

Geleitwort

Das von mir vertretene Fachgebiet „Rechnerintegrierte Produktion“ am Heinz Nixdorf Institut befasst sich mit der Nutzung der Informationstechnik in Industrieunternehmen. Die vergangenen Jahre haben gezeigt, dass der gezielte Einsatz von Informationstechnik die Effizienz der Leistungserstellungsprozesse im Industrieunternehmen nachhaltig steigert. Zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit sind Industrieunternehmen gezwungen, die Nutzenpotenziale neuer Technologien frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig auszuschöpfen.

Augmented Reality (AR) ist eine solche Technologie, die ein hohes Nutzenpotential aufweist und an der Schwelle zur breiten Anwendung steht. AR reichert das, was der Benutzer von der Realität wahrnimmt, mit computergenerierten Informationen an. Im Prinzip eröffnen sich erfolgversprechende Anwendungen über den gesamten Produktlebenszyklus von der Produktentwicklung über die Fertigung / Montage, dem Betrieb bis zur Demontage.

Vor diesem Hintergrund zeigt Herr Fründ einen Weg auf, wie Augmented Reality und damit verbunden markerloses Tracking und mobile Kommunikation zur Produktpräsentation genutzt werden. Er entwickelte eine Client / Server-Architektur, die diese Technologien zusammenführt und eine rationelle Realisierung von AR-Anwendungen ermöglicht.

Die Arbeit von Herrn Fründ ist ein wichtiger Beitrag zur effizienten Entwicklung von leistungsfähigen AR-Anwendungen. Sie trägt damit wesentlich dazu bei, die vorhandenen Nutzenpotenziale von AR auszuschöpfen.

Paderborn, im Dezember 2007

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier

Eine Architekturkonzeption für eine skalierbare mobile Augmented Reality Anwendung für die Produktpräsentation

zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)

von der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Paderborn

genehmigte
DISSERTATION

von
Dipl.-Inform. Jürgen Fründ
aus Geseke

Tag des Kolloquiums: 21. Dezember 2006

Referent: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Rainer Koch

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Angestellter im Fachgebiet Rechnerintegrierte Produktion am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn.

Sehr herzlich danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier, für die stetige Unterstützung und Förderung meiner Arbeit während meiner Zeit als Wissenschaftlicher Angestellter, für die kritische Auseinandersetzung mit meiner wissenschaftlichen Arbeit, für die gewährte große wissenschaftliche Freiheit und die Vielzahl von Anregungen und Diskussionen.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. R. Koch für die Übernahme des Ko-Refferates und die kritische Durchsicht dieser Dissertation.

Meinen besonderen Dank gilt meinen Kollegen aus dem Team Augmented/Virtual Reality: Dipl.-Ing. M. Grafe, Dipl.-Inform. J. Bauch, Dr.-Ing. J. Berssenbrügge, Dipl.-Wirt. Ing. U. Brüseke, Dr.-Ing. C. Matysczok, Dipl.-Ing. K. Mette, Dipl.-Wirt. Ing. S. Parisi, Dr.-Ing. R. Radkowsky, Dipl.-Ing. M. Schoo, Dr.-Ing. Q. Shen, Dr.-Ing. R. Wortmann.

Ich danke auch allen Studentischen Hilfskräften sowie allen Studien- und Diplomarbeitern, die durch ihr Mitwirken an dem Gelingen der Arbeit beteiligt waren. Weiterhin möchte ich mich bei allen Beteiligten des Projektes AR-PDA bedanken für die hervorragende und erfolgreiche Zusammenarbeit. Ein großer Dank gilt auch den guten Geistern im Sekretariat A. Dutschke und S. Illigen.

Diesmal vergesse ich nicht S. Pollmann, bei dem ich mich bedanke weil er auch spontan Zeit hatte, meine Arbeit Korrektur zu lesen.

Ein besonderes Dankeschön gilt meiner Mutter, die mich in den vergangenen Jahren vielfältig unterstützt hat. Die Dissertation widme ich meinem Vater, der die Fertigstellung leider nicht mehr erleben konnte.

Ganz besonderer Dank gilt Bianca, die viel Geduld und Kraft während meiner Dissertation aufgebracht hat und mich so motivierte.

Paderborn, im Dezember 2007

Jürgen Fründ

Eine Architekturkonzeption für eine skalierbare mobile Augmented Reality Anwendung

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	1
1.1 Problematik	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Vorgehensweise	2
2 Grundlagen und Anforderungen an eine Systemarchitektur für Augmented Reality Anwendungen	5
2.1 Augmented Reality	5
2.1.1 Definition	5
2.2 Positionsbestimmungssysteme	9
2.2.1 Time Frequency Measurement	10
2.2.1.1 GPS	10
2.2.1.2 Ultraschall	11
2.2.2 Optisches Tracking	12
2.2.2.1 Markerbasierte Verfahren	13
2.2.2.2 Natural Feature Tracking	16
2.2.3 Weitere Verfahren	18
2.2.3.1 Inertiale Verfahren	18
2.2.3.2 Laser	18
2.2.3.3 Magnetisches Verfahren	19
2.2.3.4 Hybride Ansätze	19
2.3 Mobile Endgeräte	20
2.3.1 Tablet PC	20
2.3.2 PDA	21
2.3.3 Smartphones	22
2.4 Drahtlose Kommunikation	23
2.4.1 Global System for Mobile Communication (GSM)	23
2.4.2 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)	25
2.4.3 Wireless Local Area Network (WLAN)	26
2.5 AR-Anwendungen im Produktlebenszyklus	27

2.5.1	Entwicklung/ Konstruktion	27
2.5.2	Fertigungsplanung	29
2.5.3	Fertigung	31
2.5.4	Vertrieb	33
2.5.5	Betrieb	35
2.5.6	Rücknahme	37
2.6	Anforderungen an ein System für ein mobiles skalierbares AR-System zur Präsentation von technischen Produkten	38
3	Analyse bestehender Systeme für mobile AR Anwendungen...	41
3.1	ARVIKA	41
3.2	AR ToolKit	45
3.3	Studierstube mit ARToolKitPlus für PDA	47
3.4	Cellphone Tracking	50
3.5	Distributed Wearable Augmented Reality Framework (DWARF)	52
3.6	Tinmith	54
3.7	Ubiquitous Mobile Augmented Reality (UMAR)	58
3.8	wearIT@work	60
3.9	Handlungsbedarf und Zielsetzung der Arbeit	64
4	Konzeption und Systementwurf	67
4.1	Systemarchitektur	67
4.1.1	Client	70
4.1.2	Kommunikation	71
4.1.2.1	Videoübertragung	72
4.1.2.2	Interaktionen	72
4.1.3	AR-Server	73
4.1.3.1	Das Managementsystem	76
4.1.3.2	Objektdarstellung	79
4.1.3.3	Tracking	80
4.1.3.4	Datenhaltung	82
4.2	Autorensystem	84
4.3	Integration in den Produktlebenszyklus	87
4.3.1	Ermittlung der Trackingdaten	87
4.3.2	Anwendungsentwicklung	88
4.3.3	Integration in die bestehende IT-Umgebung	89
4.4	Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen	91
5	Prototypische Realisierung	93

5.1 Implementierung.....	94
5.2 Anwendungsszenario	95
6 Zusammenfassung und Ausblick.....	99
7 Abkürzungsverzeichnis.....	101
8 Abbildungsverzeichnis.....	103
9 Literaturverzeichnis.....	107

1 Einleitung

Informationen und Kommunikationstechnik durchdringen alle Lebensbereiche. In der Arbeitswelt und im privaten Umfeld sind heute mobile Kommunikationsgeräte wie Mobiltelefone, Organizer, PDAs und Laptops weit verbreitet. Der Zugriff der Geräte auf das Internet ist mittlerweile durch die Kommunikationstechnologie überall möglich. Technologien wie UMTS unterstützen den breitbandigen Zugriff auf Informationen. In Hotels, Flughäfen und öffentlichen Einrichtungen nimmt die Zahl der Hotspots zu, über die mobile Kommunikationsgeräte per wireless LAN (WLAN) eine Verbindung zum Internet aufbauen können. Die Kommunikationsinfrastruktur bietet heute einen allgegenwärtigen Zugriff auf Informationen, unabhängig von Ort und Zeit [TP03], [Rot02].

Der Einsatz der Informationstechnik prägt heute auch die Leistungserstellungsprozesse in der Industrie. Virtuelle Prototypen sind feste Bestandteile der Produktentwicklungsprozesse. Virtuelle Prototypen sind die rechnerinterne Repräsentation eines realen Prototyps, der im Entwicklungsprozess analysiert und konkretisiert wird. Ist der Entwicklungsprozess abgeschlossen, so wird der virtuelle Prototyp zum virtuellen Produkt, das in die Serienfertigung übernommen werden kann. Durch den Einsatz von virtuellen Prototypen liegen alle Produktinformationen elektronisch vor [GEK01].

Die Technologie Augmented Reality (AR) ist eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, die computergenerierte Informationen kontextsensitiv in das Sichtfeld des Benutzers einblendet und somit den Informationsgehalt der realen Welt erweitert [BK+01]. Der Einsatz dieser Technologie mit der Kombination der virtuellen Prototypen und der mobilen Kommunikationstechnologien eröffnet neue Perspektiven im Produktlebenszyklus von der Entwicklung über die Produktion, dem Marketing und Vertrieb bis zur Wartung und dem Recycling.

1.1 Problematik

Das Management der Produktinformationen benötigt eine kommunikations- und informationstechnische Unterstützung. Die Variantenvielfalt steigt [HBF03]. Die Produkte werden immer komplexer. Besonders in der Produktion und Wartung von Produkten ist die Verfügbarkeit der aktuellen Produktinformationen eine Herausforderung. Die wirksame Unterstützung des Benutzers hängt dabei sehr stark von der Art der Bereitstellung dieser Informationen ab [VK02]. Die Daten sind heute in Handbüchern, Bedienungsanweisungen oder elektronischen Produktdatenmanagementsystemen (PDM) vorhanden. Zum Zugriff auf diese Daten durchsucht der Mitarbeiter im Service oder der Produktion die Handbücher oder Bedienungsanweisungen oder er benutzt einen Lap-

top oder PC-Arbeitsplatz, um die Informationen über den elektronischen Weg zu erhalten. Es kommt einerseits zum Medienbruch, da die elektronischen Daten in Form von Handbüchern ausgedruckt werden und somit einen bestimmten Informationsstand zu einer bestimmten Zeit darstellen, der aber längst überholt sein kann. Auf der anderen Seite unterbricht der Mitarbeiter seinen Arbeitsprozess, um seine ganze Aufmerksamkeit auf die Informationsermittlung zu konzentrieren [RNB02]. Der traditionelle Desktop-PC schränkt den Zugriff auf die Informationen durch seinen stationären Charakter ein. Zur Informationsermittlung geht der Anwender zum Informationsplatz, verlässt er den Platz, so stoppt der Informationsfluss abrupt.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Architekturkonzeptes, das es ermöglicht, die Technologie Augmented Reality auf verschiedenen mobilen Endgeräten einzusetzen. Der Nutzer wird in allen Phasen des Produktlebenszyklus mit der Technologie Augmented Reality unterstützt, um Produktinformationen am Produkt zu visualisieren. Die Produktinformationen werden aus einer Datenbank abgerufen und in das Sichtfeld des Benutzers eingeblendet. Der Arbeitsprozess wird nicht mehr unterbrochen, weil der Benutzer ein Informationssystem aufsuchen muss. Der Einsatz von elektronischen Produktinformationen gewährleistet die Aktualität der Informationen. Die Auswahl der Informationen wird durch das Erkennen des Benutzerkontextes unterstützt. Die Basis hierzu bildet das Verfolgen und Erkennen von Objekten, dazu werden verschiedene Trackingverfahren in der Architektur berücksichtigt.

