehmung limitiert, sondern sie kann auch auf alle menschlichen Sinne, wie z. B. die *auditive*, *taktile* und *olfaktorische* Wahrnehmung angewendet werden. In bestimmten Fällen kann AR auch Objekte,

2. Thematische Einführung



(a) Einsatz von AR beim Football



(b) Einsatz von AR bei NASCAR-Rennen

Abbildung 2.1.: Beispiele von AR bei Live-Sportübertragungen [ABB⁺01]

die in der Realität existieren, wie z. B. Gebäude, verschwinden lassen. Forscher nennen diesen Wissenschaftszweig, die Entfernung realer Gegenstände aus der Wirklichkeit, *Mediated* oder *Diminished Reality*. Dieses Wissenschaftsgebiet wird als Teil der AR angesehen [ABB⁺01].

Darüber hinaus darf auf die Weiterentwicklung der verwendeten Technologien nicht vergessen werden, da ohne dieses Zusammenspiel zwischen Wissenschaft und Technik keine wesentlichen Fortschritte in der AR zu verzeichnen wären. Auch der Einfluss durch andere wissenschaftliche Disziplinen darf nicht vernachlässigt werden. Zwei wichtige Aspekte, die hier genannt werden sollten, sind *standortbezogene Dienste* (LBSs, *Location Based Services*) (siehe Kapitel 2.4) und der Verweis auf die *allgegenwärtige Rechnerpräsenz* (*Ubiquitous Computing*) (siehe Kapitel 2.5).

2.1. Zur Geschichte von AR

Die Geburtsstunde von AR begann mit den Arbeiten von Ivan Sutherland in den späten 1960er Jahren des 20. Jahrhunderts. Sutherland [Sut68] stellte im Aufsatz „A head-mounted three dimensional display“ das wohl erste *Head-Mounted Display* (HMD) (siehe Kapitel 3.1.1) zur Darstellung von einfachen Drahtgittermodellen in Echtzeit vor (siehe Abbildung 2.2). Die grundlegende Idee dahinter war die Abbildung einer perspektivischen Darstellung, die sich verändert, wenn der Nutzer seine Ausgangsposition wechselt [Sut68]. Somit entstand das wohl erste *AR*- sowie *VR-System*. Dieses HMD war noch so groß und sperrig, dass es an der Decke des Raumes befestigt werden musste.

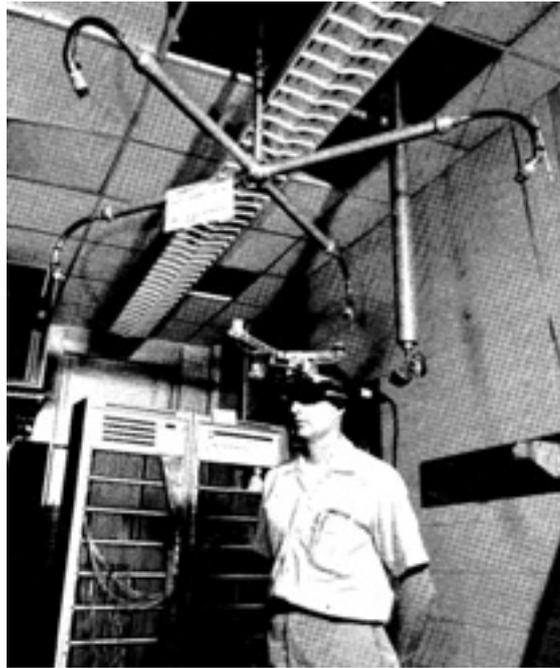


Abbildung 2.2.: Sutherlands erstes HMD mit mechanischen Sensoren [Sut68]

In den darauffolgenden Jahrzehnten beschäftigte sich die Forschung jedoch vermehrt mit dem Gebiet der virtuellen Realität. Erst zu Beginn der 1990er Jahre verstärkte die Forschung ihre Bemühungen um die AR. Das Forscherduo Caudell und Mizell entwickelte 1992 bei dem Flugzeughersteller Boeing einen Prototypen (siehe Abbildung 2.3), der den Arbeitern bei der Herstellung von Flugzeugen unterstützen sollte [CM92]. Caudell und Mizell erläutern ihre Entwicklung so:

„The enabling technology for this access interface is a heads-up (see-thru) display (we call it the ‚HUDset‘), combined with head position sensing and workspace registration systems. This technology is used to ‚augment‘ the visual field of the user with information necessary in the performance of the current task, and therefore we refer to the technology as ‚augmented reality‘ (AR).“ ([CM92], Seite 660)

In ihrem Aufsatz findet auch der Begriff AR seine erste Erwähnung und in weiterer Folge diskutieren sie auch die Vorteile der AR gegenüber der VR.

1997 veröffentlichte Ronald Azuma [Azu97] seinen wissenschaftlichen Aufsatz „A Survey of Augmented Reality“, die erste Studie über AR. Er artikuliert in seiner Veröffentlichung eine weitgehend anerkannte Definition (siehe Kapitel 2.3), beschreibt das Arbeitsfeld sowie Probleme und fasst die bis dato aktuellen Ent-

2. Thematische Einführung

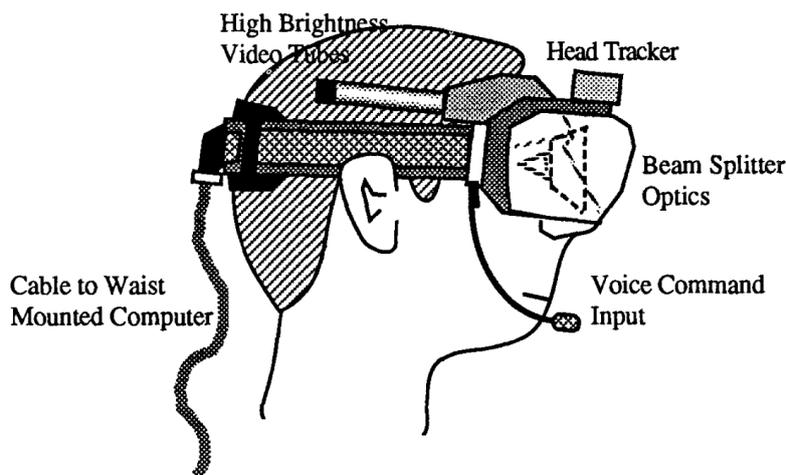


Abbildung 2.3.: Zeichnung eines HUDsets mit seinen Komponenten [CM92]

wicklungen in der AR zusammen.

Seit Ende der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts finden regelmäßig Konferenzen im Kontext mit AR statt, wie zum Beispiel das *International Symposium on Mixed Reality* (ISMR). Auch ein Workshop zum Thema AR wurde ins Leben gerufen (*IEEE Workshop on Augmented Reality, IWAR*). Weiters wurde auch das *International Symposium on Augmented Reality* begründet. Im Jahre 2002 erfolgte der Zusammenschluss der beiden Symposien und es entstand das *International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (ISMAR)¹, das seitdem jährlich stattfindet. Auch viele Forschungsinstitute sowie universitäre Einrichtungen beschäftigten sich mit der Weiterentwicklung von AR. Unter anderem kam es in Deutschland zur Gründung des *ARVIKA Konsortiums*². In Österreich gibt es auf der Technischen Universität in Graz eine Forschungseinrichtung, die sich mit AR beschäftigt. Dort wurde von Forschern ein Software-Paket namens *Studierstube*³ entwickelt, mit der AR-Applikationen realisiert werden können. Erwähnenswert ist auch das *ARToolkit*⁴ des *Human Interface Technology Laboratory* (HIT Lab) an der Universität Washington. Dies ist eine Software-Bibliothek zur Erstellung von AR-Applikationen.

¹ISMAR, <http://ismar-conf.org>

²<http://www.arvika.de/www/d/topic1/konsortium.htm>

³<http://studierstube.icg.tugraz.at/main.php>

⁴<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>

Was freilich nicht außer Acht gelassen werden darf, sind die einhergehenden technologischen Meilensteine seit der Entwicklung des HMDs von Sutherland 1968. Diese Fortschritte in der Technik ermöglichten erst die Realisierung von AR in dem uns bekannten Ausmaß. Als Beispiel sei hier auf die Entwicklung des Computers vom den *ersten Großrechnern* über den *PC* und das *Notebook* bis hin zum *Tablet-PC* hingewiesen. Hier dient als Anhaltspunkt *Moore's Gesetz* aus dem Jahre 1965, das besagt, dass sich die Leistungsfähigkeit der Computer etwa alle 18 Monate verdoppelt. Diese Entwicklung behielt in den letzten 20 Jahren ihre Gültigkeit und der Trend geht auch weiter in diese Richtung [Rie10]. Ein weiterer Meilenstein ist die annähernd genaue Positionsbestimmung mittels Satelliten (NAVSTAR GPS, GALILEO, GLONASS) sowie Techniken zur Bestimmung der Position in Gebäuden. Auch der rasante Fortschritt und Ausbau des Mobilfunknetzes in den letzten 20 Jahren sowie die schnelle technologische Entwicklung der Mobiltelefone, vom einfachen Funktelefon bis hin zu den heutigen High-End-Geräten — den sogenannten *Smartphones*. Diese Smartphones sind Multifunktionsgeräte, die Telefon und *PDA (Personal Digital Assistant)* vereinen und sind mit unzähligen Features/Funktionen ausgestattet wie z. B. *GPS-Empfängern*, *Kameras*, *Wireless LAN*, *hochauflösenden Displays*, *CPUs (Central Processing Unit)*, *MP3-Player* uvm.

2.2. Einordnung der AR im Raum

Wie bereits oben erwähnt, steht AR in einer engen Beziehung zur VR. Für ein leichteres Verständnis zur Eingliederung der AR definierten Milgram et al. ein Kontinuum zwischen Realität und Virtualität (*Reality-Virtuality Continuum*) [MTUK94]. Auf der linken Seite des Kontinuums steht die vollkommene Realität. Dem gegenüber, auf der rechten Seite eine reine synthetische, computer-generierte und modellierte virtuelle Welt. Dazwischen befindet sich der Bereich der *gemischten Realität* (MR, *Mixed Reality*) (siehe Abbildung 2.4). Die MR wird charakterisiert durch den Grad der Virtualität. In dieser MR finden wir nun die Begriffe AR und die *erweiterte Virtualität* (AV, *Augmented Virtuality*). Wobei die AR näher zur Realität und AV näher zur VR steht.

2. Thematische Einführung

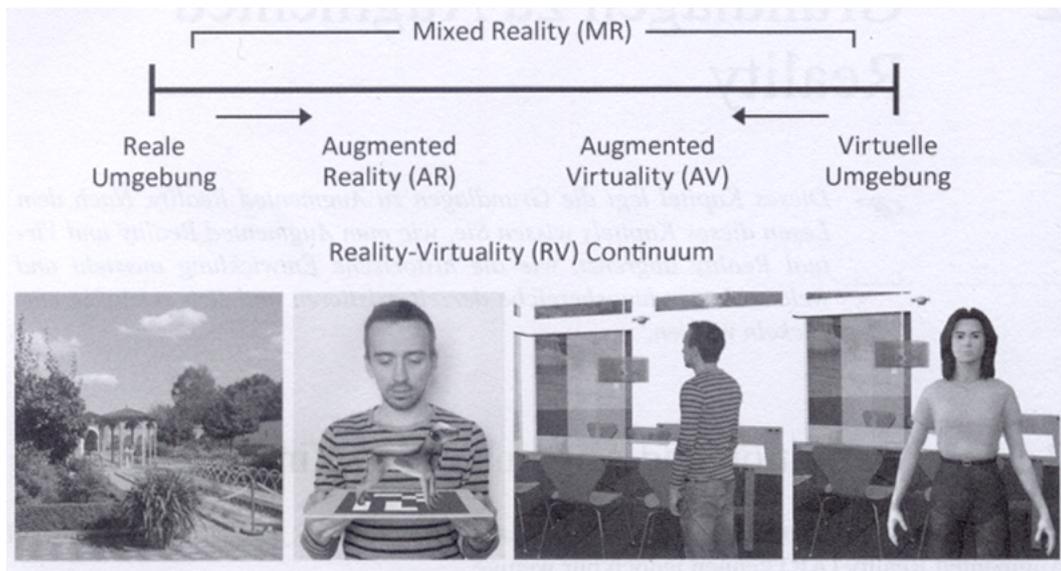


Abbildung 2.4.: Reality-Virtuality Continuum in Anlehnung an Milgram et al. [MBRS11]

2.3. Definition

Wie schon in der Einleitung erwähnt, wird bei der AR die Realität mit der Virtualität kombiniert und soll somit die Wahrnehmung und Interaktion des Nutzers in der realen Welt verbessern und ihm bei seinen alltäglichen Handlungen und Entscheidungen unterstützen. In der einschlägigen Literatur gibt es viele unterschiedliche Definitionen bezüglich der *erweiterten Realität*. Manche Forscher reduzieren AR nur auf die Benützung von HMDs. In dieser Arbeit wird jedoch auf die am häufigsten verwendete Definition von AR nach Ronald Azuma [Azu97] verwiesen. Azuma definiert für AR die folgenden drei Charakteristiken:

- kombiniert die reale mit der virtuellen Welt;
- Interaktivität in Echtzeit;
- Gegenstände (oder Charaktere) sind in 3D registriert.

Nach dieser Definition ist auch der Unterschied zum Film erkennbar. In Filmen werden Szenen vorher aufgezeichnet und erst später nachbearbeitet. Darüber hinaus erlaubt die Definition auch andere Technologien zur Realisierung von AR als nur den Gebrauch von HMDs, wobei die grundlegenden Eigenschaften nicht vernachlässigt werden. Bei der AR erfolgt alles in Echtzeit und wird direkt in

3D registriert. Azumas Definition erlaubt somit auch weitaus mehr Technologien zur Realisierung von AR, wie zum Beispiel desktop-basierte Schnittstellen, monokuläre Systeme, HMDs sowie viele unterschiedliche kombinierende Techniken [Azu97].

2.4. Location Based Services

Ein Begriff, der in diesem Zusammenhang mit AR erwähnt werden sollte, sind *Location Based Services* (LBSs, *standortbezogene Dienste*). In der Literatur gibt es unzählige Definitionen und Erklärungen für standortbezogene Dienste. Die treffendste Definition lautet

„LBSs are services accessible with mobile devices through the mobile network and utilizing the ability to make use of the location of the terminals“. ([VMG⁺01], Seite 66)

Ein einfaches Beispiel für LBSs sind Verkehrsschilder und Wegweiser. Um diese zu lesen, braucht der Nutzer jedoch keine technischen Hilfsmittel. Eine der wichtigsten Fragen für LBSs ist: „*Wo bin ich?*“

In den letzten zwei Jahrzehnten vollzog sich im Allgemeinen ein gesellschaftlicher Wandel hinsichtlich der Mobilität in dem geschäftlichen und sozialen Aktivitäten. Durch die wachsende Mobilität der Menschen und die immer größer werdende Verfügbarkeit des mobilen Internets auf tragbaren Geräten sowie die zunehmend steigende Verfügbarkeit von hochauflösenden, im Speziellen ortsbezogenen Informationen, kam es zu einer steigenden Nachfrage nach LBSs [Bri02]. LBSs gehen aus einem Zusammenspiel von *geografischen Informationssystemen* (GIS) mit den entsprechenden räumlichen Datenbanken, dem *Internet* sowie neuen *Informations- und Kommunikationstechnologien* hervor. Abbildung 2.5 visualisiert die Schnittmenge der drei erwähnten Technologien zu einem LBS-System. Im Speziellen repräsentiert LBSs die fortlaufende Entwicklung vom *Internet-GIS* sowie *mobile Computing* und beruht auf den neuen Informations- und Kommunikationstechnologien wie z. B. den *Smartphones*, dem mobilen Breitbandinternet und den unterschiedlichsten Technologien zur Ortsbestimmung.

Die rasante Entwicklung der mobilen Netzwerke sowie mobiler High-End-Geräte in der letzten Dekade ermöglicht laufend eine bessere und schnellere Standortbestimmung der Nutzer solcher Geräte. Des Weiteren wird durch derartige High-

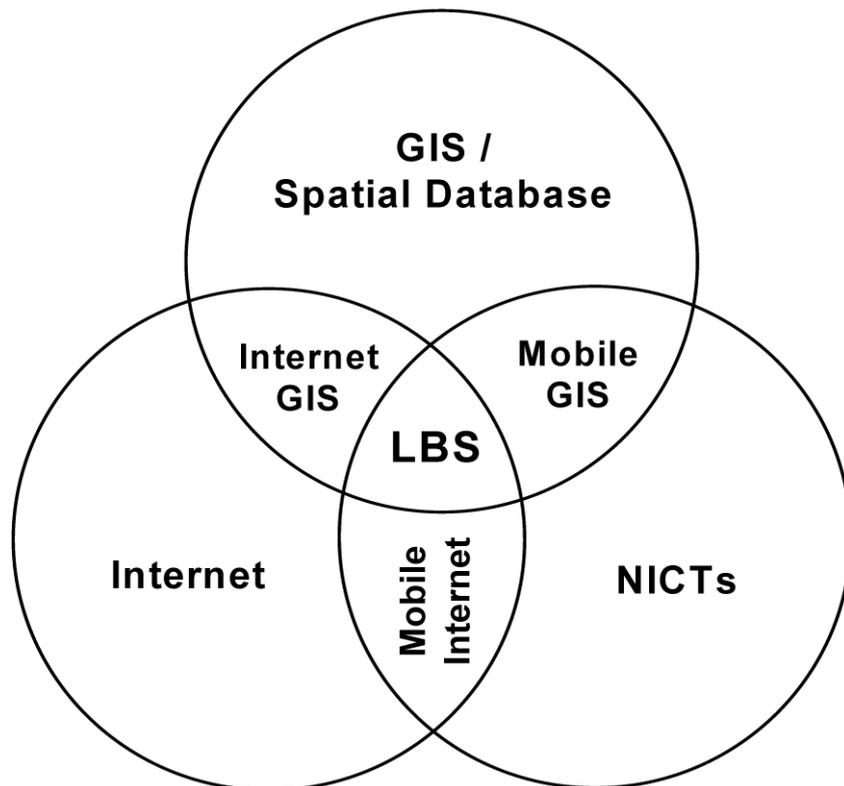


Abbildung 2.5.: LBSs als Schnittmenge von verschiedenen Technologien (NICTs, New Information and Communication Technologies) [Bri02]

End-Geräte der Zugang zum Internet und auch das Abspielen bestimmter Applikationen bewerkstelligt. Ein gutes Beispiel für einen standortbezogenen Dienst ist die Suche nach einem nahegelegenen Restaurant. Mit Hilfe des mobilen Terminals erfolgt eine Abfrage für in der Nähe befindliche Restaurants. Als Antwort wird eine Karte auf dem Display angezeigt mit der derzeitigen Position des Nutzers und die Standorte mehrerer, in der Nähe gelegener Lokale. Nach der Auswahl eines entsprechenden Restaurants bekommt der Nutzer noch begleitende Informationen, z. B. die genaue Adresse, die Menükarte bzw. -auswahl oder auch aktuelle Angebote. Zusätzlich kann der Nutzer noch als Hilfe eine „*turn-by-turn*“-Navigation zum ausgewählten Restaurant starten [VMG⁺01].

Das beschriebene Beispiel stellt einen mobilen Nutzer dar, der eine sich ständig ändernde Position hat und dabei auf standortbezogene Dienste zugreift. Es gibt auch statische lokale Informationen, die sich des aktuellen Standortes des Nutzers bedienen. Standortbezogene Marketingdienste nutzen diese Funktion und verschicken *Push-Nachrichten* — dies sind Nachrichten, die einfach zugesandt werden, ohne dass das Terminal aktiv wird, wenn es sich in der Nähe befindet.

Eine weitere Kategorie von LBSs basieren auf dynamischen Informationen von einem oder mehreren lokalisierbaren Zielobjekten. Hier lautet die Frage nicht: „*Wo bin ich?*“ sondern: „*Wo ist X oder Y?*“. Dabei handelt es sich um sogenannte „*Finding Services*“, bei welchen z. B. Ziele, Freunde, Haustiere usw. identifiziert/gefunden werden können [VMG⁺01].

Zuletzt sollte noch erwähnt werden, dass es durch die mittlerweile deutlich sichtbare Verbreitung von *Smartphones* immer einfacher und rentabler wird solche LBSs zu entwickeln und diese einem breitem Publikum zur Verfügung zu stellen. Die neuesten Gerätegenerationen von Smartphones, die z. B. mit einem *iOS*- oder *Android-Betriebssystem* ausgestattet sind, ermöglichen es Entwicklern bzw. Drittherstellern von Anwendungen auf die eingebauten elektronischen Komponenten und Sensoren zuzugreifen. Im Falle von LBSs bedeutet dies, dass diese speziellen Anwendungen auf den integrierten GPS-Empfänger im Gerät zugreifen, um die aktuelle Position des Gerätes zu ermitteln, und darauf basierend können dann ortsabhängige Informationen auf dem Display dargestellt werden [WD11].

2.5. Ubiquitous Computing - Die allgegenwärtige Rechnerpräsenz

Weiters sollte in diesem Kontext auch der Begriff *Ubiquitous Computing* (*allgegenwärtige Rechnerpräsenz*) eine Erwähnung finden. *Ubiquitous Computing* wurde im Aufsatz „The Computer for the 21st Century“ (erschieden 1991) vom US-amerikanischen Wissenschaftler Mark Weiser [Wei99] zum ersten Mal zur Sprache gebracht. Weiser prognostiziert eine Zukunft, in der Computer allgegenwärtig sind und uns in unserem alltäglichen Leben und unseren Tätigkeiten unterstützen, ohne, dass wir Notiz von ihnen nehmen — es gibt nicht mehr einzelne Computersysteme sondern viele kleine Einheiten, die miteinander vernetzt sind und untereinander kommunizieren [Wei99]. In der Fachliteratur wird dafür auch der Begriff *Pervasive Computing* verwendet. *Ubiquitous Computing* wird als der dritte wichtige Trend seit der Entwicklung des ersten Computers genannt. Die erste Ära war geprägt durch Großrechner (1950er-1980er). In dieser Zeit war es nur Wissenschaftlern und Studenten vorbehalten mit diesen Computern zu arbeiten. Zu dieser Zeit waren Computer kaum leistbar und in einem sehr geringem Maße vorhanden sodass sich viele Personen einen Großrechner teilen mussten. Der zweite Trend setzte mit der Erfindung des *Personal Computers* (PC) (1980er-1990er) ein. In dieser Epoche wurde der Computer massentauglich und entwickelte sich immer mehr zu einem persönlichen Werkzeug. Es kam zu einer „eine Person – ein Computer“-Beziehung. Bezeichnend für diese Ära war und ist, dass Personen an einen PC gebunden sind. Mit der weltweiten Verbreitung des Internets setzte auch der Wandel vom heutigen Computer-Paradigma zum *Ubiquitous Computing* ein. Heutzutage sind viele Computer untereinander vernetzt und es erfolgt weltweit ein großer Datenaustausch zwischen *Web-Servern* und *Web-Clients*. Diese enorme Vernetzung von persönlichen, öffentlichen, kommerziellen, geschäftlichen sowie staatlichen Informationen schafft einen guten Hintergrund für *Ubiquitous Computing* [Wes11].

Diese *allgegenwärtige Präsenz* von kleinen Computereinheiten, die mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet sind und miteinander kommunizieren, ermöglichen eine neue Form der Interaktion. So kann der Nutzer überall und jederzeit auf die vorhandene Infrastruktur zugreifen und diese nutzen. Für die AR bedeutet dies, dass eine Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren zur genauen Positionsbestimmung zur Verfügung stehen, und diese immerwährende Standortbestimmung

kann auch über längere Strecken hinweg aufgenommen werden und an ein AR-System weitergeleitet werden [Tön10].

2.6. Bausteine eines AR-Systems

Für die Realisierung von AR werden verschiedene Komponenten benötigt. Diese lassen sich in drei grundlegende Bereiche einteilen: die *Darstellung*, das *Tracking/Registrierung* sowie die *Interaktion*.

Die drei erwähnten Bausteine werden in den nun folgenden drei Kapiteln (*Darstellungsmöglichkeiten*: siehe Kapitel 3, *Tracking* und *Registrierung*: siehe Kapitel 4 und *Interaktion*: siehe Kapitel 5) ausführlich erläutert.

Darüber hinaus werden in der Literatur zum Teil auch *grafische Systeme* (Computer) als Bestandteil solcher AR-Systeme angeführt, die für das *Rendering* der visuellen Objekte benötigt werden. Doch heutzutage verfügen viele mobile Geräte über eine ausreichende – insbesondere aber auch grafische Rechenleistung, dass diese nicht mehr auf Desktop-Computer ausgelagert werden müssen. Darüber hinaus müssen in manchen Fällen erst solche grafischen Objekte mit Hilfe von speziellen Programmen (z. B. 3D Max, Maya, Cinema 4D) dreidimensional modelliert bzw. sogar animiert werden. Neben dem Rendern werden diese Objekte auch gespeichert und in weiterer Folge bei Bedarf zur Verfügung gestellt.

Zusammenfassend: Dieser Abschnitt stellt eine Art Einführung in die Thematik bzw. in das wissenschaftliche Thema der AR dar. Es sollte veranschaulicht werden, wie sich die AR historisch und technologisch seit ihren Anfängen den in späten 1960er Jahren entwickelt hat. In diesem Zusammenhang wurden auch wichtige Meilensteine in der Fortentwicklung dieser „neuen“ Technologie erwähnt. Wichtig ist auch die Eingliederung der AR im Raum — dargestellt am *Reality-Virtuality Continuum* (siehe Abbildung 2.4). In weitere Folge wurde auch auf die in der Literatur weitverbreiteste Definition der AR verwiesen — AR kombiniert die reale Umwelt mit der virtuellen Realität, setzt eine Interaktion in Echtzeit voraus und es soll ein dreidimensionaler Bezug von virtuellen und realen Objekten vorhanden sein. Darüber hinaus wurden die Begriffe LBSs sowie *Ubiquitous Computing* in Beziehung zur AR gesetzt und abschließend die drei Bausteine (siehe Kapitel 2.6), die für ein AR-System unerlässlich sind, vorgestellt.

3. Darstellungsmöglichkeiten

In diesem Kapitel werden die Darstellungsmöglichkeiten zur Visualisierung der AR, das Zusammenfügen von realen und virtuellen Umgebungen, erläutert und erklärt.

Grundsätzlich gibt es zwei Displaytechnologien (siehe Abbildung 3.1), die uns das Kombinieren virtueller Objekte mit der Realität ermöglichen:

- durch Überlagerung der freien Sicht — sogenannte *Optical See-Through Displays*;
- durch Überlagerung eines Videobildes — sogenannte *Video See-Through Displays*.

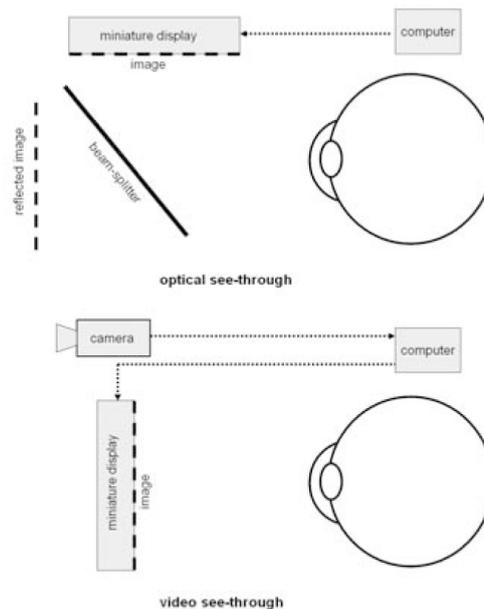


Abbildung 3.1.: Vereinfachte Zeichnung eines *Optical See-Through Displays* (oben) und eines *Video See-Through Displays* (unten) [BR05]

Bei *Video See-Through Displays* wird die Umgebung durch eine Videokamera aufgenommen und auf einem *Computerdisplay* wiedergegeben. Hierbei werden bei-

3. Darstellungsmöglichkeiten

de Welten von einem Computer gerendert und am Bildschirm visualisiert. *Optical See-Through Displays* erlauben dem Nutzer den direkten Blick auf die reale Welt und die virtuellen Objekte bzw. die zusätzlichen Informationen werden mittels eines *halbdurchlässigen Spiegels* — einem sogenannten *Combiner*, in das Sichtfeld eingeblendet. Beide Technologien haben gewisse Vor- und Nachteile. Nachteilig bei *Optical See-Through Displays* ist, dass es zu einem sogenannten *lag* kommen kann. Dies bedeutet, dass es zu Schwimmeffekten kommt, weil das virtuelle Bild der realen Umgebung hinterherhängt. Der Vorteil liegt augenscheinlich daran, dass immer direkt auf die reale Welt gesehen werden kann. Der Vorteil bei *Video See-Through Displays* ist, dass es zu keinem *lag* kommt, da die wiedergegebenen Bilder schon vermischt dargestellt werden. Der Nachteil ist aber bei dieser *Bildfusion* die schlechtere Bildqualität, die von der Auflösung der verwendeten Kamera abhängig ist.

Auf diesen beiden Ansätzen basieren nun die unterschiedlichsten Arten von Displays für AR-Systeme. In Abhängigkeit davon, zu welchem Zweck sie ihre Verwendung finden, werden diese Displays in verschiedene Kategorien eingeteilt. Grob werden sie in am Kopf getragene *Head-Worn Displays*, in der Hand gehaltene *Handheld Displays* und in *Spatial Displays* gegliedert (siehe Abbildung 3.2) [BR05].

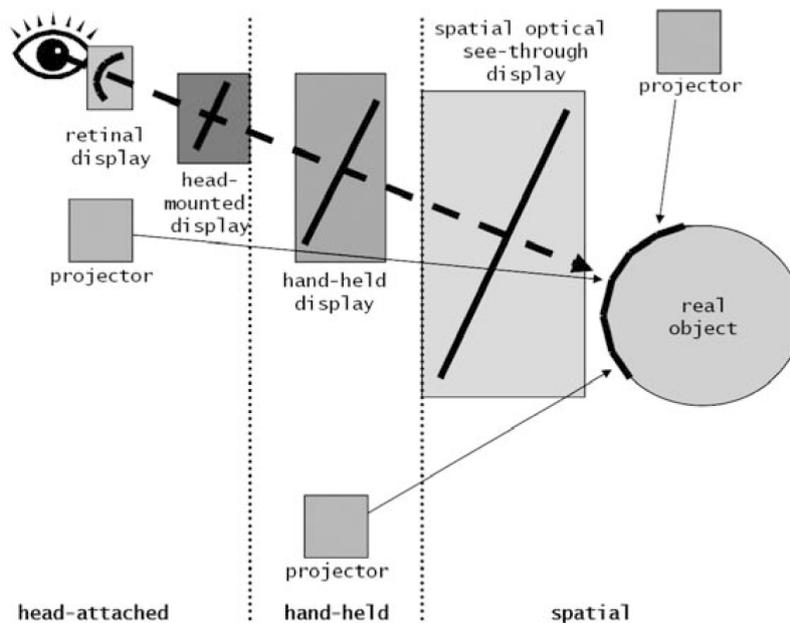


Abbildung 3.2.: Einteilung von AR-Displays [BR05]

3.1. Head-Worn Displays

Am Kopf getragene Displays zählen mittlerweile zum Klassiker in der AR und fast jeder verbindet diese Technologie mit der *erweiterten Realität*. In Abhängigkeit zur Bildgenerierung wird zwischen drei Haupttypen unterschieden: *Head-Mounted Displays*, *Retinal Displays* und *Head-Mounted Projectors*.

3.1.1. Head-Mounted Displays

Hierbei handelt es sich um das dominanteste Visualisierungsprinzip in der AR. Es gibt zwei unterschiedliche Technologien für die Überlagerung der Bilder (siehe Abbildung 3.1). Auf der einen Seite gibt es *Video See-Through Head-Mounted Displays*. Bei diesem System wird, wie bereits oben erwähnt (siehe Kapitel 3), die reale Umgebung mit Hilfe von einer (monoskopisch) oder zwei (stereoskopisch) Videokameras aufgenommen. In weiterer Folge wird dem Nutzer eine gemischte Realität mit Hilfe von kleinen Miniaturbildschirmen dargestellt (siehe Abbildung 3.3(a)). Auf der anderen Seite gibt es *Optical See-Through Head-Mounted Displays*. Diese nutzen *halbdurchlässige Spiegel* zur Visualisierung der AR (siehe Abbildung 3.3(b)).

Die Vorteile solcher *Head-Mounted Displays* sind [MBRS11]:

- der Nutzer kann sich im Raum frei bewegen;
- Marker (siehe Kapitel 4.1.2) sind nicht notwendig;
- Nutzer können beliebige reale Objekte bearbeiten und erhalten gegebenenfalls neue (virtuelle) Informationen.

Nachteile der *Head-Mounted Displays* sind ([BR05] und [MBRS11]):

- der Nutzer muss sämtliches Equipment am Körper tragen;
- eingeschränkte Sicht auf Grund der eingesetzten Optik und durch das Tragen von Brillen;
- der Rechenaufwand ist hoch;
- durch die zeitliche Verschiebung der realen Bewegung und der Darstellung auf dem Display kann es zu Orientierungsschwierigkeiten des Users im Raum

3. Darstellungsmöglichkeiten



(a) Beispiel eines *Video See-Through Head-Mounted Displays* der Firma TRI-VISIO (*ARvision-3d HMD*) [Tri]



(b) Beispiel eines *Optical See-Through Head-Mounted Displays* der Firma VUZIX (*STARTM 1200 2.0*) [STA]

Abbildung 3.3.: Beispiele zu *Head-Mounted Displays*

kommen; es kann auch eventuelles Schwindelgefühl aufkommen — insbesondere bei schnellen Kopfbewegungen. Dies kann mit *Optical See-Through Displays* vermieden werden;

- die projizierten Bilder auf den Displays sind immer schlechter als die reale Umwelt; bei *Optical See-Through Displays* trifft dies größtenteils nur bei den grafischen und virtuellen Überlagerung zu;
- bei *Video See-Through Displays* kommt es zu *Parallaxenfehlern*, d. h. durch den unterschiedlichen Blickwinkel des *Head-Mounted Displays* und des Betrachters entspricht der ersichtliche Bildausschnitt nicht dem tatsächlichen, augmentierten Bild;
- herkömmliche *Optical See-Through Displays* sind nicht fähig den konsistenten Effekt der *Okklusion* zwischen realen und virtuellen Objekten herzustellen;
- der Kontrast ist relativ schlecht.

3.1.2. Retinal Displays

Bei diesem Prinzip wird moduliertes Licht mit Hilfe eines leistungsschwachen *Halbleiterlasers* direkt auf die Retina des menschlichen Auges projiziert (siehe Abbildung 3.4). Somit werden keine Miniaturbildschirme benötigt.

Die Vorteile von *Retinal Displays* sind Helligkeit und Kontrast sowie der geringe Energieverbrauch. Aktuell weisen *Retinal Displays* jedoch noch einige Mängel auf [BR05]:

- bis dato nur einfarbige (rote) Bilder;
- stereoskopische Versionen existieren noch nicht.

3.1.3. Head-Mounted Projectors

Head-Mounted Projectors Displays (HMPDs) benützen *Miniaturprojektoren* in Kombination mit Strahlteilern, welche sich in Augenhöhe des Nutzers befinden. Die Projektoren projizieren das erweiternde Objekt bzw. Element auf diesen

3. Darstellungsmöglichkeiten

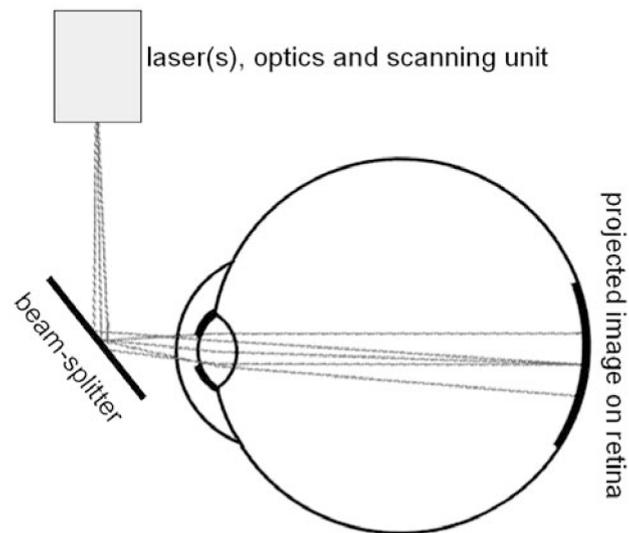


Abbildung 3.4.: Vereinfachte Zeichnung eines *Retinal Displays* [BR05]



Abbildung 3.5.: Beispiel eines polarisierten *Head-Mounted Projectors Displays* [PHM]

Strahlteiler, der wiederum dieses Element in das Sichtfeld des Benützers projiziert (siehe Abbildung 3.5). Bei *Projective Head-Mounted Displays* werden die Bilder — im Gegensatz zu HMPDs, auf eine „Wand“ projiziert und dann mittels *Combiner* in das Blickfeld des Nutzers weitergeleitet. Es besteht eine Ähnlichkeit zu *Optical See-Through Head-Mounted Displays*, jedoch werden hier keine Miniaturbildschirme verwendet [BR05].

3.2. Handheld Displays

Bei *Handheld Displays* handelt es sich um Displays, die der Nutzer in der Hand halten und sich dabei uneingeschränkt im Raum bewegen kann. Geräte die hierfür in Frage kommen sind *Mobiltelefone, PDAs, Smartphones, Tablet-PCs, Ultrabooks, Netbooks, Notebooks* usw. Die neuesten Generationen der genannten Beispiele verfügen bereits über eine eingebaute Kamera, über eine relativ rechenstarke *CPU*, genügend Arbeitsspeicher, ein Display sowie über ein *Interface* für die Interaktion direkt am Gerät. *Handheld Displays* erfüllen somit alle Anforderungen zur Realisierung vom AR (siehe Abbildung 3.6). Durch die *integrierte Videokamera* wird der *Video See-Through* Ansatz unterstützt. Darüber hinaus können diese Devices auch mit *GPS-Empfängern* und einem *digitalen Kompass* zur Orientierung ausgestattet sein.

Gegenwärtig werden verstärkt drei Arten von kommerziellen *Handheld Displays* für AR-Systeme verwendet:

- Smartphones
- PDAs
- Tablet-PCs

Smartphones sind u. a. uneingeschränkt mobil und mittlerweile weit verbreitet. Ihr Vorteil liegt darin, dass sie über eine relativ *leistungsstarke CPU*, zumindest eine *Kamera, Beschleunigungssensoren*, einen *GPS-Empfänger* und über einen *digitalen Kompass* verfügen. Allerdings lässt die geringe Größe der Displays für die Darstellung von *3D-Computergrafik* noch etwas zu wünschen übrig.

PDAs verfügen zwar über eine ähnliche Hardware-Konfiguration wie Smartphones, jedoch werden sie immer mehr durch die zuletzt genannten „Alleskönner“ verdrängt.

3. Darstellungsmöglichkeiten



Abbildung 3.6.: Beispiel eines *Handheld Displays* (iPhone mit dem „*Wikitude World Browser*“) [Wike]

Tablet-PCs sind in der Regel leistungsstärker als Smartphones aber ihre Anschaffung ist teurer. Zudem sind Tablet-PCs auch zu schwer und unhandlich für den einhändigen Gebrauch [CFA⁺11].

Vorteile von *Handheld Devices* sind [MBRS11]:

- Display und Kamera sind in der richtigen Position;
- *Handheld Devices* sind leicht zu transportieren;
- *Handheld Devices* sind mittlerweile weit verbreitet;
- heutzutage sind bereits viele *Handheld Devices*, wie z. B. Smartphones, serienmäßig mit einem GPS-Empfänger, Bewegungssensoren und Lagesensoren sowie mit einem digitalen Kompass ausgestattet.

Mobile Endgeräte haben allerdings in der Regel ein relativ kleines Displays; ebenso ist die Prozessorleistung noch sehr begrenzt. Darüber hinaus wird komplettes freihändiges Arbeiten mit beiden Händen nicht unterstützt, wie es z. B. bei der Verwendung von *Head-Worn Displays* der Fall ist.



Abbildung 3.7.: Beispiel eines *Screen-Based Video See-Through Displays* [BR05]

3.3. Spatial Displays

Im Gegensatz zu *Head-Mounted Displays* oder *Handheld Displays* entfällt für den Nutzer das Tragen jeglicher Art von Gerätschaften bei *Spatial Displays*. Die benötigte Hardware wird einfach in die Umgebung integriert bzw. platziert. Es gibt drei existierende Ansätze, wie die Umgebung erweitert werden kann; entweder durch *Video See-Through*-, *Optical See-Through*- oder *direkt augmentierende Technologien* [BR05].

3.3.1. Screen-Based Video See-Through Displays

Der Name *Screen-Based Video See-Through Display* deutet schon darauf hin, dass hier die erweiterte Realität auf normalen Bildschirmen dargestellt wird. Der Bildschirm wird sozusagen zum „*Fenster zur Welt*“ (siehe Abbildung 3.7). Dies ist eine geläufige Technik für *nicht-mobile AR*, da sie sehr kosteneffizient ist. Hierfür reichen schon handelsübliche Hardwarekomponenten und eine Standard-PC-Ausstattung.

Vorteile dieser Technologie sind [MBRS11]:

- es werden handelsübliche Rechner und *WebCams* verwendet;
- es ist gegenüber anderen Verfahren nur eine geringe Rechenleistung erforder-

3. Darstellungsmöglichkeiten

derlich;

- der Nutzer benötigt keine Lernphase;
- durch die Verwendung von *Marker* (siehe Kapitel 4.1.2) als *Tracker* erfährt der Nutzer ein *haptisches* Erlebnis.

Nachteile sind [MBRS11]:

- die Interaktion des Nutzers ist auf den *Marker* begrenzt;
- die Anzahl der *Marker* ist begrenzt;
- die Sicht des Nutzers ist auf ein feststehendes Medium (z. B. den Bildschirm) begrenzt;
- die Mobilität des Users ist sehr eingeschränkt.

3.3.2. Spatial Optical See-Through Displays

Anders als bei *Optical See-Through Head-Mounted Displays* wird bei *Spatial Optical See-Through Displays* das Bild vollkommen in die physische Umgebung integriert bzw. danach ausgerichtet (siehe Abbildung 3.8). Komponenten, die dafür in Frage kommen, sind optische *Combiner*, wie *planare* oder *gekrümmte Strahlteiler*, *hochtransparente Sichtscheiben* oder *optische Hologramme*.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind [BR05]:

- die einfache Akkommodation und Vergenz des Auges;
- höhere und anpassbare Auflösung;
- größeres und skalierbares Blickfeld;
- leichtere und stabilere Kalibrierung sowie ein besser kontrollierbares Umfeld (z. B.: *Tracking*, Beleuchtung usw.).

Die Nachteile bei Darstellung von AR-Inhalten mit Hilfe von *Spatial Optical See-Through Displays* sind [BR05] sind:

- es werden keine mobilen Applikationen unterstützt;



Abbildung 3.8.: Beispiel eines *Spatial Optical See-Through Displays* anhand einer transparenten Leinwandprojektion [Mea]

- in den meisten Fällen verhindert das angewandte Verfahren eine direkte manipulative Interaktion mit virtuellen und realen Objekten, die sich hinter dem Medium befinden;
- die Anzahl der Beobachter ist von der verwendeten Optik abhängig;
- die *Okklusion* zwischen realer und virtueller Umgebung wird nicht unterstützt.

3.3.3. Projection-Based Spatial Displays

Diese Art von Displays verwendet *Front-Projektionen* um Bilder nahtlos auf die physische Oberfläche der Zielobjekte zu projizieren, anstatt diese auf einer Bildebene bzw. Leinwand anzuzeigen (siehe Abbildung 3.9). Hierfür können *einzelne, steuerbare* oder *mehrere Projektoren* verwendet werden [BR05].

Projection-Based Spatial Displays weisen gegenüber am Kopf getragenen Displays folgende Vorteile auf [BR05]:

- eine verbesserte *Ergonomie*;
- ein theoretisch unbegrenztes Blickfeld;

3. Darstellungsmöglichkeiten

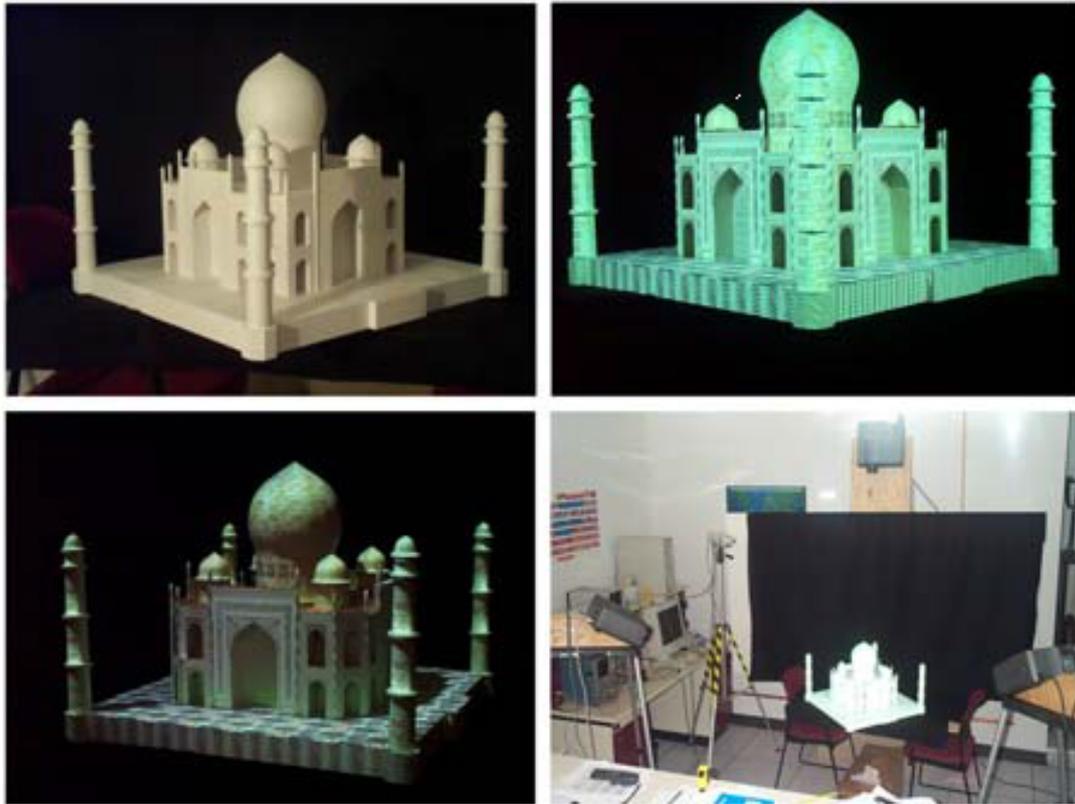


Abbildung 3.9.: Beispiel eines *Projection-Based Spatial Displays* [BR05]

- eine skalierbare Auflösung sowie eine einfachere Akkommodation des Auges, weil die virtuellen Objekte in unmittelbarer Nähe ihres realen Standortes gerendert werden.

Folgende Probleme können bei *Projection-Based Spatial Displays* auftreten [BR05]:

- der Schattenwurf physikalischer Objekte sowie interagierender Benutzer auf die Projektionsfläche durch die *Front-Projektion* (*Multi-Projektor-Konfigurationen* können dieses Problem lösen);
- Einschränkungen bezüglich des Darstellungsbereiches, der auf die Größe, Form und Farbe der Oberfläche des physischen Objektes limitiert ist (z. B. können keine grafischen Darstellungen angezeigt werden, wenn keine Projektionsfläche vorhanden ist). Eine *Multi-Projektor-Konfiguration* kann dieses Problem beheben;
- herkömmliche Projektoren fokussieren nur auf eine einzelne Brennebene mit

einem konstanten Abstand. Projektionen auf nicht-ebenen Oberflächen verursachen Unschärfen. *Laserprojektoren* leiden nicht unter diesem Effekt;

- die Komplexität der konsistenten geometrischen Ausrichtung und Farbkalibrierung erhöht sich mit der Anzahl der verwendeten Projektoren.

Das nächste Kapitel behandelt ausführlich das Thema des *Trackings* und der *Registrierung*. Dies ist eine der wichtigsten Forschungsfragen in der gegenwärtigen Literatur im Wissenschaftsgebiet der AR [ZDB08].

Zusammenfassend: Diese Kapitel befasste eingehendst mit den Möglichkeiten zur Visualisierung von AR-Applikationen. Diese werden, wie bereits anfangs erwähnt, in drei Hauptkategorien eingeteilt: am Kopf getragene *Head-Worn Displays*, in der Hand gehaltene *Handheld Displays* und in *Spatial (räumliche) Displays*. Jede dieser Kategorien hat ihre individuellen Stärken und Schwächen. Am Kopf getragene und in der Hand gehaltene Displays unterstützen die uneingeschränkte Mobilität des Nutzers. Im Gegensatz dazu ist die Mobilität bei räumlichen Displays nicht gegeben. Dafür besitzen diese wegen der höheren Bildauflösung eine bessere Qualität, verfügen über ein größeres Blickfeld, können hellere und kontrastreichere Bilder darstellen usw., als *Head-Worn* und *Handheld Displays*. Auch die Kontrolle ist bei solchen fixierten Displays leichter zu bewerkstelligen als bei mobilen Displays. Dies trifft vor allem beim Tracking wie auch auf die Lichtverhältnissen zu. Für Anwendungen, die keine Mobilität voraussetzen, sind *Spatial Displays* eine Alternative [BR05].

Hingegen besticht gerade die AR dadurch, dass der Nutzer in der gegenwärtigen schnelllebigen und sehr mobilen Zeit auf diese Informationen jederzeit zugreifen kann. Diese Möglichkeit bieten indes nur mobile Geräte, wie z. B. *Head-Worn Displays* oder *Handheld Displays*. Anfänglich, aus historischen Gründen, entwickelte sich das *Head-Mounted Displays* als das wichtigste Darstellungsmittel in AR. Sie dienten bzw. dienen heute noch, mehr oder weniger als Allzweck-Plattform für alle Arten von Szenarien. Aber diese Art von Displays kamen den Anforderungen vieler Szenarien nicht nach, da die am Kopf getragenen Displays nicht zielgerichtet an die AR-Anwendungen angepasst wurden. Dies könnte auch mitunter der Grund sein, dass AR bis dato nicht den Durchbruch als neue und relevante Technologie geschafft hat [BR05]. In der Zwischenzeit gibt es aber auch bei dieser Display-Technik eine beachtliche Weiterentwicklung. Die Hardware wurde im

3. Darstellungsmöglichkeiten

Laufe der Zeit immer kleiner, die Qualität der Displays verbesserte sich und auch das Gewicht reduzierte sich um ein Vielfaches (siehe Abbildung 2.2 und Abbildung 3.3(b)). Auch das US-amerikanische Unternehmen Google lässt in letzter Zeit mit ihrem neuen Projekt „*Project Glass*“ aufhorchen. Hierbei handelt es sich um eine neue *Hightech-Datenbrille*, die auch AR-Anwendungen ermöglicht. Ein Prototyp dieser Datenbrille wurde erstmals Ende Juni 2012 auf der *Google I/O* in Kalifornien vorgestellt. Die *Google I/O* ist eine alljährlich in San Francisco stattfindende Entwicklerkonferenz des Unternehmens Google.

Handheld Displays, im Speziellen *Smartphones*, eröffneten den Weg für die AR für kommerzielle Applikationen. Somit machten in der Hand getragene Displays die AR massentauglich. *Handheld Displays* haben ein sehr extrem hohes Potenzial, der *mobilen AR* zum Durchbruch zu verhelfen, da für AR-Anwendungen auf diesen Plattformen keine Investitionen für zusätzliche Hardware erforderlich ist [BR05].

4. Tracking und Registrierung

Dieses Kapitel befasst sich mit den verschiedensten Arten des *Trackings* und gibt einen Überblick über die bestehenden Prinzipien und die dafür verwendeten Technologien. Des Weiteren wird der Aspekt der *Registrierung* in Zusammenhang mit der AR erläutert und genauer beschrieben.

4.1. Das Tracking

Im Allgemeinen wird mit dem Begriff *Tracking* das Erkennen und Verfolgen von Objekten, mitunter auch von sich bewegenden Objekten [MBRS11], verbunden. In der AR ist es zunächst unumgänglich das reale Umfeld bzw. die reale Umgebung zu erfassen, um diese nachfolgend mit virtuellen Objekten zu ergänzen bzw. zu überlagern. Genau dieser Vorgang der Erfassung der realen Umgebung wird in der AR als *Tracking* bezeichnet. Ziel ist es, dass die virtuellen Objekte so genau wie möglich in die reale Umwelt integriert werden und somit eine perfekte Täuschung erzielt werden kann. Somit ist der Begriff des *Trackings*, neben den Darstellungsmöglichkeiten von virtuellen Objekten, ein zentraler Bestandteil von AR-Systemen und AR-Anwendungen. Hierzu kommen nun unterschiedliche *Trackingverfahren* zum Einsatz, die in den folgenden Unterkapiteln genauer erläutert werden. Aus diesem Grund ist die Ermittlung der Position des Betrachters sowie die Lage von Objekten ein wichtiger und zentraler Bestandteil in AR-Systemen. Bei Verwendung von mobilen *Handheld Displays*, wie z. B. *Smartphones*, spielt nicht nur die Lagebestimmung eine wichtige Rolle sondern auch die Blickrichtung des benützten Gerätes bzw. die Blickrichtung des Users.

Zhou et al. [ZDB08] schreiben in ihrem Aufsatz „Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR“, dass *Tracking* eine der beliebtesten Thematiken in der AR-Forschung darstellt. Von 313 untersuchten Aufsätzen, befassen sich 63 mit Technologien des *Trackings* und nehmen somit mit 20,1 % den ersten Platz im oben erwähnten Review ein [ZDB08].

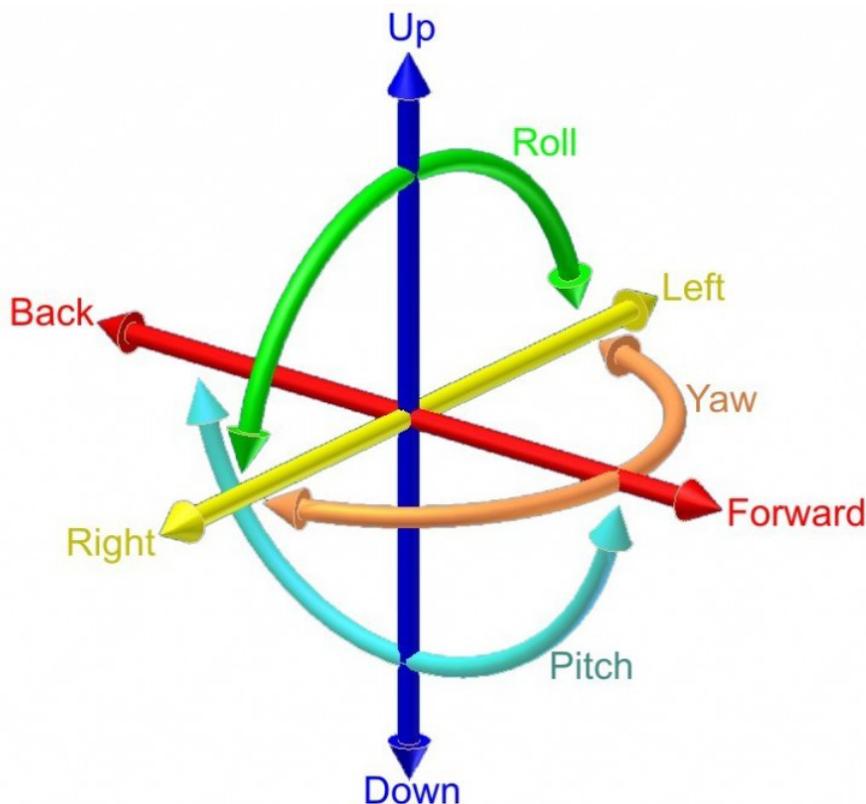


Abbildung 4.1.: Schematische Darstellung der 6DoF [6Do]

Die höchste Anforderung beim *Tracking* in der AR liegt wohl in der Genauigkeit der Lagebestimmung. Die erwünschten Daten sollten nicht nur die *genaue Position* im Raum — die *X-, Y- und Z-Koordinaten* — angeben, sondern auch die Orientierung des getrackten Gerätes bzw. die Blickrichtung sowie den Neigungswinkel. In der Fachliteratur wird diese Art der Bestimmung der Position sowie der Orientierung als *Six-Degree-of-Freedom* (6DoF, 6 Freiheitsgrade) bezeichnet. Es werden die sechs Parameter, die Position in *X-, Y- und Z-Koordinaten* sowie die Orientierung in *Rollen* (*roll*), *Nicken* (*pitch*) und *Gieren* (*yaw*), bestimmt (siehe Abbildung 4.1). Die Position und Orientierung wird in ihrer Gesamtheit auch *Pose* genannt. Diese Art der Orientierung im dreidimensionalen Raum stammt aus der Navigation von Luftfahrzeugen und wird mittlerweile auch für die Orientierung in Land-, Raum- und Wasserfahrzeugen verwendet.

Generell werden *Tracking-Systeme* bzw. *Trackingverfahren* in drei Gruppen eingeteilt: *sensorische* (*Sensor-Based*), *visuelle* (*Vision-Based*) (siehe Kapitel 4.1.2) und *hybride Tracking-Systeme* (siehe Kapitel 4.1.3).

4.1.1. Sensor-Based Tracking

Diese Art des *Trackings* basiert auf Sensoren, wie z. B. *mechanischen* (siehe Seite 35), *magnetischen* (siehe Seite 36), *akustischen* (siehe Seite 37), *inertialen* (siehe Seite 38) und/oder *optischen* (siehe Seite 38) und wurden vermehrt am Anfang der AR-Forschung angewendet und erforscht. Forscher versuchen auch die Sensorentypen zu kombinieren um ein *robustes/stabileres Tracking* zu erreichen (siehe Kapitel 4.1.3) [ZDB08].

Mechanische Tracker

Bei *mechanischen Trackern* wird eine direkte Verbindung zwischen dem getrackten Gegenstand genutzt, um die genaue Lage und Position des Gegenstandes zu ermitteln. Es gibt unterschiedliche Verfahrensweisen, etwa Systeme mit Seilzügen, Systeme mit Dreh- und Rotationseinheiten an Achsen und roboterartige Messsystem [Tön10]. Eine allgemeine Definition zu *mechanischen Trackern* geben Burdea und Coiffet [BC03] in ihrem Buch „Virtual Reality Technology“. Dies sind zusammengesetzte und miteinander verbundene Glieder, *serieller* oder *paralleler kinematischer Struktur* mit *sonsorischen Gelenken* [BC03].

Mitunter war Sutherland's *Head-Mounted Display* (siehe Kapitel 2.1 sowie Abbildung 2.2) aus dem Jahre 1968 mit einem *mechanischen Tracker* ausgestattet. In der Abbildung 2.2 sieht man den an der Decke befestigten Arm, der die Kopfbewegungen des Nutzers verfolgt und diese dann zur Verarbeitung an den Computer weitergibt.

Die Vorteile gegenüber anderen *Tracking-Technologien* sind [BC03]:

- sie sind einfacher und leichter zu bedienen;
- die Genauigkeit bleibt ziemlich konstant;
- im Gegensatz zu *magnetischen Sensoren* (siehe Kapitel 4.1.1) sind sie unempfindlich gegenüber *metallischen Strukturen* und *magnetischen Feldern*;
- im Gegensatz zu *optischen Sensoren* (siehe Kapitel 4.1.1) haben sie keine Probleme mit visuellen Verdeckungen vom getrackten Objekt;
- sie verfügen über eine geringe Schwankung und haben die *niedrigste Latenz* gegenüber anderen Sensoren.

4. Tracking und Registrierung

Die Nachteile von *mechanischen Trackern* sind [BC03]:

- eine relativ geringe Reichweite, die in Abhängigkeit zur Dimension eines solchen Systems steht;
- umso länger die Verbindungsglieder werden, desto schwerer und träger werden *mechanische Tracker* und auch ihre Anfälligkeit gegenüber unerwünschten mechanischen Schwingungen erhöht sich;
- die Bewegungsfreiheit des Nutzers wird eingeschränkt (z. B. bei *Ganzkörperanzügen*);
- das Gewicht, vor allem, wenn der User eine Art „Anzug“ trägt.

Magnetisches Tracking

Magnetsiche Tracker sind berührungsfreie Messvorrichtungen zur Bestimmung der Position, die anhand eines stationären Senders ein *Magnetfeld* erzeugen und somit die Echtzeit-Position eines sich bewegenden Objektes, das mit einem entsprechenden Empfänger ausgestattet ist, bestimmen [BC03]. Das einfachste Beispiel ist wohl der *Magnetkompass*. Jedoch gibt der *Magnetkompass* nur einen Richtungsvektor an. Heutzutage gibt es auch *digitale Kompass*. Ihre Funktionsweise wird an späterer Stelle (siehe Kapitel 7.6.3) genauer erläutert. Andererseits werden in der AR für die genaue Lagebestimmung *künstlich induzierte Magnetfelder* verwendet.

Magnetische Tracker haben folgende Vorteile [YbSpZhQ08]:

- geringe Kosten in der Anschaffung;
- sehr hohe Genauigkeit;
- es muss kein direkter Sichtkontakt vorhanden sein;
- auch für weitläufiges Tracking geeignet;
- gute Störuneempfindlichkeit.

Nachteilig ist die hohe Störanfälligkeit durch andere *magnetische Felder* und durch im Raum oder in der Umgebung befindliches Metall [BC03].

Laufzeitbasierende Tracking-Systeme

Des Weiteren gibt es auch *laufzeitbasierende Tracking-Systeme*. Das wohl bekannteste Beispiel hierfür ist das *Global Positioning System*¹ (GPS), das mit Hilfe von Satelliten am gesamten Erdball eine absolute Lagebestimmung erlaubt. Daneben gibt es das russische System GLONASS² und demnächst auch das europäische Satellitennavigationssystem GALILEO³.

GPS eignet sich hervorragend für die schnelle Bestimmung der Position im freien Gelände. GPS-Empfänger bestehen heutzutage aus kleinen elektronischen Bauteilen und -elementen und werden mittlerweile in eine Vielzahl von elektronischen Geräten eingebaut, z. B. in herkömmliche *Mobiltelefone*, *Smartphones*, *Tablet-PCs* usw. Jedoch kommt es in der Nähe von größeren Gebäuden oder bei bedecktem Himmel zu Signalstörungen, die teils große Ungenauigkeiten zur Folge haben können [Tön10].

Akustische Tracker

Bei *akustischen Tracking-Systemen* werden für die Positionsermittlung die Eigenschaften des Schalles herangezogen. Genauer gesagt, wird bei diesem Ansatz der *Ultraschall* — Frequenzbereich ab etwa 16 kHz und für den Menschen nicht hörbar — herangezogen. Burdeau und Coiffet beschreiben diese *Ultraschall-Tracker* als eine kontaktfreie Messvorrichtung zur Positionsbestimmung, die für die Ermittlung der Echtzeit-Position eines sich bewegenden Empfängers, Ultraschallsignale von einem stationären Sender erzeugen und aussenden [BC03]. Solche *Tracker* bestehen aus drei Komponenten: einem *Sender*, einem *Empfänger* und einer *elektronischen Steuereinheit*.

Vorteile eines *Ultraschall-Tracker* sind [BC03]:

- geringe Anschaffungskosten;
- die Ausrüstung ist relativ leicht;
- es kommt zu keinen Störungen durch *magnetische Felder*.

Nachteile sind [BC03]:

¹<http://www.gps.gov/>

²<http://www.glonass-center.ru/>

³<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>

4. Tracking und Registrierung

- die Genauigkeit sinkt mit der Entfernung;
- eine direkte Sichtverbindung sollte gegeben sein, da sonst ein Signalverlust entstehen kann;
- störanfällig gegenüber anderen *Ultraschallwellen*.

Inertiale Tracking-Systeme

Bei dieser Art des *Trackings* handelt es sich um unabhängige Sensoren, die die Veränderungsrate der Orientierung eines sich bewegenden Objektes messen. Darüber hinaus können sie auch die Rate der *Translationsgeschwindigkeit* ermitteln [BC03]. Gegenwärtig bestehen moderne *inertiale Tracker* aus Halbleiterbauteilen, die auf die Technologie der *mikro-elektromechanische Systeme* aufbaut. Die zwei wichtigsten Sensoren in der AR sind *Gyroskope* (Kreiselinstrumente) und *Beschleunigungssensoren* (Accelereometer). Ihr elektronischer Aufbau und die Funktionsweise wird in den Kapiteln 7.6.4 (Beschleunigungssensor) und 7.6.5 (Gyroskop) genauer beschrieben.

Vorteile *inertialer Sensoren* sind [YbSpZhQ08]:

- geringe Kosten in der Anschaffung;
- bei modernen Sensoren handelt es sich um sehr kleine elektronische Bauelemente;
- uneingeschränkte Einsatzbarkeit die Reichweite betreffend;
- kein Einfluss von *magnetischen Feldern* und keine Beschränkungen hinsichtlich der Sichtverbindung.

Nachteilig ist vor allem die Bestimmung der Position in den 6DoF, bei Verwendung nur eines Sensors, die Entstehung von akkumulierten Fehlern — der sogenannte *Drift* — sowie die ungenaue Lagebestimmung bei geringen Geschwindigkeiten des bewegten Objektes [YbSpZhQ08].

Optische Tracker

Optische Tracker verwenden für die Messung der Position und Orientierung eines Objektes optische Sensoren. Hierbei können unterschiedliche Messkomponenten,

wie z. B. Kameras mit lichtempfindlichen *CCD-Sensoren* (*Charge-coupled Device*), *Fotodioden* oder andere *Fotosensoren*, zum Einsatz kommen [BC03]. *Optische Sensoren* arbeiten größtenteils im Bereich des *sichtbaren Lichts* oder im Bereich des *Infrarotlichts* (IR-Licht). Hier können unterschiedliche Prinzipien des *Trackings*, die im Abschnitt 4.1.4 genauer erläutert werden, zum Einsatz kommen. Um das Tracking eines Objektes zu bewerkstelligen, muss dieses jedoch mit *Markern* (siehe Kapitel 4.1.2) versehen werden.

Vorteile der *optischen Tracker* sind [YbSpZhQ08]:

- die einfache Bedienung;
- verfügen über eine große Reichweite;
- unempfindlich gegenüber *Magnetfeldern*;
- sehr hohe Genauigkeit und schnelle *Aktualisierungsraten* sowie kurze *Latenzzeiten*.

Nachteilig bei *optischen Tracker* sind natürlich die schwere und teure Ausrüstung sowie die Abhängigkeit von den Sichtfeldstörungen und Lichtverhältnissen.

Abschließend sind alle *Trackingverfahren*, die Sensoren verwenden, sowie ihre Vor- und Nachteile, zusammenfassend und überschaubar aus nachstehender Tabelle (siehe Tabelle 4.1) ersichtlich.

Tabelle 4.1.: Vergleich von *Sensor-Based Tracking-Systemen* [YbSpZhQ08]

Tracking technology	Advantages	Disadvantages
Mechanical	Exactness, low time delay, no vision or magnetic field disturbance, suitable for exact track for small objects	Limited use range
Magnetic sensing	Low price, exactness, no vision occlusion, good noise immunity, suitable for large field track	Easily disturbed by magnetic field and metal in the environment
GPS	Suitable for outdoor large field track	Uncertain measuring precision, time delays
Ultrasonic	Low price, no magnetic field disturbance, light equipment	Easily disturbed by ultrasonic in the environment, low precision in large range
Inertia	No distance limitation, high speed, no vision or magnetic field disturbance, small size, low price	3 degrees of freedom, drift, not very exactly at low speed
Optics	Easy use, large work range, high speed, no magnetic field disturbance, high precision	Limited by vision and ray, heavy and expensive equipment

Im nächsten Abschnitt wird der Fokus auf *sicht-basierte (Vision-Based) Trackingverfahren* gelenkt.

4.1.2. Vision-Based Tracking

Vision-Based (sicht-basierte) Tracking-Technologien stützen sich auf Entwicklungen der *digitalen Bildverarbeitung*. Hierbei werden Methoden der Bildverarbeitung verwendet, um die Position sowie die Orientierung des Objektes bzw. der Kamera zu ermitteln. In der AR kommt bei dieser Technologie ausnahmslos der *video-basierte Ansatz* mit digitalen (Video-)Kameras zur Anwendung. Auch hier können zwei unterschiedliche Prinzipien, das *Inside-Out*- oder das *Outside-In Tracking* (siehe Kapitel 4.1.4), zur Verwendung kommen. Zum einem kann die Kamera am Kopf des Nutzers befestigt und daraus die Kopfposition des Nutzers berechnet werden. Im anderen Fall kann z. B. die Kamera fest montiert sein, wie die *Webcam* in einem Notebook, und die Position des Objektes wird mit Hilfe von *Bildverarbeitungs-routinen* berechnet [Mad11]. Darüber hinaus werden ausschließlich Kameras für das *Tracking* verwendet.

Die *sicht-basierten Tracking-Technologien* lassen sich in zwei Kategorien einteilen [ZDB08]:

Merkmalsbasierende Methoden (*Feature-Based*) Diese Methoden beruhen auf dem Entdecken von Ähnlichkeiten zwischen dem im zweidimensionalen Bild erfassten Merkmalen und deren dreidimensionalen räumlichen Koordinaten und berechnet daraus die aktuelle Kameraposition.

Modellbasierende Methoden (*Model-Based*) Hier kommt ausdrücklich ein schon vorher bekanntes bzw. erstelltes Modell des getrackten Objektes oder ein Referenzmodell der Umgebung zum Einsatz, um die aktuelle Kameraposition zu ermitteln. Es erfolgt ein Abgleich mit dem Modell und dem Videobild. Dabei kann es sich sowohl um ein *CAD-Modell (Computer-Aided Design)* als auch um eine zweidimensionale Vorlage des Objektes handeln.

Heutzutage sind *merkmalsbasierende Systeme* eine der am häufigsten verwendeten Methoden in der AR, da die Rechenleistung bei den eingesetzten High-End-Geräten, wie z. B. *Smartphones*, noch sehr begrenzt ist. Größtenteils werden hierfür sogenannte *Marker* verwendet [MBRS11]. *Marker* sind Muster, die an dem zu verfolgenden Gegenstand angebracht werden. Auch hier gibt es unterschiedliche Arten. Diese werden im nächsten Abschnitt genauer behandelt.

Das *Tracking* setzt sich bei beiden Methoden aus den folgenden zwei Schritten zusammen [MBRS11]:

- die Bearbeitung des Bildes mit dem Ziel, die wichtigen Informationen aus diesem zu extrahieren;
- in weiterer Folge wird anhand des bearbeiteten Bildes die Position bestimmt.

Auf die Qualität und Genauigkeit des *Trackings* haben natürlich — neben den verwendeten Algorithmen — auch die Eigenschaften der Kamera sowie des digitalen Bildsensors, einen hohen Einfluss [MBRS11]. Darüber hinaus spielen auch die Lichtverhältnisse und der Farbhintergrund eine wesentliche Rolle.

Gegenwärtig wird bei den *sicht-basierten Tracking-Ansätzen* zwischen zwei Arten unterschieden:

- *Markertracking*
- *markerlosen Tracking* (siehe Seite 43)

Marker sind Muster, die an dem zu verfolgendem Gegenstand angebracht werden. Auch hier gibt es unterschiedliche Methoden.