1.3 Vorgehensweise

Die Arbeit stellt in Kapitel 2 die Grundlagen der Technologie Augmented Reality vor. Es werden die Nutzenpotenziale dieser Technologie anhand von Anwendungsszenarien aufgezeigt. Aus Anwendungsszenarien werden die Anforderungen an eine Systemarchitektur abgeleitet. Anhand der Anforderungen werden bestehende Systemarchitekturen analysiert und ein Handlungsbedarf für die Entwicklung eines neuen Architekturkonzeptes für skalierbare mobile Augmented Reality Anwendungen abgeleitet.

In Kapitel 4 wird das Architekturkonzept für skalierbare mobile Augmented Reality Anwendungen vorgestellt. Die Basis bildet ein Managementsystem, das den Ablauf der gesamten Anwendung steuert. Das System greift auf die verschiedenen Komponenten der Architektur zu. Eine Renderingeinheit rendert die computergenerierten Informationen und mischt sie mit einem Videobild der Realität. Eine Datenbank liefert die darzustellenden Informationen und spei-

chert die benötigten Trackinginformationen zur Objekt- und Positionserkennung.

Kapitel 5 beschreibt die prototypische Implementierung des Architekturkonzeptes für skalierbare mobile Augmented Reality Anwendungen am Beispiel des Projektes AR-PDA. In einem Verkaufsszenario werden verschiedene Hausgeräte identifiziert sowie ihre Lage und Position berechnet. Der Benutzer kann auf einem mobilen Endgerät um die Hausgeräte eine Küche konfigurieren und Produktinformationen zu den Geräten abrufen.

Den Abschluss der Arbeit bildet Kapitel 6 mit einer Zusammenfassung der Arbeit und einen Ausblick in zukünftige Entwicklungen im Bereich der mobilen Augmented Reality Anwendungen.

2 Grundlagen und Anforderungen an eine Systemarchitektur für Augmented Reality Anwendungen

2.1 Augmented Reality

Die Technologie Augmented Reality ist eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, die aus der Technologie Virtual Reality entstanden ist. Die wörtliche Übersetzung bedeutet „erweiterte Realität“. Die Sicht auf die Realität wird mit computergenerierten Informationen angereichert oder erweitert. Die Technologie Augmented Reality wird nach MILGRIM in dem Mixed Reality-Kontinuum eingeordnet (siehe Bild 2-1) [MTU+94]. Das Mixed Reality Kontinuum spannt sich von der Realität zur Virtuellen Realität auf. Der Anteil der computergenerierten Inhalte nimmt in dem Kontinuum von links nach rechts zu bis zur Virtuellen Realität, die zu 100% aus computergenerierten Informationen besteht. Während der Benutzer in die Virtuelle Realität eintaucht, überlagert die Technologie Augmented Reality die Realität mit zusätzlichen Informationen.

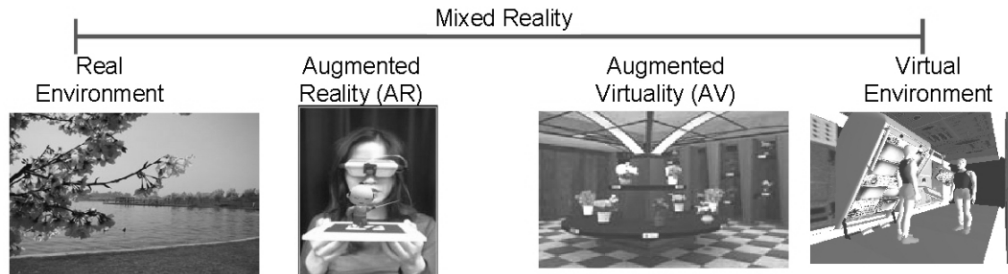


Bild 2-1: Mixed Reality Kontinuum [MTU+94]

2.1.1 Definition

In der Literatur gibt es eine Vielzahl von Definitionen zu Augmented Reality [FMS93], [MTU+94], [SFS+96] und [Sza99] in denen die Kombination von realer und virtueller Welt und der Einsatz von Head Mounted Displays (HMD)¹ im Vordergrund steht. Wichtige Aspekte wie z.B. Interaktion und

¹ Head Mounted Display (HMD): Ein Helm oder eine Brille mit integrierten Bildschirmen für jedes Auge.

Echtzeit werden nicht berücksichtigt. Eine ausführliche und technologieunabhängige Definition gibt AZUMA in [Azu97]. Er beschränkt AR nicht nur auf den Sehsinn, sondern bezieht alle Wahrnehmungssinne ein, wie z.B. hören, tasten oder riechen [ABB+01]. AZUMA definiert Augmented Reality über die folgenden drei Merkmale:

- Kombination von realer und virtueller Welt
- Interaktion in Echtzeit
- Registrierung in drei Dimensionen

Kombination von realer und virtueller Welt

Die Grundidee von Augmented Reality ist die Erweiterung der Welt des Benutzers mit zusätzlichen Informationen. Die Erweiterung der Welt geschieht durch das Kombinieren der Realität mit virtuellen Informationen. Die Informationen können Texte, Videos, Sprache, Klänge, Zeichen, 2D- oder 3D-Graphiken sein, die in die Umgebung des Benutzers eingeblendet werden und so eine Kombination aus virtueller und realer Welt bilden. In Bild 2-2 werden Handlungsanweisungen als Symbole in die VR-Brille mit der Realität vermischt [Azu97].



Bild 2-2: Virtuelle Informationen werden in das Sichtfeld des Monteurs eingeblendet [Gau02]

Interaktion in Echtzeit

Der Benutzer soll mit den virtuellen Objekten der erweiterten Realität genauso agieren können wie mit den realen Objekten in seiner Umgebung. Die virtuellen Objekte müssen in Echtzeit auf Aktionen des Benutzers reagieren, um den Eindruck der direkten Manipulation zu erreichen. Eine stetige sensorische Überwachung des Benutzers (Tracking) erfasst das Verhalten des Benutzers und ermöglicht das Erkennen von Benutzeraktionen, auf die das System reagiert [Azu97].

Registrierung in drei Dimensionen

Die virtuellen Informationen werden kontextsensitiv und damit sachbezogen eingeblendet. Die virtuellen Informationen und die reale Welt werden exakt zur Deckung gebracht, um die Informationen korrekt einzublenden. Mit Tracking-Systemen wird die Position des Benutzers ermittelt, so dass die virtuellen Objekte auf die realen projiziert werden [Azu97].

MATYSCZOK fasst diese drei Punkte in der folgenden Definition zusammen:

„Augmented Reality (AR) ist die Gesamtheit aller Elemente aller Technologien zur echtzeitfähigen, kontextsensitiven Anreicherung der Realität durch multimodale, computergenerierte Informationen, die einen räumlichen Bezug haben und mit denen der Benutzer interagieren kann, mit dem Ziel, den Informationsgehalt der realen Welt zu erweitern.“

[Mat05, S. 7]

Analog zur Differenzierung zwischen Virtual Reality und Virtual Environment in [Ebb97] führt MATYSCZOK den Begriff des Augmented Environment ein:

„Ein Augmented Environment (AE) ist eine in Echtzeit durch computergenerierte Informationen, die einen räumlichen Bezug haben, kontextsensitiv angereicherte Realität, die durch den Benutzer multimodal wahrnehmbar und manipulierbar ist.“ [Mat05, S. 7]

Die Hard- und Software zum Erstellen und Erzeugen einer Augmented Environment werden nach [Mat05] als Augmented Reality System definiert:

„Ein AR-System umfasst alle hard- und softwaretechnischen Komponenten zur Generierung und zum Betrieb eines Augmented Environments. Dieses beinhaltet ein rechnerinternes Datenmodell, ein leistungsfähiges IT-System, ein Positionsbestimmungssystem, Geräte zur Benutzerinteraktion sowie ein ergonomisches Sichtgerät.“ [Mat05, S. 8]

Nach MATYSCZOK umfasst ein Augmented Reality System die hard- und softwaretechnischen Komponenten zum Erzeugen eines Augmented Environment. Das System besteht aus einem *leistungsfähigen IT-System*, einem *Positionsbestimmungssystem* (Trackingsystem), einem *ergonomischen Sichtgerät*, einem *rechnerinternen Datenmodell* sowie *Geräte zur Benutzerinteraktion*.

MATYSCZOK gibt in [Mat05] einen geschichtlichen Überblick über die Technologie Augmented Reality und erläutert die Bestandteile eines Augmented Reality Systems.

Diese Arbeit legt den Schwerpunkt auf die mobilen Endgeräte, daher werden Videohandys, PDAs und Tablet PCs als Sichtgeräte und Geräte zur Benutzerinteraktion betrachtet und später vorgestellt.

Die Basis eines AR Systems bildet ein leistungsfähiges IT-System. Das IT-System liefert die Informationen, die in die Realität eingeblendet werden. Die Informationen können Texte, 2D- oder 3D-Daten sein. Zur Verarbeitung der Daten benötigt das IT-System ein leistungsstarkes 3D-Subsystem, das in der Lage ist komplexe 3D-Modelle darzustellen. Abhängig von den eingesetzten Sichtgeräten erfolgt das Einblenden der Informationen in die Realität:

Bei Video See-Through Systemen nimmt eine Kamera die Umgebung auf. In das Livevideo werden die Zusatzinformationen eingefügt und an einem Monitor vor den Augen des Betrachters ausgegeben (siehe Bild 2-3).

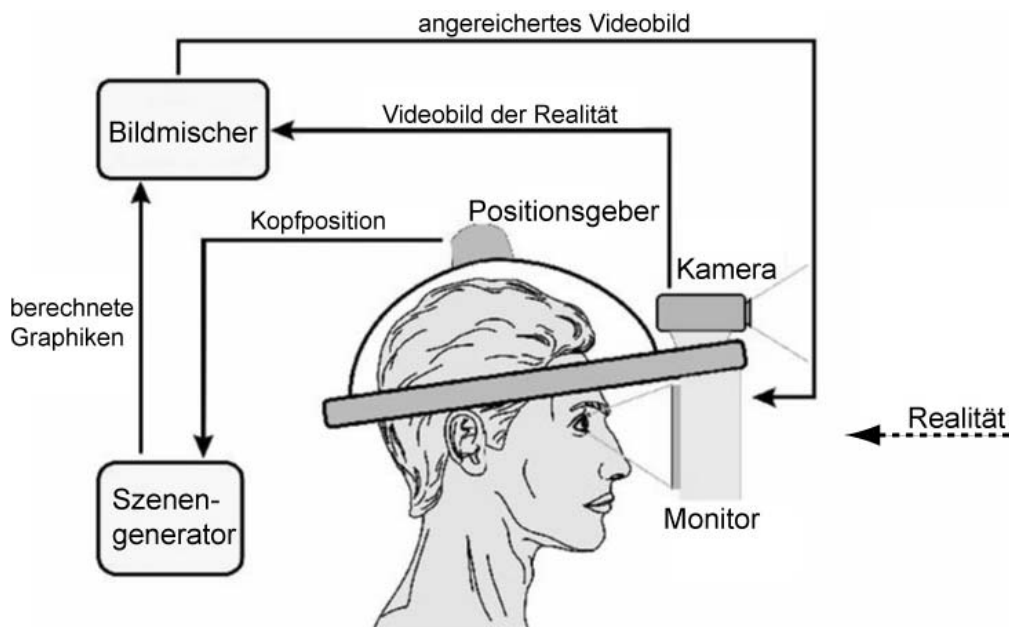


Bild 2-3: Prinzip des Video See-Through Systems [Mat05]

Optical See-Through Systeme bestehen aus einem halbtransparenten Display, das nur die virtuellen Objekte vor die Augen des Betrachters projiziert, während die Realität durch die halbtransparente Fläche im Hintergrund abgeschwächt wahrgenommen wird (siehe Bild 2-4).