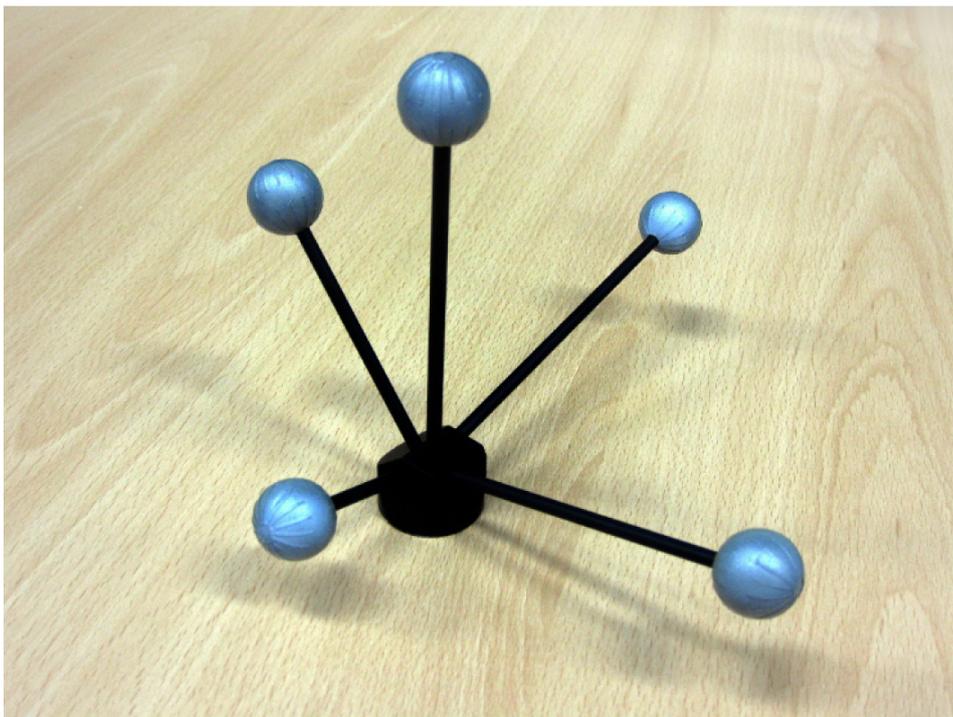
Markertracking

Marker werden in der AR sehr oft eingesetzt und sind ein weit verbreitetes Hilfsmittel um Objekte zu markieren. Diese *künstlichen Marker* werden optisch optimiert, um perfekt von einer entsprechenden Software erkannt werden zu können [MBRS11]. Zum Einen gibt es *reflektierende* oder *aktive Marker* sowie Marker mit Mustern — auch *Flachmarker* genannt. Bei den letztgenannten handelt es sich meist um rechteckige oder quadratische zweidimensionale Muster. Für die Orientierung sucht die Kamera nach Kanten zwischen stark unterschiedlichen Helligkeits- und Farbwerten (siehe Abbildung 4.2(a)). Ein gutes Beispiel hierfür sind *QR-Codes* (QR steht für *Quick Response*). Diese *QR-Codes* werden heutzutage auch oft auf Werbungen in Magazinen, auf Plakatwänden oder auf Verpackungen von unzähligen Produkten verwendet. Mit Hilfe einer entsprechenden *Smartphone-Applikation*, die z. B. von einem Produkthersteller meistens kostenlos und zum freien Download zur Verfügung gestellt wird, werden diese *QR-Codes* identifiziert. Mit solchen speziellen *Applikationen* können AR-Anwendungen sehr produktgerecht, kundenfreundlich und kostengünstig auf einem *Smartphone* visualisiert werden. Natürlich können auch herkömmliche Computer, die mit einer

4. Tracking und Registrierung



(a) Beispiel eines *Flachmarkers*



(b) Beispiel eines *Baummarkers* mit retroreflektierenden Markerkugeln

Abbildung 4.2.: Beispiele zum *Markertracking* [Tön10]

Webcam ausgestattet sind und die angemessene Software installiert haben, solche *QR-Codes* erkennen und AR-Anwendungen visualisieren. Hierbei wird jedoch zum Teil auf die Mobilität des Anwenders verzichtet. Der Grund dafür ist, dass die Beweglichkeit und Handhabung mit einem Notebook, geschweige mit einem Desktop-PC, sehr eingeschränkt ist.

Bei der Verwendung von *reflektierenden* bzw. *aktiven Markern* werden z. B. für Erstere entsprechende *reflektierende Kugeln* verwendet und für Letztere kommen oft *LEDs* (*light-emitting diode, lichtemittierende Diode*) oder *IR-Dioden* zum Einsatz. Für den Gebrauch von *reflektierenden* bzw. *aktiven Markern* (siehe Abbildung 4.2(b)) müssen zur Bestimmung der genauen Koordinaten im dreidimensionalen Raum mindestens zwei Kameras verwendet werden. Dafür muss die Lage der Kameras zueinander bekannt sein. Dies wird durch eine sogenannte *Raumkalibrierung* bewerkstelligt. Nun wird nach den *Markern* im Bild gesucht und somit kann die Position und Orientierung des bewegten Objektes im Raum ermittelt werden [Tön10]. Diese Methode wurde anfänglich in der AR verwendet, da die *Flachmarker* für AR-Anwendungen noch nicht entdeckt wurden. Außerdem muss die Umgebung vorher für die AR-Anwendung vorbereitet und mit dem entsprechenden Equipment, das natürlich dementsprechend teuer ist, ausgerüstet werden.

Markerloses Tracking

Das *markerlose Tracking* bedient sich der Erkenntnisse aus dem Forschungsfeld der *Computer Vision* — des *computergestützten Sehens*. Hier kommen keine *Marker* zum Einsatz. Das *Tracking* stützt sich nur auf die Umgebung bzw. auf *Features* (Merkmale), die sich in der Umgebung befinden, und ermittelt daraus die notwendigen Daten zur Bestimmung der aktuellen Position und Orientierung. Gegenwärtig werden diese *Tracking-Technologien* in *merkmalsbasierte* (*Feature-Based*) und *modellbasierte Methoden* eingeteilt [PM06].

Wie schon erwähnt (siehe Seite 40), beruhen *merkmalsbasierte Methoden* auf dem Entdecken und Erkennen von Ähnlichkeiten zwischen dem im zweidimensionalen Bild erfassten Merkmalen und deren dreidimensionalen räumlichen Koordinaten. Hierbei stützt sich das System auf das Erfassen von Strukturen, wie z. B. *Ecken* und *Kanten*, sowie auf *Farb-* und *Kontrastunterschiede*. Die *Pose* — die Lage der Kameraposition — berechnet sich dann aus der Projektion der dreidimensionalen Koordinaten in die zweidimensionalen Bildkoordinaten sowie der

4. Tracking und Registrierung

Berücksichtigung auf die Minimierung der Distanz zum dazugehörigen zweidimensionalen Merkmal [WVS05].

Diese Methode kann auch auf ein *weitreichendes* bzw. *weitläufiges Tracking* in einem natürlichem Umfeld umgesetzt werden. Die Kameraposition wird dann anhand von natürlichen — in der Umgebung auftretenden Formen, wie z. B. *Punkte*, *Linien*, *Kanten* und *Texturen*, ermittelt. Darüber hinaus kann sich nun das System, nach der Ermittlung der genauen Kameraposition von bekannten visuellen Merkmalen, dynamisch mit Hilfe von neu erkannten Merkmalen die neue Position der Kamera errechnen und somit eine kontinuierliche Aktualisierung des *Trackings* durchführen [ZDB08]. Dies ist jedoch ein sehr rechenaufwendiges *Trackingverfahren*. Der Vorteil bei diesem Verfahren liegt allerdings darin, dass es das Erkennen von vollkommen unbekanntem Umgebungen ermöglicht. In der Literatur werden für dieses Verfahren auch die Begriffe *Natural Feature Recognition* oder *Natural Feature Tracking* verwendet ([MBRS11] und [WS09]).

Einer der neuesten Trends bei *Tracking-Systemen*, die auf Erkenntnisse aus der *Computer Vision* beruhen, sind *modellbasierte Trackingverfahren*. Hier kommt ausdrücklich ein schon vorher erstelltes Modell des getrackten Objektes zum Einsatz. Dabei handelt es sich im einfachsten Falle um eine *zweidimensionale Vorlage* (*Template*), ein zweidimensionales Abbild der Oberfläche eines zu erfassenden Objektes. Anhand von bekannten *Linien* und *Kanten* an der Oberfläche wird das Objekt erkannt und identifiziert. In weiterer Folge wird das erkannte Objekt der zweidimensionalen Vorlage zugeordnet. Danach wird die Lage sowie die Orientierung der Kamera berechnet. Für diesen Zweck können auch *CAD-Modelle* verwendet werden. Diese *modellbasierten Methoden* erhöhen die *Robustheit* und die *Performanz* des *Trackings* ([MBRS11] und [ZDB08]).

Allerdings ist nicht jedes Mal eine gesamte Szene bzw. die gesamte Umgebung als ein *CAD-Modell* vorhanden. Um eine Verbindung zwischen realen und virtuellen Objekten herzustellen, kann das *Tracking* auch anhand eines *CAD-Modelles* eines Objektes initialisiert werden. Hierfür wird ein entsprechendes *CAD-Modell* eines Objektes, das sich in der Szene bzw. in der realen Umgebung befindet, benötigt. Unter Zuhilfenahme dieses *CAD-Modelles* wird die erste *Pose* der Kamera ermittelt. Nachfolgend sucht sich das *Tracking-System* von Bild zu Bild in der Umgebung neue Umgebungsmerkmale, die nicht mehr zum vorgegebenen Modell gehören. Mit Hilfe dieser neuen erkannten *Features* kann das *Tracking* dynamisch fortgeführt werden, wenn die Kamera zu unbekanntem Umgebungsab-

schnitten weiterbewegt wird, und berechnet sich daraus die neue Kameraposition [BWS06].

Zhou et al. [ZDB08] weisen in ihrem Aufsatz darauf hin, dass sich die Forschung anfänglich sehr viel mit *Markertracking* auseinandersetzte. Seit 2002 wurden jedoch hinsichtlich dieser Methoden keine wesentlichen neuen Ansätze präsentiert bzw. publiziert. Seitdem wurden unterschiedliche *Tracking-Techniken*, die mit Hilfe der Erkennung von natürlichen Merkmalen ihre *Pose* bestimmen, vorgestellt. Hierbei handelte es sich um das aktivste Forschungsfeld in Bezug auf die *Computer-Vision*. Der aktuelle Trend im Forschungsfeld des computergestützten Sehens weist in Richtung des *modellbasierten Trackings* [ZDB08].

Natürlich neigen viele *Tracking-Technologien* zu Fehlern bzw. können Störungen auftreten, die das Ergebnis ungenau werden lassen. Um diese Mängel zu minimieren, gibt es den Ansatz des *hybriden Trackings*.

4.1.3. Hybrid Tracking

Die oben beschriebenen *Tracking-Systeme* (siehe Kapitel 4.1.1 und 4.1.2) arbeiten wie gesagt nicht fehlerfrei. Jede *Tracking-Technologie* hat ihre Vor- und Nachteile beim Bestimmen der Position sowie der Orientierung im Raum. Auch kann nicht jeder eingesetzte Sensor das Objekt in den gewünschten *6DoF*, die natürlich das angestrebte Ziel für jegliche AR-Systeme sind, tracken. Um diese *6DoF* zu erreichen, wurden im Laufe der AR-Forschung *hybride Tracking-Systeme* entwickelt und getestet. Diese Art des *Trackings* kombiniert verschiedene Ansätze und Technologien. Das erstrebenswerte Ziel des *hybriden Trackings* ist, z. B. durch den Einsatz verschiedener Sensoren und Methoden, die Nachteile von einzeln verwendeten Methoden und Ansätzen zu kompensieren. Dadurch erhält das AR-System stabilere und robustere Tracking-Daten. Somit wird eine höhere Genauigkeit der Lage- und Positionsbestimmung bewerkstelligt [ZDB08]. Darüber hinaus ist das ultimative Ziel solcher *hybriden Systeme*, die Ermöglichung von übergangslosen *In-* sowie *Outdoor-AR-Systemen* (siehe Kapitel 6.2). Jüngst entwickelte *Outdoor-Systeme* arbeiten z. B. mit *GPS-Empfängern*, *intertialen Sensoren* sowie einem *digitalen Kompass*. Die meisten AR-Applikationen auf Smartphones bedienen sich des *hybriden Trackings* zur Positionsbestimmung, da *GPS-Empfängern* und *intertialen Sensoren* in diesen Geräten standardmäßig eingebaut sind.

4.1.4. Inside-Out und Outside-In Tracking

Abschließend sollen noch zwei Prinzipien des *Trackings* veranschaulicht werden: das *Inside-Out* und *Outside-In Tracking*. Es geht hierbei nicht um die einzelnen *Tracking-Technologien* (siehe Kapitel 4.1.1, 4.1.2 und 4.1.3), sondern um den Unterschied im Aufbau des *Tracking-Systems*. *Inside-Out* Systeme können selber ihre Position und Orientierung im Raum bestimmen, da sie mit den benötigten Sensoren zum Tracken ausgestattet sind, und übermitteln die erfassten Daten an das AR-System zur Verarbeitung weiter. Das heißt, dass sich das bewegte Objekt seine Tracking-Daten selber ermittelt und das umgebende Umfeld dient allein der Erlangung dieser Daten. Dabei kann es sich z. B. um im Raum befindliche unabhängige Sender oder *Marker* handeln oder aber der Raum selbst wird zum Bereitstellen dieser Daten herangezogen (siehe Kapitel 4.1.2) [Tön10]. Hinsichtlich des *Outside-In Trackings* ist das Verhältnis genau umgekehrt. Zur Ermittlung der Position des zu verfolgenden Objektes werden *Tracking-Systeme* im Raum installiert und diese liefern die entsprechenden Daten für das AR-System. Zu diesem Zweck muss das zu trackende Objekt vom *Tracking-System* identifiziert werden bzw. muss das Objekt mit angemessenen *Markern* versehen werden (siehe Kapitel 4.1.2) [Tön10].

In Abhängigkeit an die Anforderungen des AR-Systems sind beide Varianten möglich oder nur eine. Sind beide Prinzipien möglich, ist zu überlegen, ob beide in Frage kommen oder nur eine davon umsetzbar ist. Ist nur eine Variante realisierbar, ist abzuwägen, welche der beiden den gewünschten Anforderungen besser entspricht [Tön10]. Allgemein sind *Outside-In Systeme* an vorbereitete Räumlichkeiten/Szenarien gebunden, diese sind meist mit hohen Kosten für Kameras und Sensoren verbunden. Je weitläufiger eine AR-Anwendung ist, desto eher ist eine *Inside-Out Tracking-Variante* zu bevorzugen, da die Vorbereitung des Raumes wegfällt und die verwendeten Sensoren recht günstig im Ankauf sind. Auch gibt es mittlerweile schon Komplettlösungen auf dem Markt, wie z. B. *Smartphones*, die mit allen benötigten Komponenten und Sensoren ausgestattet sind.

4.2. Registrierung

Ein Begriff, der in der Fachliteratur fast ausnahmslos in Zusammenhang mit dem *Tracking* genannt wird, ist die *Registrierung* (*Registration*). AR-Systeme erlauben dem Benutzer die *Interaktion* zwischen realen und computer-generierten Bildern

und bilden somit eine gemischte Realität. Es werden dreidimensionale, künstlich erstellte Objekte in das natürliche Umfeld des Nutzers eingeblendet. Es ist dringend notwendig, dass diese computer-generierten Objekte sowie die realen Objekte der Welt richtig überlagert werden. Dem menschlichen Sinn des Nutzers muss gewissermaßen das Vorhandensein beider Welten vor Augen geführt werden. Dieser Prozess wird als *Registrierung* bezeichnet. Kommt es zu keiner exakten bzw. korrekten *Registrierung*, entstehen Schwimmeffekte zwischen den computer-generierten Objekten und dem realen Umfeld des Nutzers, da diese keine spezifische räumliche Position besitzen. Der Nutzer wird sozusagen nicht ausreichend ausgetrickst/getäuscht. Die *Registrierung* basiert auf den Ergebnissen des *Trackings* und nimmt dessen Informationen zur Hilfe, um virtuelle sowie reale Inhalte miteinander in Deckung zu bringen.

AR-Anwendung, die die Überlagerung der realen Welt mit virtuellen Informationen und Objekten nur mit Hilfe der Daten aus einem *Tracking-System* bewerkstelligen, werden als offene Systeme bezeichnet. Hier bedient sich die Forschergemeinschaft der Fachausdrücke aus dem interdisziplinären Wissenschaftsgebiet der *Systemtheorie*. Die Rede ist von *offenen (open-loop)* und *geschlossenen (closed-loop) Kreisläufen*. In Anlehnung an die *Systemtheorie* bekommen *offene Systeme* keine Rückmeldung, wie genau die reale Umgebung mit der virtuellen Welt zusammenpasst bzw. sich deckt. Ohne dieses Feedback ist es sehr schwierig in der AR eine AR-Anwendung zu entwickeln, bei welcher beide Welten perfekt aufeinander passen [Azu97]. Zhou et al. beschreiben im allgemeinem *sensor-basierte Tracking-Systeme* (siehe Kapitel 4.1.1) als *offene Systeme* [ZDB08]. Gegenteilig verhalten sich *geschlossene Systeme*. Allgemein betrachtet wird hier ein Datenausgang mit einem Systemfehler nochmals den Eingangsdaten gegenübergestellt, um den endgültigen Datenausgang zu verbessern. *Sicht-basierte Tracking-Systeme* (siehe Kapitel 4.1.2) eignen sich hierfür besonders, da sie Methoden aus der Bildverarbeitung für die genaue Ermittlung bzw. Berechnung der Kameraposition (siehe Kapitel 4.1) relativ zu den realen Objekten der Umgebung verwenden und somit — analog zu den *geschlossenen Systemen* — die entstandenen Fehler dynamisch korrigieren können ([BN95] und [ZDB08]).

Der nächste wichtige Baustein in AR-Systemen ist die *Interaktion*, da der Nutzer von AR auch mit dem System selbst kommunizieren und interagieren soll bzw.

4. Tracking und Registrierung

muss. Dies wird im nächsten Kapitel gründlich erläutert und dargestellt.

Zusammenfassend: Um AR-Anwendung so wirklichkeitsgetreu und realistisch wie möglich darzustellen, ist es unbedingt notwendig, zunächst die reale Umgebung zu erfassen bzw. zu erkennen, damit diese durch virtuelle Informationen und Objekte überlagert bzw. ergänzt werden kann. Für die Lösung dieses Problems wird das *Tracking* verwendet. Hier liegt auch das größte Augenmerk der Forschungsgruppen [ZDB08]. Um eine perfekte Illusion zwischen realer und virtueller Welt zu erschaffen, muss die Integration und Überlagerung der virtuellen Informationen und Objekten so genau wie möglich erfolgen. Damit dies geschieht, muss auch das *Tracking* seine Umgebung genau erfassen, um somit die aktuelle Blickrichtung und Orientierung des Betrachters bzw. des Sichtgerätes zu ermitteln, damit in weiterer Folge eine korrekte *Registrierung* (siehe Kapitel 4.2) des AR-Inhaltes stattfinden kann. Schlussfolgernd liegt aus diesem Grund der höchste Anspruch in einem sehr *genauen, stabilen* und *robusten Tracking*. Wie aus den vorangehenden Kapiteln (4.1.1 und 4.1.2) ersichtlich, hat jede *Tracking-Technologie* ihre Vor- und Nachteile sowie Fehleranfälligkeit. In Bezug auf die Verwendung von mobilen Geräten, wie z. B. Smartphones, sind diese Geräte bereits größtenteils mit den nötigen Sensoren ausgestattet (siehe Kapitel 7.5 und 7.7). Im Gegensatz dazu sind die Sensoren für die Ermittlung der benötigten Lagegenauigkeit in freien und umfangreichen Umgebungen noch zu ungenau und störanfällig.

Seit bestehen der ISMAR befasst sich die Forschung im Bereich des *Trackings* sehr aktiv mit den *sicht-basierten Technologien* (siehe Kapitel 4.1.2). Über 80 % der veröffentlichten Aufsätze befassen sich mit diesem Thema [ZDB08]. Beim *Markertracking* (siehe Seite 41) gibt es mittlerweile schon sehr gute und anschauliche Ergebnisse in der AR. Allerdings sind diese AR-Anwendungen in ihrer Reichweite nur sehr begrenzt einsetzbar, da nicht alle *Marker* auf größere Entfernungen erkannt werden können. Auch aus ästhetischen Gründen kann nicht immer auf *Marker* zurückgegriffen werden. Wie bereits erwähnt, wurde das auf Marker basierende *Tracking* gründlich und sorgfältig erforscht, seit 2002 wurden aber keine neuen auf *marker-basierenden Systeme* vorgestellt [ZDB08]. Der neue Trend geht in Richtung des *markerlosen Trackings* (siehe Seite 43). Bei diesen Verfahren bedarf es jedoch einer sehr hohen Rechenleistung für das *Tracking*, da der Rechenaufwand für die Berechnung der aktuellen *Pose* des Betrachters bzw. der Kamera sehr hoch ist. Andererseits ermöglichen diese Verfahren ein sehr

weitreichendes und *weitläufiges Tracking*. Mitunter erlauben *markerlose Ansätze* auch ein *dynamisches Tracking* in weitestgehend unbekanntem und sich ändernden Umgebungen.

Eine Weiterentwicklung dieser Ansätze sind das aus der Roboterforschung bekannte *SLAM-Verfahren* (*Simultaneous Localization and Mapping, Simultane Lokalisierung und Kartenerstellung*) und das *PTAM-Verfahren* (*Parallel Tracking and Mapping, Paralleles Tracking und Kartenerstellung*). Beide Verfahren benötigen weder *künstliche Marker* noch *spezielle Sensoren*, andererseits sind es aber sehr rechenaufwendige Verfahren [MBRS11].

Abschließend ist zu sagen, dass es für eine vollkommene Verschmelzung zwischen der realen und virtuellen Welt im Bereich des *Trackings* und der *Registrierung* noch einiges zu erforschen gibt, damit ein *genaues, stabiles und robustes Tracking* auch in vollkommen unbekanntem Umgebungen die benötigte *Pose* des Betrachters bzw. der Kamera ermitteln kann.

5. Interaktion

Die letzten beiden Kapitel beschäftigten sich ausführlich mit den *Darstellungsmöglichkeiten* (siehe Kapitel 3) und den unterschiedlichen Alternativen des *Trackings* sowie der *Registrierung* (siehe Kapitel 4) von Objekten in der AR. Hinsichtlich dieser beiden Forschungsfelder wurden schon große Fortschritte erreicht, und es gibt bei AR-Applikationen schon sehr gute und anwendbare Ergebnisse. Anders verhält es sich bei der *Interaktion* mit AR-Systemen. Bei der *Interaktion* handelt es sich um die Entwicklung adäquater Techniken für ein intuitives Zusammenspiel zwischen dem Nutzer und den virtuellen Inhalten bzw. den zusätzlich eingeblendeten Informationen eines AR-Systems. Hier wird in der AR natürlich auf bereits bestehende Entwicklungen in der Forschung der *Human-Computer Interaction* (HCI) (siehe Kapitel 5.1) bzw. auf gewisse Ansätze in der AR zurückgegriffen (siehe Kapitel 5.2).

5.1. Human-Computer Interaction und Interfaces

Hinsichtlich der *Interaktion* zwischen Nutzer und virtuellen Inhalten steckt die Forschung noch in den Kinderschuhen. Es gibt erst wenige ausgereifte Systeme, die Tools für das Modifizieren und Interagieren mit AR-Inhalten bereitstellen. Darüber hinaus wurde in die Erforschung grundlegender (Interaktions-) *Tasks*, wie z. B. das Manipulieren, das Kopieren, das Kommentieren sowie das Löschen von virtuellen Objekten bzw. Inhalten und Informationen, bis dato noch zu wenig Energie gelegt [BGL05].

Hingegen beschäftigen sich Wissenschaftler im Forschungsfeld der *Human-Computer Interaction* (HCI, Mensch-Computer Interaktion) bereits schon lange mit Fragen zu Interaktionsmöglichkeiten mit Rechnern. Eine allgemeine Definition der HCI lautet:

„Human-computer interaction is a discipline concerned with the design, evaluation and implementation of interactive computing systems

5. Interaktion

for human use and with the study of major phenomena surrounding them.“ ([ACM92], Seite 5)

Seit der Entwicklung der ersten Rechner gehen Forscher der Frage bzw. der Entwicklung von *Schnittstellen* zur Kommunikation zwischen Mensch und Computer. Noch die ersten Rechner wurden mit Lochkarten gefüttert, damit sie Rechenaufgaben lösen und Ergebnisse „ausspucken“ konnten. Zieht man die Entwicklung der Menschheit in Betracht, erlernte auch diese erst im Zuge von Jahrtausenden verschiedene Arten der Kommunikation zwischen-, unter- und miteinander. Hier sei lediglich auf die Entwicklung von den ersten Lauten zu einem komplexen Kommunikationssystem verwiesen: unserer Sprache. Mit dem Fortschreiten der Entwicklung von Computern erhöhte sich auch der Bedarf an Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Mensch und Rechner. Um eben diesen Informationsaustausch zwischen Mensch und Computer zu erleichtern wurden sogenannte *Interfaces* entwickelt. *Interfaces* sind Schnittstellen bzw. Verbindungsstellen, die eben diese Kommunikation zwischen Nutzer und Computer ermöglichen. Des Weiteren suchten Forscher und Entwickler nach Alternativen zu den damaligen Interaktionsmöglichkeiten. Für die einfache und produktivere Bedienung wurden *User Interfaces* (UI, *Benutzeroberflächen*), im Speziellen *Graphical User Interfaces* (GUI, *grafische Benutzeroberfläche*) entwickelt, die die zeilenorientierte Eingabe ablösten und somit die Akzeptanz des Computers forcierten. Das uns wohl bekannteste GUI ist die Form des *WIMP-Interfaces* (*Windows, Icons, Menus and Pointers*) (siehe Abbildung 5.1). Dieses UI wird zumeist mit Desktop-Computern in Verbindung gebracht. Die ersten Bestrebungen GUIs zu implementieren stammen aus den 1970er Jahren und wurden am Xerox Palo Alto Research Center (PARC) in Kalifornien (USA) durchgeführt. Im Jahre 1981 wurde die *Xerox Star* Workstation vorgestellt. *Xerox Star* war das erste kommerzielle System mit einer *Desktop-Schreibtischoberfläche*, das mit Hilfe einer Maus steuerbar war und über Fenster (*Windows*) und Menüs (*Menus*) verfügte. Darüber hinaus wurde das *What-You-See-Is-What-You-Get* (WYSIWYG) Prinzip unterstützt. Die darauffolgenden Weiterentwicklungen der *grafischen Benutzeroberfläche* von Apple sowie durch die Einführung der Macintosh-Rechner ab 1984, wurde dieses *WIMP-Interface* populär. Heute sind GUIs weitverbreitet und auf fast jedem PC vorzufinden — vor allem durch die Vormachtstellung von Windows [IU97]. Aber auch andere *Betriebssysteme* (OS, *Operating-System*), wie z. B. Linux, bedienen sich dieser *grafischen Benutzeroberfläche*.

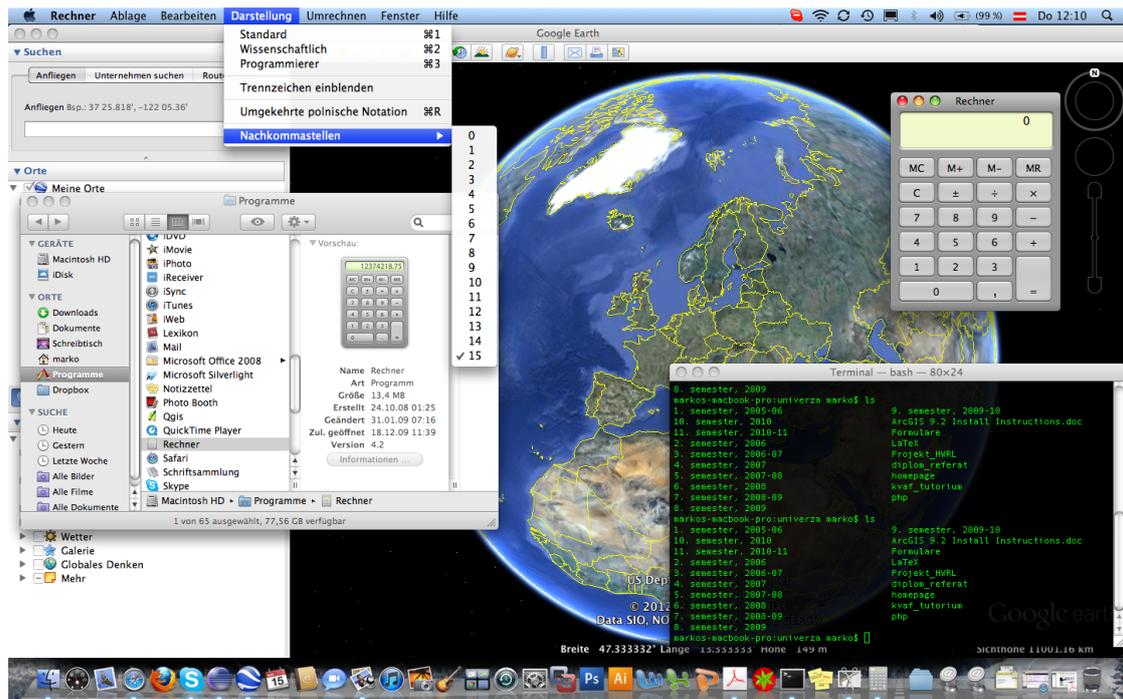


Abbildung 5.1.: WIMP-basiertes GUI am Beispiel des Mac OS X

5.2. Besonderheiten und Grundprinzipien von AR-Interfaces

Wie bereits erwähnt, basieren GUIs im Allgemeinen auf dem *WIMP-Konzept*. Hierbei interagiert der Nutzer mit Hilfe eines Eingabegerätes, zumeist der Maus, mit der *grafischen Benutzeroberfläche*. Eine Alternative zur Maus als Eingabegerät wäre eine Tastatur bzw. bei neueren GUIs der *Touchscreen*. Der erstgenannte Ansatz — die Maus als Eingabegerät zur Kommunikation zwischen Mensch und Computer — avancierte zum Standard bei Desktop-Applikationen und ist aus dem alltäglichen Gebrauch mit Computern nicht mehr wegzudenken. Somit ergibt sich, dass eine sehr limitierte Anzahl von Hardwarekomponenten zur Interaktion (z. B. Maus) in Kombination mit anderen *grafischen Steuerelementen* — sogenannten *Widgets* (aus dem englischen Wörtern *window* und *gadget* zusammengesetzt) — es erlaubt, beliebig viele Programme zu steuern und zu kontrollieren [SSPG11].

Natürlich kann das eben Gesagte auch auf viele AR-System angewandt werden. Für klassische Desktop-AR-Applikationen, wenn an Schreibtischen gearbeitet wird, genügen dem Nutzer als Eingabehilfen Tastatur und Maus vollkommen. Das ändert sich hingegen schlagartig bei AR-Anwendungen, wenn der User mobil

5. Interaktion

sein will oder sein muss. Außerdem ist auch die Eingabe per Maus in erster Linie auf eine zweidimensionale Ebene beschränkt und somit liegt es nahe, in der AR die eingeblendeten virtuellen Objekte mittels Finger- und/oder Handbewegungen zu verschieben, zu drehen oder zu löschen. Wie in der *gemischten Realität* interagiert wird, ist eine häufig gestellte Forschungsfrage in der AR (siehe Kapitel 5.3).

Beträchtliche Fortschritte gab es bis dato sowohl bei *AR-Displays* als auch bei *Tracking-Technologien*. Bei der Interaktion mit AR-Umgebungen beschränkten sich die Forscherteams jedoch größtenteils auf das passive Betrachten bzw. auf die Darstellung von der realen Welt in Kombination mit virtuellen Informationen in Echtzeit [BKP08].

Im Allgemeinen sollte bei der Entwicklung von *Interfaces* darauf geachtet werden, dass es zum Einsatz bzw. zur Verwirklichung einer adäquaten *Interface-Metapher* kommt. In diesem Zusammenhang muss darauf geachtet werden, dass Nutzer ein spezielles (Vor-)Wissen über unterschiedliche *Schnittstellen* aus dem täglichen Gebrauch mitbringen und auf dieses Vorwissen beim Benützen neuer *Interfaces* zurückgreifen. Zu vermeiden ist es bereits bestehende Grundmuster komplett zu verändern. Des Weiteren sind bei der Kreierung neuer *Schnittstellen* geeignete *Metaphern* zu wählen, da der Nutzer dieses Wissen aus einem anderen Anwendungsgebiet übernehmen kann und somit kein neuer Lernprozess durchlaufen werden muss. Mitunter spielen das UI und die damit verwendeten *Metaphern* eine überaus mitentscheidende Rolle über den Erfolg einer Applikation. Schlussendlich entscheidet die Benutzeroberfläche, ob alle implementierten Funktionen und Funktionsweisen ihren Zweck erfüllen und ihre beabsichtigte Funktionalität aufweisen. Infolgedessen stellt das UI dem Nutzer die unterschiedlichen Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und Computer bereit [Rie10]. In Verbindung von Interaktionsmöglichkeiten mit UI unterscheidet Shneiderman [Shn98] fünf unterschiedliche *Interaktionsstile*:

- *Direct Manipulation* (*direkte Manipulation*)
- *Menu Selection* (*Menüauswahl*)
- *Form Fill in* (*Eingabefelder*)
- *Command Language* (*befehlsorientiert*)
- *Natural Language* (*natürliche Sprache*)

Ein weiterer wichtiger Punkt in Bezug auf UIs ist deren *Brauchbarkeit* (*Usability*). Für die Gebrauchstauglichkeit der Interaktion zwischen Mensch und Computer gibt es eine eigene Norm von der *Internationalen Organisation für Normung* (ISO, *International Organization of Standardization*). Die *Usability* wird mit der Norm *ISO 9241-Part 11* definiert und lautet folgendermaßen:

„... usability: *Extent to which a product can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use.*“

Shneiderman [Shn98] zählt in seinem Buch „Designing the User Interface“ auch folgende messbare menschliche Faktoren auf, die wesentlich für das Erreichen der *Brauchbarkeit* eines *Interfaces* verantwortlich sind:

- *Zeitaufwand zum Erlernen*: Wie lange braucht ein User zum Erlernen eines bestimmten Tasks?
- *Geschwindigkeit der Durchführung*: Wie lange dauert es um den Task zu bewältigen?
- *Fehlerquote des Anwenders*: Wie viele und welche Fehler machen Nutzer bei der Ausführung des Tasks?
- *Speicherung im Verlauf der Zeit*: Wie gut sind User in der Lage ihr Können nach einer Stunde, einen Tag oder einer Woche zu speichern.
- *Subjektive Zufriedenheit*: Wie gerne benützen User verschiedene Aspekte des angewendeten Systems?

Diese fünf Faktoren sollten bei der Planung von UI evaluiert und berücksichtigt werden. Natürlich strebt jeder *Interface-Designer* nach einem vollen Erfolg in jeder Kategorie. Doch oft müssen auch Kompromisse eingegangen werden [Shn98].

5.2.1. Eight Golden Rules of Interface Design

Des Weiteren gibt es in der Literatur für die Entwicklung von interaktiven Systemen zwischen Mensch und Computer eine Vielzahl von Richtlinien sowie Gestaltungsgrundsätzen bzw. -prinzipien. In dieser Arbeit wird der Fokus auf die „*Eight Golden Rules of Interface Design*“ ([Shn98], Seite 74 f.) von Shneiderman gelegt. Diese acht goldenen Regeln lauten:

5. Interaktion

- *Streben nach Konsistenz*
- *Bereitstellen von Abkürzungen (Shortcuts) für erfahrene User*
- *Informative Rückmeldungen (Feedback) anbieten*
- *Gestaltung von Dialogen zur Verdeutlichung der Abgeschlossenheit*
- *Einfache Fehlerbehandlung und -prävention anbieten*
- *Einfache Umkehr von Aktionen (Undo) anbieten*
- *Benutzerkontrolle unterstützen*
- *Kurzzeitgedächtnis entlasten*

Nachfolgend wird auf die Designprinzipien in der AR eingegangen.

5.2.2. Designprinzipien in der AR

Für die Entwicklung von UIs gibt es in der Literatur bereits eine Vielzahl von Richtlinien und Grundprinzipien. Bei diesen *Benutzeroberflächen* wird generell angenommen, dass die *Interaktion* des Anwenders mit einem Computer-Desktop, einer Tastatur und einer Maus stattfindet. Das kann jedoch nicht eins zu eins für das Design eines UIs in der AR übernommen werden. Zwischen UIs sowie GUIs und *AR-basierten-Interfaces* gibt es einen gravierenden Unterschied: AR stellt einen ganz anderen Anspruch an das Zusammenspiel zwischen Mensch und Computer dar. Folglich müssen unter Umständen ganz unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten berücksichtigt werden. Natürlich können bestehende Ansätze übernommen werden. Doch diese sollten eher als Anstoß zur Entwicklung eigener Designprinzipien in der AR herangezogen werden [DGSB07].

Ein weiteres Problem bei der Erstellung von Richtlinien für das *Interfacedesign* in der AR ist die große Anzahl der unterschiedlichen AR-Systemen sowie die Vielzahl von Ein- und Ausgabegeräten (I/O Devices). Auch die überdurchschnittlich große Anzahl an Sichtgeräten, angefangen bei den *Handheld Displays* über *Head-Mounted Displays* bis hin zur Unterscheidung zwischen *Indoor-* oder *Outdoor-Systemen* (siehe Kapitel 6.2), spielt eine wichtige Rolle. Des Weiteren beschränkt sich die AR nicht nur auf *visuelle Interfaces*, sondern auch auf das Miteinbinden von z. B. *auditiven* oder *haptischen Interfaces* [DGSB07].