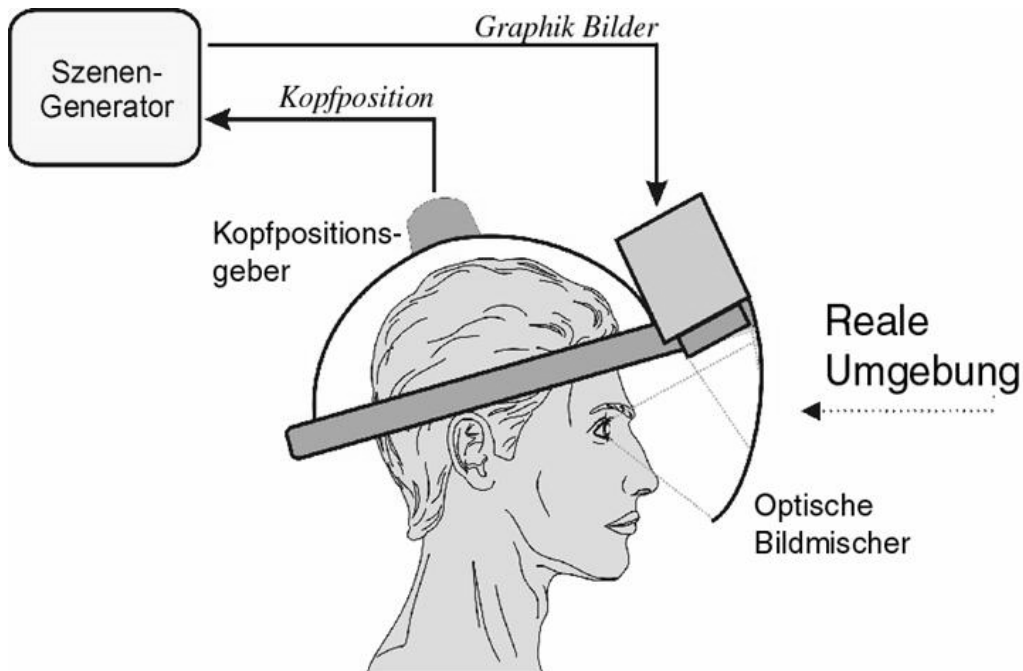


Bild 2-4: Prinzip des Optical See-Through Systems [Mat05]

Für die präzise Überlagerung der virtuellen Objekte mit der Realität werden Positionsbestimmungssysteme eingesetzt, die im folgenden Kapitel beschrieben werden.

2.2 Positionsbestimmungssysteme

Das AR-System gewinnt Informationen über die reale Umwelt durch eine Tracking-Schnittstelle. Dabei handelt es sich um eine unidirektionale Verbindung zur Messung sensorischer Daten. Diese hat zum Ziel, die Position und Orientierung des Nutzers sowie aller relevanten Objekte in der Umgebung zu bestimmen. Die gewonnenen Daten helfen bei der Erstellung einer Repräsentation der realen Welt, die als Welt-Modell in Datenbanken abgelegt wird [ABB+01, S. 34-47], [KW04, S. 5-22], [Azu97, S. 355-385].

AR-Systeme stellen eine Reihe von Anforderungen an das Tracking-Subsystem:

Eine hohe Zuverlässigkeit und Genauigkeit sind die Grundlage für die Registrierung virtueller und realer Objekte. Die Registrierung profitiert ebenso von einer geringen Latenz und hohen Aktualisierungsraten der Sensoren, weil sie dann schneller auf Veränderungen in der Umgebung reagieren kann. Zur Erfassung der Position und Orientierung des Benutzers sind typischerweise sechs Freiheitsgrade (engl. Degrees of Freedom) notwendig, aber diese Anforderung kann nicht jeder Tracking-Sensor erfüllen. Der Einsatz von Tracking-Komponenten in mobilen AR-Systemen setzt ein geringes Gewicht und kompakte Formfaktoren voraus, um den Benutzer nicht in seiner Bewegungsfreiheit einzuschränken. Außerdem sollten die verwendeten Sensoren weitgehend resistent gegenüber Umwelteinflüssen und sparsam im Energieverbrauch sein [ABB+01, S. 34-47], [RDB01, S. 67-112].

Die Anforderungen können zur Zeit nur teilweise und in kontrollierten Räumen erfüllt werden. Gerade die weiträumige Abtastung von unbekanntem Umgebungen bereitet Probleme. Ursache für diese Einschränkung sind die Schwächen der Tracking-Sensoren in Form eines begrenzten Wirkungsbereichs, fehlender Robustheit und der Empfindlichkeit gegenüber Störquellen [Azu97, S. 355-385], [ABB+01, S. 34-47], [ALJ+99, S. 787-793], [KW04, S. 5-22], [RDB01, S. 67-112].

In AR-Systemen können unterschiedliche Tracking-Technologien eingesetzt werden. Der folgende Abschnitt beschreibt die Funktionsweise und Eigenschaften der einzelnen Tracking-Verfahren [RDB01, S. 67-112], [KW04, S. 5-22].

2.2.1 Time Frequency Measurement

Vertreter des auf der Berechnung der Signallaufzeit (Time of Flight) basierenden Verfahrens sind das Global Positioning System (GPS) und Ultraschall. Bei diesen Verfahren wird die Signallaufzeit gemessen und über Triangulierung die Position des zu trackenden Objektes berechnet.

2.2.1.1 GPS

GPS wird seit Jahren zur Positionsbestimmung und Navigation im Freiland für militärische und zivile Zwecke genutzt. Es besteht aus einem Netz von 24 Satelliten, die die Erde in einer Höhe von ca. 20 000 m. umkreisen. Die GPS-Empfänger erhalten von mindestens vier Satelliten ein Signal, das deren Position und einen Zeitstempel enthält. Anhand dieser Werte berechnet der GPS-

Empfänger seine eigene Position. Das Verfahren benötigt eine freie Sicht zwischen dem Empfänger und den Satelliten, und kann daher nicht in Gebäuden eingesetzt werden. Die verfügbare Genauigkeit hängt vom GPS-System ab. Standard GPS liefert eine Genauigkeit von 10-20 Metern, Differential GPS (D-GPS) kann eine Genauigkeit von zehn bis einem Meter erreichen und Kinematik GPS (K-GPS) sogar unter einem Meter [Rot02].

Durch die Miniaturisierung können GPS-Systeme in Mobiltelefone integriert werden. Das Unternehmen Siemens präsentiert ein Mobiltelefon mit einem Assisted-GPS (A-GPS) [Sie05-ol]. Das Mobiltelefon lässt den eigenen Standort durch die Netzinfrastruktur berechnen und zeigt diesen mit Hilfe von Kartenmaterial an.

2.2.1.2 Ultraschall

Zur Positionsbestimmung werden auch akustische Verfahren eingesetzt. Mehrere Lautsprecher geben Ultraschallsignale ab. Die Positionen der Lautsprecher im Raum sind bekannt. An dem zu trackenden Objekt befinden sich Mikrofone, die die Ultraschallsignale aufnehmen. Über Triangulierung und die verschiedenen Signallaufzeiten kann die Position der Mikrofone und damit die Position des gesuchten Objektes berechnet werden. Bild 2-5 zeigt ein hybrides Trackingsystem, das u. a. Ultraschall zur Positionsbestimmung nutzt. Die Metallleisten sind je nach Länge mit zwei bis drei Ultraschallsendern ausgestattet, die ihre Signale in einem Winkelbereich von 60 Grad abstrahlen. Die Leisten werden z. B. an Wänden oder Decken montiert, um den relevanten Arbeitsbereich abzudecken. Die Position der Leisten wird präzise ausgemessen und im Intersenseprozessor gespeichert. Der Intersenseprozessor berechnet die Position des Ultraschallempfängers im Arbeitsbereich und sendet sie über USB oder WLAN zu einem PC, der die Daten für eine Anwendung nutzt.

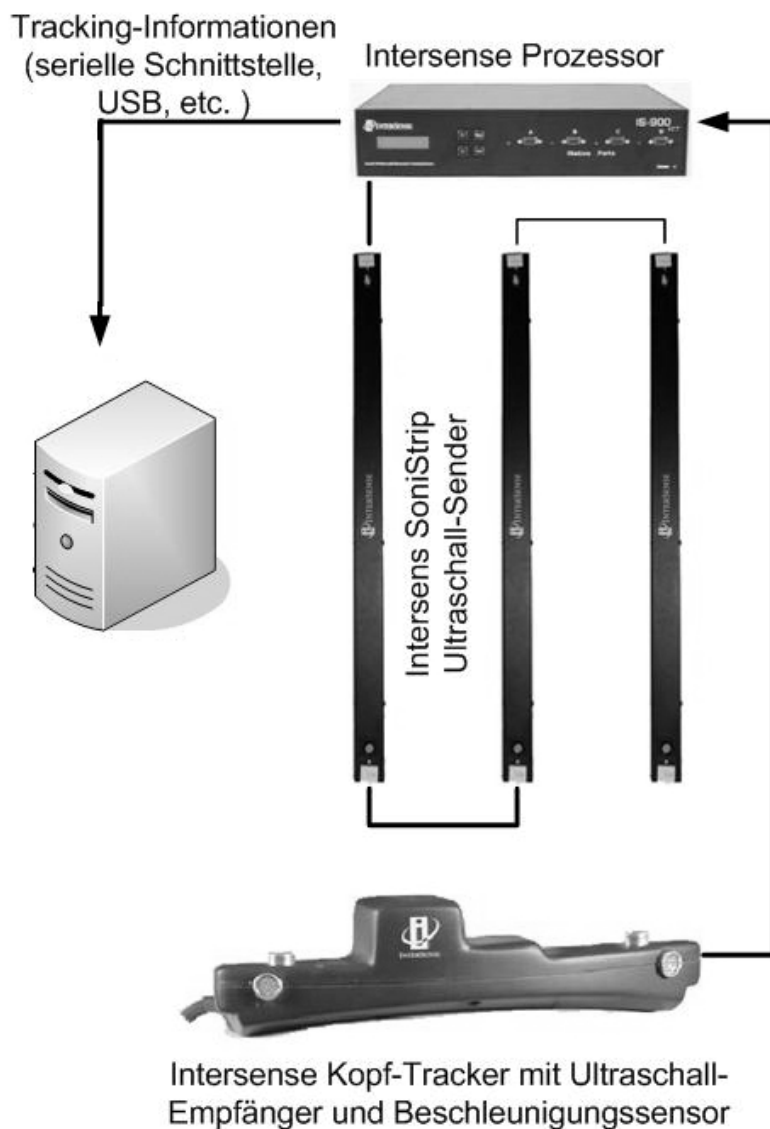


Bild 2-5: Intersense IS900 arbeitet mit Ultraschall

2.2.2 Optisches Tracking

Beim optischen Tracking werden Video- oder Infrarotkameras zum Abtasten der Umgebung eingesetzt. Mit Hilfe von Bildverarbeitungsalgorithmen werden Bildmerkmale erkannt, aus denen die Position und die Orientierung des gesuchten Objekts abgeleitet werden. Die optischen Verfahren können jeweils in die zwei folgenden Arten eingeteilt werden:

Inside-Out: Die Kamera befindet sich an dem zu trackenden Objekt und erfasst Markierungen an festen und bekannten Positionen im Raum, über die die Position der Kamera berechnet wird.

Outside-In: Eine oder mehrere Kameras befinden sich an festen bekannten Positionen im Raum und verfolgen frei bewegliche Objekte. Aus den bekannten Kamerapositionen und dem Blickwinkel relativ zum Objekt kann die Position und Orientierung des Objektes berechnet werden.

Neben der Unterteilung in Inside-Out und Outside-In werden die Verfahren auch in markerbasierte und markerlose Verfahren eingeteilt.

2.2.2.1 Markerbasierte Verfahren

Das optische Tracking wird in den meisten Augmented Reality-Anwendungen verwendet. Die bekannteste Art ist das markerbasierte Tracking auf Basis des ARToolKits [BKK+99], [BKP+00], [BWF96], [BWF97], [KB99]. Die Software wurde von Billinghurst und Kato entwickelt und zur Nutzung im Internet zur freien Verfügung gestellt. Dies führte zu einer weiten Verbreitung innerhalb von Forschung und Lehre. Mit einer Webcam und ausgedruckten Markern kann so eine simple Augmented Reality Anwendung in kurzer Zeit entwickelt werden.

Das Funktionsprinzip wird in Bild 2-6 dargestellt. Das AR-Toolkit analysiert jedes einzelne Kamerabild. Das Bild wird in ein binäres Schwarzweißbild umgewandelt. Die Software sucht in dem Bild nach den Rahmen der Marker. Die Abmessungen der verwendeten Marker sind der Software durch eine Initialisierungsdatei bekannt. Wurde ein Rahmen entdeckt, so berechnet die Software die Position und Orientierung des Markers relativ zur Kameraposition und speichert sie in einer Transformationsmatrix. Das Symbol innerhalb des Markers wird mit gespeicherten Mustern verglichen. Wird das Symbol erkannt, so wird das dem Marker zugeordnete 3D-Objekt mit der entsprechenden Transformationsmatrix ausgerichtet. Anschließend wird das 3D-Objekt in das Video gerendert.

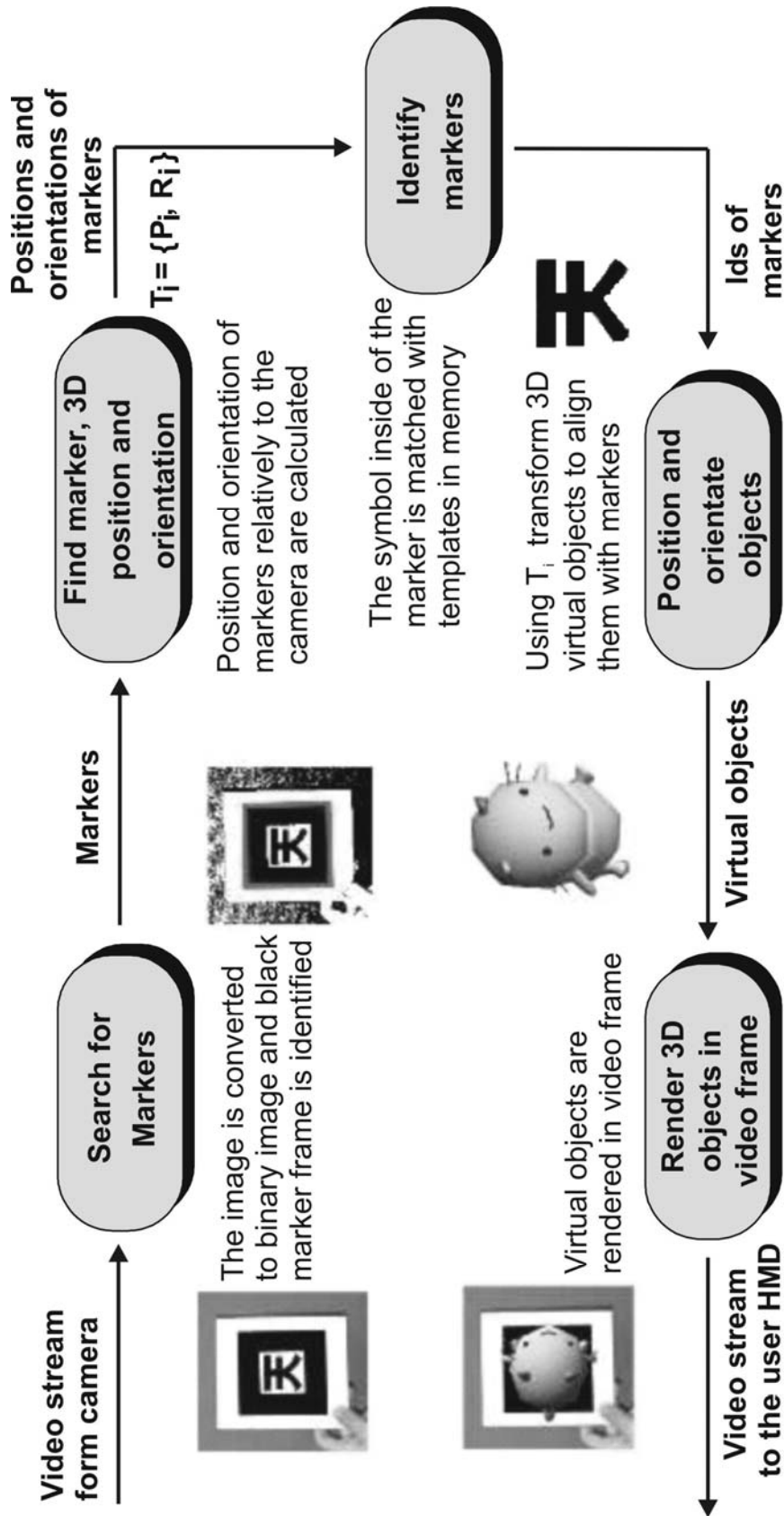


Bild 2-6: Funktionsprinzip des markerbasierten Trackings [HIT06-ol]

Auf dem gleichen Prinzip basieren weitere markerbasierte Verfahren wie z.B. AR Tag [Fia05a], [Fia05b] sowie die im Projekt ARVIKA verwendeten HOM-, IGD- oder SCR Marker [ZFN02]. Die Verfahren unterscheiden sich in der Form der Marker, wie Bild 2-7 zeigt. Beim AR-Toolkit können die Symbole der Marker frei gewählt werden, da jedes Symbol vor der Verwendung der Software gelernt wird. Beim AR-TAG und bei ARVIKA bildet das innere des Markers eine $N \times N$ Matrix aus gleichgroßen Quadraten. Die Quadrate sind schwarz oder weiß und werden als Binärcode interpretiert und ergeben so für jeden Marker einen Zahlenwert. In den Anwendungen wird der Marker über seinen Zahlenwert identifiziert

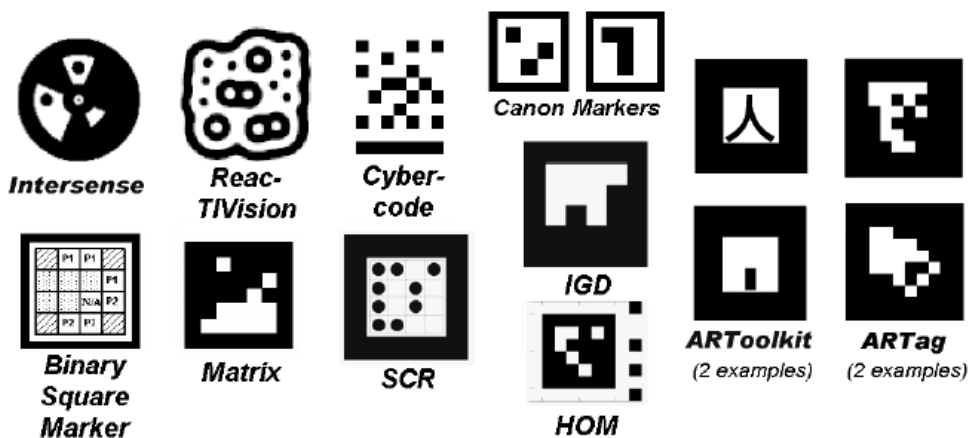


Bild 2-7: Verschiedene Marker [Fia05b]

Im Rahmen des Projektes ARVIKA entwickelte die Firma A.R.T GmbH ein auf Infrarotkameras basierendes Tracking-Verfahren A.R.T-Track [Fri04]. Ein Marker besteht aus mindestens 4 infrarotlichtreflektierenden Kugeln (Bild 2-8 rechts). Die Infrarotkameras (Bild 2-8 links) strahlen Infrarotlicht über integrierte LEDs ab und nehmen ein Infrarotbild auf, in dem die Marker durch ihre reflektierende Eigenschaft deutlich zu erkennen sind. Die in den Kameras integrierten Recheneinheiten führen innerhalb von Millisekunden die Bildverarbeitung durch und berechnen die 2D-Koordinaten der Marker. Die Ergebnisdaten senden sie an einen zentralen PC, der daraus die Position und Orientierung der Marker im Raum berechnet.



Bild 2-8: ARTtrack1: Optisches Infrarot-Tracking [ART06-01]

Der Nachteil der markerbasierten Verfahren ist das Ausstatten der zu trackenden Umgebung oder des zu trackenden Objektes mit den Markern.

2.2.2.2 Natural Feature Tracking

Im Gegensatz zu den markerbasierten Verfahren arbeiten diese Trackingverfahren ohne künstliche Markierungen, die in die Umgebung eingebracht werden. Die Verfahren nutzen Mustererkennungsalgorithmen, um vorher angelegte Muster im Bild zu erkennen und daraus die Position und Orientierung des gesuchten Objekts zu berechnen [KTB+02]. Der Trackingalgorithmus von [LF05] in Bild 2-9 erkennt die Muster des Buchdeckels und kann anhand der Verzerrung berechnen wo sich das Buch im Raum befindet. Das Verfahren arbeitet auch mit komplizierten 3D-Mustern, wie Bild 2-10 zeigt.