Dünser et al. [DGSB07] geben in ihrem Aufsatz „Applying HCI principles to AR systems design“ eine Auswahl von geeigneten Prinzipien bei der Gestaltung von *Interfaces* in der AR an. Hier geht es nicht um eine strikte Einhaltung der einzelnen Punkte, sondern eher um Vorschläge, die bei der Realisierung von einem *AR-Interface* berücksichtigt werden sollten. Die folgende Auswahl ist weder komplett noch erschöpfend und soll nur einige Beispiele zur Einbindung von *HCI-Designprinzipien* in eine AR-Umgebung anführen [DGSB07]:

Aufforderungscharakter (Affordance) Das Konzept der *Affordanz* verlangt bzw. legt uns nahe, dass zwischen einem *User Interface* und seinen funktionalen sowie physischen Eigenschaften ein inhärenter Zusammenhang besteht. Dementsprechend sollten *Interface-Metaphern* beim Design von *Interfaces* verwendet werden, die direkt aus der realen Welt abgeleitet werden können.

Reduzierung der kognitiven Überlastung (Reducing cognitive overhead)

Das Bestreben vom *User Interface Design* liegt darin, dem Nutzer den Fokus auf den *aktuellen Task* zu ermöglichen und die kognitive Überlastung beim Interagieren mit der Applikation zu reduzieren. Für Designer und Experten ist die kognitive Beanspruchung gegebenenfalls niedriger als für Anfänger.

Geringe körperliche Anstrengung (Low physical effort) Nutzer sollten einen *Task* mit minimalsten (Interaktions-)Schritten ausführen können. Das System sollte die Wahrscheinlichkeit einer Ermüdung des Users so gut wie möglich vermindern.

Erlernbarkeit (Learnability) Nutzer sollten mit Leichtigkeit lernen, wie das System zu bedienen ist.

Zufriedenheit der Nutzer (User satisfaction) Die subjektive Wahrnehmung eines Nutzers während der *Interaktion* mit dem System spielt eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von *Schnittstellen*. Daher sollte die Erfassung sowohl der subjektiven als auch der objektiven Zufriedenheit von Usern berücksichtigt werden.

Flexibilität in der Anwendung (Flexibility in use) Beim Design von *AR-User Interfaces* sollten sich Forscher darüber im Klaren sein, dass Nutzer unterschiedliche Präferenzen und Fähigkeiten haben. Ein wichtiger Aspekt

5. Interaktion

der AR-Technologie besteht im Einsatz bzw. in der Intergration von unterschiedlichen In- und Output-Geräten.

Reaktionsfähigkeit und Feedback (Responsiveness in feedback) Nutzer tolerieren nur ein gewisses Maß an Zeitverzögerungen im System. Z. B. wenn vom User ein *Kommando*/ein *Task* ausgeführt wird und es zu längeren Wartezeiten bei der Ausführung des Befehles kommt, ist es hilfreich bzw. nützlich, wenn das System den Nutzer mit Rückmeldungen versorgt.

Fehlertoleranz (Error tolerance) Viele AR-Systeme stehen erst in ihrer Entwicklungsphase und neigen deswegen sehr gerne zur Instabilität. Die Forschung beschäftigt sich noch ausgiebig mit technologischen Fragestellungen, damit solche Systeme wirklich die nötige Fehlertoleranz aufbringen bzw. aufweisen.

Der nächste Abschnitt befasst sich mit einer Auswahl von unterschiedlichen Eingabe- und Interaktionsmöglichkeiten in der AR.

5.3. Möglichkeiten der Eingabe bzw. Interaktionen in der AR

Wie bereits in einigen vorangegangenen Abschnitten erwähnt, gibt es für die *Interaktion* in der AR eine große Anzahl von unterschiedlichen Möglichkeiten. Dieses Unterkapitel zeigt einige alternative Möglichkeiten der Kommunikation in AR-Systemen auf. Auf die standardübliche Dateneingabe am Schreibtisch mit Hilfe eines *Zeigegerätes* (*Pointing-Device*, z. B. die Maus), der *Tastatur*, dem *Joystick* usw. wird nicht weiter eingegangen, da sie tagtäglich beim Gebrauch des Computers angewendet werden und sie daher keiner weiteren Erläuterung bedürfen.

5.3.1. Marker-basierte Eingabe

Wie auch beim *Tracking* (siehe Kapitel 4.1.2), kann bei der Dateneingabe in AR-Systemen auf *Marker* (siehe Seite 41) zurückgegriffen werden. Meist wird dies auch bei *Markertracking-Systemen* angewendet, da hier die benötigte Infrastruktur unmittelbar vorhanden ist. Es können aber auch die zum *Tracking* eingesetzten *Marker*, z. B. durch das Verdecken oder Entfernen eines *Markers*, als Interaktionsmöglichkeit verwendet werden. Ein *verdeckter Marker* könnte z. B. ein Objekt im

Raum platzieren. Das Entfernen eines *Markers* könnte eine Löschung des Objektes veranlassen. Darüber hinaus kann mit *zwei Markern* auch ein *Slider* gebaut werden. Die beiden *Marker* stellen die Pole dar, und der Abstand auf der Achse zwischen den *beiden Markern* ist der *Sliderwert* [Tön10]. Jedoch bei Verwendung von zu vielen *Markern* kann es schnell zu Verwirrungen des Users kommen.

Es besteht aber auch die Möglichkeit mit *Markern* eine Eingabe zu generieren, die auf *Gesten*, wie z. B. das Schütteln, das Drehen oder aber auf kreisförmigen Bewegungen, beruht. Bei solchen *Interaktionen* wäre es für den User hilfreich, wenn ihm diese mit Hilfe von sogenannten *Ghost hints*, veranschaulicht werden. *Ghost hints* sind animierte Hinweise darauf, welche *Gesten* ausgeführt werden können [Tön10].

5.3.2. Bewegungs-Erfassung (Motion-Capturing)

Hier wird der Ansatz verfolgt, die Dateneingabe mit Hilfe des sogenannten *Motion-Trackings* zu ermöglichen. Hierbei werden Bewegungen einzelner Körperteile oder des gesamten menschlichen Körpers aufgezeichnet, um damit Eingaben in einem AR-System zu ermöglichen. Beispiele hierfür sind das *Handtracking*, das *Kopftracking* oder das *Körpertracking*. Natürlich lassen sich von diesen Beispielen auch andere ableiten [Tön10].

5.3.3. Spracheingabe

Die *Interaktion* mit Hilfe von *Spracheingaben* liefert im AR-System eine zusätzliche Möglichkeit der Dateneingabe. Auf diese Art der Eingabe kann zurückgegriffen werden, wenn z. B. beide Hände des Nutzers nur eingeschränkt benutzbar sind. Hier dient die *Spracherkennung* als zusätzliche Steuerung und kann mit anderen Arten der Eingabe kombiniert werden. Es gibt verschieden Arten von *Spracheingaben*: die *Kommandosprache*, die *numerische Eingabe* und mehr oder weniger die *freie Sprache*. Bei den ersten beiden Ansätzen ist das Vokabular meist direkt hinterlegt und es sind lediglich *Sprachmuster* von Nöten. Bei der Erkennung der *freien Sprache* als Interaktionsmöglichkeit wird allerdings ein viel größerer Sprachschatz vorausgesetzt und es steigt auch der zu interpretierende Analyseaufwand immens [Tön10].

5.3.4. Eingaben mit dem Blick (Eye-Tracking)

Eine weitere Alternative zur Eingabe in AR-Umgebungen wäre die *Blickerfassung*. Hierbei gibt es zwei unterschiedliche Systeme: am Kopf getragene sowie in der Umgebung platzierte Systeme. Erstgenannte weisen eine viel höhere Genauigkeit auf. Sie haben aber den Nachteil, dass es zu zusätzlichem Gewicht kommt. Des Weiteren muss das System genau vor dem Auge positioniert werden und damit ist die Kombination mit einem *Head-Mounted Display* sehr kompliziert [Tön10].

Bis jetzt wurden die *Interaktion* (siehe Kapitel 5.1), die Besonderheiten und Grundprinzipien von *AR-Interfaces* (siehe Kapitel 5.2) sowie die verschiedensten Möglichkeiten der Eingabe und *Interaktion* in AR (siehe Kapitel 5.3) beschrieben. Der abschließenden Abschnitt geht nun konkret auf *Interfaces*, die in der AR verwendet werden, ein.

5.4. Interfaces

In AR-Systemen kommen nach Carmigniani et al. [CFA⁺11] vier Interaktionstechniken bzw. *User Interfaces* zum Einsatz: *Tangible AR Interfaces* (siehe Kapitel 5.4.1), *Collaborative AR Interfaces* (siehe Kapitel 5.4.2), *Hybrid AR Interfaces* (siehe Kapitel 5.4.3) und neu auftretende *multimodale Interfaces* (siehe Kapitel 5.4.4).

5.4.1. Tangible AR Interfaces

AR führt die reale Welt mit virtuellen Objekten bzw. Informationen zusammen und visualisiert diese dem Nutzer auf entsprechenden Sichtgeräten. Somit ist es nicht weit hergeholt, Objekte aus der realen Welt als *Schnittstelle* für *Interaktionen* in der AR zu benützen. Ishii und Ulmer [IU97] bedienten sich 1997 dieser Idee und erläuterten ihre Vision der *Mensch-Computer Interaktion* im Aufsatz „Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms“. Die beiden Forscher verfolgen das Ziel, sich von GUIs, die an einen Bildschirm, an Fenster, eine Maus sowie eine Tastatur gebunden sind, zu lösen und den Weg für eine neue Art der *Mensch-Computer Interaktion*, das sogenannte *Tangible User Interface* (TUI, *anfassbare Benutzerschnittstelle*), zu eröffnen (siehe Abbildung 5.2). Weiters behaupten Ishii und Ulmer

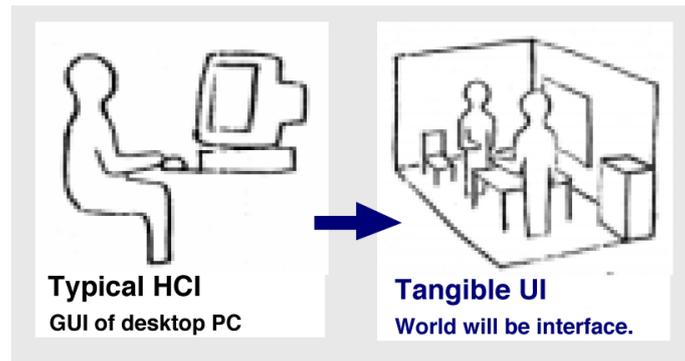


Abbildung 5.2.: Vom *Graphical User Interfaces* zu *Tangible User Interfaces* [IU97]

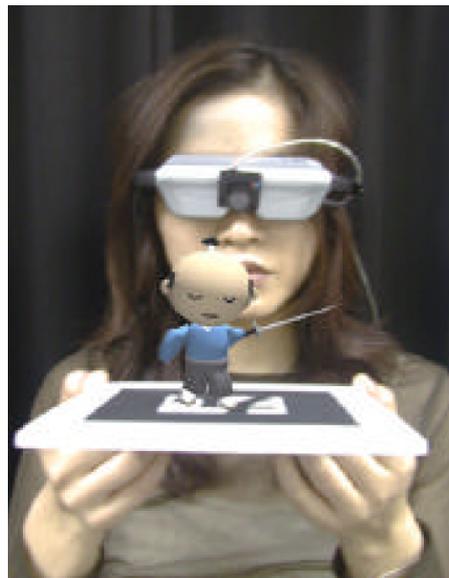


Abbildung 5.3.: Beispiel für ein *Tangible AR Interface* [BKP08]

„*TUIs will augment the real physical world by coupling digital information to everyday physical objects and environments.*“ ([IU97], Seite 235)

Darüber hinaus sind *Tangible Interfaces* sehr wirksam und auch leicht zu benutzen, da sie bekannte Eigenschaften, physikalische Einschränkungen sowie den *Aufforderungscharakter* der verwendeten physikalischen Objekte übernehmen. Diese *TUI-Metapher* kann bei *AR-Interfaces* auch angewandt bzw. übernommen werden. In *Tangible AR Interfaces* sind visuelle Displays mit AR-Inhalt an anfassbare Objekte gekoppelt. In der Literatur werden *Tangible AR Interfaces* folgendermaßen beschrieben [BGL05]

5. Interaktion

- jedem virtuellen Objekt ist ein physisches Objekt zugeordnet/zugeteilt;
- der Nutzer interagiert mit den virtuellen Objekten, indem er das korrespondierende physische Objekt manipuliert.

Die eben besagte neue Art der *Interaktions-Metapher* wird auch als *Tangible Augmented Reality* (TAR) bezeichnet und ist seit ihrer Vorstellung auf der ISAR 2000 eine der häufigsten verwendeten *Inputmethoden* in der AR [ZDB08].

5.4.2. Collaborative AR Interfaces

Jahrelang wurde in der AR-Forschung die Entwicklung von *Single-User Applikationen* forciert. Mitte der 1990er Jahre des letzten Jahrtausends wurden die ersten *Collaborative AR-Applications* (*kollaborative AR-Applikationen*) entwickelt bzw. hervorgebracht. *Kollaborative AR-Applikationen* sind Anwendungen, die eine Darstellung der AR-Umgebung sowie die *Interaktion* mit dieser für mehrere Nutzer (*Multiple-User*) gleichzeitig ermöglichen (siehe Abbildung 5.4). Darüber hinaus fördert dieser Ansatz in der AR die *Face-to-Face-Kollaboration*, die auch im interdisziplinären Forschungsgebiet der *Computer Supported Collaborative Work* (CSCW, *rechnergestützte Gruppenarbeit*) unterstützt wird. CSCW steht für die Erforschung der Zusammenarbeit zwischen Menschen und ebenso damit, wie diese *Kollaboration* mit Hilfe von Computern unterstützt werden kann [EGR91].



Abbildung 5.4.: Beispiel eines *Collaboration AR Interfaces* [BK02]

In der Forschung der *Collaborative AR Interfaces* werden zwei Ansätze verfolgt: *Co-located Collaboration* (kolozierte Kollaboration) sowie *Remote Collaboration* (Remote Kollaboration bzw. räumlich entfernte Zusammenarbeit). Bei beiden Ansätzen wird die Anwendung von mehreren Displays unterstützt und eingesetzt. Letztere beschäftigen sich mit Methoden der nahtlosen Integration von mehreren Nutzern mit Displays an unterschiedlichen Standorten, um z. B. den Anforderungen von Telekonferenzen zu entsprechen. Der Ansatz der *Co-located Collaboration* wird verwendet, um mit Hilfe von *dreidimensionalen Interfaces* den gemeinschaftlich genutzten Arbeitsbereich zu verbessern. Des Weiteren sollen bei AR-Anwendungen die *Multiscale Collaboration* (multiskale Kollaboration) unterstützt werden. *Multiskale Kollaboration* bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Nutzer eine Szene einer AR-Anwendung aus unterschiedlichen Blickwinkel betrachten können, etwa aus *egozentrischem* oder ein *exozentrischem Blickwinkel* auf eine bestimmte AR-Szene, um gewisse Zusammenhänge besser zu verstehen ([BK02] und [ZDB08]).

5.4.3. Hybride AR Interfaces

Bei *hybriden Benutzerschnittstellen* wird auf die Kombination von verschiedenartigen aber sich ergänzenden *Interfaces* zurückgegriffen. Darüber hinaus wird auch die Möglichkeit der Dateneingabe mit Hilfe verschiedenster Eingabegeräten unterstützt ([CFA⁺11] und [ZDB08]).

5.4.4. Multimodale AR Interfaces

Multimodale Interfaces (MMI, *multimodale Schnittstellen*) in der AR stützen sich auf das natürliche Verhalten des Users in der realen Welt, wie z. B. das *Sprechen*, auf *Berührungen*, *natürliche Handbewegungen* und *-gesten* oder auf den *Blick/die Blickrichtung* des Users. Von diesem natürlichen Verhalten sollen intuitive Interaktionsmöglichkeiten abgeleitet werden. In letzter Zeit ist der Ansatz des *Multimodalen AR Interfaces* in der Forschung sehr im Kommen und wird in zukünftigen AR-Applikation zu den bevorzugten Interaktionsmöglichkeiten gehören, da sie für den Nutzer eine relativ robuste, effiziente und sehr mobile Form der *Mensch-Computer Interaktion* darstellen ([CFA⁺11] und [LB08]).

Die vorangegangenen Kapitel haben sich mit den *Darstellungsmöglichkeiten* (siehe Kapitel 3) und den *Trackingverfahren* sowie der *Registrierung* (siehe Ka-

5. Interaktion

pitel 4) in der AR ausführlich beschäftigt. Das Grundgerüst für die einzelnen Bauelemente eines AR-Systems müsste beim Leser vorhanden sein. Das nächste Kapitel der vorliegenden Diplomarbeit wirft den Fokus auf bestehende bzw. mögliche Anwendungsbereiche der AR und bietet Gelegenheit zur Klassifizierung der vorhandenen AR-Systeme.

Zusammenfassend: AR ermöglicht bzw. schafft vollkommen neue Möglichkeiten für die *Interaktion* zwischen der virtuellen und physischen Welt. Es werden nicht nur ausschließlich die klassischen Eingabegeräte, wie bei einem herkömmlichen Computer (z. B. Maus, Keyboard etc.) verwendet. Auch die Richtlinien beim Entwerfen solcher *Benutzeroberflächen* ändern sich gegenüber denen eines klassischen Desktop-Computers (siehe Kapitel 5.2.1 versus 5.2.2). Dies sollte unbedingt beim Entwickeln und Entwerfen neuer *Interfaces* in der AR berücksichtigt werden. Viele Interaktionsmöglichkeiten für AR-Anwendungen befinden sich jedoch erst in den Kinderschuhen und finden ihre Verwendung bis dato nur in der Forschung. Auch Fortschritte aus der *HCI-Forschung* sollten bei der Gestaltung und Entwicklung von AR-Interfaces beachtet und miteinbezogen werden.

Ansatzweise ist schon eine Weiterentwicklung bei kommerziellen AR-Applikationen, die auf Smartphones abgespielt werden können, zu beobachten. Durch die in Smartphones eingebauten Sensoren (siehe Kapitel 7.6.2, 7.6.4 und 7.6.5) können Bewegungen und Rotationen wahrgenommen werden, die wiederum in weiterer Folge bestimmte Aktionen auslösen können, wie z. B.:

- durch Schütteln des Gerätes kann die „*Widerrufen-Funktion*“ aktiviert werden;
- durch Drehen des Smartphones von der horizontalen in die vertikale Lage ändert sich die aktuelle Ansicht am Display;
- durch Kippen des Devices von der aufrechten in die liegende Position wechselt die Applikation automatisch von der Panoramaansicht in die Kartenansicht mit entsprechendem Blickrichtungspfeil auf dem Display;
- durch leichtes Kippen nach vorne oder hinten kann z. B. die *Zoom-In-* oder *Zoom-Out-Funktion* aktiviert werden.

Abschließend ist noch zu sagen, dass es eine überaus große Anzahl an Interaktionsmöglichkeiten gibt, die aber noch nicht alle reif für eine kommerzielle Nutzung

sind, da die heutige Technik dafür noch zu aufwendig ist und diese nur in Forschungslaboren zum Einsatz kommen kann. Allerdings sieht die Zukunft — bei Betrachtung des technologischen Fortschrittes der letzten Jahrzehnte, sehr vielversprechend aus.

6. Einsatzbereiche von AR und AR-Systeme

Die drei vorangegangenen Kapitel der vorliegenden Arbeit (siehe Kapitel 3, 4 und 5) beschäftigten sich mit den drei wichtigen Komponenten, die unumgänglich sind, um AR-Systeme bzw. AR-Applikationen anzuwenden. Hier werden einige Einsatzmöglichkeiten und -bereiche von AR kurz beschrieben. Es erfolgt auch eine Einteilung bzw. Klassifizierung von AR-Systemen.

6.1. Einsatzbereiche von AR

Es gibt eine sehr große Anzahl von Einsatzmöglichkeiten der AR in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen. Wie schon in Kapitel 2 angedeutet, ist die AR nicht nur auf die *visuelle Wahrnehmung* begrenzt. Allerdings liegt das wichtigste Augenmerk bei den AR-Applikationen überwiegend in der visuellen Darstellung von computer-generierten Daten und Informationen. Typischerweise handelt es sich hier um eine triviale Überlagerung von zumeist im Blickfeld des Nutzer befindlichen, virtuellen Objekten und Informationen über die reale Umgebung. Deswegen wurde in der Kategorisierung der Aspekt der *Visualisierung* von AR im Allgemeinen nicht mit einbezogen, da sie ja vorausgesetzt wird. Die folgende Aufzählung bzw. Einteilung ist ein Versuch einer einfachen und leicht verständlichen Klassifizierung von gegenwärtigen AR-Applikationen mit einigen möglichen Beispielen:

Werbung und Handel Hier wird AR zur Präsentation und Vorstellung von Produkten aus der Werbung sowie für den Handel verwendet. Dem Kunden kann z. B. ein dreidimensionales Abbild des zu kaufenden Objektes dargestellt werden.

Medizin Hier wird AR z. B. zum Einsatz für medizinische Operationen bzw. zum

6. Einsatzbereiche von AR und AR-Systeme

Training verwendet. Auch bei der robotergestützten Chirurgie, endoskopischen Eingriffen und bei der Bewältigung von medizinischen Problemstellungen kann AR nützlich und hilfreich sein.

Edutainment und Spiele Beim Edutainment — dem unterhaltsamen Lernen — kann AR z. B. einen Dinosaurier aus einem Lehrbuch als 3D-Modell darstellen und für den Schüler zum „Leben“ erwecken. Des Weiteren gibt es bereits unzählige AR-Spiele, die die reale Umgebung und virtuelle Spielelemente verschmelzen lassen.

Mobile Applikationen Hier beschränkt sich die Anwendung von AR ausschließlich auf mobile Geräte wie z. B. Smartphones oder Tablet-PCs. Mobile AR-Applikationen sind eine der wenigen AR-Anwendungen, die ein breites Publikum erreichen [CFA⁺11].

Navigation und Routenplanung AR kann in diesem Falle sowohl bei der Indoor-, als auch bei der Outdoor-Navigation und -Routenplanung zur Verwendung kommen. Hier kommen am Kopf getragene Displays (siehe Kapitel 3.1) wie auch in der Hand gehaltene Sichtgeräte (siehe Kapitel 3.2) zum Einsatz.

Kultur, Kunst und Tourismus Hier kämen Kultur-, Kunst- und Tourismusführer bzw. -guides in Frage, die dem User wichtige und wertvolle Informationen in sein Sichtfeld einblenden. Darüber hinaus kann der Nutzer bzw. Tourist durch Städte geführt werden. In der Kunst könnten z. B. virtuelle Werke mit einer Verortung visualisiert werden.

Produktion, Fertigstellung und Instandhaltung (z. B. in der Industrie)

Hier könnten Arbeiter in der Industrie über einzelne Arbeitsschritte informiert werden bzw. kann AR auch als Hilfestellung bei der Instandhaltung von Maschinen eingesetzt werden. Die Industrie sei hier nur als ein mögliches Einsatzgebiet genannt. Solche AR-Anwendungen könnten freilich auch in einem Haushalt oder in Büros, etwa mittels AR-gestützte Handbücher, Verwendung finden.

Architektur und Geovisualisierung Im Bereich der Architektur können z. B. Veränderungen an Gebäuden oder neu zu errichtende Gebäude als dreidimensionale Objekte bzw. Modelle zur Veranschaulichung in die reale Umgebung eingebunden werden, um sich somit direkt vor Ort eine Vorstellung

zu verschaffen. Bei der Geovisualisierung können z. B. Modellierungen von Landschaften, die in geografischen Informationssystemen (GIS) vorgenommen wurden, direkt im Gelände visualisiert werden.

Militärische Anwendungen Hier findet AR z. B. in der Ausbildung von Soldaten ihre Verwendung. Ein Beispiel hierzu wäre, dass Soldaten in Kampfsituationen durch AR-Applikationen in der Ausübung ihrer Missionen unterstützt werden. Helikopter- und Kampffjetpiloten werden bereits durch solche Cockpit-Systeme sowohl in ihrer Ausbildung als auch beim Kampfeinsatz unterstützt.

Im nächsten Abschnitt werden die gegenwärtigen AR-Systeme behandelt und klassifiziert.

6.2. AR-Systeme

AR-Systeme kommen, wie bereits erwähnt, in unterschiedlichsten Bereichen zum Einsatz. Eine mögliche Einteilung der verschiedenartigen AR-Systemen kann nach deren Einsatzbereich in *Indoor-* sowie *Outdoor-Systeme* getroffen werden. Hierauf Bezug nehmend teilen Carmigniani et al. [CFA⁺11] AR-Systeme in fünf Kategorien ein:

- *fixierte Indoor-Systeme*
- *fixierte Outdoor-Systeme*
- *mobile Indoor-Systeme*
- *mobile Outdoor-Systeme*
- *mobile Indoor- und Outdoor-Systeme*

Bei *fest-montierten Systemen* ist der Nutzer in seiner Mobilität sehr eingeschränkt und die Bewegungsfreiheit reduziert sich auf die Reichweite des installierten Systems, außer das System wird in seiner Gesamtheit an einen neuen Ort verlegt und neu aufgebaut. Im Gegensatz dazu erlauben es *mobile Systeme* dem Nutzer der Definition nach, sich frei und über mehr als einen Raum hinweg zu bewegen, dies geschieht in weiterer Folge unter Verwendung von *drahtlosen Systemen* [CFA⁺11].

6. Einsatzbereiche von AR und AR-Systeme

Die erste Entscheidung, die Forscher und Entwickler bei der Entwicklung von AR-Systemen treffen sollten, ist, um welche Art von System es sich handeln soll. Von eben dieser Entscheidung ist des Weiteren abhängig, welche *Tracking-Systeme* in Frage kommen, welche *Darstellungsmöglichkeiten* sich anbieten und welche *Interfaces* verwendet werden können. Z. B. kommt der Einsatz vom *GPS-Tracking* (siehe Kapitel 4.1.1) bei *fixierten Systemen* nicht in Frage, da das *Tracking-Equipment* schon im System selbst integriert ist. Jedoch macht es bei *mobilen Outdoor-Systemen* sehr wohl Sinn ein *GPS-Tracking* einzusetzen. Darüber hinaus betonen Carmigniani et al. [CFA⁺11], dass bei *fixierten Systemen* vorzugsweise ein *optisches Tracking-System* (siehe Kapitel 4.1.1) zum Einsatz kommt. Bei *mobilen Systemen* wird meistens der Ansatz des *hybriden Trackings* (siehe Kapitel 4.1.3) bevorzugt. Bei der Entscheidung der *Visualisierung* fällt die Auswahl vorwiegend auf *Head-Mounted Displays*, nur sollte diese Art von Displays noch etwas attraktiver werden, um die Akzeptanz der Nutzer und des Marktes zu steigern. Bei der Verwendung von *Interfaces* sind die Ansätze des *Tangible Interfaces* (siehe Kapitel 5.4.1) sehr beliebt. Die Tendenz geht jedoch eher in Richtung *Multimodale Interfaces* [CFA⁺11].

Das nächste Hauptkapitel befasst sich ausführlich mit der Thematik von AR und wie sie einem breiten Publikum näher gebracht werden kann. Zwei wichtige Schlagwörter in diesem Abschnitt der Diplomarbeit sind: *mobile AR* (MAR) und *Smartphones*. Beide Themenbereiche werden eingehendst und detailliert beleuchtet. Darüber hinaus wird auch auf den Zusammenhang zwischen den beiden Punkten hingedeutet.

Zusammenfassend: Es gibt viele Anwendungsbereiche und -gebiete für die AR (siehe Kapitel 6.1). In diesem Kapitel wurde mit Hilfe einer Auflistung und Einteilung sowie anhand von Beispielen für AR-Anwendungen versucht, dem Leser einen anschaulichen Überblick zu verschaffen. Ein sehr großes Potenzial der AR liegt im Moment bei den *mobilen Applikationen*, da der Nutzer fast uneingeschränkt mobil ist. Auch durch die Einführung von Smartphones, mit den entsprechenden eingebauten elektronischen Sensoren und Bauelementen, als Plattform für AR, werden *mobile AR-Anwendungen* einer sehr breiten Masse zugänglich gemacht und eröffnen fast jedem den Weg in die Welt der AR.

Darüber hinaus erfolgte in Abschnitt 6.2 eine Klassifizierung von AR-Systemen in *Indoor- und Outdoor-Systeme*. Wobei das Hauptaugenmerk in der AR-Forschung

auf *mobile Outdoor-* bzw. auf *mobile Indoor- und Outdoor-Systeme* zu richten ist, da hier eine der Stärken von AR-Applikationen liegt und die Forschung noch am Anfang ihrer Möglichkeiten steht.

7. AR für die breite Masse

Bis jetzt wurden die wichtigsten Komponenten eines AR-Systems vorgestellt sowie kategorisiert und in fünf Gruppen (siehe Kapitel 6.2) eingeteilt. Es wurde ausgiebig über das *Tracking* (siehe Kapitel 4), die *Darstellungs-* sowie *Interaktionsmöglichkeiten* (siehe Kapitel 3 und 5) diskutiert. Nun stellt sich die Frage, wie diese Technologie einer breiten Masse zugänglich gemacht werden kann. Die meisten Versuche, AR zu verwirklichen, gab es in den letzten Jahrzehnten in speziellen Forschungseinrichtungen. Hierfür wurden anfangs Forschungslabore mit aufwendigem technischen Equipment, wie z. B. *leistungsstarken Computern*, unterschiedlichen *Tracking-Systemen* usw., ausgestattet. Darüber hinaus brachte die Entwicklung von entsprechenden Displays, wie den *Head-Mounted Displays*, zu einer Vielzahl von unterschiedlichen Prototypen hervor. Anfangs konnte der große technologische und finanzielle Aufwand nur in solchen Forschungseinrichtungen und nur von bestimmten Forschungsinstituten im erforderlichen Ausmaß betrieben werden. Doch im Laufe der Zeit wurden Computer immer schneller und kleiner und die Forscher entdeckten immer neuere Möglichkeiten des *Trackings* für die AR. Auch die Displays, wie z. B. *Head-Mounted Displays*, wurden seit der Entwicklung der ersten unhandlichen und schweren Prototypen immer kleiner, leichter und ansehnlicher. Wie schon in Kapitel 2.1 erwähnt, spielt auch der technologische Wandel, der sich in den letzten zwei Jahrzehnten vollzogen hat, eine bedeutende Rolle. Dies führte in weiterer Folge auch zur Entwicklung von *mobiler AR* (MAR) (siehe Kapitel 7.1).

In dieser Arbeit wird der Fokus auf *mobile Outdoor-Systeme* gelegt, die entsprechende AR-Applikationen realisierbar machen, im Speziellen auf *Handheld Displays*, die den *Video See-Through* (siehe Kapitel 4) Ansatz zur Darstellung der adäquaten *Augmentation* von virtuellen Objekten unterstützen.

Der nächste Abschnitt gibt einen genaueren und ausführlicheren Einblick in die MAR.

7.1. Mobile AR (MAR)

Mobile AR berücksichtigt alles schon bereits Gesagte, das auf die AR (siehe Kapitel 2) zutrifft, und bezieht sich auch auf dessen Definition (siehe Kapitel 2.3). MAR-Anwendungen bedienen sich eben genau dieser Konzepte mit der Besonderheit eines tatsächlich *mobiles Settings*. Papagiannakis et al. [PSTM08] definieren für ein mobiles AR-System folgendes:

- kombiniert reale und virtuelle Objekte in einem realem Umfeld;
- läuft in Echtzeit und im mobilen Modus;
- reale und virtuelle Objekte werden miteinander registriert;
- die virtuelle Augmentation basiert auf dynamischen, dreidimensionalen Objekten.

Um mobile AR umsetzen zu können, bedurfte es der Einbindung neuer Technologien in der AR und machte daraus ein interdisziplinäres Forschungsgebiet. Die Forscher mussten sich eine neue Strategie überlegen und kehrten den mit Sorgfalt vorbereiteten Umgebungen der AR in Forschungslaboren sowie den zweckgebundenen Arbeitsumgebungen und -räumen, den Rücken zu. Wie bereits erwähnt, mussten hierfür etliche Technologien kombiniert werden, um dies zu ermöglichen. Diese sind nachfolgend aufgelistet [HF04]:

- *globale Tracking-Technologien (Global Tracking Technologies)*
- *drahtlose Kommunikation (Wireless Communication)*
- *standortbezogene(s) Computing (Location Based Computing, LBC) und Dienste (LBS)*
- *tragbare Rechnereinheiten (Wearable Computing)*

Hier kommt die *allgegenwärtige Rechnerpräsenz* (siehe Kapitel 2.5) wieder zum Tragen. Für den Nutzer von MAR-Systemen wird es in Zukunft wichtig sein, sich nicht auf die vielen Komponenten, die für die AR verwendet werden zu konzentrieren, sondern in erster Linie auf die Anwendung selbst. Mit den immer leichter und kleiner werdenden, *tragbaren* und *mobilen Geräten*, den *Tracking-Technologien* um

uns herum und in Ahnlehnung an die Fortschritte der *drahtlosen Technologien* wird vielleicht *Weiser's Vision* möglich gemacht [PSTM08].

Anschließend wird der Fokus auf mobile AR-Systeme und auf das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten sowie der oben erwähnten Technologien gelegt.

7.2. Mobile AR Systeme

Die Frage, welche Komponenten für ein *mobiles AR-System* von großer Bedeutung sind, konnte bereits zum Großteil beantwortet werden. Als erstes wird eine *Rechenplattform (Computational Platform)* benötigt, die mitunter das virtuelle Material, das die reale und physische Welt überlagert, generiert und verwaltet. Des Weiteren ist sie für die Verarbeitung der *Tracking-Daten* verantwortlich sowie für die Kontrolle der/des *AR-Display(s)* zuständig [HF04].

Weiter werden Sichtgeräte bzw. Displays für die Darstellung des künstlich generierten Materials sowie der zusätzlichen Information in Verbindung mit der realen Welt gebraucht. Hierbei können alle Arten von AR-Displays zur Verwendung kommen, seien es *am Kopf getragene Displays* (siehe Kapitel 3.1), *Handheld Displays* (siehe Kapitel 3.2) oder *räumliche Displays* (siehe Kapitel 3.3). Wie schon im Kapitel 2 erwähnt, können sehr wohl auch andere Sinne (z. B. *auditive, taktile oder olfaktorische*) zur Wahrnehmung der Information herangezogen werden [HF04].

Das *Tracking* (siehe Kapitel 4.1) und die *Registrierung* (siehe Kapitel 4.2) — das korrekte Überblenden der virtuellen Objekte und Informationen über die reale Umgebung — muss auch berücksichtigt werden. Dabei geht es um die Position sowie die Orientierung des Nutzers im Raum. Im konkreten Fall ist die Position bzw. die Blickrichtung des User von Bedeutung [HF04].

Die Interaktionsmöglichkeiten (siehe Kapitel 5) des Nutzers bei solchen mobilen Anwendungen, z. B. das Selektieren oder das Hinzufügen von relevanten Inhalten in der erweiterten Welt werden durch *tragbare Eingabe- und Interaktionstechnologien (Wearable Input and Interaction Technologies)* ermöglicht [HF04].

Für die Kommunikation mit anderen Usern sowie anderen Rechnern werden *drahtlose Netzwerke (Wireless Networking)* bereitgestellt. Hier geht es größtenteils um Daten, die „up to date“ sein müssen und nicht direkt auf der *tragbaren Rechenplattform* gespeichert werden können, da sie fortlaufend Aktualisierungen unterworfen sind. Ein Beispiel hierfür wären aktuell abrufbare Zug- sowie Busverspätungen oder auch die aktuelle Verkehrslage [HF04].

Ein weiterer Punkt, der nicht vernachlässigt werden sollte, um den Anforderungen von *mobilen AR-Systemen* gerecht zu werden, sind Technologien, die sich mit der Datenspeicherung sowie mit dem Zugriff auf diese Daten befassen. Genauer gesagt benötigt ein mobiler, freilaufender Nutzer Daten über das Umfeld in dem er sich gerade befindet. Diese Daten müssen von irgendwoher bezogen werden. *Daten-Repositoryn/Behälter* müssen dem Nutzer adäquate Daten — dem jeweiligen Standort entsprechend sowie mit aktuellen Inhalten — zur Verfügung stellen. Aus der Sicht des Nutzers geht es hier vorwiegend um die Fragestellung, wie kommt man am schnellsten und mit dem geringsten Aufwand zu relevanten Daten. Außerdem stellt sich die Frage, wie eine *Informationsüberlastung* bzw. *-überflutung* verringert bzw. verhindert wird [HF04].

Der nächste Abschnitt befasst sich mit der Entwicklung der MAR und weist auf einige Beispiele bestehender MAR-Systeme und -Anwendungen hin.

7.3. Entwicklung der MAR

Seit Mitte der 1990er Jahre beschäftigen sich Wissenschaftler und Forscher verstärkt mit der Realisierung von *mobilen Outdoor-AR-Systemen*. Diese mobilen Anwendungen beschränkten sich jedoch ausschließlich auf die Forschung. Die ersten Prototypen von solchen *mobilen Outdoor-Systemen* waren sehr schwer, groß und klobig. Es mussten Unmengen von Equipment und Sensoren, wie z. B. ein *tragbarer Computer*, ein *GPS-Empfänger*, *Head-Mounted Displays* mit den angemessenen Sensoren, zur Ermittlung der Blickrichtung sowie ein eigens dafür konzipiertes bzw. umgebautes *Handheld-Devices* (z. B. ein PDA) für die *Interaktion* miteinander verbaut werden. Das gesamte Equipment wurde zum Teil auf eine dafür vorgesehene Vorrichtung gepackt und wie ein Rucksack dem Probanden aufgeschnallt und so getragen (siehe Abbildung 7.1). Die Abbildung 7.1 zeigt einen der ersten Prototypen eines *mobilen AR-Systems*. Dieses System wurde 1997 von Feiner et al. [FMHW97] an der Universität von Columbia vorgestellt und getestet. Hierbei handelte es sich laut Autoren um eine Art „*Touring Machine*“ für den Campus der Universität von Columbia. Diese „*Touring Machine*“ diente als Tour-Guide für Besucher der Universität. Die Besucher bekamen Informationen über Gebäude und Artefakte, die der Besucher in seinem Blickfeld erblickte, über ein *Head-Mounted Display* eingeblendet. Eine Weiterentwicklung der „*Touring Machine*“ stellte auch Restaurants in der Umgebung der Universität von Columbia



Abbildung 7.1.: „Touring Machine“ der University of Columbia [FMHW97]

dar samt Informationen über diese [HF04].

In den darauf folgenden Jahren arbeiteten verschiedene Forscher an unterschiedlichen MAR-Systemen. Die meisten ähnelten dem Prinzip der „*Touring Machine*“. Auch das benötigte Equipment war weiterhin sehr sperrig und wurde auf dem Rücken getragen (siehe Abbildung 7.2(a)). Nach und nach ersetzten Wissenschaftler diese umständlichen Rucksäcke durch die damals neu am Markt erschienenen *Ultra-Mobile PCs* (UMPC) (siehe Abbildung 7.2(b)). Des Weiteren wurden auch PDAs (siehe Abbildung 7.2(c)), die Vorgänger von *Smartphones*, eingesetzt. Vermehrt kamen durch die technologischen Fortschritte und Weiterentwicklung auch *Mobiltelefone* in der AR zum Einsatz (siehe Abbildung 7.2(d)). Die beiden zuletzt genannten Plattformen verschmolzen nach und nach zu einem Gerät — dem *Smartphone*, und verdrängten die PDAs fast vollständig vom Markt [WS09].

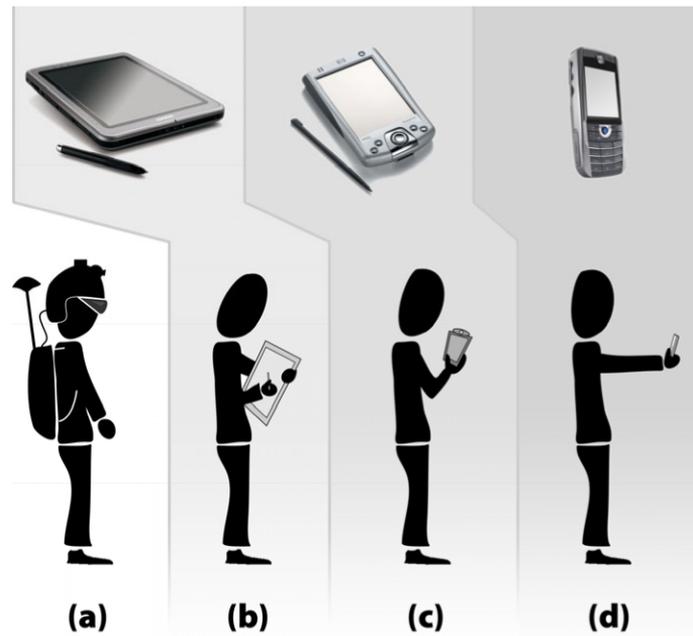


Abbildung 7.2.: Die Evolution und Miniaturisierung in der MAR: (a) Rucksack mit *Head-Mounted Displays*, (b) UMPC, (c) *Handheld*, (d) Mobiltelefon [WS09]

7.4. Smartphones und AR

Durch die Entwicklung und Einführung der sogenannten *Smartphones* — dies sind Mobiltelefone — die mehr Computerfunktionalität und -konnektivität als ein herkömmliches Mobiltelefon besitzen, wird den Nutzern eine Vielzahl von neuen und innovativen Möglichkeiten eröffnet, die sie vorher mit konventionellen Mobiltelefonen nicht hatten. Bei Smartphones handelt es sich um kleine portable Computer, die mit zusätzlichen Funktionen eines Mobiltelefons ausgestattet sind. Ein Smartphone ist laut Online-Duden¹ ein:

„Mobiltelefon, das sich von einem klassischen Mobiltelefon durch ein größeren [Touchscreen]bildschirm und zusätzliche Funktionen wie GPS und die Möglichkeit, Apps daraufzuladen, unterscheidet.“

Eine treffendere, aber auch ausführlichere Definition beschreibt Harry E. Pence [Pen11] in seinem Aufsatz „Smartphones, Smart Objects, and Augmented Reality“. Er definiert Smartphones folgendermaßen

¹<http://www.duden.de/rechtschreibung/Smartphone> (am 30.04.2012 aufgerufen)

„*The smartphone is a Swiss Army knife of modern communications. It combines a telephone with a global positioning system (GPS), a camera, a compass, an accelerometer, WiFi support, and a web browser. These features allow the device to determine where it is located and which direction it is pointing and to browse the World Wide Web for content, including streaming video.*“ ([Pen11], Seite 137)

Durch den Fortschritt in der Entwicklung von herkömmlichen Mobiltelefonen zu den in den letzten Jahren immer mehr in Mode kommenden „*Schweizer Messern*“ unter den Mobiltelefonen — den Smartphones — entwickelten sich diese immer mehr zu einer idealen Plattform für die AR [HOB07]. Die neuesten Generationen von Smartphones verfügen über zum Teil hochauflösende und multitouchfähige Farbdisplays, integrierte Kameras, schnelle Prozessoren mit geeigneten 3D Grafikchips sowie über die geeigneten Sensoren für das *Tracking*. Auch ihre weitverbreitete Nutzung könnte dazu führen, dass sie in naher Zukunft zu einer der dominantesten Plattformen für AR-Applikationen heranreifen könnten [HOB07].

Smartphones vereinen im engeren Sinne die Funktionen eines herkömmlichen Mobiltelefons mit dem eines Taschencomputers bzw. eines *Personal Digital Assistant* (PDA, *persönlicher digitaler Assistent*). Es folgt nun ein kurzer Exkurs in die Entwicklung von den PDAs (siehe Kapitel 7.4.1), um die Funktion und den Funktionsumfang dieser Geräte zu erläutern. Diese Gegenüberstellung soll den Unterschied zwischen PDAs und Smartphones (siehe Kapitel 7.4.2) verdeutlichen.

7.4.1. Personal Digital Assistant (PDA)

Die ersten Vorreiter von PDAs waren Anfang der 1980er Jahre die sogenannten elektronischen Organizer, die aus der Entwicklung von programmierbaren Taschenrechnern hervorgingen. Aus den elektronischen Organizern entwickelten sich Anfang der 1990er Jahre die ersten sogenannten PDAs. Dies waren kleine kompakte, tragbare Rechner, die dem Nutzer neben den herkömmlichen Funktionen, wie z. B. die persönliche Adressen-, Kalender- sowie Aufgabenverwaltung, auch das Bespielen von kleineren Applikationen bzw. Programmen ermöglichten. PDAs sind meist mit einem nicht so umfangreichen, dafür aber mit einem schnellen Betriebssystem ausgestattet. Für die Bedienung und Eingabe wurden vorwiegend berührungsempfindliche *LC-Displays* (LCD, *liquid crystal display*) verwendet. Dar-

7. AR für die breite Masse

über hinaus beherrschten auch viele PDAs die *Handschrifterkennung*. Aktuelle Generationen sind auch mit einem *Internetbrowser* ausgestattet. Ihnen stehen auch die gängigsten *Schnittstellen*, wie z. B. ein *USB-Port* oder kabellose *Infrarot-* bzw. *Bluetoothschnittstellen* usw., für die Datenübertragung und Synchronisation zwischen unterschiedlichen Geräten zur Verfügung. Die aktuellsten Geräte zeichnen sich auch dadurch aus, dass sie über WLAN oder *Bluetooth* eine drahtlose Verbindung zum Internet herstellen können. Weiters verfügen sie zusätzlich über einen *mobilen Internetzugang* via Mobilfunknetz, der einen uneingeschränkten Zugang zum Internet garantiert. Des Weiteren können PDAs noch mit einem *Kartenlesegerät* für diverse Speicherkarten (z. B.: Compact Flash (CF), SD Memory Card, MiniSD, MicroSD, Multimedia Card (MMC)) für die Datensicherung, zur Speicherkapazitätserweiterung oder für den schnellen Datentransfer zwischen diversen Geräten (z. B. dem Computer) ausgestattet sein. Darüber hinaus werden Geräte der neuesten Generation auch mit *GPS-Empfängern* für die Navigation, einer digitalen Foto- bzw. Videokamera zur Aufnahme von Bildern bzw. Filmen ausgestattet und beinhalten im Allgemeinen auch schon einen integrierten MP3-Player für das Abspielen von Musik. Jedoch musste bei PDAs, z. B. bei einer Änderung einer Telefonnummer oder in der Adressverwaltung, ein Datenabgleich zwischen drei Geräten (PDA, Mobiltelefon und PC), durchgeführt werden.

7.4.2. Smartphones

Die ersten *Smartphones* kamen Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrtausends auf den Markt. Durch die immerwährende Weiterentwicklung dieser, mittlerweile, „Alleskönner“ verloren PDAs immer mehr an Attraktivität für die Nutzer. Somit spielen sie heutzutage am Markt praktisch nur mehr eine geringe Nebenrolle, da Smartphones die Funktionen und die Funktionalität von PDAs und von Mobiltelefonen übernehmen bzw. vereinen und einen *Internetzugang* zur Verfügung stellen. Darüber hinaus fällt, z. B. bei einer Telefonnummeränderung, nur mehr ein Datenabgleich zwischen zwei Geräten (Smartphone und PC) und nicht zwischen drei, wie bereits zuvor erwähnt, an. Auch das Mitsichtragen mehrerer Geräte bleibt dem Nutzer erspart.

Smartphones sind von der Konstruktion und Bedienung nicht nur für das Telefonieren entwickelt worden, sondern ermöglichen auch die komfortable Benutzung von unterschiedlichsten Anwendungen. Ein bezeichnendes Charakteristikum gegenüber Mobiltelefonen sind verhältnismäßig große, hochauflösende Bildschirme,

die auf der Grundlage von Fingerberührungen basieren und darüber hinaus über eine alphanummerische Tastatur verfügen.

Smartphones verfügen auch über ein eigenes, speziell für Smartphones konzipiertes und für deren Gebrauch ausgelegtes *Betriebssystem*. Dieses ähnelt jedoch durch seine Benutzerführung eher einem Desktop-Computer als einem klassischen Mobiltelefon mit seiner starren Menüstruktur. Des Weiteren erlauben diese Betriebssysteme dem Nutzer das Installieren von Programmen von Drittherstellern. Hier hat sich in den letzten Jahren speziell für Anwendungen moderner Smartphones die Bezeichnung *App* (die englische Kurzform für „*Application*“) etabliert. Darüber hinaus können in Smartphones gegenüber herkömmlichen Mobiltelefonen auch eine Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren, wie z. B. *Lage-, Magnetfeld-, Bewegungs-, Licht- und Näherungssensoren* sowie *GPS-Empfänger*, eingebaut sein.

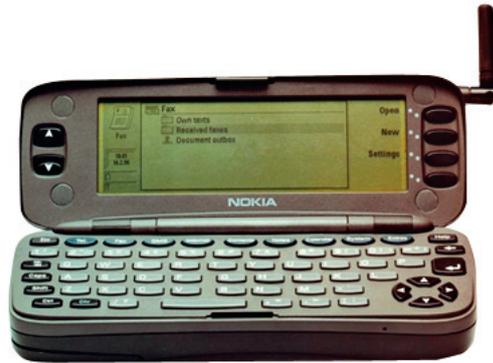
Fast alle Smartphones sind mindestens mit einer Digitalkamera ausgestattet, die dem User erlaubt, Fotos bzw. Filme aufzunehmen. Mit zusätzlicher, zum Teil im Betriebssystem mitgelieferter Software können diese auch nachträglich bearbeitet werden. Geräte der neuesten Generation verfügen über zwei Kameras, wobei eine für die Bildtelefonie verwendet werden kann.

Für die Synchronisation werden die standardüblichen Schnittstellen und Verbindungsarten wie *USB, Infrarot, Bluetooth* sowie *WLAN* verwendet. Hinzukommend werden diese noch durch die im *Mobilfunknetz* verwendeten *Mobilfunkstandards* der *zweiten* (2G: GSM, GPRS) sowie *dritten Generation* (3G: UMTS, HSDPA) ergänzt. In Zukunft sollen auch die neuesten Geräte, nach Einführung des neuesten *Mobilfunkstandards* der *vierten Generation* (4G: LTE-Advanced), mit dieser Technik ausgestattet werden. Diese ermöglicht dem Nutzer eine noch höhere *Datenübertragungsrate* als bei der dritten Generation.

Somit können Nutzer solcher Smartphones bei der Kommunikation nicht nur auf die normale Mobiltelefonie und das Versenden von *SMS, MMS* sowie *E-Mails* zurückgreifen, sondern es steht ihnen auch die Möglichkeit der *Internetnutzung* über das *Mobilfunknetz* oder über ein *WLAN (Hot Spots, Internet-Zugriffspunkte)* für *Videokonferenzen* sowie die *Internet-Telefonie* (VoIP, *Voice over IP*) zur Verfügung. Darüber hinaus können Smartphones auch als *Wireless Access Point* (WAP, *drahtloser Internetzugriffspunkt*) für andere Geräte, wie z. B. ein Notebook, verwendet werden. Mittlerweile ist es auch möglich Videos direkt aus dem Internet zu streamen, ebenso werden auch schon *Live-Fernsehprogramme* über entsprechende



(a) „Simon - Personal Communicator“ des Unternehmens IBM



(b) Nokia 9000 Communicator

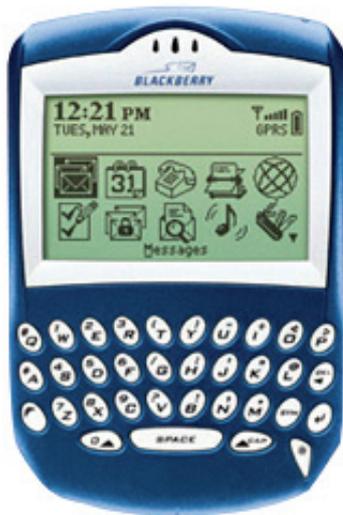
Abbildung 7.3.: Smartphones der frühesten Generation [RRJ⁺11]

Portale angeboten.

Das nächste Unterkapitel gibt dem Leser einen Einblick in die Entwicklung und Geschichte der Smartphones.

7.4.3. Meilensteine in der Entwicklung der Smartphones

Das Unternehmen IBM brachte 1993 das erste Smartphone unter dem Namen „*Simon - Personal Communicator*“ (siehe Abbildung 7.3(a)) auf den Markt. „*Simon*“ war eine Kombination aus Mobiltelefon und PDA. Darüber hinaus verfügte es über ein integriertes Faxgerät und konnte auch schon E-Mails empfangen und versenden. Das Design war sehr sperrig und die Anschaffungskosten waren ausgesprochen hoch. Nokia entwickelte in den späten 90er Jahren des 20. Jahrhunderts einen seiner ersten Communicatoren, den *Nokia 9000 Communicator* (siehe Abbildung 7.3(b)). Diese Mobiltelefonserie war ebenfalls eine Kombination aus einem Mobiltelefon und einem PDA. Neuere Generationen des *Communicators* verfügten bereits über einen *Internetbrowser*. Auch das kanadische Unternehmen Research in Motion (RIM) brachte Ende der 1990er Jahre seine ersten Smartphones auf den Markt. Das Unternehmen taufte seine Smartphone-Serie mit dem Namen „*BlackBerry*“ (siehe Abbildung 7.4(a)). Charakteristisch stechen BlackBerrys durch ihre *QWERTZ-Tastatur* hervor. Eine wesentliche Entwicklung von RIM war, dass *E-Mails* als *Push-Dienst* empfangen werden konnten. Dies be-



(a) RIM Blackberry 6210



(b) Palm Treo 600

Abbildung 7.4.: Weiterentwicklungen von Smartphones [RRJ⁺11]

deutet, dass *elektronische Nachrichten* automatisch auf das Endgerät, wie es bei *SMS-* und *MMS-Nachrichten* der Fall ist, geschoben werden und nicht erst vom Gerät selbst bzw. vom Nutzer abgerufen werden müssen. Die in Kalifornien angesiedelte Firma Palm — einer der bekanntesten Hersteller von PDAs weltweit — brachte nach Übernahme des Unternehmens Handspring 2003 den *Palm Treo 600* (siehe Abbildung 7.4(b)) heraus. Die *Palm Treo-Serie* kombinierte einige der besten Eigenschaften der PDAs von Palm mit den Konturen eines Mobiltelefons und schaffte somit ein Smartphone, das nicht nur Business-Nutzer ansprach. Weiters unterstützte der *Treo* auch die Installation von Applikationen von Drittanbietern.

Ende Juni 2007 erfreute der kalifornische Technologiekonzern Apple sein Publikum mit der Veröffentlichung seines revolutionären sowie lang ersehnten und mit unglaublicher Spannung erwarteten Smartphones, das sogenannte *iPhone* (siehe Abbildung 7.5). Dieses Smartphone stellte alle bisherigen auf dem Markt erhältlichen Geräte in den Schatten und war richtungsweisend für die Weiterentwicklung des Smartphones weltweit. Das iPhone ist mit einem relativ großen *Multi-Touch-Bildschirm* ausgestattet, das die Bedienung des Gerätes mit mehreren Fingern, genauer gesagt mit den Fingerspitzen, ermöglicht. Durch diesen Multi-Touch-Bildschirm werden unterschiedliche Fingergesten für die Interaktion mit dem iPhone unterstützt. Somit entfällt auch der Gebrauch von unzähligen Be-



Abbildung 7.5.: Apple's iPhone 3G mit iOS aus dem Jahre 2008 [RRJ⁺11]

dientasten jeglicher Art wie z. B. bei normalen Mobiltelefonen oder älteren, aber auch neueren Smartphones. Auch der mitgelieferte *Webbrowser Safari* machte das *mobile Internetsurfen* nicht nur möglich, sondern versetzte den Nutzer in eine bis dahin noch nicht gesehene *Web(Internet)-Browsing-Erfahrung*. Für das iPhone wurde das *Standard-Betriebssystem iOS* (bis Juni 2010 *iPhone OS*) entwickelt, das gegenwärtig alle anderen mobilen Geräte von Apple wie z. B. das *iPad* und den *iPod Touch* unterstützen. Dieses *mobile Betriebssystem* basiert auf *Mac OS X* und erlaubt es dem Nutzer eine Verbindung mit dem *iTunes* und in weiterer Folge mit dem *Apple's App Store* (siehe Kapitel 8.2) herzustellen. Somit dient *iTunes* als *Schnittstelle* zwischen dem *mobilen Betriebssystem iOS* und Apple's *Mac OS X Betriebssystem* für Apple-Computer. Seit der Einführung der ersten (iPhone-) Generation 2007 ist seit September 2012 mittlerweile schon die sechste Generation, das *iPhone 5* am Markt verfügbar.

Auch das US-amerikanische Unternehmen Google, mit Sitz in Kalifornien, entschied sich für den Einstieg in den Smartphone-Markt. Im Sommer 2005 übernahm Google daher die Firma *Android*. Damals war über *Android* kaum etwas bekannt, außer, dass das Unternehmen Software für Mobiltelefone herstellt [Elg05]. Nach



Abbildung 7.6.: Google's G1 mit Android als OS [Goo]

vielen unbestätigten Gerüchten erfolgte im November 2007 durch Google die Enthüllung eines neuen Betriebssystems für Mobiltelefone mit den Namen Android. Zu jener Zeit beteiligten sich 34 Unternehmen, einschließlich Google, an der neu ins Leben gerufenen *Open Handset Alliance*². Die *Open Handset Alliance* ist eine multinationale Allianz, die an der Entwicklung der unabhängigen und *quelloffenen* (*Open-Source*) *mobilen Android-Plattform* zusammenarbeitet [Rea07]. Diese Allianz setzt sich aus unterschiedlichsten internationalen Unternehmen aus verschiedensten Branchen zusammen wie z. B. T-Mobile, Vodafone, HTC, Samsung, Motorola, Intel, NVIDIA, Google usw. Heute umfasst die Allianz 84 Mitglieder [OHA].

Das erste Smartphone, das mit dem *mobilen Betriebssystem Android* ausgestattet wurde, war das *HTC Dream* und kam im Herbst 2008 auf den Markt. Bekannt und vermarktet wurde dieses Smartphone weltweit unter dem Namen *Google G1* (siehe Abbildung 7.6). Seit der Einführung von *Android* als mobiles Betriebssystem für Smartphones kamen im Zeitraum von weniger als fünf Jahren *neun Versionen* des mobilen OS auf den Markt.

Der nächste Abschnitt befasst sich im Allgemeinen mit AR auf Smartphones und der ersten AR-Applikation, die AR auf diesen Geräten ermöglichte.

²<http://www.openhandsetalliance.com/>

7.5. AR auf Smartphones

Das erste Smartphone, das AR als eine neue Technologie in einem kommerziellen Sinne realisierbar bzw. AR einer breiteren Masse zugänglich gemacht hat, war *Google's G1*. Wie bereits erwähnt, handelt es sich hierbei um das erste Smartphone, das mit Google's mobilem Betriebssystem *Android* ausgestattet wurde. Das Ende Oktober 2008 erschienene mobile Gerät war das erste Smartphone seiner Art, das mit den dafür benötigten Hardwarekomponenten versehen war: einem *GPS-Empfänger*, *Beschleunigungssensoren* und einem *digitalen Kompass*. Somit wurde AR auf Smartphones ermöglicht.

Die *erste kommerzielle AR-Applikation*, die auf den Markt kam, war 2008 der *AR-Browser* (siehe Kapitel 8.3.1) „*Wikitude World Browser*“. Dieser Browser wurde auf dem *G1* zugleich mit Google's mobilem Betriebssystem *Android* vorgestellt.

Mitte 2009 folgte Apple mit der Veröffentlichung des *iPhone 3GS*. Das iPhone 3GS war bereits Apple's dritte Generation seines Smartphone-Flaggschiffes, das, wie auch alle anderen iPhone-Modelle, mit dem mobilen Betriebssystem *iOS* ausgestattet war. Gegenüber dem Vorgänger-Modell, wurde das 3GS mit einer *schnelleren CPU*, einem größerem Arbeitsspeicher und zusätzlich mit einem *digitalen Kompass* versehen. Mit den nun eingebauten Komponenten und Sensoren konnte auch AR auf dem iPhone realisiert werden.

Im gleichem Jahr folgte eine *Wikitude-Version* für Apple's mobiles Betriebssystem *iOS*. Später wurden noch Versionen von *Wikitude* für die restlichen mobilen Betriebssysteme wie *Symbian*, *BlackBerry OS* usw. veröffentlicht.

Natürlich müssen Smartphones gewisse *technische Anforderungen* erfüllen, damit AR auf solchen Geräten realisiert werden kann. Hierfür müssen bestimmte *elektronische Bauelemente* in den Smartphones eingebaut bzw. verbaut sein. Das nächste Kapitel beschreibt ausführlich die benötigten *elektronischen Komponenten*.

7.6. Die elektronischen Bauelemente für die Realisierung von AR auf Smartphones

Smartphones vereinen alle in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen elektronischen Komponenten, wie z. B. einem *GPS-Empfänger*, *Beschleunigungssensoren*, einem *digitalen Kompass* usw., in einem kleinen und handlichen Gerät. Auch die

7.6. Die elektronischen Bauelemente für die Realisierung von AR auf Smartphones

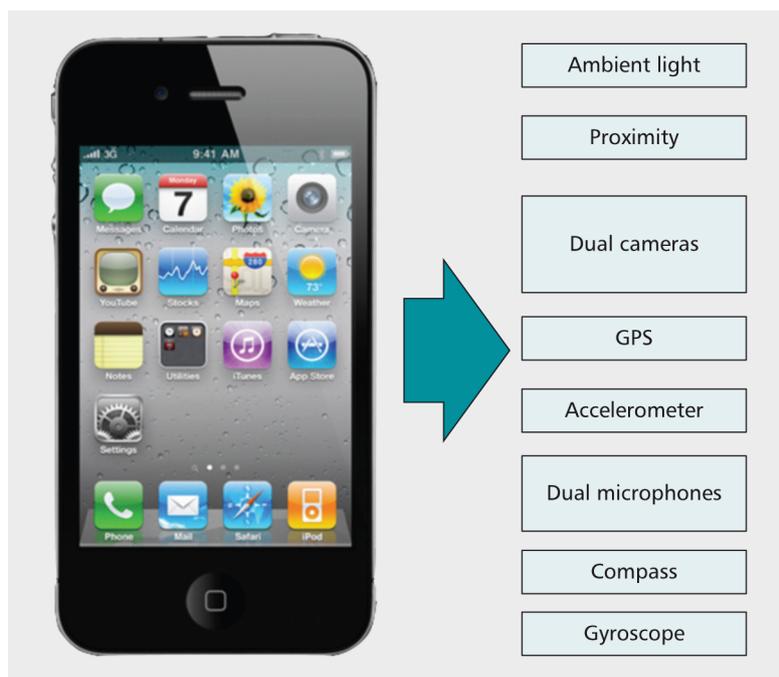


Abbildung 7.7.: iPhone 4 mit seinen eingebauten Sensoren [LML+10]

Verbreitung solcher „Alleskönner“ nimmt immer größere Ausmaße an. Die Anzahl an verkauften Smartphones nimmt weltweit zu. Das österreichische Markt- und Meinungsforschungsinstitut INTEGRAL führte im zweiten Quartal 2011 zur Verbreitung von Smartphones in Österreich eine Untersuchung durch und kam zum Schluss, dass neun von zehn Österreicher ein Mobiltelefon besitzen und davon bereits ein Drittel ein Smartphone [INT11]. Der Trend wird in Zukunft aber immer mehr in Richtung Multifunktionalität gehen. Diese Entwicklung zeigt sich auch in anderen Industrieländern und bestätigt somit die aufstrebende Tendenz der Smartphones

Wie bereits vorher erläutert, muss jedoch das Smartphone für die Realisierung von AR gewisse Voraussetzungen erfüllen. Hierfür sind die dafür eingebauten *elektronischen Sensoren, Komponenten* sowie *Empfänger*, wie z. B. eine *digitale Kamera* (siehe Kapitel 7.6.1), ein *GPS-Empfänger* (siehe Kapitel 7.6.2), ein *digitaler Kompass* (siehe Kapitel 7.6.3), *Beschleunigungssensoren (Accelerometer)* (siehe Kapitel 7.6.4) usw., verantwortlich. Bei den Sensoren handelt es sich meist um sogenannte *mikro-elektromechanische Systeme (MEMS)*, die auf Halbleiterbauteilen angebracht werden. Ohne diese Sensoren wäre AR auf Smartphones nicht möglich. Daher werden sie nachfolgend etwas näher ausgeführt.

7.6.1. Digitale Kamera/Videokamera

Eine *digitale Kamera* wird zum Aufnehmen von Bildern verwendet. Bei der *digitalen Fotografie* werden die Bilder von einem *digitalen Sensor* aufgenommen und auf ein Speichermedium gespeichert. Somit fällt im Gegensatz zu einer herkömmlichen (analogen) Kamera das Einlegen eines Filmes und dessen Entwicklung weg. Als weiterer Vorteil der *digitalen Fotografie* sei erwähnt, dass die aufgenommenen Fotos direkt am dafür angebrachten Display der Digitalkamera oder auf einem handelsüblichen Computer betrachte werden können. Für den Ausdruck eines digital aufgenommen Fotos wird lediglich eine Farbdrucker benötigt. Spezielles Fotopapier kann für eine bessere Qualität des Ausdruckes verwendet werden.

Digitalkameras gibt es grundsätzlich in zwei bekannten Bauformen — als *Kompakt-* und *Spiegelreflexkamera*, ähnlich, wie in der analogen Fotografie. Doch mittlerweile gibt es auch schon eine Vielzahl von Zwischenformen.

Die ersten Versuche und Ideen ein Mobiltelefon mit einer Kamera zu kombinieren gehen auf die 90er Jahre des 20. Jahrhunderts zurück. Dem Erfinder und Unternehmer Philippe Kahn gelang es erstmals 1997 ein Foto mit einem Handy aufzunehmen und dieses an seine Freunde zu verschicken [His]. Die ersten richtigen *Fotohandys* kamen um die Jahrhundertwende auf den Markt. Natürlich waren die Auflösungen und die Bildqualität nicht mit konventionellen Digitalkameras zu vergleichen, aber es kam schon zu ansehnlichen Ergebnissen. Es wurden auch unzählige Technologien wie das *MMS (Multimedia Messaging Service)*, *Bluetooth-* oder *Infrarotschnittstellen* entwickelt. So konnten sich die Nutzer die aufgenommenen Bilder untereinander zusenden.

Mittlerweile wird in fast jedes moderne Mobiltelefon standardmäßig eine *Digitalkamera* mit Auflösungen zwischen zwei bis zwölf Megapixel, eingebaut. Gegenwärtig gibt es auch unzählige Plattformen und Applikationen, um die aufgenommenen Fotos sofort online zu stellen und diese mit seinen Freunden oder anderen Usern zu teilen. Inzwischen besteht auch die Möglichkeit die Bilder mit Hilfe eines *GPS-Empfängers* zu verorten. Dies wird auch *Geotagging* oder *Geo-Imaging* genannt. Des Weiteren können mit den eingebauten Digitalkameras auch einzelne Videosequenzen oder auch — abhängig von der Speicherkapazität — Videofilme aufgenommen werden. Digitalkameras, die in den aktuellen Smartphones eingebaut werden, erlauben es inzwischen Filme in HD-Qualität aufzunehmen und wiederzugeben.

Die *digitalen Kameras* befinden sich bei herkömmlichen Mobiltelefonen sowie

7.6. Die elektronischen Bauelemente für die Realisierung von AR auf Smartphones

bei Smartphones auf der Rückseite der Geräte. Die Kamera ist mit dem Display gekoppelt und bedient sich einer ähnlichen Handhabung wie bei digitalen Kompaktkameras. Natürlich unterscheidet sich das *Interface* nach Herstellern bzw. unterscheidet sich das *Kamera-Interface* je nach der verwendeten Applikation. Auch die *Videotelefonie* ist heute mit traditionellen Mobiltelefonen sowie Smartphones möglich. Dazu bedarf es allerdings des Einbaues einer zusätzlichen Kamera auf der Vorderseite des Gerätes bzw. eines schwenkbaren Kameraelementes, damit man mit seinen Gesprächspartner auch immer direkt in Blickkontakt bleiben kann. Diese, zumeist zusätzlich eingebaute Kamera hat meistens eine geringere Auflösung und somit eine verringerte Aufnahmequalität.

7.6.2. GPS-Empfänger

GPS steht für Global Positioning System. Häufig wird auch die Bezeichnung *globales Navigationssatellitensystem* (GNSS, *Global Navigation Satellite System*) verwendet. Hierbei handelt es sich um ein *satellitengestütztes System* zur genauen *Positionsbestimmung* eines *GPS-Empfängers* auf der Erde oder in der Luft. Dieses System wurde vom US-amerikanischen Verteidigungsministerium (DOD, U.S. Department of Defense) ins Leben gerufen, und finanziert und wird heute noch betrieben. Die offizielle Bezeichnung dieses Systems lautet eigentlich *NAVSTAR* (*NAVigation System Timing and Ranging*) GPS. Doch der Terminus *GPS* hat sich durchgesetzt und wird mittlerweile auf der ganzen Welt synonym für GNSS verwendet. Das Konzept wurde durch gemeinsame Bemühungen der U.S. Army, der U.S. Navy sowie der U.S. Air Force in die Wege geleitet. Der erste *GPS-Satellit* wurde 1973 ins Weltall geschossen und in seine Umlaufbahn gebracht. Seit 1993 ist das System in vollem Umfang funktionsfähig und einsatzbereit. Die nominale Anzahl von im Orbit befindlichen GPS-Satelliten für den allgemeinen Gebrauch besteht aus 24 Satelliten (21 werden benötigt, drei Ersatzsatelliten) (siehe Abbildung 7.8). Im Moment befinden sich ca. 30 GPS Satelliten in der Erdumlaufbahn. Sie umkreisen die Erde in einer Höhe von etwa 20.000 Kilometern und haben eine Umlaufzeit von ca. 12 Stunden. Die Satelliten befinden sich in sechs nahezu kreisförmigen Umlaufbahnen. Die *Inklination* beträgt 55° , das heißt, dass die Umlaufbahnen bis 55° südlicher und 55° nördlicher Breite gehen. In einer dieser sechs Ebenen befinden sich vier Satelliten. Diese Konstellation der Umlaufbahnen versichert die gleichzeitige Sichtbarkeit von fünf bis acht Satelliten von jedem Punkt der Erde aus. Das *GPS* besteht aus folgenden drei *Segmenten*: dem *Satellitenseg-*

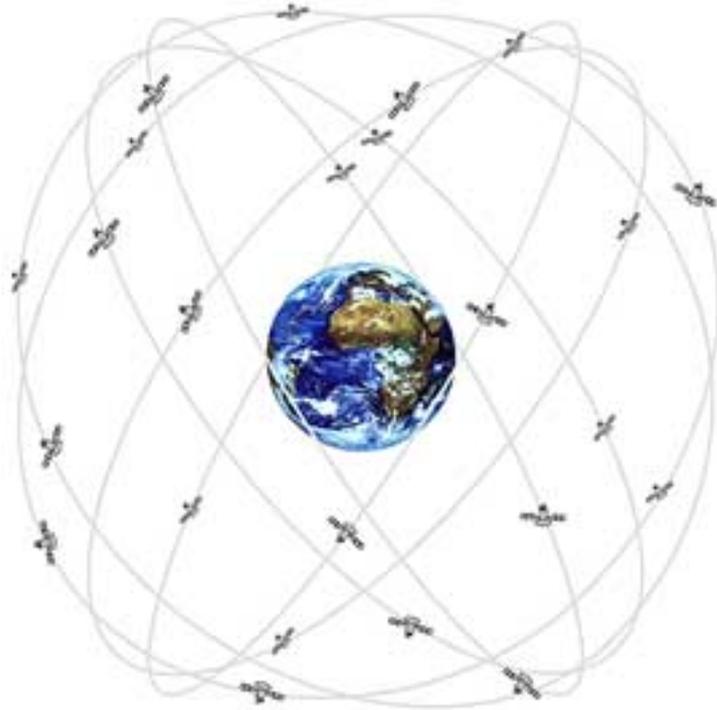


Abbildung 7.8.: Umlaufbahnen der GPS-Satelliten [Orb]

ment und dessen Konstellation, dem *Nutzersegment*, das sind alle sowohl zivilen als auch militärischen Empfänger, und aus dem *Kontrollsegmenten*, bestehend aus Bodenstationen, die die Operabilität und Funktion des Systems aufrechterhalten [GB04].

Wie bereits erwähnt, handelt es sich beim *NAVSTAR GPS* im Grunde um ein in erster Linie rein militärisches System. Deshalb wurde das versendete Signal für die zivile Nutzung vom U.S. Department of Defense durch das Hinzufügen von *künstlichen Rauschsignalen* gestört. Diese Art der Fehlerquelle wurde als *Selective Availability* (SA, *wählbare Verfügbarkeit*) bezeichnet. Damit verschlechterte sich die Genauigkeit der Positionsbestimmung für zivile bzw. nichtmilitärische Empfänger auf etwa 100 Meter. Die Störeffekte der SA konnten durch Verwendung von *Chiffrierschlüssel* oder durch *differentiale Techniken* beseitigt werden. Am 1. Mai 2000 stellte die Bundesregierung der Vereinigten Staaten die SA für zivile bzw. nichtmilitärische Empfänger ein. Somit verbesserte sich die Positionsgenauigkeit bis auf wenige Meter [GB04].