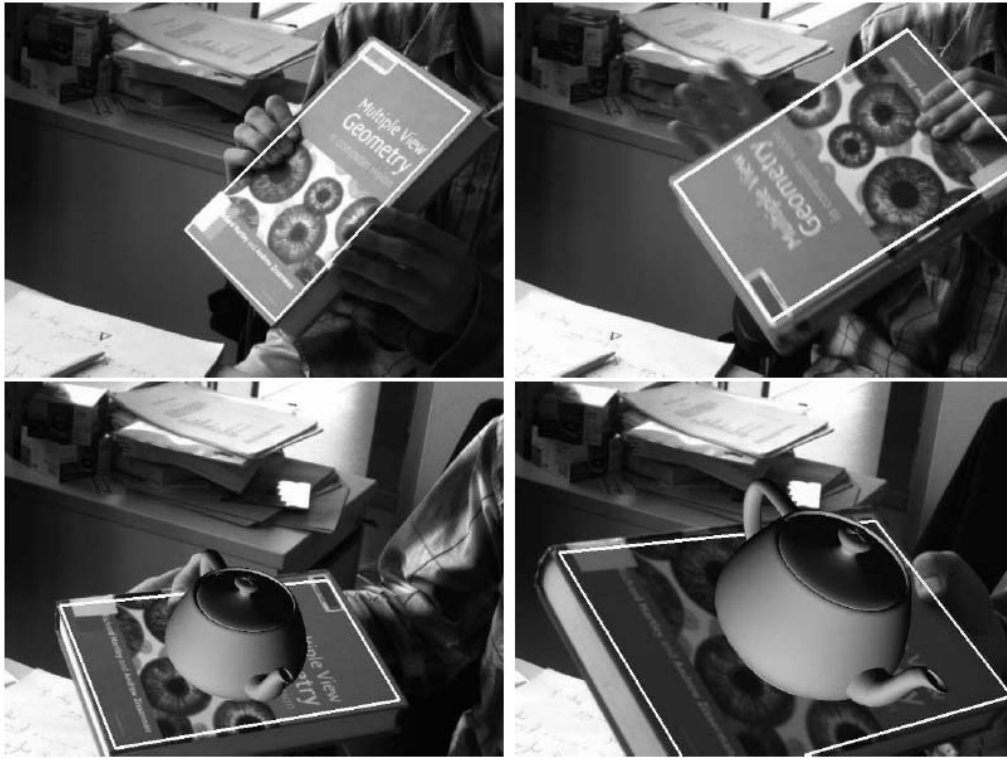


Bild 2-9: Der Buchdeckel wird als Muster erkannt [LLF05]



Bild 2-10: Das Tracking wird auf 3D-Objekte angewendet [LLF05]

Viele Verfahren [BBB03], [BBB+03], [WVS05], [SB02], [GRS+02] extrahieren Kanten aus den Videodaten wie Bild 2-11 zeigt. Aus den Kanten werden mögliche Hypothesen über die Position des gesuchten Objektes aufgestellt. Ein vorher bekanntes 3D-Modell des gesuchten Objektes wird an die mögliche Position platziert. Die gefundenen Kanten werden mit den Kanten der 2D-Projektion des Modells verglichen, bis eine Hypothese gefunden wird, bei der die Kanten zu einem hohen Grad übereinstimmen. Der Vorteil der Methoden liegt darin, dass die gesuchten Objekte nicht präpariert werden. Voraussetzung für beide Verfahren ist, dass die Muster und die 3D-Modelle der gesuchten Objekte vorliegen.



Bild 2-11: Kanten Tracking [WVS05]

2.2.3 Weitere Verfahren

2.2.3.1 Inertiale Verfahren

Die inertialen Trackingverfahren beruhen auf der Auswertung der Veränderung von Orientierungs- und Beschleunigungswerten nach dem Funktionsprinzip des Kreiselkompasses (Gyroscope). Die aktuelle Position wird kontinuierlich relativ zum Ausgangspunkt der Messung berechnet. Problematisch ist daher die Situation, wenn kein definierter Startpunkt vorhanden ist. Der Kreiselkompass driftet mit der Zeit und liefert dann falsche oder ungenaue Werte. Abhilfe leistet nur die regelmäßige Nachjustierung der Einheit mit Hilfe eines unabhängigen Referenzwertes. Dieser stammt oft von einem weiteren unabhängigen Sensor und aus diesem Grund finden inertiale Verfahren nur in Verbindung mit anderen Sensoren in hybriden Tracking-Systemen Verwendung [ABB+01, S. 34-47], [KW04, S. 5-22].

2.2.3.2 Laser

Laserbasierte Verfahren setzen Laserscanner zur Erfassung von Objekten ein. Diese senden in einem festgelegten Bereich Laserstrahlen aus und berechnen anhand der Signallaufzeiten der reflektierten Strahlen die Position und Orientierung eines Objekts. Das Bild 2-12 zeigt den Laserscanner mit dem sternförmigen Reflector.



Bild 2-12: Lasertracker Laserbird [Asc06-01]

2.2.3.3 Magnetisches Verfahren

Elektromagnetische Verfahren messen die Veränderungen eines Magnetfeldes. Darauf basierende Systeme besitzen den Vorteil einer hohen Abarbeitungsgeschwindigkeit und Robustheit. Elektromagnetische Verfahren können nicht in der Nähe von metallischen Gegenstände oder anderer elektromagnetischer Quellen betrieben werden, da diese die Messung stören und die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Ergebnisse einschränken. [ABB+01, S. 34-47], [KW04, S. 5-22]

2.2.3.4 Hybride Ansätze

AR-Systeme nehmen ihre Umwelt mit Hilfe unterschiedlicher Sensoren wahr. Aufgrund der Sensor Eigenschaften besitzen diese jeweils Stärken und Schwächen in der Anwendung. Neuere Ansätze favorisieren hybride Tracking-Verfahren, um mindestens zwei Arten von Sensoren zu kombinieren und Schwächen des einen durch Stärken des anderen auszugleichen. Das Ziel dieser Bemühungen ist die Erhöhung der Genauigkeit und Robustheit des Tracking-Systems. Die Kombination aus optischen und inertialen Techniken eignet sich

gut, weil sich die robusten aber weniger genauen inertialen Verfahren mit den weniger robusten aber dafür präzisen optischen Verfahren gut ergänzen [Y-NA99a, S. 260-267], [YN01, S. 71-78]. [ABB+01, S. 34-47]

2.3 Mobile Endgeräte

Die ständige Miniaturisierung führt zu immer leistungsstärkeren mobilen Endgeräten. Die Geräte werden hier in drei Klassen eingeteilt, die sich durch ihre Größe, Leistungsfähigkeit und ihre Akkulaufzeit unterscheiden. Die beiden Merkmale verhalten sich antiproportional. Tablet PC verfügen über die größte Rechenleistung, während ihre Akkulaufzeit sehr gering ist. Im Gegensatz dazu besitzen Fotohandys eine sehr geringe Rechenleistung, haben dafür aber eine höhere Akkulaufzeit auf Grund ihres geringen Stromverbrauchs. Mittlerweile wachsen die verschiedenen Geräte zusammen, so enthalten z.B. Mobiltelefone die Funktionalitäten von PDAs.

2.3.1 Tablet PC

Ein Tablet PC ist ein Computer, der in der Bauweise einem Tablett (engl. tablet) ähnelt, wie Bild 2-13 zeigt. Der Bildschirm ist etwa so groß wie eine DIN-A4 Seite und bildet die Oberfläche des Gerätes. Die Eingabe erfolgt bei vielen Geräten mit einem Stift direkt auf dem Bildschirm. Die Bewegungen des Stiftes werden über einen induktiven Digitizer erfasst, so dass der Benutzer den Bildschirm berühren kann, ohne die Erfassung zu beeinflussen. Die Geräte nutzen speziell angepasste Betriebssysteme, wie z.B. Windows XP Tablet PC Edition, die die Interaktion mit Stiften unterstützen und eine Schrifterkennung enthalten. Ein Tablet PC bietet die Leistungsfähigkeit eines Notebooks mit Stiftinteraktion für den echten mobilen Einsatz. Ein Benutzer kann einen Tablet PC im Stehen oder im Gehen nutzen im Gegensatz zum Notebook, das zum Arbeiten eine Ablagefläche benötigt. Für die Verarbeitung von 3D-Daten sind Tablet PCs mit 3D-Grafikbeschleunigern erhältlich. Die Geräte besitzen die gängigen Standardchnittstellen für LAN, WLAN, USB, PCMCIA und FireWire. Dadurch können verschiedene Peripheriegeräte wie Kameras oder auch Trackinggeräte angeschlossen werden. Die Akkulaufzeit liegt zwischen 2 bis 6 Stunden je nach Gerät und Tätigkeit.

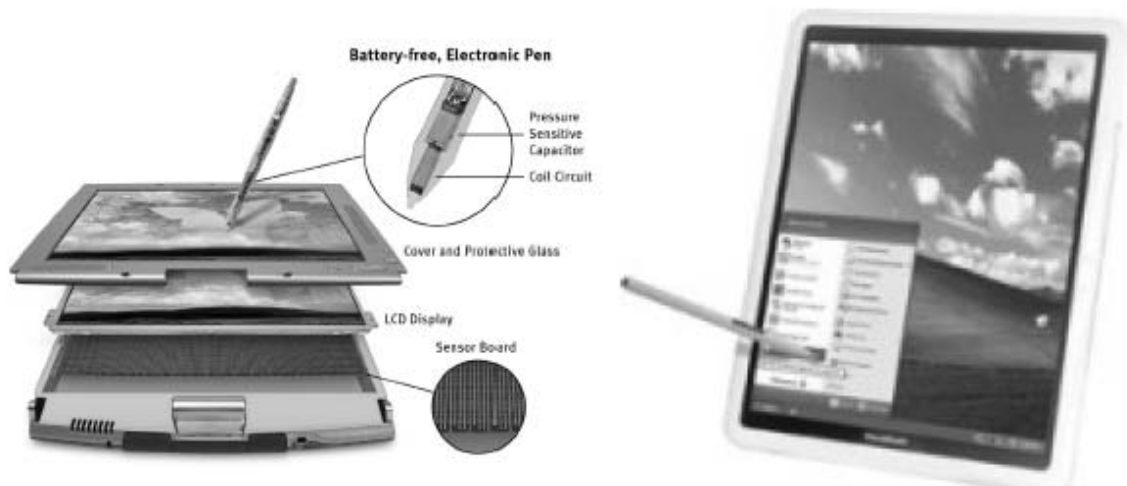


Bild 2-13: Stiftbedienung bei einem Tablet PC [Wac06-01]

2.3.2 PDA

Ein Persönlicher digitaler Assistent (PDA) ist ein mobiler Kleincomputer (siehe Bild 2-14), der in erster Linie als elektronischer Kalender oder Adressdatenbank dient. Durch ihre kompakte Bauweise können sie wie herkömmliche Taschenkalender in Jacken- oder Hosentaschen mitgeführt werden und können somit ein ständiger Begleiter des Benutzers sein. In den meisten Fällen besitzen die Geräte einen berührungsempfindlichen Bildschirm und können so per Stift bedient werden. Zusätzliche Bedienelemente wie z. B. Knöpfe, Schieber oder Drehräder ermöglichen einen schnellen direkten Zugriff auf ausgewählte Funktionen des Gerätes. Mit steigender Leistungsfähigkeit der PDAs erhalten die Geräte weitere Funktionen. So werden Officeanwendungen wie Microsoft Excel, Word oder Powerpoint unterstützt. Die Geräte lassen sich über Infrarot oder Bluetooth mit anderen Geräten wie z.B. Mobiltelefonen oder PCs verbinden, um Daten zu synchronisieren. Aktuelle Geräte besitzen integrierte Module für WLAN über die sie die Verbindung zum Internet aufnehmen können.



Bild 2-14: PDA Toshiba e740 und iPAQ hx2795 Pocket PC von hp [Tos06-ol], [HP06-ol]

2.3.3 Smartphones

Diese Geräte sind in erster Linie Mobiltelefone, die PDA-Funktionen bieten. Die Geräte besitzen ein integriertes Mobilfunkmodul und nutzen zur Kommunikation die gängigen Mobilfunkstandards wie GSM, GPRS oder UMTS. Teilweise sind die Geräte mit einer Kamera ausgestattet. Sie besitzen leistungstärkere Prozessoren als Mobiltelefone. Ihre Betriebssysteme wie z.B. Symbian OS oder Windows Mobile können C++ oder Java Programme ausführen. Dies ermöglicht das Entwickeln von Anwendungen für diese Geräte. Im Gegensatz zu Mobiltelefonen sind die Smartphones in der Lage mehrere Anwendungen gleichzeitig auszuführen. Der Nachteil gegenüber den PDAs waren bisher kleinere Displays, wie Bild 2-15 zeigt. Mittlerweile erreichen die Smartphones die Displaygröße der PDAs. Aktuelle Marktzahlen zeigen auf, dass die Verkaufszahlen der Smartphones zunehmen, während die Anzahl der verkauften PDAs abnimmt [Can07]. Mit ihrer steigenden Funktionalität verdrängen die Smartphones die PDAs vom Markt.



Bild 2-15: Smartphone XDA [O06-01]

2.4 Drahtlose Kommunikation

Im folgenden Kapitel werden die aktuellen Standards zur drahtlosen Kommunikation vorgestellt. Es werden die verfügbaren und in der Praxis eingesetzten Technologien betrachtet. In Deutschland wurde der Mobilfunk 1958 mit dem A-Netz eingeführt. Es war ein analoges Netz, die Vermittlung der Gespräche wurde noch per Hand durchgeführt und das Netz hatte 10 000 Nutzer zu seinem Höhepunkt 1970. Es folgte 1972 das analoge B-Netz, das die Selbstwahl unterstützte und bis 1986 ungefähr 27000 Nutzer erreichte. Erst 1979 ermöglichte das analoge C-Netz das automatische Weiterleiten eines Gesprächs von einem Sendebereich in den nächsten. Das C-Netz erreichte fast 800 000 Nutzer. Die drei analogen Netze bilden die erste Mobilfunkgeneration [Rot02].

Mit Einzug der Digitaltechnik entstand die zweite Mobilfunkgeneration. Sie basiert auf dem Internationalen Standard Global System for Mobile Communication (GSM) und wird heute laut Bitkom von über 82 Mio. Menschen in Deutschland genutzt [BIT07].

2.4.1 Global System for Mobile Communication (GSM)

GSM wurde als europäischer Mobilfunkstandard von der Groupe Special Mobile der europäischen Normungsgruppe European Telecommunication Standards Institute (ETSI) entwickelt. Das Netz wurde so ausgelegt, dass Millionen von Kunden versorgt werden und mehrere Mobilfunkanbieter dieselbe Fläche abdecken können. Dies ermöglichen die Raum-, Frequenz- und Zeitmultiplex-

verfahren. Die Funknetze sind durch das Aufteilen in Zellen raummultiplex. Jede Zelle besitzt eine Basisstation, die einen bestimmten räumlichen Bereich abdeckt. Die Zellen können die gleichen Frequenzen nutzen, wenn sie räumlich so weit auseinander liegen, dass sie sich nicht stören. Frequenzmultiplex ist das Verwenden verschiedener Frequenzen innerhalb einer Zelle, damit können mehrere Mobilfunkanbieter mehrere Funkkanäle gleichzeitig in einer Zelle anbieten. Durch Zeitmultiplex können mehrere Endgeräte die gleiche Frequenz in einer Zelle nutzen. Ein Frequenzkanal wird in 8 nummerierte Zeitschlitze eingeteilt, sie sich zyklisch wiederholen. Bei der Kommunikation zwischen einer Basisstation und dem Endgerät werden die Zeitschlitze mit der gleichen Nummer zur Datenübertragung verwendet.

GSM ermöglicht durch das Handover den Wechsel von einer Funkzelle in die nächste ohne Verbindungsabbruch. Durch das Roaming kann der Benutzer weltweit andere Netze nutzen, ohne dass er mit den Netzbetreibern einen direkten Vertrag abgeschlossen hat.

GSM-Netze bieten zusätzliche Dienste wie das Übertragen von Textnachrichten, so genannten SMS (engl. Short Message Service) oder den Zugriff auf Internetseiten für mobile Endgeräte über das Wireless Application Protocol (WAP). GSM bietet eine Übertragungsrate von 9600 Bit/s, dies reicht für die heutigen Anforderungen an den Zugang zum Internet nicht mehr aus. Daher wurden Erweiterungsstandards entwickelt, mit denen höhere Datenraten erreicht werden. Diese Standards werden als 2+ Mobilfunkgeneration bezeichnet, die sich am Übergang zur dritten Mobilfunkgeneration befindet [Rot02].

High Speed Circuit Switched Devices (HSCSD)

HSCSD bildet eine Erweiterung zu GSM und nutzt die bestehende Infrastruktur. Eine bessere Kodierung erhöht die Datenrate auf 14 400 Bit/s. Die Bündelung mehrerer Kanäle vervielfacht die Übertragungsrate. Theoretisch können bis zu 8 Kanäle zu 115,2 kBit/s gebündelt werden. In der Praxis werden höchstens 4 Kanäle zu 57,6 kBit/s zusammengeschlossen, damit nicht zu viele Ressourcen freigegeben werden. HSCSD ist ein leitungsbasiertes Verfahren, d. h. der Benutzer zahlt für die Verbindung, auch wenn keine Daten übertragen werden. Da dies ein großer Nachteil zu den paketorientierten Verfahren ist, verliert die Technologie an Bedeutung. Das Verfahren benötigt neue Endgeräte, aber verursacht nur geringe Änderungen an der GSM-Infrastruktur [Rot02].

General Packet Radio Service (GPRS)

GPRS ist ein paketorientiertes Verfahren. Die Daten werden in kleine Pakete zerlegt, versendet und beim Empfänger wieder zusammengefügt. Das paketorientierte Verfahren ermöglicht eine bessere Ausnutzung der Infrastruktur bei schwankendem Kommunikationsbedarf. In der Theorie können acht Übertra-

gungskanäle mit je 21,4 kBit/s zu einer Übertragungsrate von 171 kBit/s gebündelt werden. In der Praxis werden pro Kanal 13,4 kBit/s erreicht und die Netzbetreiber bieten vier Kanäle für das Empfangen (Downlink) und zwei Kanäle für das Senden (Uplink) der Daten an. Die aktuellen Mobiltelefone nutzen GSM zur Sprachübermittlung und GPRS zur Datenübertragung oder dem Zugang zum Internet. Die GPRS Geräte sind ständig im Netz und nutzen die Infrastruktur nur beim Austausch der Datenpakete, somit zahlt der Kunde nur das übertragene Datenvolumen und nicht die Verbindungszeit. Neben neuen Endgeräten verursachte die Technologie große Änderungen an der GSM-Infrastruktur. GPRS ist seit 2001 flächendeckend in Deutschland verfügbar [Rot02].

Enhanced Data Rates for GSM Evolutions (EDGE)

EDGE erhöht die Übertragungsrate durch das Modulationsverfahren 8 Phase Shift Keying (8 PSK). Damit können 3 Bit statt 1 Bit pro Takt übertragen werden. Mit Korrekturverfahren werden theoretisch 59,2kBit/s pro Kanal erreicht und damit 473,6 kBit/s bei 8 Kanälen. In der Praxis wird eine Übertragungsrate von ca. 170 kBit/s erreicht. EDGE kann mit HSCSD oder GPRS zu ECSD und EGPRS kombiniert werden. Die Technologie verlangt erhebliche Änderungen an dem Netzwerk und den Endgeräten. Die flächendeckende Verfügbarkeit soll 2007 erreicht werden [BIT07].

2.4.2 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)

UMTS ist der Standard der dritten Mobilfunkgeneration, der 2000 von der International Telecommunication Union (ITU) verabschiedet wurde [ITU-01]. Firmen und Interessensgruppen bildeten die Projektgruppe „3rd Generation Partnership Projekt“ (3GPP) und arbeiteten die Vorschläge für den Standard aus [GPP-01].

Der Standard erreicht durch die Kombination des Codemultiplexverfahrens (CDMA) mit dem Zeit (TDD)- oder Frequenzmultiplexverfahren (FDD) die theoretische Datenübertragungsrate von 2 MBit/s. In der Praxis wird diese Rate nicht erreicht, da sie sich auf die Benutzer einer Funkzelle aufteilt. UMTS stellt dem Benutzer mehrere Kanäle zur Verfügung, damit ist er in der Lage gleichzeitig zu telefonieren und Daten zu empfangen. Durch die hohe Übertragungsrate ist ein komfortabler Zugriff auf das Internet möglich. Multimediaanwendungen wie Videokonferenzen, Videoübertragungen oder Internetradio werden auf mobilen Endgeräten nutzbar.

2.4.3 Wireless Local Area Network (WLAN)

Wireless LAN (WLAN) ist der Standard IEEE 802.11 für drahtlose lokale Netzwerke, der 1977 spezifiziert wurde. Zu Beginn erreichte WLAN eine Datenrate von 2 MBit/s (802.11), heute sind 54 MBit/s in der weit verbreiteten Erweiterung 802.11g möglich. In der Entwicklung befindet sich eine Erweiterung mit einer zehnfachen Übertragungsrate (802.11n).

WLAN kann in den zwei Modi Ad-Hoc und Infrastruktur betrieben werden (siehe Bild 2-16). Im Ad-hoc-Modus verbinden sich die Rechner direkt miteinander. Im Infrastruktur-Modus verbinden sich die Rechner mit einer Basisstation (engl. Access Point) und bilden so ein Netzwerk. Die Basisstation kann über eine drahtgebundene Verbindung den Zugang zu einem stationären Netzwerk ermöglichen.