Die Positionsbestimmung mittels *GPS* beruht grundsätzlich auf der *Triangulation* im Raum. Diese basiert auf Messungen von Distanzen zwischen Empfänger

7.6. Die elektronischen Bauelemente für die Realisierung von AR auf Smartphones

und Satelliten. Der räumliche Abstand zwischen Empfängern und Satelliten wird durch Zeitmessungen ermittelt. Dazu wird der Aussendezeitpunkt des Signals vom Satelliten mit dem Zeitpunkt des Empfanges im Empfänger verglichen. Eine Messung zu einem einzelnen Satelliten platziert den Empfänger irgendwo auf einer Sphäre/Kugel mit dem Radius der gemessenen Distanz und den Satelliten als Mittelpunkt. Für eine genaue Positionsbestimmung werden aber drei Distanzmessungen zu drei unterschiedlichen Satelliten benötigt. Die genaue Position wird dann aus der Verschneidung der drei Sphären/Kugeln ermittelt und entspricht dann zwei Schnittpunkten im Raum. Bei einem dieser Schnittpunkte handelt es sich um eine unmögliche Lösung, die vom Empfänger verworfen werden kann, da sie sich im Weltraum befindet. Trotzdem aber werden für eine korrekte Positionsangabe mindestens vier Satelliten benötigt. Wie bereits erwähnt, werden für die Messung der Distanz zwischen Satellit und Empfänger die Signallaufzeiten gemessen. Allerdings kann es bei den Empfängern zu Zeitmessfehlern kommen, da diese, im Gegensatz zu den Satelliten, nicht mit Atomuhren ausgestattet sind. Um diese Ungenauigkeiten auszugleichen, wird nun ein vierter Satellit herangezogen, mit dessen Hilfe die Distanzfehler korrigiert werden können [GB04].

Seit einigen Jahren arbeiten auch andere Länder an globalen Satellitennavigationssystemen und bieten Alternativen zum *NAVSTAR GPS* an. Seit Ende des Jahres 2011 ist das russische Pendant *GLONASS* (*Globalnaja Nawigazionnaja Sputnikowa Sistema*) weltweit verfügbar. Hierbei handelt es sich auch um ein militärisches, vom russischen Verteidigungsministerium betriebenes GNSS, das zur Zeit mit 31 Satelliten im Weltraum vertreten ist.

Das zivile europäische Satellitennavigationssystem trägt den Namen *GALILEO*. Laut Informationen der European Space Agency (ESA) sollen die ersten Dienste voraussichtlich 2014 mit 18 Satelliten zur Verfügung stehen und 2020 sollen die restlichen Satelliten folgen. Das komplette System umfasst dann 30 Satelliten.

Die unterschiedlichen GNSSe — basierend auf dem Prinzip des *NAVSTAR GPS* — funktionieren alle ähnlich. Im Wesentlichen liegt der Unterschied in der Höhe der Umlaufbahnen, der Inklination, der Anzahl der Bahnebenen, den Umlaufzeiten sowie den zum Teil unterschiedlich Frequenzen. Bei entsprechender Konstruktion der Empfangsgeräte können diese Vorrichtungen sowohl *NAVSTAR GPS*-, *GALILEO*- als auch *GLONASS-Daten* empfangen und diese auch kombinieren. Durch die Kombination aller drei GNSS kann eine höhere Anzahl von gleichzeitig erreichbaren bzw. sichtbaren Satelliten und somit eine sehr hohe Genauigkeit der



Abbildung 7.9.: Das erste GPS-fähige Mobiltelefon der finnischen Firma Benefon [Benb]

Position erzielt werden.

Eines der ersten Mobiltelefone weltweit, das mit einem eingebauten *GPS-Empfänger* ausgestattet wurde, war das *Benefon Esc!* (siehe Abbildung 7.9) der finnischen Firma Benefon das 1999 auf den Markt kam. Es verfügte über ein Graustufen-Vollgrafik-Display mit einer Auflösung von 100 x 160 Bildpunkten (Pixel). Des Weiteren waren Features, wie z. B. ein GPS-Navigator mit Karten für die Navigation in Bergen, Städten oder auf hoher See, eine Funktion für das Auffinden anderer Benefon Esc!-Nutzer, das Versenden einer Notrufnachricht mit ihrer Position u.v.a.m., im Mobiltelefon integriert [Bena]. Mittlerweile gehört ein integrierter GPS-Empfänger bei Mobiltelefonen bzw. Smartphones mit entsprechender Navigations-Funktion und -Software zum Standard und ist aus unserem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken.

Bis heute haben erst wenige Smartphone-Hersteller eine *GLONASS-Unterstützung* in ihren High-End-Geräten eingebaut. Die ersten Smartphones mit dieser Unterstützung kamen 2011 auf den Markt. Mitunter waren dies Apple's *iPhone 4S* sowie Smartphones des chinesischen Telekommunikationsunternehmens ZTE und des US-amerikanischen Telekommunikationsunternehmens Motorola.

Bei herkömmlichen GPS-Empfängern kann es mitunter zu sehr langen Warte-

7.6. Die elektronischen Bauelemente für die Realisierung von AR auf Smartphones

zeiten, einem *Time to First Fix* (TTFF) kommen. TTFF ist die Zeitspanne, die ein GPS-Empfänger nach dem Aktivieren für die erste Positionsbestimmung benötigt. Wird ein konventioneller GPS-Empfänger „kalt“, das heißt ohne genaues Wissen über die *aktuelle GPS-Satelliten-Konstellation* gestartet, kann es des öfteren einige Minuten dauern, bis eine erste Position bestimmt werden kann. Hinzu kommt noch, dass es in städtischen Bereichen durch die starke und hohe Bebauung zu Abschattungen des *GPS-Signales* kommen kann, was eine sehr ungenaue Positionsbestimmung zur Folge hat. Oder aber es kann auch der Fall auftreten, dass es überhaupt nicht zu einem Sichtkontakt zu den benötigten Satelliten kommt. In geschlossenen Räumen und Tunneln ist eine Positionsbestimmung mit *GPS* sowieso fast unmöglich. In vielen Fällen bedarf es jedoch einer schnelleren Bestimmung der aktuellen Position, z. B. in Fällen von Notrufen.

Für eine schnellere Verortung kommt nun das *Assisted GPS* (A-GPS, AGPS, *unterstütztes GPS*) zum Einsatz. Beim AGPS bedient man sich der Ortungstechnologien aus dem Bereich der mobilen Telekommunikation zur Bestimmung der aktuellen Position. Somit kann die TTFF von einigen Minuten, bei herkömmlichen GPS-Empfängern, bis auf einige Sekunden oder weniger verringert werden. Diese Technologien wurden durch den in den USA eingeführten *Enhanced 911 (E911) Dienst* forciert. Dieser Dienst schreibt vor, dass bei einem eingehenden Notruf, die Standortangaben des Anrufers vollautomatisch der Rettungsleitstelle übermittelt werden. Auch in Europa wurde diese Anrufortung für den *Euronotruf 112* erweitert und wird *E112* genannt. Genauer gesagt werden für die genaue Positionsbestimmung Daten aus dem Mobilfunknetz herangezogen. Hier sind bekannte Methoden aus der *Mobilfunkortung* und die Analyse der Signalparameter, wie z. B. Signallaufzeit, Signalrichtung oder Signalstärke, gefragt ([BCKM04], [DR01] und [GB04]).

Heutzutage sind viele Smartphones mit einem *AGPS-Empfänger* ausgestattet und ermöglichen daher eine sehr schnelle und recht genaue Ortsbestimmung. Somit ist der User nicht mehr nur abhängig von der Erreichbarkeit der *GPS-Satelliten*. Des Weiteren gelingt auch die Ortung in sehr eng bebauten städtischen Gebieten sowie innerhalb von Gebäuden und Tunneln.

7.6.3. Digitaler Kompass

Allgemein wird ein *Kompass* zur Bestimmung der Himmelsrichtungen verwendet und dient dem Nutzer größtenteils als Hilfe bei der Orientierung und Navigation

im freien Gelände. Die in Smartphones eingebauten Kompass, sogenannte *elektronische* oder *digitale Kompass*, bestehen heutzutage aus Halbleiterbauteilen, auf denen Sensoren zur Messung des *Magnetfeldes* der Erde angebracht sind. Bei diesen Sensoren handelt es sich um sogenannte MEMS. Diese *MEMS-Sensoren* können auf unterschiedliche Art und Weise das *Erdmagnetfeld* messen. Bei den sogenannte *Hall-Sensoren* wird das *Magnetfeld* anhand des *Hall-Effektes* gemessen [DW11]. Andere Hersteller von *digitalen Kompassen* bedienen sich zur Messung des *Erdmagnetfeldes* der *Lorentzkraft* und bauen in ihren Modulen dementsprechende *MEMS-Sensoren* ein [GR11]. Diese Sensoren produzieren Werte bzw. Daten über das *Magnetfeld* und liefern diese an einen *Mikroprozessor*, der die gemessenen Daten auswertet. Diese Daten werden mit Hilfe einer adäquaten Applikation verarbeitet und dem Nutzer wird am Smartphone-Display ein *Kompass* mit den Himmelsrichtungen, wie bei einem *konventionellen* und *analogen Kompass*, angezeigt. Aber auch andere Applikationen können die Daten des *digitalen Kompasses* erfassen bzw. auf diese Daten zugreifen. In weiterer Folge werden sie im Hintergrund für die Ausführung der Applikation verwendet.

7.6.4. Beschleunigungssensor (Accelerometer)

Beschleunigungssensoren sind MEMS, die dem Gerät mitteilen, in welcher Lage es sich gerade befindet. Diese Art von Sensoren sind in fast jedem Smartphone mit größerem Display eingebaut. Die meisten High-End Geräte werden mit Displays mit einer vertikalen Ausrichtung/Orientierung ausgestattet, was für die einfache Bedienung ausreichend ist. Für andere Aktivitäten, wie z. B. das Surfen im Internet über relative kleine Screens oder das Betrachten von Videos auf dem Smartphone, wird wiederum eine horizontale Orientierung bevorzugt. Damit zwischen diesen beiden Modi nicht immer manuell eine eigene Einstellung zur gerade gewünschten Ausrichtung des Bildschirms gewählt werden muss, werden für diese Feature sogenannte Accelerometer eingebaut. Mit Hilfe dieser Sensoren wird das Display automatisch, in Abhängigkeit von der Lage, in der sich das Smartphone gerade befindet, in eine horizontale oder vertikale Lage ausgerichtet [UJ11]. Somit muss für die Ausrichtung des Displays einfach nur das Gerät gedreht werden, um die Anzeige in die gewünschte Position zu bringen. Des Weiteren können noch eine Vielzahl anderer Funktionen mit Hilfe von Lagesensoren realisiert werden.

Beschleunigungssensoren sind *Festkörperbauelemente*, in welchen Halbleiterbauteile zum Einsatz kommen, die in das Gehäuse von Smartphones eingebaut

werden. Sie messen die Beschleunigung des Gerätes in allen drei Achsen. Die Funktionsweise eines *Beschleunigungssensors* wird anhand des folgenden Beispiels erklärt: Wenn das Smartphone flach auf einen waagrecht ausgerichteten Tisch gelegt wird, wirkt auf das Gerät nur eine Kraft nach unten — die Gravitation, und Null-Beschleunigung in die beiden anderen Richtungen. Sobald das Smartphone bewegt wird, messen nun die Sensoren die relative Orientierung zur Ausgangslage des Gerätes. Somit wissen die Sensoren immer in welcher Lage sich das Smartphone befindet [Rav].

7.6.5. Gyroskop (Kreiselinstrument)

Auch bei diesen im Gehäuse eingebauten Sensoren handelt es sich um MEMS, in denen Halbleiterbauteile zum Einsatz kommen. Ursprünglich wurden *Gyroskope* für Messungen sowie für die Überwachung und die Steuerung von Geräten bezüglich deren Position, Orientierung, Drehung und Winkelbewegungen im Raum entwickelt. Sie wurden größtenteils für Navigationssysteme in der Raum-, Luft- und Schifffahrt verwendet. Sie sind ein wichtiger Bestandteil von *Inertialen-Navigationssystemen*. Im Laufe der Zeit wurden auch die Hersteller von Smartphones auf diese Sensoren aufmerksam. Das erste Smartphone, das einen solchen Sensor eingebaut bekam, war Apple's *iPhone 4* und ist seit Ende Juni 2010 auf dem Markt [Hao12]. Danach folgten diesem Trend auch viele andere Smartphone-Hersteller auf der ganzen Welt. Der Vorteil eines eingebauten *Gyroskops* in einem Smartphone liegt darin, dass die Genauigkeit und Akkuratessse zur Bestimmung der aktuellen Lage des Gerätes um vieles höher ist als bei Smartphones, die mit einem *Accelerometer* ausgestattet sind. Der oben erwähnte *Beschleunigungssensor* kann nur lineare Bewegungen ermitteln. Dabei handelt es sich um die Bewegungen nach vor/zurück, rechts/links sowie nach oben/unten — die drei Achsen X, Y und Z. Er misst also nur die geradlinige Bewegung, die sogenannte *Translation*. Hierbei geht es genauer gesagt um die *drei Freiheitsgrade der Translation*. Ein *Gyroskop* — auch *Kreiselinstrument* genannt — bringt auch noch die *Rotation* ins Spiel. *Gyroskope* sind somit Sensoren, mit denen die Orientierung gemessen werden kann. Dabei bedient man sich der Kräfte des Drehimpulses aus der Physik [UJ11]. Somit können auch Rotationen des Smartphones um die X-, Y- und Z-Achse bestimmt und festgestellt werden. Diese werden auch als die *drei Freiheitsgrade der Rotation* oder auch als *Rollen*, *Nicken* und *Gieren* bezeichnet. Die Kombination dieser beiden Sensoren, *Gyroskop* mit einem *Accelerometer*, ermöglicht dem Gerät Be-

7. AR für die breite Masse

wegungen um alle Achsen — *links/rechts, oben/unten, vor/zurück* sowie *Roll-, Nick- und Gier-Drehungen* — wahrzunehmen [UJ11]. Dem Device stehen so Daten über die *6Dof* zur Verfügung. Durch die nun ausgeweitete Wahrnehmung des Gerätes über seine Position und Orientierung im Raum, wird den Entwicklern von mobilen OS und Apps eine Vielzahl von neuen Steuerungsmöglichkeiten der Programme ermöglicht. Alleine durch die Erkennung von Gesten (*gesture recognition*) mit dem Smartphone ergeben sich für den Nutzer neue Alternativen in der Handhabung. Auch auf Spiele wirkt sich dieser Trend positiv aus, da dem User eine viel sensiblere Steuerung und Spielkontrolle geboten wird.

7.6.6. Drahtlose und mobile Kommunikation, Netzwerke sowie Internet

Für die *Konnektivität* und *Kommunikation* von Smartphones sorgen die hierfür *eingebauten Halbleiterbauelemente* und *Schnittstellen*. Diese bedienen sich der unterschiedlichsten und weltweit anerkannten *Kommunikationsstandards* für die *drahtlose* sowie zum geringen Teil auch *drahtgebundene Kommunikation*.

Alle Smartphones verfügen ausnahmslos über einen *USB-Port*. Dabei handelt es sich nicht um einen herkömmlicher *USB-Anschluss* wie bei einem konventionellen PC, sondern unterscheidet sich je nach Hersteller. Viele verwenden einen sogenannten *Micro-USB-Anschluss*, der meist einen kleineren Stecker aufweist und wie ein ganz normaler USB-Anschluss funktioniert. Der USB-Port wird für die *Kommunikation* und den *Datenaustausch* sowie für das *Synchronisieren* zwischen den vom Hersteller speziell bereitgestellten *Interfaces*, wie z. B. Apple's *iTunes*, mit einem herkömmlichen PC oder Notebook, benötigt. Damit können auch alle Daten verwaltet, aktualisiert und ein Backup des mobilen OS erstellt werden. Zudem dient der *USB-Port* als *Stromquelle* für das Gerät und ermöglicht somit das Laden des Akkus, wenn das Smartphone an einen PC oder an ein Notebook angeschlossen ist. Zumeist wird auch ein Adapter für das USB-Kabel mitgeliefert, der es erlaubt den Strom über eine herkömmliche Steckdose zu beziehen, um den Akku zu laden.

Die meisten Smartphones sind mit den bis heute handelsüblichen *kabellosen Schnittstellen*, wie z. B. *Infrarot-* und *Bluetoothschnittstellen*, ausgestattet. Beide haben jedoch eine relativ geringe Reichweite, wobei bei der zuerst genannten der Sichtkontakt zum verbundenen Gerät vorhanden sein muss. Außerdem beträgt die

7.6. Die elektronischen Bauelemente für die Realisierung von AR auf Smartphones

Reichweite zwischen der sendenden und empfangenden Station nur wenige Meter. Dadurch verliert die *Infrarotschnittstelle* immer mehr an Stellenwert. *Bluetooth* ist ein *Funkstandard*, hat eine Reichweite von etwa 10 Meter und dient zur Übertragung von Sprache und Daten. Im Gegensatz zum *Infrarot* muss hier kein Sichtkontakt zwischen den beiden Geräten gegeben sein. Auch zum Herstellen einer Internetverbindung reichen diese beiden Standards aus.

Zusätzlich verfügen alle Smartphones über ein WLAN (*Wireless Local Area Network, Wireless LAN, W-LAN, drahtloses lokales Netzwerk*). WLAN ist ein lokales Funknetzwerk und basiert auf dem vom Institute of Electrical and Electronics Engineers entwickelten *IEEE 802.11 Standard*³. In manchen Ländern, vor allem im englischsprachigen Raum, wird als Synonym für WLAN auch der Begriff *Wi-Fi*⁴ (WiFi, Wifi) verwendet. Smartphones mit WLAN können sich über Funk mit einer WLAN-Basisstation (WAP, *Wireless Acces Point*) verbinden, die in weiterer Folge wiederum über ein Kabel mit einem Datennetz verbunden sein kann. Dies ermöglicht die Kommunikation zwischen mehreren, über WLAN verbundenen End-Geräten via *WLAN-Basisstation* sowie dem kabelgebundenen angeschlossenen Datennetz. Dadurch wird ein drahtloser Zugang auf ein Netzwerk sowie das Internet ermöglicht.

Darüber hinaus wird der Internetzugang bei Smartphones zusätzlich auch über das *Mobilfunknetz* gewährleistet, der allerdings gebührempflichtig ist. Jedoch bieten in Österreich bereits viele Mobilfunkanbieter relativ günstige Pauschaltarife (*flat rates*) an. Smartphones nutzen bzw. unterstützen die verschiedensten *Mobilfunkstandards* bei der Übertragung von Daten. Das Spektrum reicht vom *GSM-*, *GSPRS-*, *UMTS-*, *HSDPA-*, *LTE-* bis hin zur Entwicklung des *neuesten LTE Advanced-Standards*. Hierbei handelt es sich genauer gesagt um unterschiedliche Mobilfunk Generationen, beginnend mit der *2. Generation* bis hin zur, bis dato letzten, *4. Generation*. Diese unterscheiden sich grundsätzlich durch die Steigerung der Datenübertragungsraten.

Der letzte Abschnitt dieses Kapitels geht darauf ein, wie AR im Allgemeinen auf einem Smartphone funktioniert und welche zwei technologischen Ansätze im Moment bei AR-Anwendungen auf Smartphones verfolgt werden.

³<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>

⁴<https://www.wi-fi.org/>

7.7. Wie funktioniert AR am Smartphone?

Zur Realisierung von AR auf einem Smartphone, bedarf es des Zusammenspiels von verschiedenen im Smartphone eingebauten Sensoren und Komponenten. Für AR-Applikationen auf einem Smartphone ist es ausreichend, wenn folgende elektronischen Bauelemente im Gerät verbaut sind:

- das Vorhandensein einer *Digitalkamera*;
- der Einbau eines *GPS-Empfängers*;
- ein *digitaler Kompass*;
- Verfügbarkeit von *Beschleunigungssensoren*.

Des Weiteren muss das Gerät über eine angemessene und leistungsfähige Hardware und über ein genügend großes multitouch-fähiges Display verfügen. Um die Lagegenauigkeit und Orientierung des Smartphones im Raum zu verbessern, ist nicht nur für die AR der Einbau eines zusätzlichen *Gyroskops* unumgänglich. Dieser Sensor wird aber für die AR, wie bereits erwähnt, nicht vorausgesetzt.

Es gibt einige technologische Möglichkeiten, um AR für die breite Masse nutzbar zu machen. Die zwei gängigsten Methoden sind: AR auf der Basis von *Mustererkennung* oder die *sensor-basierte AR*. Erstere, wie schon im Unterkapitel 4.1.2 beschrieben, stützen sich auf die Entwicklungen bzw. Technologien aus der *digitalen Bildverarbeitung*. Diesbezüglich basieren die meisten AR-Anwendungen auf der Erkennung von *Flachmarkern*.

AR-Anwendungen, die auf Basis der *Mustererkennung*, wie z. B. *Flachmarker*, arbeiten, werden zumeist in der Werbung, dem Marketing oder in Printmedien verwendet (siehe Abbildung 8.3). Diese Art der AR-Anwendungen reduziert die Anforderungen an die Rechenleistung immens und sind auch sehr stabil und robust. Andererseits ist die Reichweite sehr begrenzt, da sie nur AR-Inhalte liefern können, wenn sich die entsprechenden *Marker* in der Sichtweite befinden. Das heißt, diese Methode ist nicht skalierbar, um AR-Anwendungen im großem Maßstab zu ermöglichen, wie es z. B. bei *Outdoor-Anwendungen* erforderlich ist [ZDB08]. Jedoch ist sie für *Indoor-Anwendungen* eine sehr willkommene und oft verwendete Methode. Hinsichtlich des *markerlosen Trackings* gibt es hingegen noch einen enormen Nachholbedarf, da die bisher vorgestellten Lösungsansätze noch nicht ausgereift sind bzw. die Techniken für das *markerlose Tracking* noch

nicht die gewünschte Robustheit an den Tag legen, die hierfür von Nöten sind. Diesbezüglich bedarf es auch einer hohen Rechenleistung der CPU und der grafischen Komponenten sowie eines ausreichenden Arbeitsspeicher, was aber bei Smartphones sehr limitiert ist.

Im Gegensatz dazu stützt sich die *sensor-basierte AR* auf die im Smartphone eingebauten Sensoren. Mit diesem Ansatz werden die meisten *ortsbezogenen Informationen* für die AR visualisiert. Als Grundlage dienen — in vorderster Linie — Geodaten mit den adäquaten, hierfür benötigten *geografischen Informationen*.

In dieser Arbeit wird der Fokus auf *sensor-basierte AR-Anwendungen* gelegt. Diese ermöglichen in Kombination mit Smartphones eine fast *uneingeschränkte Outdoor-Tätigkeit* des Nutzers. Für die Realisierung solcher Anwendungen und die korrekte Darstellung von AR-Inhalten und -Informationen müssen zwei Parameter der betrachtenden Person bzw. des Gerätes bekannt sein [PLRR11]. Hierbei handelt es sich um die aktuelle Position des User sowie die Lage und Orientierung des Gerätes im Raum. Die aktuelle Position, das heißt, die geografische Lage des Betrachters, wird mit Hilfe des eingebauten GPS- bzw. AGPS-Empfängers bestimmt. Die Feststellung der Lage und Orientierung des Gerätes im Raum — in den 6DoF, wird abhängig vom Gerät, unter Zuhilfenahme von mehreren Sensoren ermittelt. Die hierfür benötigten Sensoren sind ein *Magnetometer* — dazu wird auf den in einem Smartphone eingebauten *digitalen Kompass* zurückgegriffen — sowie um *Beschleunigungssensoren* [PLRR11]. Letztere ermöglichen die Erfassung und Feststellung der benötigten *Roll-Nick-Gier-Winkel (Roll-Pitch-Yaw)* (siehe Abbildung 4.1). Ein *Accelerometer* ist z. B. für die Bestimmung der Orientierung des Gerätes zuständig. Es stellt fest, ob sich das Gerät in einer *horizontalen (Quer-)* oder *vertikalen Lage (Hochformat)* befindet, oder wie schnell das Device bewegt wird. Dieser Sensor kann auch den Winkel des Gerätes bestimmen, um festzustellen ob die Kamera in den Himmel oder auf den Boden gerichtet ist. Diese *Roll-* sowie *Nick-Winkel* sind von der Gravitation abhängig und werden mit einem *Beschleunigungssensor* bestimmt. Der *digitale Kompass* misst das *Erdmagnetfeld* und kann auf Grund dessen die Blickrichtung bestimmen. Daraus ergeben sich die Himmelsrichtungen Norden, Süden, Osten oder Westen, des Gerätes. Auch die Bestimmung des problematischen *Gier-Winkels*, da dieser Winkel zum Bezugspunkt (Nordpol) nicht direkt gemessen werden kann, wird mit Hilfe eines *Magnetometers* bewerkstelligt. Durch die Messung der aktuellen *magnetischen Feldstärke* und der Berücksichtigung der *Deklination* (das ist der Winkel bzw. die Abweichung zwi-

7. AR für die breite Masse

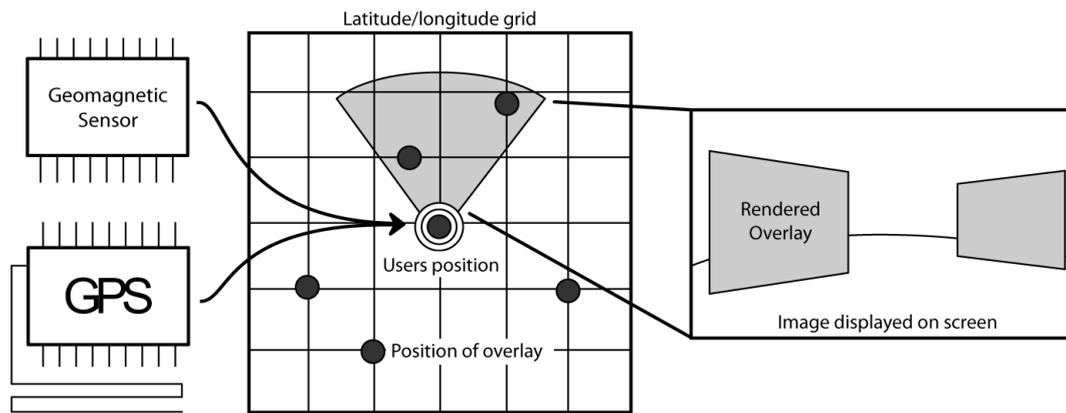


Abbildung 7.10.: Vereinfachte Darstellung des Zusammenspiels der Sensoren bei einer AR-Szene auf einem Smartphone [GZWS10]

schen der *geografischen* und *magnetischen Nordrichtung*) wird der *Gier-Winkel* bestimmt ([Mad11] und [PLRR11]). In neueren Geräten wird zur Verbesserung bei der Messung dieser *Roll-Nick-Gier-Winkel*, vor allem bei der Bestimmung des *Gier-Winkels*, ein *Gyroskop* benützt.

In weiterer Folge müssen für die Realisierung von AR-Anwendungen bzw. für die korrekte Darstellung von AR-Inhalten die hierfür benötigten *geografischen Koordinaten* — geografische Länge und geografische Breite, sowie zusätzliche Informationen und Verknüpfungen der Objekte in Form von (*Geo-*)*Daten(-banken)* — vorhanden sein. Diese Daten können entweder direkt in eine AR-Applikation eingebunden sein, oder aber die benötigten Informationen bzw. *georeferenzierten Informationen* werden online und in Echtzeit abgerufen. Dies ist auch beim überwiegendem Teil der AR-Anwendungen auf Smartphones der Fall.

Das anschließende Hauptkapitel beschäftigt sich fast ausschließlich mit AR-Applikationen. Der Schwerpunkt in dieser Diplomarbeit liegt auf den sogenannten *AR-Browsern*. Zudem werden einige Vertreter dieser AR-Browser veranschaulicht und vorgestellt.

Zusammenfassend: AR ist ein Themenbereich mit dem sich viele Wissenschaftler auf der ganzen Welt beschäftigen. Bis vor wenigen Jahren war AR allerdings nur für die Forschung und universitäre Einrichtungen bestimmt. Die Forschungsergebnisse wurden auf Konferenzen, Symposien und in wissenschaftliche Aufsätze präsentiert und blieben der breiten Masse verwehrt. Mit dem Einsetzen der wis-

senschaftlichen Arbeit mit dem Fokus auf die MAR gingen Forscher neue Wege und realisierten AR auf handelsüblichen und zum Teil auch speziell modifizierten Mobiltelefonen.

Durch die Weiterentwicklung der Smartphones in den letzten fünf Jahren eröffneten sich auch für die Forschung in der MAR neue Türen und Wege. Smartphones haben mittlerweile einen enormen Fortschritt betreffend ihrer Rechenleistung, dem Arbeitsspeicher usw. zu verbuchen. Auch der Einbau von jeglichen für die AR wichtigen Sensoren und Komponenten ist heutzutage schon Standard in derart multifunktionalen Geräten und ist für die Forschung sehr wichtig geworden.

Auch Programmentwickler und herkömmliche kommerzielle Unternehmen beschäftigten sich damit, AR mit Hilfe von Smartphones realisierbar zu machen. Infolgedessen kam Ende 2008 der erste kommerziell nutzbare AR-Browser auf den Markt. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von kleinen AR-Applikationen für Smartphones auf dem weltweiten *App-Markt*.

8. Kommerzielle AR-Applikationen für Smartphones

In diesem Kapitel soll der Frage der kommerziellen AR-Applikationen nachgegangen werden. Kurz wird über die Verfügbarkeit und Verfügbarmachung von diesen Anwendungen gesprochen, anschließend erfolgt ein Versuch einer Klassifizierung von AR-Anwendungen, beruhend auf den bislang verfügbaren Applikationen in den beiden bekanntesten *App-Online-Portalen*. Kurz werden auch die beiden bekanntesten Internet-Verkaufsportale beschrieben. Das Hauptaugenmerk wird in weiterer Folge auf die sogenannten *AR-Browser* (siehe Kapitel 8.3.1) gelegt. Es erfolgt auch eine Einteilung und Kategorisierung bestehender AR-Browser und deren Einsatz in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen (siehe Kapitel 8.3.2). Abschließend werden die Stärken (siehe Kapitel 8.5.1) und Schwächen (siehe Kapitel 8.5.2) von AR-Browsern diskutiert.

8.1. AR-Applikationen für Smartphones

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von kommerziellen AR-Applikationen, die in den letzten Jahren für Smartphones entwickelt und in weiterer Folge der Öffentlichkeit vorgestellt wurden. Diese Applikationen werden für die Konsumenten über die unterschiedlichen Stores (*App-Store*, *Application Store*) (siehe Kapitel 8.2), wie z. B. Apple's *App Store* oder *Google Play*, zum freien oder kostenpflichtigen Download zur Verfügung gestellt. Diese Mini-Programme können dann auf das Smartphone installiert werden. Wie schon im vorangegangenen Kapitel beschrieben, muss natürlich das Smartphone für das Funktionieren solcher AR-Applikationen gewisse technologische Voraussetzungen erfüllen (siehe Kapitel 7.6). Für das *Markertracking* auf Smartphones — hier stützen sich die Entwickler vermehrt auf das

8. Kommerzielle AR-Applikationen für Smartphones

Erkennen von unterschiedlichen *Flachmarkern* (siehe Seite 41) — ist schon eine eingebaute digitale Kamera ausreichend. Für AR-Anwendungen im freien und weiträumigen Terrain kommen die unterschiedlichen eingebauten elektronischen Sensoren und GPS-Empfänger zum Einsatz. Wie diese beiden Ansätze auf einem Smartphone funktionieren und die einzelnen Sensoren zusammenspielen wurde in Abschnitt 7.7 ausführlich erläutert und veranschaulicht.

Wie bereits erwähnt, wurde die erste kommerzielle und für ein breites Publikum bestimmte AR-Applikation Ende Oktober 2008 (siehe Kapitel 7.5) vorgestellt und auf den Markt gebracht. In der Zwischenzeit gibt es schon weit über tausend Apps, die mit AR in Verbindung gebracht werden können. Die genaue Anzahl von AR-Anwendungen ist natürlich auch wegen den unterschiedlichen auf dem Markt befindlichen mobilen Betriebssystemen (Android, iOS, BlackBerry OS, Symbian, Bada etc.) sehr schwer zu bestimmen und auch recht unüberschaubar, da laufend neue AR-Applikationen in den einzelnen Stores veröffentlicht werden.

Auch eine Kategorisierung fällt bei den im Moment am Markt befindlichen AR-Applikationen nicht so einfach, da die verschiedenen App-Stores auch unterschiedliche Klassifizierungen verwenden. Eine Online-Recherche in den zwei bekanntesten Stores, dem App Store für iOS-Geräte sowie Google Play für Android betriebene Geräte, ergab bei dem Suchkriterium „augmented reality“ folgende Ergebnisse:

App Store Als Suchkriterium wurden die zwei Schlagwörter „ *augmented reality*“ eingegeben. Das Suchergebnis ergab 1618 verfügbare Apps mit einem Zusammenhang mit AR. Im App Store werden insgesamt alle zur Verfügung gestellten Apps in 23 Kategorien eingeteilt. In 20 der 23 Kategorien kommen Vertreter von AR-Apps vor: Bildung, Bücher, Dienstprogramme, Essen und Trinken, Finanzen, Foto und Video, Kataloge, Lifestyle, Medizin, Musik, Nachrichten, Navigation, Produktivität, Referenz, Reisen, soziale Netze, Spiele, Sport, Unterhaltung sowie Wirtschaft (Stand vom 22.08.2012).

Google Play Hier wurden die gleichen Schlagwörter für die Suche verwendet. Die Online-Recherche ergab keine genaue Anzahl von Applikationen, sondern nur eine Hinweis darauf, dass über 1000 Android-Apps gefunden wurden, die mit dem Begriff AR verknüpft sind. Google Play führt 25 Kategorien (ohne Widgets) an, wobei Spiele eine eigene Gruppe mit sieben Klassen (ohne Widgets) darstellen. Von den zuerst erwähnten 25 Kategorien kommen

in 21 davon AR-Applikationen vor. Diese sind: Bücher & Nachschlagewerke, Büro, Effizienz, Finanzen, Fotografie, Gesundheit & Fitness, Lernen, Lifestyle, Medien & Videos, Medizin, Musik & Audio, Nachrichten & Magazine, Reisen & Lokales, Shopping, Software & Demos, soziale Netzwerke, Sport, Tools, Unterhaltung, Verkehr und Wetter. Bei den Spielen sind bis auf eine Kategorie alle vertreten: Arcade & Action, Gelegenheitsspiele, Karten- & Glücksspiele, Rennsport, Rätsel- & Denksport sowie Sportspiele (Stand vom 22.08.2012).

Der nächste Abschnitt befasst sich mit den App-Stores und soll dem Leser die beiden weitverbreitesten Stores näher bringen.

8.2. Application Stores

In diesem Abschnitt werden die zwei in der westlichen Welt, bekanntesten, gebräuchlichsten und umfangreichsten Portale für mobile Applikationen vorgestellt. Hierbei handelt es sich um Apple's *App Store* und Google's *Google Play*. Über diese Stores beziehen User von mobilen Geräten, wie z. B. Smartphones und Tablet-PCs, ihre Mini-Programme. Zu den einzelnen Erläuterungen werden noch einige statistische Daten über die beiden Stores angeführt, um eine Vorstellung davon zu bekommen, wie boomend dieser Markt weltweit ist. Nebenbei sollte noch erwähnt werden, dass laut Prognosen bis zum Jahre 2013 1,8 Milliarden Smartphones und 154 Millionen Tablet-PCs verkauft werden sollen. Weiters liegt die jährliche Zunahme von App-Downloads bei 92 Prozentpunkten. Im Schnitt hat ein iPhone-Nutzer in etwa 28 Mini-Applikationen auf seinem mobilen Gerät installiert. Darüber hinaus beziffert eine Vorausschau für das Jahr 2012 den weltweiten Umsatz der App-Industrie auf 17,5 Milliarden US-Dollar [Köp11].

Apple App Store Der App Store (die Kurzform von *Application Store*) ist das Online-Portal des kalifornischen Computerherstellers Apple für Mini-Programme, die sogenannten Apps, für seine mobilen iOS-Geräte. Seit Einführung des Online-App Stores Anfang Juli 2008 werden hier ausschließlich Anwendungen für die *mobilen iOS-Geräte* (iPhone, iPad, iPod touch) zum freien oder kostenpflichtigen Download bereitgestellt. Auf dieses Verkaufs-Portal kann entweder direkt von einem iOS-Gerät via Internet oder über

8. Kommerzielle AR-Applikationen für Smartphones

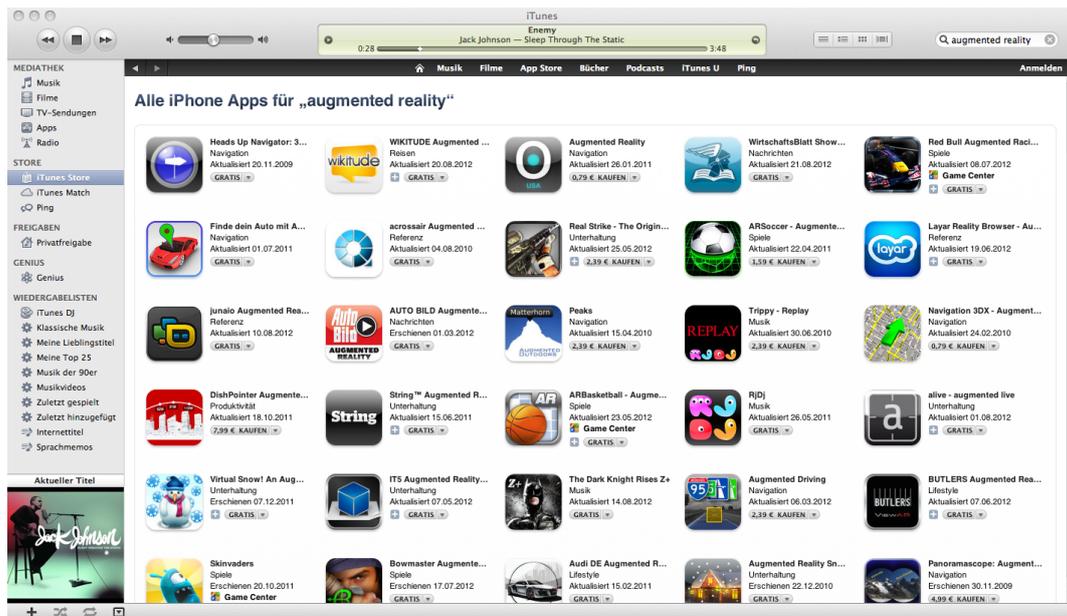


Abbildung 8.1.: iTunes — Die Schnittstelle zwischen PC und iOS, mit integriertem Zugriff auf den App Store

iTunes — die Desktop-Schnittstelle für alle iOS-Geräte — zugegriffen werden (siehe Abbildung 8.1). Der App Store verfügt mittlerweile über 650.000 downloadbare Apps und es wurden, laut den letzten Zahlen, bislang über 30 Milliarden Apps heruntergeladen [Mobb]. Darüber hinaus verkaufte sich das iPhone über 209 Millionen Mal und hat einen aktuellen Marktanteil von 22,9 % [Moba].

Google Play (vormals Android-Market) Das US-amerikanische Unternehmen Google, mit Sitz in Kalifornien, folgte mit der Einführung des Android Markets Ende Oktober 2008. Es ist mit Apple's App Store vergleichbar. Auch der Vorgang zum Downloaden der Mini-Programme ist ähnlich wie beim App Store. Die Besonderheit des Stores ist, dass hier die meisten Gratis-Apps zum Download angeboten werden [Köp11]. Im März 2012 erfolgte ein Relaunch unter dem Namen Google Play (siehe Abbildung 8.2), da das US-amerikanische Unternehmen Google seine beiden Dienste *Android Market* sowie *Google Music* zusammenführte und damit eine ähnliche Strategie wie Apple mit seinem iTunes Store verfolgt. Mittlerweile stieg auch die Anzahl der verfügbaren Apps auf über 500.000 und es wurde heuer auch schon die 15 Milliarden Marke bei den App-Downloads geknackt [Mobb]. Der Markt-

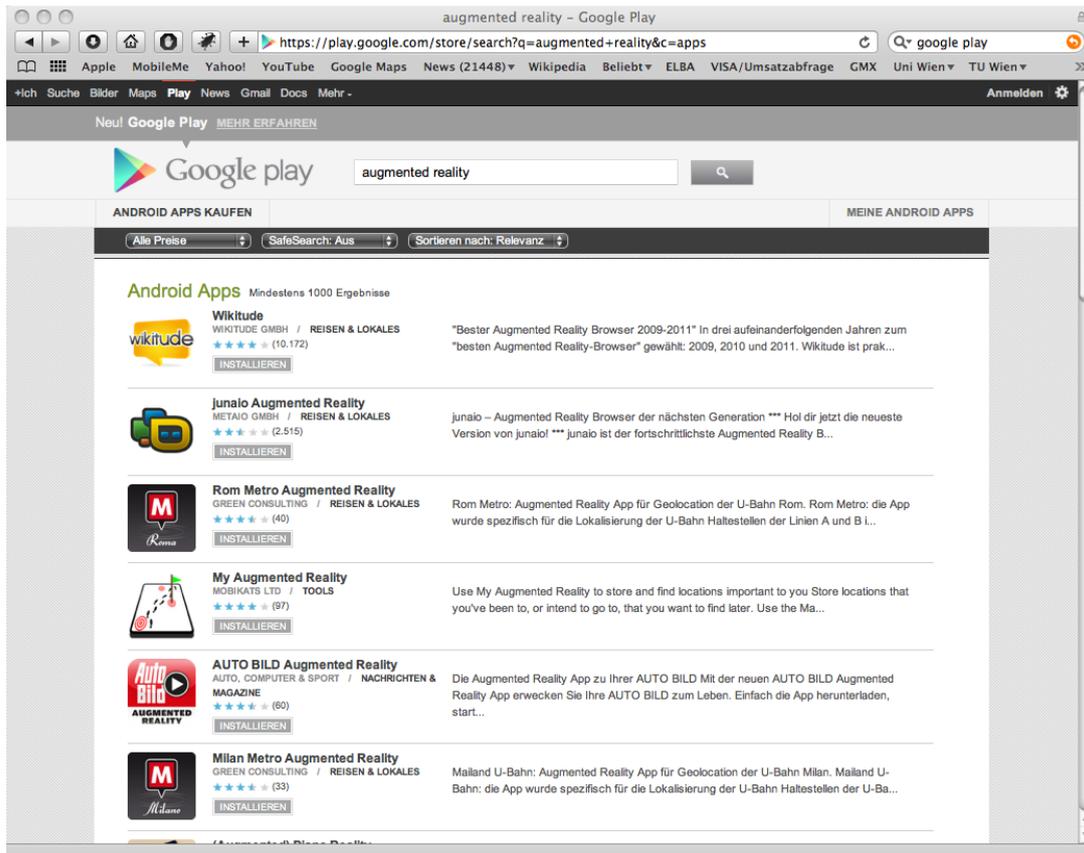


Abbildung 8.2.: Internetansicht von Google Play

anteil bei Android betriebenen Mobiltelefonen liegt bei 56,1 Prozentpunkten und es wurden über 375 Millionen Android betriebene Smartphones weltweit verkauft. Im Gegensatz zu Apple's iPhone und dessen Betriebssystem iOS ist Android ein quelloffenes Betriebssystem vieler Hersteller und Entwickler von mobilen Geräten, wie z. B. Samsung, Google, HTC, Motorola, Sony usw., und kann auch von jedermann offen und frei weiterentwickelt werden. Darüber hinaus erreicht Android als mobiles Betriebssystem, eine Vielzahl von Smartphone-User unterschiedlichster Smartphone-Hersteller und ist somit der stärkste Konkurrent des iPhones [Moba].

Natürlich gibt es noch eine Vielzahl anderer App-Stores wie z. B. der *Ovi-Store* von Nokia, *BlackBerry App World* von RIM, *webOS appcatalog* von Palm/HP oder den *Windows Marketplace* von Microsoft und von unterschiedlichen Herstellern und Entwicklern von mobilen Geräten sowie mobilen Betriebssystemen (für Smartphones und Tablet-PCs). Auch die Bedienung und Funktionsweise von den

eben erwähnten Stores unterscheidet sich im Großen und Ganzen nicht vom *App Store* oder *Google Play* und Spielen eher eine neben- bzw. untergeordnete Rolle. Die beiden weltweiten Globalplayer Apple und das Gemeinschaftsprojekte Android bleiben im internationalen Marktsegment der Smartphones und Tablets-PCs weiterhin unangefochten an der Weltspitze.

Als nächstes wird der Fokus auf *GeoAR-Applikationen* gelegt. Als wichtigste Vertreter stehen hier die sogenannten *AR-Browser* hervor.

8.3. AR-Browser als wichtigster Vertreter von GeoAR-Applikationen

Anhand der beiden Suchergebnisse in Abschnitt 8.1 ist ersichtlich, dass es eine auffallend große Anzahl von AR-Applikationen gibt. Darüber hinaus gibt es auch ein unglaublich großes Potenzial bei AR-Applikationen. Um aus diesem außerordentlich großem Pool von annähernd 2000 AR-Applikationen relevante *GeoAR-Applikationen* herauszufiltern erweist sich als sehr schwierig, da die Suche nach bestimmten Kriterien nur sehr eingeschränkt möglich ist. In der Literatur wird auf sogenannte *AR-Browser* verwiesen, die seit Ende 2008/Anfang 2009 den AR-Anwendungs-Markt eroberten. Einer der ersten AR-Browser war der „*Wikitude World Browser*“.

8.3.1. Was sind AR-Browser?

Durch den standartmäßigen Einbau von ausgewählten elektronischen Bauelementen und Sensoren — wie z. B. GPS-Empfängern, Accelerometern und digitalen Kompassen — in Smartphones, entwickelten sich AR-Browser als eine alltagstaugliche und brauchbare Plattform für *Location-Based AR-Applikationen* (*standortbezogene AR-Applikationen*) (siehe Kapitel 109). AR-Browser sind

„... *location-based systems that combine live video with virtual content retrieved from online sources on mobile phones, allowing users to visualize and interact with spatial information directly in its corresponding real-world location.*“ ([MDS10], Seite 161)

Die ersten Ansätze von AR-Browser gehen auf den Anfang der 2000er Jahre zurück. Kooper und MacIntyre [KM03] stellten in ihrem Aufsatz „*Browsing the*

8.3. AR-Browser als wichtigster Vertreter von GeoAR-Applikationen

Real-World Wide Web: Maintaining Awareness of Virtual Information in an AR Information Space“ einen Prototypen eines AR-Systems vor, das ihnen erlaubte mit dreidimensionalen räumlichen Informationen, basierend auf das „World Wide Web“ (WWW) zu experimentieren. Die Autoren nannten diesen Informationsraum „*the Real-World Wide Web*“ (RWWW) [KM03] und dieser zählte somit zu den Vorreitern von gegenwärtigen mobilen AR-Browsern [JAM11].

Auch eine Kategorisierung fällt bei den im Moment am Markt befindlichen AR-Browsern nicht so einfach. Die einfachste und trivialste ist die Einteilung der AR-Browser in zwei Kategorien [JAM11]:

- *Location-Based AR*
- *sicht-basierte AR* (siehe Seite 110) (wie z. B. Markertracking, siehe Seite 41)

Dies bedeutet, dass Nutzer von AR-Applikationen, um AR zu erfahren, angehalten sind, ihr mobiles High-End-Gerät vor einen sogenannten geokodierten „*Point of Interest*“ (*Ort von Interesse*) bzw. über einen *Flachmarker* zu halten [JAM11]. Der genaue Ablauf, wie AR auf einem Smartphone funktioniert, wird in Abschnitt 7.5 veranschaulicht.

Location-Based AR

Die am meisten verbreitete Art, wie AR-Browser ihre Informationen erhalten, ist nach wie vor der Bezug von *standortbezogenen Informationen* (siehe Kapitel 2.4). Die *Location-Based AR* auf Smartphones stützt sich gegenwärtig ausschließlich auf die Verwendung der eingebauten elektronischen Bauelemente bzw. Sensoren in Smartphones (siehe Kapitel 7.6.2, 7.6.3, 7.6.4 und 7.6.5). Das heißt, dass die aktuelle Position des Users bzw. des mobilen Gerätes und dessen Orientierung nur auf Datenbasis der verwendeten Sensoren berechnet wird. Deswegen kann es oft zu Ungenauigkeiten betreffend der aktuellen Position kommen, da die Sensoren durch äußere Störfaktoren beeinflusst werden können (siehe Kapitel 4.1.1). Diese Art der AR wird auch *gravimetrische AR* (*Gravimetric AR*) genannt, da sie mitunter auf gravimetrische Sensordaten zurückgreift [Mad11]. Um dies zu beweisen, braucht der User nur die Linse der eingebauten digitalen Kamera des mobilen Gerätes mit seinem Finger zu verdecken bzw. die Kamera zu deaktivieren. Die POI und die dazugehörige Zusatzinformation werden auch unter diesem verdeckten bzw. deaktivierten Zustand angezeigt. Somit wird bewiesen, dass aktuelle



Abbildung 8.3.: Sicht-basierte AR mit dem junaio AR-Browser

standortbezogene AR-Browser nicht auf *sicht-basierten Trackingverfahren* (siehe Kapitel 4.1.2) beruhen.

Sicht-basierte AR

Sicht-basierte AR (siehe Abbildung 8.3) wird nur von einer sehr geringen Anzahl von AR-Browsern unterstützt. Diese können sowohl *Marker*, als auch zweidimensionale Abbildungen unter Zuhilfenahme der eingebauten Kamera und den aufgenommenen Bilder, erkennen [JAM11].

Abschließend sei noch gesagt, dass mobile AR-Browser Informationen über die aktuelle Position und Orientierung des Nutzer bzw. des mobilen Gerätes aus drei möglichen Varianten bzw. Verfahren gewinnen können [JAM11]:

- mittels Ortungsdaten (Breitengrad/Längengrad, digitaler Kompass, Accelerometer, Gyroskop usw.);
- mittels Bild/Objekt Erkennung (*Image/Object Recognition*, Erkennung via des computergestützten Sehens (*Computer Vision*), siehe Kapitel 4.1.2);

8.3. AR-Browser als wichtigster Vertreter von GeoAR-Applikationen

- mittels dynamischer Erkennung von bekannten oder betrachteten Objekten (*Tracking* via *Computer Vision*, siehe Seite 43).

Im nächsten Abschnitte werden Anwendungsbereiche von AR-Browser vorgestellt.

8.3.2. Anwendungsbereiche von AR-Browser

Anwendungsbereiche von AR-Browsern nach Jackson et al. [JAM11]:

- Navigation
- mobile Social Networking (mobile soziale Netzwerke)
- mobile Commerce (elektronischer Handel unter Verwendung drahtloser Kommunikation auf mobilen Geräten)
- Werbung
- Unterhaltung

Als nächstes wird der Aufbau von AR-Browsern beschrieben und ausführlich erläutert.

8.3.3. Der Aufbau von AR-Browsern

Wie schon die Überschrift verät, befasst sich dieser Abschnitt mit dem allgemeinen Aufbau und Layout von AR-Browsern. Im Großen und Ganzen ist der Aufbau bei allen AR-Browsern sehr ähnlich. Auch die Funktionsweise und Handhabung ist grundsätzlich bei allen Herstellern und Entwicklern von AR-Browsern für Smartphones gleichart. Der wesentlichste Unterschied liegt einfach nur in der Benennung der verschiedenen angezeigten und verwendeten Elemente und Symbole (Icons) in einem AR-Browser. Lester Madden [Mad11] fasst diese verwendeten Elemente bzw. Symbole der drei bekanntesten AR-Browser (Wikitude, Layar und junaio) in seinem Buch „*Augmented Reality Browsers for Smartphones. Programming for junaio, Laya and Wikitude*“ zusammen und benennt diese folgendermaßen (siehe Abbildung 8.4) [Mad11]:

- *Radar*

8. Kommerzielle AR-Applikationen für Smartphones

- *Info bubble (Informationsblase)*
- *Information bar (Informationsleiste)*
- *Range (Reichweite)*
- *Map (Karte(-ansicht))*
- *App Store (nicht zu verwechseln mit Apple's App Store)*

Nachfolgend werden die einzelnen Steuerungs-, Bedienungs- und Funktionselemente sowie Symbole (*Icons*) veranschaulicht und verständlich erläutert.

Radar

Der *Radar* zeigt dem Nutzer mit einem visuellen Element — zumeist ein Kreis mit einem Mittelpunkt — die Richtung und Verortung der angezeigten POIs an. Zusätzlich wird dem Nutzer auch die aktuelle Blickrichtung mit den sichtbaren POIs dargestellt und visuell hervorgehoben.

Info bubble

Info bubbles dienen dem User von AR-Browsern als Darstellungsmittel für POIs. Dies ist meist ein Symbol (*Icon*) und sollte Kontextbezogen sein, wie z. B. ein rundes Icon mit Messer und Gabel für Restaurants.

Information bar

Wenn der Nutzer eines AR-Browser eine angezeigte *Info bubble* selektiert, erscheint im unteren Abschnitt des Displays eine sogenannte Informationsleiste mit einer Kurzbeschreibung des ausgewählten POI. Der User gelangt mit einer weiteren Selektierung des Textes in der Informationsleiste zu einer ausführlicheren Beschreibung. Abhängig vom Browser kann dies eine Webpage, ein Text oder ein File (Datei) sein.

Range

Mit dem *Range* — der Reichweite — kann der User dem Browser sagen, wie groß die maximale Entfernung von den POIs bzw. von visualisierten Inhalten sein darf. Denn wenn man z. B. in Wien nach Restaurants in nächster Nähe sucht, ist es für

8.3. AR-Browser als wichtigster Vertreter von GeoAR-Applikationen



Abbildung 8.4.: Elemente und Symbole eines AR-Browsers

8. Kommerzielle AR-Applikationen für Smartphones

den User nicht unbedingt von Nutzen, wenn alle Restaurants im Umkreis von 10 Kilometern angezeigt werden. Darüber hinaus wird auch der Informationsgehalt, durch das individuelle Setzen der Reichweite für den Nutzer auf dem Display eines AR-Browser übersichtlicher.

Map

In AR-Browsern wird dem User als zusätzliche Hilfestellung das Wechseln in eine Kartenansicht angeboten. In dieser Kartenansicht werden die aktuellen sichtbaren POIs vom gegenwärtigen Standort eingezeichnet bzw. angezeigt. Einige Browser bieten auch eine „*turn-by-turn*“-Navigation zum nächsten POI an.

App Store

Viele Programmentwickler und Hersteller von AR-Browsern binden in ihre Anwendungen sogenannte *Application Stores* ein (nicht zu verwechseln mit den App Stores von Apple oder anderen Anbietern). Hier werden alle möglichen Inhalte und darzustellenden Informationen, die dem User zur Verfügung stehen, aufgelistet. Diese sind je nach Entwickler unterschiedlich.

Des Weiteren werden die darzustellenden Inhalte und Informationen von den Entwicklern verschiedenartiger AR-Browser auch unterschiedlich benannt, wie z. B. „*World*“, „*Channel*“ oder „*Layer*“. Darauf beziehend spielt es aber für den User bei der Verwendung und Benützung von AR-Browsern eine eher untergeordnete Rolle, wie diese Inhalte bzw. Kanäle benannt werden. Wichtig ist, dass die Informationen adäquat dargestellt und visualisiert werden. Mittlerweile ist es auch bei einigen, auf dem Markt befindlichen AR-Browsern möglich, sich selbst einen Kanal zu kreieren und diesen dann anderen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Hierzu haben die verschiedenen Entwickler von AR-Browsern unterschiedlichste Hilfsmittel zu Erstellung solcher AR-Welten auf ihren Homepages zum freien Download bereitgestellt.

Wie bereits erwähnt, gibt es im Allgemeinen eine große Anzahl von AR-Applikationen in den einzelnen Stores (siehe Kapitel 8.1). Dies spiegelt sich auch bei den AR-Browsern wider. Im nächsten Kapitel werden die drei bekanntesten Vertreter von AR-Browsern vorgestellt.



Abbildung 8.5.: Die App-Logos der drei bekanntesten AR-Browser

8.4. Die drei führenden AR-Browser-Plattformen

In Abschnitt 8.1 wurde eine kurze Übersicht über die Anzahl der vorhandenen AR-Applikationen gegeben, die in den zwei bekanntesten App-Stores, dem App Store und Google Play, zugänglich sind. Wie auch die Online-Recherche zeigt, existieren in fast allen Kategorien für Smartphone-Programme AR-Applikationen. Ähnlich verhält es sich auch bei den sogenannten AR-Browsern. Darüber hinaus gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Herstellern und Entwicklern solcher Browser. Dabei stechen die drei führenden AR-Browser „*Wikitude*, *Layar* und *junaio*“ hervor (siehe Abbildung 8.5) ([Mad11] und [Tam12]). Alle drei verwenden die in Smartphones eingebauten elektronischen Sensoren und Komponenten und stützen sich auf *standortbezogene Informationen* für die Realisierung von AR-Applikationen (siehe Kapitel 8.3.1). Bei den zwei zuletzt genannten wird mittlerweile als zusätzliches *Feature* auch der *sicht-basierte Ansatz* (siehe Kapitel 8.3.1) unterstützt und forciert.

8.4.1. Wikitude World Browser

Der „*Wikitude World Browser*“ (siehe Abbildung 8.6) kam Ende 2008 (siehe Kapitel 7.5) auf den Markt. *Wikitude* war einer der ersten AR-Browser für Smartphones und wurde vom österreichischen Start-up Wikitude GmbH (vormals Mobilizy) konzipiert und entwickelt. Die Applikation wurde als erstes auf einem Android-Device, dem Google G1 vorgestellt. Danach folgte erst eine Version für Apple’s iOS. Mittlerweile ist der AR-Browser für fünf mobile Betriebssysteme verfügbar [Wika]. Diese sind:



Abbildung 8.6.: Wikitude World Browser

- Android
- BlackBerry OS
- iOS
- Symbian
- Windows Phone 7

Die darstellbaren Informationen und Inhalte werden bei *Wikitude* als „*Worlds*“ bezeichnet. Die einzelnen *Worlds* können individuell ausgesucht und geladen werden. Entweder der User entscheidet sich nur für eine, oder es werden mehrere Inhalte gleichzeitig ausgewählt und diese dann im AR-View am Display dargestellt. Wenn sich der Nutzer z. B. für eine bestimmte *World* entschieden und diese selektiert hat, kann der Inhalt alternativ im AR-Modus, als Liste oder auf einer Übersichtskarte am Display angezeigt werden. Gegenwärtig gibt es eine Vielzahl von verschiedenen *Worlds*, wie z. B. Wikipedia, Panoramio, Flickr, Qype usw., aus denen der Nutzer seine AR-Inhalte aussuchen kann.



Abbildung 8.7.: *Layar Reality Browser*

Der *Wikitude World Browser* wurde auch in den Jahren 2009, 2010 und 2011 von den Lesern von *Augmented Planet* — einem Internet-Blog für AR interessierte — zum „*Best Augmented Reality Browser*“ gewählt [Wikb].

In weiterer Folge brachte das österreichische Unternehmen Wikitude auch das erste AR-Navigationssystem (Navi) — mit dem Namen *Wikitude Drive*, für das mobile Betriebssystem Android auf den Markt [Mad11]. Hier arbeitet das Navi mit Live-Bildern die mit der integrierten Kamera aufgenommen werden. In weiterer Folge fügt das Navi den eingegebenen Navigationspfad und etwaige -pfeile direkt auf dem im Display in Echtzeit dargestellten Straßenverlauf ein.

8.4.2. Layar Reality Browser

„*Layar*“ (siehe Abbildung 8.7) ist die holländische Antwort des Unternehmens SPRXmobile auf den *Wikitude World Browser*. Dieser AR-Browser wurde zum erstmal im Juni 2009 der Öffentlichkeit vorgestellt und anfänglich nur über Google Play für Android-Geräte zum kostenlosen Download zur Verfügung gestellt [Layc]. Später erfolgte auch der Launch für iPhone-Nutzer. Gegenwärtig wird nicht nur der *standortbezogene AR-Ansatz* (siehe Seite 109) verfolgt, sondern es gibt auch



Abbildung 8.8.: *junaio Augmented Reality Browser*

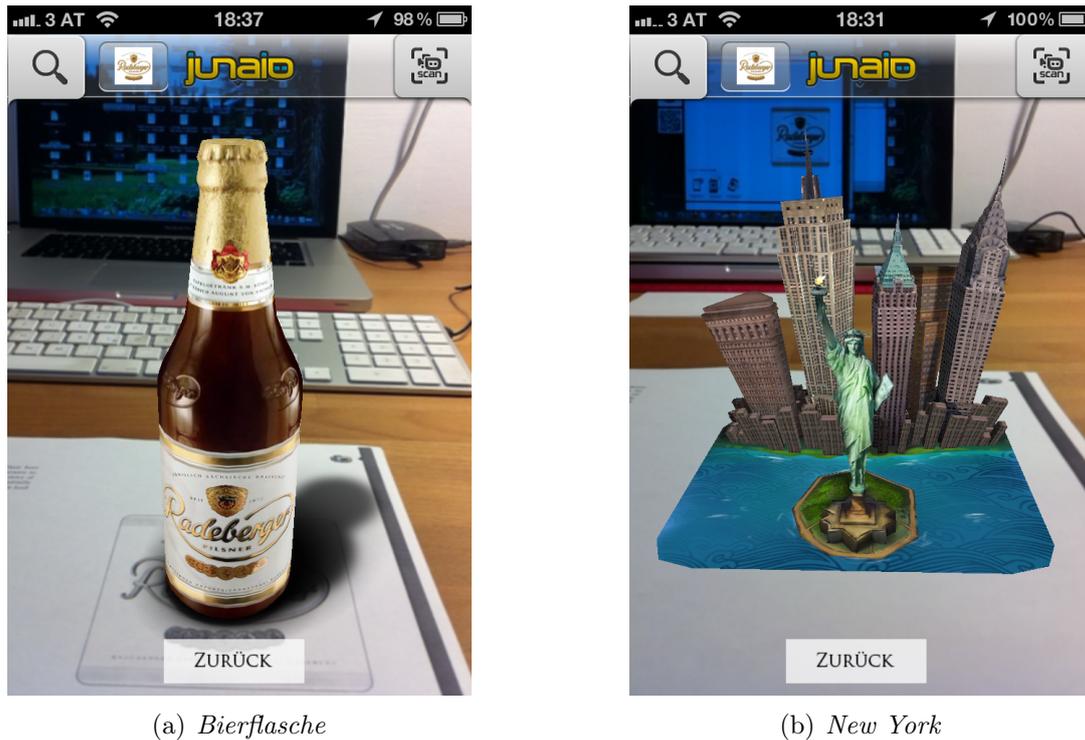
Inhalte, die mit Hilfe von Bilderkennung (siehe Seite 110) AR-Darstellungen visualisieren können. *Layar* legt diesbezüglich — durch Tracking visueller Merkmale — seine Aufmerksamkeit auf Magazine, Postkarten und Produktpackungen [Layd].

Auch *Layar* benützt zur Darstellung von AR-Inhalten in seinem AR-Browser unterschiedliche Kanäle. Diese Kanäle werden als „*Layar*“ bezeichnet. Es gibt mittlerweile weit über 2.000 verfügbare *Layar*, die von Dritt-Entwicklern und aktiven Usern erstellt worden sind [Mad11]. Darüber hinaus wurde *Layar* über 20 Millionen Mal installiert, es gibt mehr als 3 Millionen aktive User [Laya].

Weitere Features, die der Browser von *Layar* anbietet, sind die Einbindung von 3D-Objekten anstatt simpler Symbole; bei Näherung des User zu einem Standort wird eine Aktion ausgelöst und das Abspielen von Audio-Dateien unterstützt [Mad11].

8.4.3. **junaio Augmented Reality Browser**

Der dritte unter den Top drei der AR-Browsern ist „*junaio*“ (siehe Abbildung 8.8) des Münchner AR-Start-ups metaio GmbH. Dieser ist gegenwärtig für iOS und



(a) Bierflasche

(b) New York

Abbildung 8.9.: Markerbasierte AR mit *junaio* (als Marker dient ein Radeberger-Bierdeckel)

Android-Geräte verfügbar [Tam12]. *metaio* entwickelt Software- und AR-Lösungskonzepte. Ähnlich wie bei *Wikitude* und *Layar* können bei *junaio* unterschiedliche AR-Inhalte ausgewählt und im AR-Modus dargestellt werden. Die verschiedenen AR-Inhalte werden als „Channel“ bezeichnet. Der Browser wurde Ende 2009 auf den App-Markt eingeführt [Mad11]. Wie *Layar* unterstützt mittlerweile auch *junaio* markerbasierte AR anhand von Bar-, QR-Codes sowie LLA Marker (Latitude/Longitude/Altitude Markers). Im Allgemeinen, wenn der *junaio*-Browser einen Marker erkennt, werden in weiterer Folge marker-basierte AR-Inhalte am Display visualisiert. Speziell entwickelte Marker sind LLA Marker. Diese beinhalten Informationen über den aktuellen Standort und werden mitunter für die Indoor-Navigation auf iPhones und Android-Devices verwendet. Diese können den User auf einen Standort, wo der LLA Marker platziert wurde, positionieren und integrieren dabei die aktuellen GPS-Koordinaten [Junb].

Auch in den AR-Browser von *junaio* wurden noch zusätzliche Funktionen eingebaut. Diese sind [Mad11]:

- das Entwerfen eigener POI-Symbolen wird unterstützt;

8. Kommerzielle AR-Applikationen für Smartphones

- das Abspielen von Audio- und Video-Dateien wird gewährleistet;
- 3D-Objekte, mitunter auch animierte, können anstatt einfacher Symbole verwendet werden;
- in der Nähe von einem POI kann eine Aktion am Browser ausgelöst werden;
- das *Natural Feature Tracking* (siehe Kapitel 4.1.2) wird ansatzweise eingesetzt.

Als nächstes wird über die Stärken und Schwächen von AR-Browsern diskutiert.

8.5. Stärken und Schwächen von AR-Browsern

In den vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels wurde dem Leser so manches über AR-Applikationen für Smartphones dargelegt. Wie in Unterkapitel 8.1 erwähnt, gibt es eine Vielzahl unterschiedlichster AR-Anwendungen für diese „Alleskönner“. In dieser Arbeit wurde der Fokus auf AR-Browser (siehe Kapitel 8.3) — als der wichtigste Vertreter von GeoAR-Applikationen, gelegt. Die drei bekanntesten Browser wurden auch unter Punkt 8.4 vorgestellt und kurz beschrieben. Nachfolgend wird nun auf die Stärken (siehe Kapitel 8.5.1) und Schwächen (siehe Kapitel 8.5.2) von AR-Browsern etwas genauer eingegangen.

8.5.1. Stärken von AR-Browsern

Die AR bietet für den Anwender eine neue Art der Kommunikation von Informationen, die sich nicht nur in der unmittelbaren Nähe des Nutzers befinden. Diese beschränken sich freilich nicht ausschließlich auf standortbezogene Informationen, sondern auch auf herkömmliche Inhalte, die mittels AR dargestellt werden können. In der AR muss der Nutzer nicht unbedingt von sich aus aktiv werden und diese Inhalte selbst erstellen bzw. im Vorhinein, wie z. B. das Lesen von Stadtereiseführern für den Urlaub, recherchieren. Auch bleibt oft vieles — trotz Nachforschung — verborgen, da von außen keine klar erkennbaren Anhaltspunkte über bestimmte Inhalte und Informationen von Objekten, Gebäuden v.a.m. vorhanden sind. Ohne spezifische Kenntnisse bleiben diese Informationen für denjenigen auch verborgen.

Mit Hilfe von AR-Browsern kann der User einfach auf bereits vorhandene und aufbereitete Informationen und Inhalte zugreifen. Hierbei geht es nicht nur um

sichtbare Hinweise in der Realität, wie z. B. Sehenswürdigkeiten, sondern auch um verortete, jedoch für den User nicht sichtbare Informationen wie z. B. geokodierte Wohnungsanzeigen für wohnungssuchende Studenten. Darüber hinaus können auch Informationen — die mit Hilfe von Markern gekennzeichnet sind, bereitgestellt werden und in weiterer Folge ermöglichen diese Marker Darstellungen diverser AR-Inhalte.

Allgemein eröffnet AR für Anwender einen neuen Weg bzw. eine neue Strategie in der Entdeckung und Erforschung seiner unmittelbaren Umgebung. Die Wahrnehmung reduziert sich nicht nur auf das aktuell in der Realität gesehene sondern erweitert sich um zusätzliche virtuelle Informationen und Inhalte und bereichert somit den Informationsfluss um diese visuelle Erweiterung.

Die immer größer werdende weltweite Vernetzung der Gesellschaft führt auch dazu, dass Informationen aus dem Internet fast überall und jederzeit abrufbar sind. Diese Informationen und Verlinkungen können selbsterständlich auch an AR-Inhalte gebunden sein und liefern dem User an Ort und Stelle die benötigten Hinweise. Somit bieten AR-Browser für den Nutzer eine erstaunlich große Anzahl an verborgenen virtuellen Informationen sowie Inhalten, die nur darauf warten, dass sie visualisiert werden können.

Der abschließende Abschnitt befasst sich mit den Schwächen von AR-Browsern.

8.5.2. Schwächen von AR-Browsern

Die wohl größte Schwäche von AR-Browsern liegt derzeit in der Browser-Unge nauigkeit. Die auftretenden Ungenauigkeiten liegen aber in erster Linie nicht an den AR-Applikationen selber, sondern in der Ungenauigkeit der eingebauten elektronischen Sensoren und Komponenten in den Smartphones. Genauer gesagt handelt es hierbei um den eingebauten GPS-Empfänger, den digitalen Kompass sowie die eingebauten Beschleunigungssensoren und Gyroskope. Diese drei Sensoren spielen bei der Bestimmung der Position sowie der Orientierung des mobilen Gerätes eine wichtige und fundamentale Rolle, da AR-Applikationen, insbesondere AR-Browser, bei der Programmausführung auf diese Daten zurückgreifen und diese in die ausführende AR-Applikation einbinden, um dann den AR-Inhalt „korrekt und positionsgenau“ visualisieren zu können. Desweiteren sind bestimmte Sensoren auch sehr störanfällig, etwa der eingebaute digitale Kompass. Auch bezüglich der Ermittlung der genauen Höheninformation kommt es noch zu sehr großen Abweichungen und Ungenauigkeiten.

8. Kommerzielle AR-Applikationen für Smartphones

Ein weiterer Schwachpunkt bzw. Mangel ist die Visualisierung von einander überlagernden Informationen und virtuellen Objekten bei AR-Browsern, z. B. die Darstellung der POI in den unterschiedlichen AR-Browsern. In der Literatur wird darauf hingewiesen, dass im mobilen Bereich, wie z. B. bei Smartphones, nicht immer der dreidimensionale Bezug von realen und virtuellen Objekten gegeben ist [MBRS11]. Mehler-Bicher et al. [MBRS11] verweisen darauf.

„Ein Überlagern eines Objektes mit Textinformation liefert in der Regel nur einen zweidimensionalen Bezug. In solchen Fällen sprechen wir von AR im weiteren Sinne; sind hingegen alle drei Charakteristika von Augmented Reality gegeben, von AR im engeren Sinne.“ ([MBRS11], Seite 11)

Die Autoren beziehen sich in diesem Zitat auf die drei Charakteristika, die Azuma in seiner allgemeinen Definition aus dem Jahre 1997 für AR determiniert hat (siehe Kapitel 2.3).

Zu berücksichtigen sind auch mangelhafte bzw. unkorrekte (Geo-)Datensätze, wie z. B. die unkorrekte Geokodierung von interessanten POIs, mit denen AR-Browser bewerkstelligen, dass ihre AR-Inhalte an der korrekten Stelle angezeigt werden. Es stellt sich auch die Frage, wer für diese mangelnden Datensätze die Verantwortung sowie in weiterer Folge die rechtlichen Konsequenzen zu tragen hat. Ein Beispiel hierfür wäre, dass in einem dringenden medizinischen Notfall ein Krankenhaus benötigt wird und mit Hilfe eines AR-Browsers die nächste medizinische Einrichtung gefunden werden soll; jedoch diese ist beim Eintreffen nicht vorzufinden. Oder jemand (geo-)taggt virtuelle Schmierereien oder rufschädigende Aussagen über jemanden als darstellbares AR-Objekt und macht diese für andere AR-Nutzer sichtbar. Diese rechtlichen Fragen bezüglich der Datenqualität und -inhalte sind noch nicht geklärt. Eine ähnliche ungeklärte Grauzone hinsichtlich der rechtlichen Gefahren besteht derweil auch in sozialen Netzwerken (social Networks).