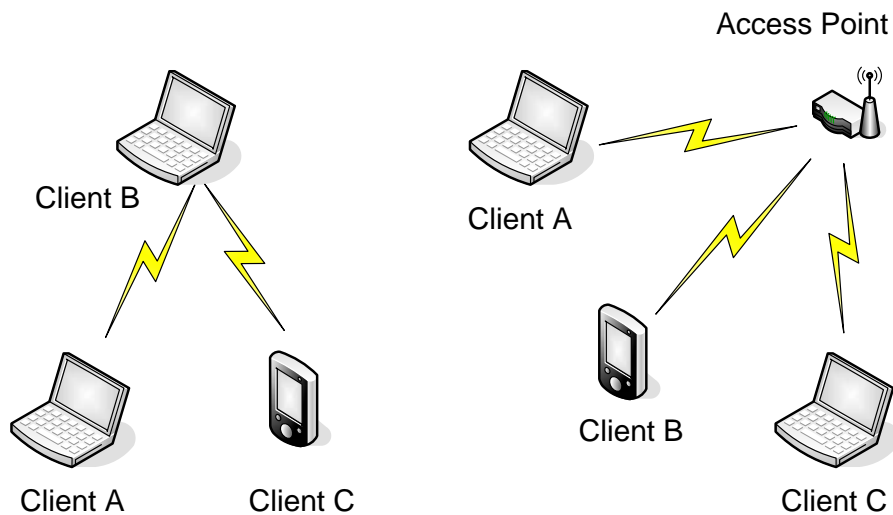


Bild 2-16: WLAN Betriebsarten: Ad-hoc-Modus (links) Infrastruktur-Modus (rechts)

Innerhalb eines Gebäudes liegt die Reichweite einer Basisstation bei ca. 30 m, auch wenn sich zwischen den Geräten Decken oder Wände befinden. Auf einer freien Fläche kann die Reichweite 100 m betragen, mit stärkeren Antennen können bis zu 400 m erreicht werden. Zum Abdecken eines größeren Bereichs werden mehrere Basisstationen eingerichtet. Wie im Mobilfunkbereich wird im WLAN das Roaming verwendet, um den Wechsel von einer Basisstation zu einer anderen zu ermöglichen. Erkennt der mobile Rechner, dass die Sendestärke einer Basisstation abnimmt, sucht er nach einer neuen Basisstation. Wird eine Station mit stärkerer Sendeleistung gefunden, so meldet sich der Rechner an der neuen Station an und bei der alten Station ab. Die neue Station gibt im Netzwerk den Zellenwechsel bekannt. Das Roaming funktioniert nur, wenn

sich die Basisstationen verständigen, dies setzt eine Vernetzung der Stationen voraus und ist für sehr große Flächen oder Städte nicht praktikabel.

WLAN hat eine große Verbreitung gefunden. Orte mit sehr hohen Besucherzahlen, so genannte Hotspots, werden heute mit WLAN-Basisstationen ausgestattet, um den Menschen möglichst überall einen Zugang zum Internet zu bieten. Flughäfen, Bahnhöfe und Hotels bieten WLAN als Service an.

2.5 AR-Anwendungen im Produktlebenszyklus

Der Produktlebenszyklus umfasst die gesamte Lebensdauer eines Produktes vom ersten Entwurf über die Fertigung, den Betrieb bis zur Entsorgung. In den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus fallen viele Daten und Dokumente an. Mit Hilfe der Technologie Augmented Reality können die Daten direkt an dem Produkt visualisiert werden. Für die einzelnen Phasen werden im Folgenden bestehende AR-Anwendungen vorgestellt.

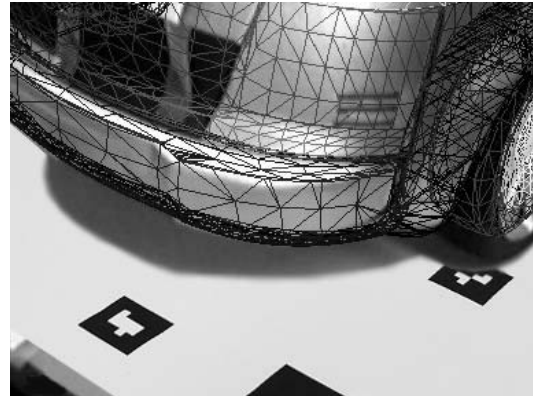
2.5.1 Entwicklung/ Konstruktion

Neuentwicklungen sind oft Änderungen und Weiterentwicklungen von bestehenden Produkten. In diesem Fall kann die Technologie eingesetzt werden, um Änderungen, die erst im Computer existieren, an den bestehenden Produkten zu visualisieren. In Bild 2-17 c) wird eine neue Fahrzeugfront auf das bestehende Fahrzeugmodell visualisiert. Die Entwickler verschaffen sich eine Vorstellung über das neu entwickelte Fahrzeug. Verschiedene Designvarianten können ausprobiert werden ohne jedes Mal einen neuen Prototypen zu bauen [GFM+05].

Toleranzen der realen Bauteile können dazu führen, dass die realen Bauteile nicht in ihren vorgesehenen Bauraum passen und somit zu Problemen bei der Montage führen. Die Abweichungen zwischen dem realen Modell und den CAD-Daten können mit Hilfe von AR aufgespürt werden, in dem das reale Fahrzeug mit den CAD-Daten überlagert wird, wie in Bild 2-17 b) dargestellt. Die Abweichungen zwischen dem virtuellen und dem realen Modell werden sichtbar und ihre Ursachen können behoben werden.



a) Einblendung einer virtuellen Konsole in einem realen Fahrzeug



b) Überlagerung von CAD-Daten auf ein reales Fahrzeug



c) Einblendung einer virtuellen Front auf ein reales Fahrzeugmodell



d) AR-Baukasten für die Fahrzeugentwicklung

Bild 2-17: AR-basiertes Prototyping in der Automobilvorentwicklung

Die ergonomische Gestaltung eines Produktes ist u.a. verantwortlich für die Akzeptanz des Produktes. Ergonomieuntersuchungen sind Kosten- und Zeitaufwändig, da für die zu untersuchenden Designvarianten Prototypen oder Mock-ups gebaut werden. Die Technologie AR kann helfen, hier Kosten und Zeit einzusparen, indem virtuelle Varianten von Innenräumen oder Bedienelementen zum Testen verwendet werden.

In Bild 2-18 werden Bedienelemente und Anzeigen, z. B. der künstliche Horizont, als virtuelle Elemente an der Position des Cockpitboards in das Sichtfeld des Piloten über einen HMD eingeblendet. Der Pilot bewertet das Cockpitdesign oder kann die Anzeigen selber neu arrangieren und so direkt Einfluss auf den Entwurf nehmen. Das frühe Einbinden der Nutzer in den Entwurfsprozess erhöht die spätere Akzeptanz des Designs [Fri04].

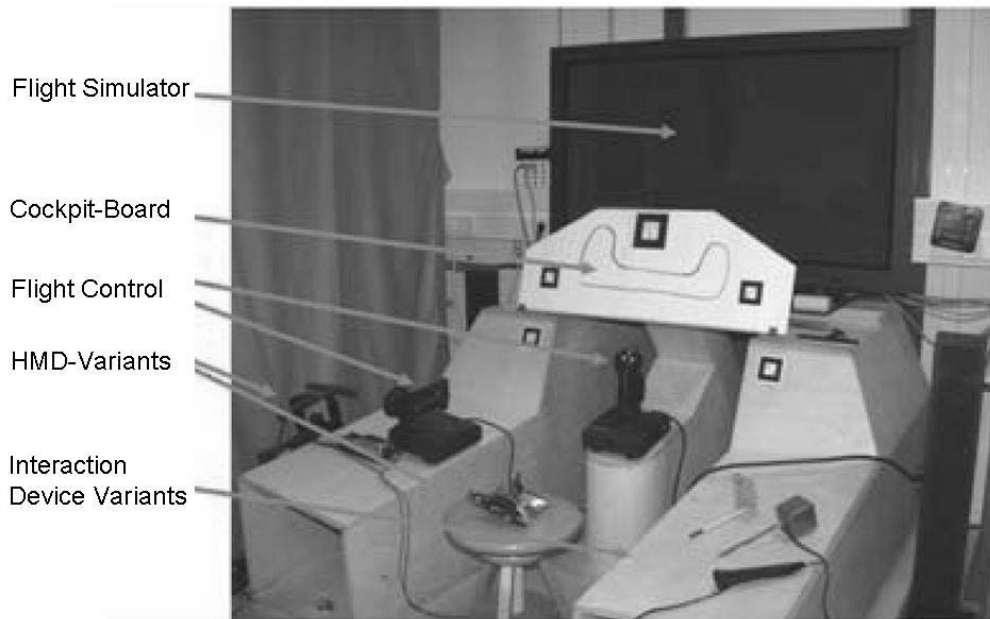


Bild 2-18: Entwurf des Cockpit Layouts mit AR [Fri04]

2.5.2 Fertigungsplanung

Die Fertigungsplanung wird mit computerbasierten Planungssystemen unterstützt. Aufgrund der Komplexität der Systeme werden sie von Experten bedient. Mit Hilfe der Technologie AR erhalten diese Planungssysteme eine intuitive Benutzungsschnittstelle: Aus einem Katalog wählt der Planer die virtuellen Maschinen aus und positioniert sie in eine virtuelle Fabrik (siehe Bild 2-19). Der Planer trägt einen HMD, der die virtuelle Fabrik auf einen realen Tisch projiziert. Mehrere Planer können sich um den Tisch gruppieren und das Anlagenlayout besprechen und verändern. Die intuitive Benutzungsschnittstelle ermöglicht neben den Experten auch allen anderen an dem Planungsprozess beteiligten Personen den Umgang mit der Planungssoftware. Das Einbinden des gesamten Planungsteams führt zur Sicherung der Planungsqualität und zur Reduzierung der Planungszeit.

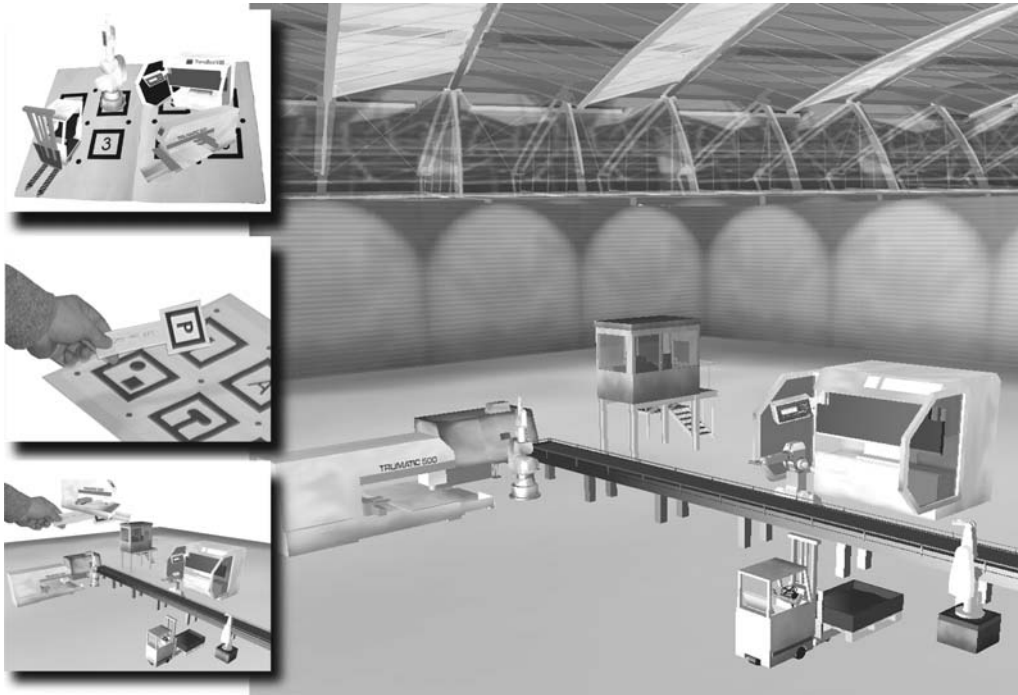


Bild 2-19: Planung neuer Anlagen mit Augmented Reality

Neue Produktionsanlagen werden oft für bestehende Fabrikhallen geplant, in denen weitere Anlagen vorhanden sind. Das System AR-Plan aus dem ARVIKA-Projekt unterstützt den Planungsprozess [Fri04]. Das System visualisiert 3D-Modelle der geplanten Produktionsanlage in eine reale Halle (siehe Bild 2-20). Kollisionen und Unstimmigkeiten werden so erkannt. Der Planer kann vor Ort mit dem System Positionänderungen an den virtuellen Modellen vornehmen, um Fehler in der Planung zu beheben. Ein markerbasiertes optisches Trackingverfahren dient zur Positionsermittlung. Die Technologie AR bietet den Vorteil, dass die bestehende Halle und die vorhandenen Anlagen nicht modelliert werden müssen, wodurch Zeit und Kosten bei der Planung gespart werden.