Zum Abschluss dieser Diplomarbeit gibt das letzte Kapitel ein resümierendes Fazit und einen Ausblick auf AR auf Smartphones.

Zusammenfassend: Durch die Einführung, Weiterentwicklung und die weite Verbreitung von Smartphones eröffnete sich ein neuer Weg für die AR. Auch das Freischalten der mobilen Betriebssystem auf Smartphones für Applikationen von

Drittherstellern bietet vielen Entwicklern die Möglichkeit, neue Ideen und Anwendungen hervorzubringen, um dann den Nutzern zur Verfügung zu stellen. In weiterer Folge werden diese neu entwickelten Mini-Programme über sogenannte App-Stores (siehe Kapitel 8.2) den Usern zum Download angeboten.

Unter der Vielzahl von Smartphone-Applikationen gibt es gegenwärtig auch eine große Anzahl an AR-Anwendungen. Diese AR-Applikationen verteilen sich auf die unterschiedlichsten Kategorien (siehe Kapitel 8.1) in den App-Stores. Darunter gibt es auch eine Menge von GeoAR-Applikationen. Die stärksten Repräsentanten dieser GeoAR-Applikationen sind die sogenannten AR-Browser. Diese finden, seit ihrer Einführung Ende 2008 eine weite Verbreitung. Die bekanntesten Vertreter dieser Browser sind *Wikitude*, *Layar* und *junaio* (siehe Kapitel 8.4.1, 8.4.2 sowie 8.4.3). Die Funktionsweise und Anatomie der einzelnen AR-Browser ist sehr ähnlich und weist kaum Unterschiede auf (siehe Kapitel 8.3.3). Desweiteren stützen sich alle AR-Browser auf die eingebauten Sensoren zur genauen Ermittlung der aktuellen Position und Orientierung des Gerätes. Durchwegs alle Vertreter von AR-Browsern verwendeten für die Darstellung von AR-Inhalten *standortbezogene Informationen* (siehe Seite 109). Einige wenige unterstützen auch sicht-basierte Ansätze, die auf Algorithmen aus der *digitalen Bildverarbeitung* zurückgreifen, um AR-Content darzustellen.

Die Stärken von AR-Browsern liegen in der neuen Art der Wahrnehmung von Informationen, die sich in unmittelbarer Nähe des Nutzers befinden. Jegliche Art von Information, die verortet werden kann, könnte mit Hilfe von AR dargestellt und mit zusätzlichen Inhalten verlinkt werden. Die wohl größte Schwäche von AR-Browsern liegt derzeit in der Browser-Ungenauigkeit. Die auftretenden Ungenauigkeiten liegen aber in erster Linie nicht an den AR-Applikationen selber, sondern in der Ungenauigkeit der eingebauten elektronischen Sensoren und Komponenten in den Smartphones.

9. Fazit: Resümee, Ausblick

Smartphones haben sich als ein vielversprechendes Medium für zukünftige AR-Anwendungen für ein breites Publikum etabliert. Sie sind weitverbreitet und haben mittlerweile eine hohe Akzeptanz in der Öffentlichkeit. Alle wichtigen elektronischen Komponenten, die für die AR benötigt werden, sind in diesem kleinen und handlichen Gerät eingebaut und in einem Device vereint. Dies hat den Vorteil, dass das Tragen von zusätzlichem Equipment, wie z. B. bei der „*Touring Machine*“ — eines der ersten MAR-Systeme (siehe Kapitel 7.3) — wegfällt. Vor allem steigert sich durch das Kleinerwerden von MAR-Systemen auch die soziale Akzeptanz der breiten Masse gegenüber der AR-Technologie, da es in der Öffentlichkeit nicht mehr so auffällt, wenn man z. B. sein Smartphone auf Augenhöhe und in seinem Blickfeld hält. Auch eine Studie des britischen Mobilfunkanbieters O2 hat gezeigt, dass ein Durchschnitts-Smartphone-User mehr als zwei Stunden pro Tag vor seinem Smartphone verbringt. Dabei fällt das Telefonieren überraschenderweise auf den fünften Platz, mit etwa 12 Minuten pro Tag, zurück. Spitzenreiter bei der Nutzung von Smartphones ist das Surfen im Internet mit 25 Minuten pro Tag, gefolgt von sozialen Netzwerken mit 17 Minuten und dem Hören von Musik mit 16 Minuten pro Tag. Das Schreiben von SMS fiel mit zehn Minuten pro Tag auf den siebenten Rang zurück. [Mor].

Obwohl Smartphones alle Voraussetzungen für AR-Solutions für ein breites Publikum mit sich bringen, gibt es noch immer einige bedeutende Hindernisse für weitreichende und umfangreiche AR-Applikationen zu überwinden [AS11]. Diese Hindernisse betreffen folgende Punkte [AS11]:

Kameraqualität und Handling Die Qualität von Kamerasensoren in Smartphones ist bei schlechten Lichtverhältnissen sehr minderwertig. Die Programmierschnittstellen (APIs, Application Programming Interfaces) erlauben nur einen geringen Zugriff auf die eingebauten Komponenten der Kamera in einem Smartphone. Darüber hinaus sind die kleinen eingebauten CCD-Sensoren sehr störanfällig bei Echtzeit-Kameraaufnahmen. Darunter leiden

9. Fazit: Resümee, Ausblick

die Algorithmen bei der digitalen Bildverarbeitung. Die dadurch verloren gegangene Qualität kann kaum durch andere Verarbeitungsschritte kompensiert werden.

Energieverbrauch Die Stromversorgung durch die eingebaute Batterie in einem Smartphone lässt noch immer sehr zu wünschen übrig. Die eingebauten und benutzten Sensoren, die bei AR-Applikationen verwendet werden, sind starke Energieverbraucher, und wenn AR-Anwendungen vollständig ausgeführt werden, kommt es zu einer schnellen Batterieentladung.

Netzwerkabhängigkeiten AR-Applikationen müssen auf aktuelle und adäquate Daten zugreifen können. Diese werden der AR-Anwendung zum Teil über Netzwerke bereitgestellt. Netzwerk-Latenzen können diese Anwendungen stark beeinträchtigen. Auch die Netzwerkabdeckung ist in bestimmten Gebieten noch unzureichend.

Visualisierungs- und Interaktionsmöglichkeiten Beim Kauf eines Smartphones spielt die Größe des Gerätes eine gewisse Rolle. Multi-touch Interfaces sind die gängigsten Interaktionsmöglichkeiten. Jedoch für bestimmte Tasks, wie z. B. eine genaue Pixel-Selektion, sind sie sehr ungeeignet. Darüber hinaus sind AR-Entwickler stark an die technischen Entwicklungen von Hardware- und Service-Anbietern gebunden, da diese ihre Hardware-Entwicklungen dem Smartphone-Markt anpassen und nicht den Anforderungen der AR. Trotz allem geht die Hardware-Entwicklung in die richtige Richtung.

Tablet-PCs als alternative mobile Plattform Tablet-PCs bieten sich auch als eine beliebte Alternative für mobile Applikationen an. Die Handhabung und Bedienung ist ähnlich wie bei Smartphones. Die Einschränkungen bezüglich der Interaktion und Visualisierung sind aufgrund ihrer Größe geringer als bei Smartphones. Jedoch wegen ihrer Größe und ihres Gewichts sind diese Geräte in der AR nur sehr limitiert anwendbar, da die Handhabung viel mühsamer und beschwerlicher ist.

Ein weiteres Problem stellt noch immer eine akkurate Ermittlung der 6Dof dar. Bei den meisten AR-Applikationen auf Smartphones basiert diese Berechnung der aktuellen Lage und Orientierung anhand von den eingebauten elektronischen Komponenten und Sensoren. Allerdings sind für ein reibungsloses Funktionieren

und eine korrekte Darstellung bzw. Überlagerung von virtuellen Informationen und Objekten in einer AR-Anwendung kontinuierlich fehlerfreie Orientierungs- und Lagedaten vonnöten. Hier kommt es z. B. durch ungenaue und fehlende bzw. fehlerhafte Sensorinformationen zu Schwankungen und störenden Ungenauigkeiten beim Tracking und der Registrierung. So kann in Abhängigkeit von der tatsächlichen Lage des Gerätes, die Genauigkeit der Sensoren erheblich variieren. Dies hat zur Folge, dass die AR-Inhalte inkorrekt visualisiert werden und es auch zu Schwimmeffekten kommen kann.

Vielversprechend klingen die neuen Ansätze des markerlosen Trackings. Diese Methoden bedienen sich der Erkenntnisse aus dem Forschungsfeld der Computer Vision (siehe Seite 43), des computergestützten Sehens. Bei diesen Verfahren bedarf es jedoch einer sehr hohen Rechenleistung für das *Tracking*, da der Rechenaufwand für die Berechnung der aktuellen *Pose* des Betrachters bzw. Kamera sehr hoch ist. Andererseits ermöglichen diese Verfahren ein sehr *weitreichendes* und *weitläufiges* *Tracking*. Mitunter erlauben *markerlose Ansätze* auch ein *dynamisches Tracking* in weitestgehend unbekanntem und sich ändernden Umgebungen.

Abschließend wird noch ein Blick auf den sogenannten „*Hype Cycle*“ (Hype Zyklus) geworfen. Der Hype Zyklus stellt dar, wie eine neue Technologie in der Öffentlichkeit wahrgenommen wird. Die Abszisse, die X-Achse, des Diagramms zeigt die Zeit seit der Bekanntmachung an und die Ordinate, die Y-Achse, stellt die Erwartungen an die neue Technologie dar [Tön10]. Darüber hinaus wird der Hype Zyklus in fünf Phasen unterteilt [Tön10]:

Technologischer Auslöser In der ersten Phase wird die Technologie bekanntgemacht und stößt auf beachtliches Interesse.

Gipfel der überzogenen Erwartungen Diese Phase ist vom übertriebenen Enthusiasmus sowie unrealistischen Erwartungen geprägt. Die Technologie befindet sich auf dem Gipfel der Erwartungen und der Aufmerksamkeit.

Tal der Enttäuschung In diesem Stadium nimmt die Aufmerksamkeit und die Berichterstattung ab, weil nicht alle Erwartungen an die Technologie erfüllt werden können.

Pfad der Erleuchtung In dieser Phase wird die Technologie neu betrachtet und realistisch eingeschätzt. Es gibt erste verbesserte Anwendungen und es wird wieder darüber berichtet.

Plateau der Produktivität Anschließend kommt die Technologie in fünfte Phase und erreicht das Plateau der Produktivität. Die Vorteile der Technologie werden allgemein erkannt und es gibt bereits Systeme der zweiten und dritten Generation auf dem Markt.

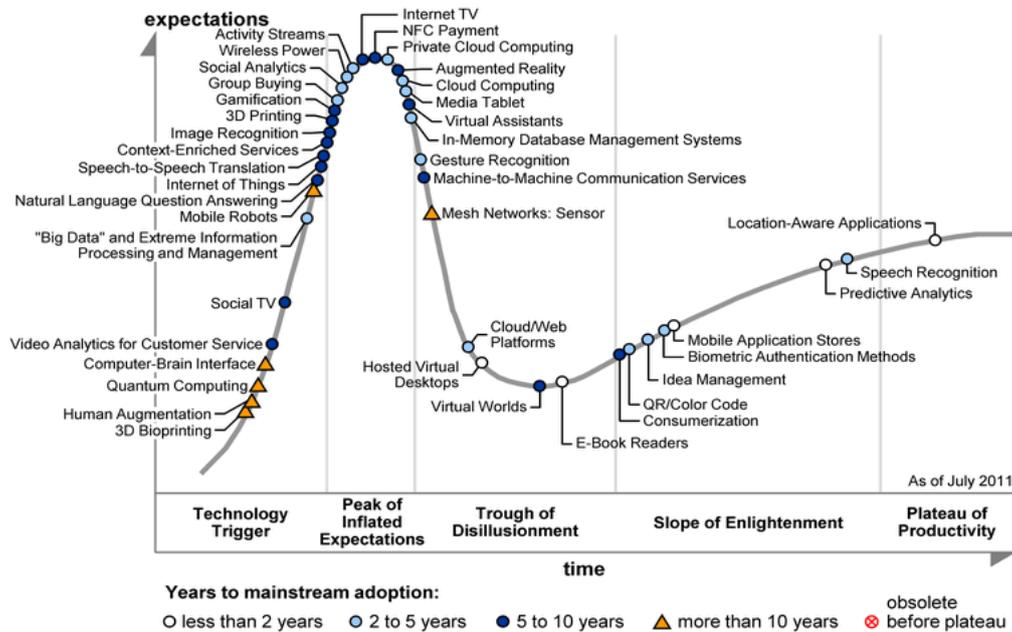


Abbildung 9.1.: Im Hype Cycle 2011 befindet sich die AR in der zweiten Phase des Zyklus und hat den Gipfel der überzogenen Erwartungen schon hintersich gelassen [PG11]

Abbildung 9.1 (siehe Seite 128) stellt den *Hype Cycle for Emerging Technologies 2001* von der Gartner Inc. dar. In dieser Abbildung befindet sich die AR in der zweiten Phase des Hype Zyklus und hat den Gipfel der überzogenen Erwartungen schon überschritten. Der anfängliche Hype um diese Technologie ist langsam abgebbt. Laut Diagramm und Vorhersage wird es noch etwa fünf bis zehn Jahre dauern, bis die AR das Plateau der Produktivität erreichen wird.

Literaturverzeichnis

- [6Do] *Six-Degree-of-Freedom.* <http://quantum-box.com/box2/wp-content/uploads/2010/06/original.jpg>, Abruf: 29.08.2012
- [ABB⁺01] AZUMA, R. ; BAILLOT, Y. ; BEHRINGER, R. ; FEINER, S. ; JULIER, S. ; MACINTYRE, B.: Recent advances in augmented reality. In: *IEEE Computer Graphics and Applications* 21 (2001), Nr. 6, S. 34–47
- [ACM92] ACM SIGCHI ; HEWETT, T.T. (Hrsg.) ; BAECKER, R. (Hrsg.) ; CARD, S. (Hrsg.) ; CAREY, T. (Hrsg.) ; GASEN, J. (Hrsg.) ; MANTEI, M. (Hrsg.) ; PERLMAN, G. (Hrsg.) ; STRONG, G. (Hrsg.) ; VERPLANK, W. (Hrsg.): *ACM SIGCHI curricula for human-computer interaction.* New York : Association for Computing Machinery, 1992
- [AS11] ARTH, C. ; SCHMALSTIEG, D.: *Challenges of Large-Scale Augmented Reality on Smartphones.* ISMAR 2011 Workshop: Enabling Large-Scale Outdoor Mixed Reality and Augmented Reality, 2011
- [Azu97] AZUMA, R.T.: A survey of augmented reality. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 (1997), Nr. 4, S. 355–385
- [BC03] BURDEA, G.C. ; COIFFET, P.: *Virtual Reality Technology.* Second. New York, NY, USA : John Wiley & Sons, Inc., 2003
- [BCKM04] BILL, R. ; CAP, C. ; KOFAHL, M. ; MUNDT, T.: Indoor and Outdoor Positioning in Mobile Environments – a Review and some Investigations on WLAN-Positioning. In: *Annals of GIS* 10 (2004), Nr. 2, S. 91–98
- [Bena] *Benefon esc! GSM+GPS.* Internetbroschüre. http://www.benefon.de/pdf/products/esc/esc_brochure.pdf

- [Benb] *Benefon Esc! NT2002*. <http://www.benefon.de/products/esc/>,
Abruf: 28.08.2012
- [BGL05] BILLINGHURST, M. ; GRASSET, R. ; LOOSER, J.: Designing augmented reality interfaces. In: *SIGGRAPH Comput. Graph.* 39 (2005), February, S. 17–22
- [BK02] BILLINGHURST, M. ; KATO, H.: Collaborative augmented reality. In: *Commun. ACM* 45 (2002), July, S. 64–70
- [BKP08] BILLINGHURST, M. ; KATO, H. ; POUPYREV, I.: Tangible augmented reality. In: *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 courses*. New York, NY, USA : ACM, 2008 (SIGGRAPH Asia '08), S. 7:1–7:10
- [BN95] BAJURA, M. ; NEUMANN, U.: Dynamic registration correction in augmented-reality systems. In: *Virtual Reality Annual International Symposium 0* (1995), S. 189–196
- [BR05] BIMBER, O. ; RASKAR, R.: *Spatial Augmented Reality. Merging Real and Virtual Worlds*. A K Peters LTD, 2005
- [Bri02] BRIMICOMBE, A.: GIS: Where are the Frontiers Now? In: *Proceedings GIS 2002* (2002), S. 33–45
- [BWS06] BLESER, G. ; WUEST, H. ; STRICKER, D.: Online camera pose estimation in partially known and dynamic scenes. In: *Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2006 (ISMAR '06), S. 56–65
- [CFA⁺11] CARMIGNIANI, J. ; FURHT, B. ; ANISETTI, M. ; CERAVOLO, P. ; DAMIANI, E. ; IVKOVIC, M.: Augmented reality technologies, systems and applications. In: *Multimedia Tools Appl.* 51 (2011), Nr. 1, S. 341–377
- [CM92] CAUDELL, T.P. ; MIZELL, D.W.: Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In: *System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on* ii (1992), S. 659–669

- [DGSB07] DÜNSER, A. ; GRASSET, R. ; SEICHTER, H. ; BILLINGHURST, M.: Applying HCI Principles in AR Systems Design. In: *2nd International Workshop on Mixed Reality User Interfaces: Specification, Authoring, Adaptation (MRUI '07)*. Aachen : Shaker Verlag, March 2007, S. 37–42
- [DR01] DJUKNIC, G.M. ; RICHTON, R.E.: Geolocation and Assisted GPS. In: *Computer* 34 (2001), Februar, Nr. 2, S. 123–125
- [DW11] DIXON-WARREN, S.J.: *Motion Sensing in the iPhone 4: Electronic Compass*. <http://www.memsjournal.com/2011/02/motion-sensing-in-the-iphone-4-electronic-compass.html>. Version: Februar 2011, Abruf: 15.06.2012
- [EGR91] ELLIS, C.A. ; GIBBS, S.J. ; REIN, G.L.: Groupware: Some issues and experiences. In: *COMMUNICATIONS OF THE ACM*, 1991, S. 38–58
- [Elg05] ELGIN, B.: *Google Buys Android for Its Mobile Arsenal*. http://www.businessweek.com/technology/content/aug2005/tc20050817_0949_tc024.htm. Version: August 2005, Abruf: 18.08.2012
- [FMHW97] FEINER, S. ; MACINTYRE, B. ; HÖLLERER, T. ; WEBSTER, A.: A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment. In: *Proceedings of the 1st IEEE International Symposium on Wearable Computers*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1997 (ISWC '97), S. 74–81
- [GB04] GREJNER-BRZEZINSKA, D.: Positioning and Tracking Approaches and Technologies. In: [KH04], Kapitel 3, S. 69–110
- [Goo] *New Google G1 Cell Phone White Version*. http://www.phones-online.org/new-google-g1-cell-phone-white-version.html#.T56mhhz1R_Q, Abruf: 18.08.2012

- [GR11] GRAHAM-ROWE, D.: *Die Lorentzkraft weist den Weg.* <http://www.heise.de/tr/artikel/Die-Lorentzkraft-weist-den-Weg-1282558.html>. Version: Juli 2011, Abruf: 15.06.2012
- [GZWS10] GOTOW, J.B. ; ZIENKIEWICZ, K. ; WHITE, J. ; SCHMIDT, D.C.: Addressing Challenges with Augmented Reality Applications on Smartphones. In: CAI, Y. (Hrsg.) ; MAGEDANZ, T. (Hrsg.) ; LI, M. (Hrsg.) ; XIA, J. (Hrsg.) ; GIANNELLI, C. (Hrsg.): *Mobile Wireless Middleware, Operating Systems, and Applications - Third International Conference, Mobilware 2010, Chicago, IL, USA, June 30 - July 2, 2010. Revised Selected Papers* Bd. 48, Springer, 2010 (Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering), S. 129–143
- [Hao12] HAO, L.P.: *Gyroscope In Smartphones.* <http://www.mobile88.com/news/read.asp?file=/2012/4/21/20120421165938&phone=gyroscope-in-smartphones>. Version: April 2012, Abruf: 15.06.2012
- [HF04] HÖLLERER, T.H. ; FEINER, S.K.: Mobile Augmented Reality. In: [KH04], S. 221–260
- [His] *History of Mobile Augmented Reality.* <https://www.icg.tugraz.at/~daniel/HistoryOfMobileAR/>, Abruf: 18.08.2012
- [HOB07] HENRYSSON, A. ; OLLILA, M. ; BILLINGHURST, M.: Mobile Phone Based Augmented Reality. In: HALLER, M. (Hrsg.) ; BILLINGHURST, M. (Hrsg.) ; BRUCE, T. (Hrsg.): *Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design*, Idea Group Publishing, 2007, S. 90–109
- [INT11] INTEGRAL, AIM Austrian Internet M.: Der Siegeszug der Smartphones / INTEGRAL Markt- und Meinungsforschung. Version: Juli 2011. http://www.integral.co.at/downloads/Internet/2011/07/AIM-Consumer_Pressetext_-_Q2_2011.pdf. 2011. – Forschungsbericht

- [IU97] ISHII, H. ; ULLMER, B.: Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 1997 (CHI '97), S. 234–241
- [JAM11] JACKSON, T. ; ANGERMAN, F. ; MEIER, P.: Survey of Use Cases for Mobile Augmented Reality Browsers. In: FURHT, B. (Hrsg.): *Handbook of Augmented Reality*, Springer Science+Business Media, LLC, 2011
- [Juna] *Home | Augmented Reality - junaio... your mobile companion.* <http://www.junaio.com/>, Abruf: 03.09.2012
- [Junb] *Location Based | Augmented Reality - junaio... your mobile companion.* <http://www.junaio.com/develop/docs/documentenation/general/location-based/>, Abruf: 31.08.2012
- [KH04] KARIMI, H.A. (Hrsg.) ; HAMMAND, A. (Hrsg.): *Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services*. CRC Press, Florida, 2004
- [KM03] KOOPER, R. ; MACINTYRE, B.: Browsing the Real-World Wide Web: Maintaining Awareness of Virtual Information in an AR Information Space. In: *Int. J. Hum. Comput. Interaction* 16 (2003), Nr. 3, S. 425–446
- [Köp11] KÖPPL, M.: Die App-Economy. In: *Computermagazin CHIP* (2011), Februar, Nr. 2, S. 28–29
- [Laya] *Features - Layar.* <http://www.layar.com/features/>, Abruf: 03.09.2012
- [Layb] *Layar.* <http://www.layar.com/>, Abruf: 03.09.2012
- [Layc] *Press release: The first mobile Augmented Reality browser premiers in the Netherlands.* <http://www.sprxmobile.com/we-launched-layar-worlds-first-augmented-reality-browser-for-mobile/>, Abruf: 31.08.2012
- [Layd] *What is Layar? - Layar.* <http://www.layar.com/what-is-layar/>, Abruf: 03.09.2012

- [LB08] LEE, M. ; BILLINGHURST, M.: A Wizard of Oz study for an AR multimodal interface. In: *Proceedings of the 10th international conference on Multimodal interfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2008 (ICMI '08), S. 249–256
- [LML⁺10] LANE, N.D. ; MILUZZO, E. ; LU, H. ; PEEBLES, D. ; CHOUDHURY, T. ; CAMPBELL, A.T.: A survey of mobile phone sensing. In: *Comm. Mag.* 48 (2010), September, Nr. 9, S. 140–150
- [Mad11] MADDEN, L.: *Professional Augmented Reality Browsers for Smartphones: Programming for Junaio, Layar and Wikitude*. John Wiley & Sons, 2011 (Programmer to programmer)
- [MBRS11] MEHLER-BICHER, A. ; REISS, M. ; STEIGER, L.: *Augmented Reality: Theorie und Praxis*. München : Oldenbourg, 2011
- [MDS10] MULLONI, A. ; DÜNSER, A. ; SCHMALSTIEG, D.: Zooming interfaces for augmented reality browsers. In: *Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (MobileHCI '10), S. 161–170
- [Mea] *Holograms 3D Holographic Projection - Laser Magic Projection*. <http://www.laser-magic.com/transscreen.html>, Abruf: 18.08.2012
- [Moba] *Mobile Devices - General Facts and Figures*. <http://www.mobilestatistics.com/mobile-devices/>, Abruf: 23.08.2012
- [Mobb] *Mobile Statistics - Statistics Made Visual*. <http://www.mobilestatistics.com/mobile-statistics/>, Abruf: 23.08.2012
- [Mor] *More Smart Less Phone?* <http://www.mobilestatistics.com/mobile-news/more-smart-less-phone.aspx>, Abruf: 17.09.2012
- [MTUK94] MILGRAM, P. ; TAKEMURA, H. ; UTSUMI, A. ; KISHINO, F.: Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. In: *Proceedings of the SPIE Conference on Telemanipulator and Telepresence Technologies* Bd. 2351. Boston, Massachusetts, USA, November 1994 (Proceedings of SPIE), S. 282–292

- [OHA] http://www.openhandsetalliance.com/oha_faq.html
- [Orb] *Die Umlaufbahnen der GPS-Satelliten.* <http://www.kowoma.de/gps/Umlaufbahnen.htm>, Abruf: 18.08.2012
- [Pen11] PENCE, H.E.: Smartphones, Smart Objects, and Augmented Reality. In: *The Reference Librarian* 52 (2011), Nr. 1-2, S. 136–145
- [PG11] PETTEY, C. ; GOASDUFF, L.: *Gartner's 2011 Hype Cycle Special Report Evaluates the Maturity of 1,900 Technologies.* <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1763814>. Version: August 2011, Abruf: 17.09.2012
- [PHM] *3DVIS research.* <http://3dvis.optics.arizona.edu/research/pHMPD.html>, Abruf: 18.08.2012
- [PLRR11] PLATZER, D. ; LEITINGER, S. ; REHRL, K. ; RIESER, H.: Nutzung von OpenStreetMap-Daten für Augmented Reality-Anwendungen am Beispiel von Peak.ar. In: *Angewandte Geoinformatik 2011 - Beiträge zum 23. AGIT-Symposium (AGIT 2011)*, Wichmann Verlag, 2011, S. 175–182
- [PM06] PRESSIGOUT, M. ; MARCHAND, E.: Hybrid tracking algorithms for planar and non-planar structures subject to illumination changes. In: *Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2006 (ISMAR '06), S. 52–55
- [PSTM08] PAPAGIANNAKIS, G. ; SINGH, G. ; THALMANN-MAGNENT, N.: A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems. In: *Comput. Animat. Virtual Worlds* 19 (2008), Nr. 1, S. 3–22
- [Rav] RAVADO, R.: *10 Best Free Accelerometer Apps for iPhone and iPod Touch.* <http://rikravado.hubpages.com/hub/10-Best-Accelerometer-Apps>, Abruf: 15.06.2012
- [Rea07] REARDON, M.: *Google unveils cell phone software and alliance.* http://news.cnet.com/8301-17939_109-9810937-2.html. Version: November 2007, Abruf: 18.08.2012

- [Rie10] RIEDL, A.: *Multimedia und Geokommunikation*. Lernunterlagen für das Proseminar Multimedia und Geokommunikation, Universität Wien, 2010
- [RRJ⁺11] ROSS, P. ; ROMERO, J. ; JONES, W. ; BLEICHER, A. ; CALAMIA, J. ; MIDDLETON, J. ; STEVENSON, R. ; MOORE, S. ; UPSON, S. ; SCHNEIDER, D. ; JONES, W. ; GUIZZO, E. ; PERRY, T. ; ZORPETTE, G.: Top 11 technologies of the decade. In: *IEEE Spectrum* 48 (2011), Januar, Nr. 1, S. 27–63
- [Shn98] SHNEIDERMAN, B.: *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. 3. ed., reprint. with corr. Reading, Mass. [u.a.] : Addison-Wesley, 1998
- [SSPG11] SCHALL, G. ; SCHÖNING, J. ; PAELKE, V. ; GARTNER, G.: A survey on augmented maps and environments: Approaches, interactions and applications. In: LI, S. (Hrsg.) ; DRAGICEVIC, S. (Hrsg.) ; VEENENDAAL, B. (Hrsg.): *Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications*, CRC Press, 2011, S. 207–225
- [STA] *Vuzix - View the Future Today*. http://www.vuzix.com/news/product_photos.html, Abruf: 18.08.2012
- [Sut68] SUTHERLAND, I.E.: A head-mounted three dimensional display. In: *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*. New York, NY, USA : ACM, 1968 (AFIPS '68 (Fall, part I)), S. 757–764
- [Tam12] TAMARJAN, D.: *Mobile AR browsers and what stops them from taking over the world*. <http://augmentedtomorrow.com/mobile-ar-browsers-and-what-stops-them-from-taking-over-the-world/>. Version: Februar 2012, Abruf: 27.08.2012
- [Tön10] TÖNNIS, M.: *Augmented Reality – Einblicke in die Erweiterte Realität*. Springer, 2010
- [Tri] *Trivisio | ARvision-3D HMD*. <http://www.trivisio.com/index.php/products/hmdnte/arvision-3d-hmd>, Abruf: 18.08.2012

- [UJ11] UJ-JAMAN, A.: *Sensors in Smartphones*. <http://mobiledeviceinsight.com/2011/12/sensors-in-smartphones/>. Version: Dezember 2011, Abruf: 15.06.2012
- [VMG⁺01] VIRRANTAU, K. ; MARKKULA, J. ; GARMASH, A. ; TERZIYAN, V. ; VEIJALAINEN, J. ; KATASONOV, A. ; TIRRI, H.: Developing GIS-Supported Location-Based Services. In: *WISE (2)*, 2001, S. 66–75
- [WD11] WAGNER, A. ; DORNER, W.: Design eines Location-based Services unter Berücksichtigung von Indoor- und Outdoor-Funktionalität. In: *Angewandte Geoinformatik 2011 - Beiträge zum 23. AGIT-Symposium (AGIT 2011)*, Wichmann Verlag, 2011, S. 698–703
- [Wei99] WEISER, M.: The computer for the 21st century. In: *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.* 3 (1999), Juli, S. 3–11
- [Wes11] WEST, M.T.: Ubiquitous computing. In: *Proceedings of the 39th ACM annual conference on SIGUCCS*. New York, NY, USA : ACM, 2011 (SIGUCCS '11), S. 175–182
- [Wika] *Supported devices for Wikitude*. <http://www.wikitude.com/tour/wikitude-world-browser/supported-devices>, Abruf: 31.08.2012
- [Wikb] *What is Wikitude Augmented Reality Browser - Tour*. <http://www.wikitude.com/tour/wikitude-world-browser>, Abruf: 31.08.2012
- [Wikc] *Wikitude - World's leading Augmented Reality SDK*. <http://www.wikitude.com/>, Abruf: 03.09.2012
- [WS09] WAGNER, D. ; SCHMALSTIEG, D.: History and Future of Tracking for Mobile Phone Augmented Reality. In: *2009 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality* Bd. 0. Los Alamitos, CA, USA : IEEE, Juli 2009, S. 7–10

- [WVS05] WUEST, H. ; VIAL, F. ; STRICKER, D.: Adaptive Line Tracking with Multiple Hypotheses for Augmented Reality. In: *Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2005 (ISMAR '05), S. 62–69
- [YbSpZhQ08] YI-BO, L. ; SHAO-PENG, K. ; ZHI-HUA, Q. ; QIONG, Z.: Development Actuality and Application of Registration Technology in Augmented Reality. In: *Proceedings of the 2008 International Symposium on Computational Intelligence and Design - Volume 01*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2008, S. 69–74
- [ZDB08] ZHOU, F. ; DUH, H.B. ; BILLINGHURST, M.: Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. In: *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, IEEE, September 2008, S. 193–202

Abbildungsverzeichnis

2.1.	Beispiele von AR bei Live-Sportübertragungen	8
2.2.	Sutherlands erstes HMD	9
2.3.	Zeichnung eines HUDsets	10
2.4.	Reality-Virtuality Continuum	12
2.5.	LBSs als Schnittmenge von verschiedenen Technolgien	14
3.1.	Verienfachte Zeichnung von <i>Head-Mounted Displays</i>	19
3.2.	AR-Displays	20
3.3.	Beispiele zu <i>Head-Mounted Displays</i>	22
3.4.	Vereinfachte Zeichnung eines <i>Retinal Displays</i>	24
3.5.	Beispiel eines polarisierten HMPDs	24
3.6.	Beispiel eines <i>Handheld Displays</i>	26
3.7.	Beispiel eines <i>Screen-Based Video See-Through Displays</i>	27
3.8.	Beispiel eines <i>Spatial Optical See-Through Displays</i>	29
3.9.	Beispiel eines <i>Projection-Based Spatial Displays</i>	30
4.1.	Schematische Darstellung der 6DoF	34
4.2.	Beispiele zum <i>Markertracking</i>	42
5.1.	WIMP-basiertes GUI am Beispiel des Mac OS X	53
5.2.	Von GUIs zu TUIs	61
5.3.	Bespiel für ein <i>Tagible AR Interface</i>	61
5.4.	Beispiel eines <i>Collaboration AR Interfaces</i>	62
7.1.	„Touring Machine“ der University of Columbia	77
7.2.	Die Evolution in der MAR	78
7.3.	Smartphones der frühesten Generation	82
7.4.	Weiterentwicklungen von Smartphones	83
7.5.	Apple’s iPhone 3G mit iOS	84

7.6. Google's G1 mit Android	85
7.7. iPhone 4 mit Sensoren	87
7.8. Umlaufbahnen der GPS-Satelliten	90
7.9. Das erste GPS-fähige Mobiltelefon	92
7.10. Zusammenspieles der Sensoren bei einer AR-Szene auf einem Smartphone	100
8.1. iTunes mit integriertem App Store	106
8.2. Internetansicht von Google Play	107
8.3. <i>Sicht-basierte AR</i> mit dem <i>junaio AR-Browser</i>	110
8.4. Elemente und Symbole eines AR-Browsers	113
8.5. Die App-Logos der drei bekanntesten AR-Browser	115
8.6. <i>Wikitude World Browser</i>	116
8.7. <i>Layar Reality Browser</i>	117
8.8. <i>junaio Augmented Reality Browser</i>	118
8.9. <i>Markerbasierte AR</i> mit <i>junaio</i>	119
9.1. Hype Cycle 2011 — Die AR befindet sich in der zweiten Phase . . .	128

„Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte jedoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.“

Tabellenverzeichnis

4.1. <i>Sensor-Based Tracking-Systems</i>	39
---	----

A. Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass die ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, im Oktober 2012

Marko Einspieler

B. CURRICULUM VITAE

Persönliche Daten

Marko Einspieler
16.12.1980
marko.einspieler@gmx.at

Ausbildung

seit WS 2005	Universität Wien (Diplomstudium Geographie, Studien- zweig Kartographie und Geoinformation)
07/1999	Reifeprüfung am BG/BRG für Slowenen in Klagen- furt
1991 — 1999	BG/BRG für Slowenen in Klagenfurt

Berufserfahrung & Praktika

08/2012	Dipl. Ing. Hannes H. Schubert, Ziviltechniker GmbH Kremser Landstraße 2, 3100 St. Pölten Tätigkeit: Praktikant
WS 2010	Tutor für die LV „Kartenverwandte Ausdrucksfor- men“ an der Universität Wien (Studienzweig Karto- graphie und Geoinformation)
01 – 02/2010	Projektmitarbeiter an der Universität Wien Tätigkeit: Aufbereitung des Gewässernetzes von Ös- terreich für die Hochwasserrichtlinien (HWRL)
12/2008 – 03/2009	Projektmitarbeiter an der Universität Wien Tätigkeit: Aktualisierung des Berichtsgewässernet- zes (BGN) für das Bundesland Oberösterreich
2006 — 2008 (Ferialjob)	POSOJILNICA-BANK Ludmannsdorf-Keutschach- Schiefling reg. Gen. m b. H. 9072 Ludmannsdorf 33a Tätigkeit: Kundenservice, Front-Office, Back-Office

B. CIRRICULUM VITAE

2000 — 2005 POSOJILNICA-BANK Ludmannsdorf-Keutschach-
Schiefling reg. Gen. m b. H.
9072 Ludmannsdorf 33a
Tätigkeit: Kundenservice, Front-Office, Back-Office

Auslandsreisen

07/2009 USA-Aufenthalt mit der Universität Wien (Studien-
zweig Kartographie und Geoinformation)

Ehrenamtliche Tätigkeiten

09/2009 Deutscher Geographentag 2009 in Wien
Tätigkeit: Technischer Dienst

12/2005 – 12/2007 Klub slowenischer Studentinnen und Studenten in
Wien
Mondscheingasse 11, 1070 Wien
Tätigkeit: Kassier