Bild 2-20: AR-gestützte Planung in einer realen Halle [DSA+03]

2.5.3 Fertigung

Innerhalb der Fertigung können komplexe Montageprozesse mit Augmented Reality direkt am Produkt visualisiert werden. David Mizell führte eines der ersten industriellen AR-Projekte durch. Mit Hilfe eines AR-Systems wird die Montage von Flugzeugkabelbäumen bei der Firma Boeing unterstützt (siehe Bild 2-21). Das System zeigt über einen HMD die einzelnen Arbeitsschritte an und das Suchen in der Papierdokumentation entfällt. Mit einem One Click Interface ruft der Arbeiter die Anleitung für den nächsten Arbeitsschritt auf [Miz01]. Das Anklicken des Interfaces verzögerte den Arbeitsablauf und führte somit nicht zu einer Zeitersparnis.



Bild 2-21: Kabelbaummontage mit AR-Unterstützung [CM92]

Bild 2-22 zeigt ein weiteres Beispiel für die Montageunterstützung durch AR. Die Reihenfolge der zu montierenden Klemmleisten wird als Animationen angezeigt. Nach der Montage wird die komplette Klemmleiste als halbtransparentes Objekt über die reale Klemmleiste eingeblendet. Der Werker vergleicht die reale und die virtuelle Klemmleiste, um mögliche Fehler aufzudecken.



Bild 2-22: Montage von Klemmleisten in einem Schaltkasten

Im Projekt ARVIKA wurde ein System entwickelt, das das Bolzenschweißen unterstützt. Die Karosserie und die Bolzenschweißpistole werden mit dem ARTtrack-System getrackt. An der Bolzenschweißpistole befindet sich ein Display, der die Position des nächsten Schweißpunktes anzeigt (siehe Bild

2-23). Ein dreidimensionaler Pfeil führt den Werker zum Schweißpunkt. Ein Fadenkreuz hilft bei der Feinpositionierung [Fri04].

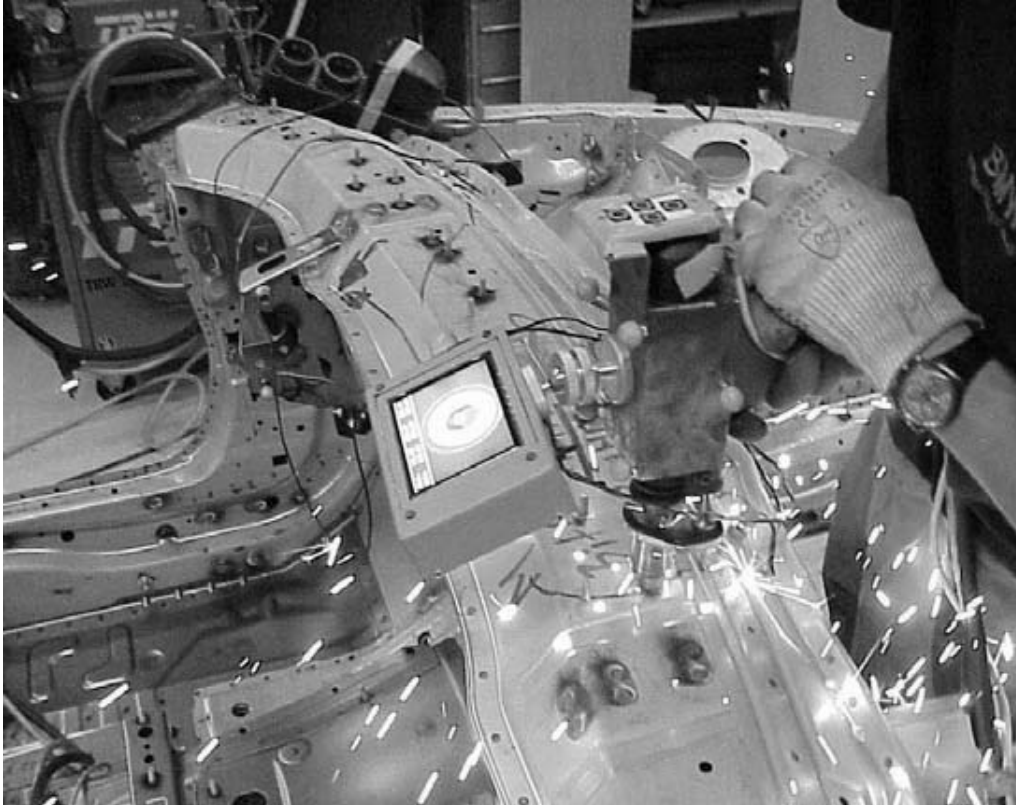


Bild 2-23: Bolzenschweißpistole mit AR-Display [Fri04]

Neben der Montage kann die Technologie Augmented Reality in vielen Bereichen der Fertigung eingesetzt werden z. B. zur Unterstützung der Bedienung und Wartung von Maschinen.

2.5.4 Vertrieb

AR-Systeme können auf der Seite des Verkäufers und des Kunden eingesetzt werden. Auf der einen Seite erhält der Verkäufer alle Produktinformationen, die für ihn relevant sein können. Das System übernimmt einen Teil der Verkaufsschulung. Wichtige Informationen werden dem Verkäufer auf Wunsch präsentiert. Während eines Verkaufsgesprächs unterstützt das System den Verkäufer mit Informationen und Multimediadaten, um dem Kunden das Produkt besser zu erklären. Elektronische Produktkonfiguratoren haben sich schon am Markt etabliert [KS02]. Mit der Technologie AR werden deren Möglichkeiten zum Nutzen des Kunden erheblich erweitert. Der Kunde kann die konfigurierten Produkte direkt in seine Umgebung einblenden, um zu sehen, wie das Pla-

nungsergebnis zu Hause wirkt. Dies ist besonders bei aufwendigen Planungen wie bei der Konfiguration von Küchen hilfreich. Durch den Einsatz von Onlinerverbindungen zu Produktdatenbanken sichern Vertreiber und Hersteller, dass alle Verkäufer die aktuellen Informationen erhalten [FME+04].

Auf der anderen Seite fehlt dem Kunden oft die Vorstellung, wie das Produkt zu Hause wirkt. Bild 2-24 zeigt die Software KPS Click&design, mit der virtuelle Möbel in ein Digitalfoto eingebildet werden. Der Kunde legt einen DIN-A4 großen AR-Marker in die Umgebung und macht ein Foto. Das Foto mit dem AR-Marker wird in die Software geladen. Virtuelle Möbel können in die Szene eingefügt und nach belieben positioniert werden [SHD06].



Bild 2-24: virtuelle Gartenmöbel werden mit Schatten perspektivisch korrekt in ein Foto eingebildet [SHD06-ol]

Im Gegensatz zum Click&design blendet der Möbelkonfigurator des Heinz Nixdorf Instituts verschiedene Polstermöbel live in die reale Umgebung ein. Die Polstermöbel sind Systemmöbel und können beliebig konfiguriert werden. Der Anwender wählt die Bauart des Möbels, die Accessoires, die Materialien der Bezüge und Füße aus. Bild 2-25 zeigt die anschließende Visualisierung des Möbels im Wohnzimmer des Anwenders. Die Anwendung benötigt ein Notebook mit 3D-Graphikkarte und eine USB-Kamera.

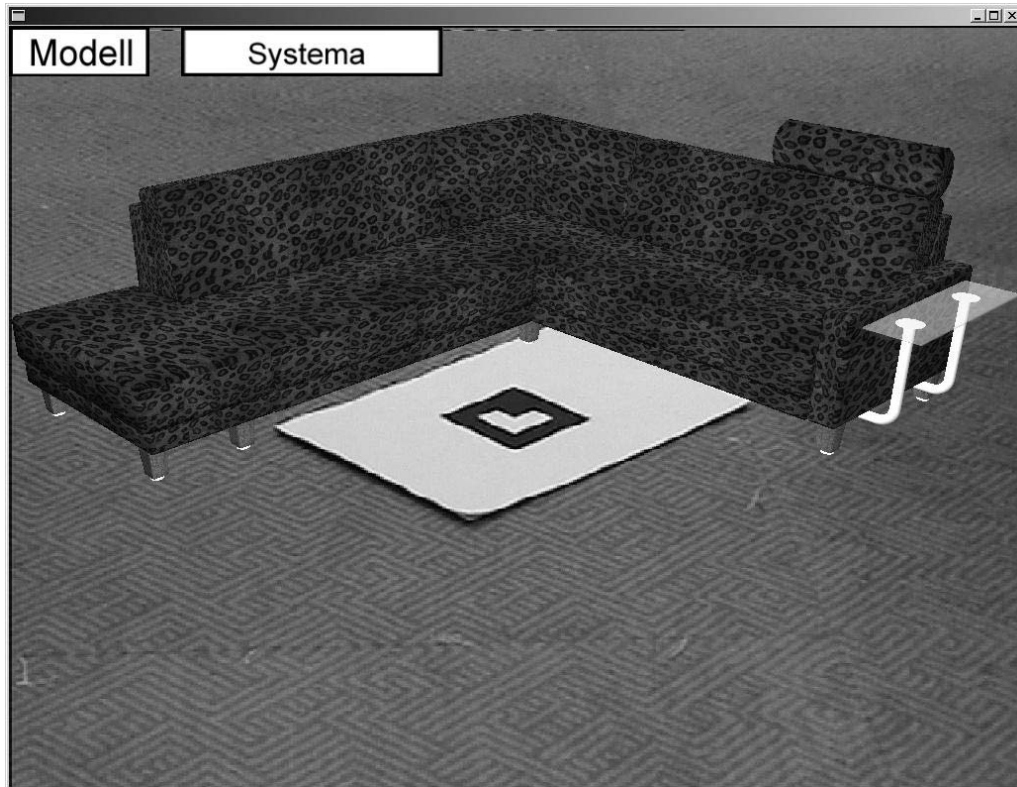


Bild 2-25: Live Möbelkonfigurator zeigt virtuelle Polstermöbel im realen Raum

2.5.5 Betrieb

Während der Nutzung eines Produktes kann die AR-Technologie als Bedienungsanweisung eingesetzt werden. Multimediadaten erklären direkt an dem Produkt die Bedienung. Der Nutzer kann selbstständig das Gerät in Betrieb nehmen und Fehlfunktionen durch Anleitung beheben. In Bild 2-26 wird die Inbetriebnahme eines Elektroherdes mit Unterstützung der Technologie AR vorgenommen [FME+04].



Bild 2-26: Bedienungserklärung mittels Augmented Reality

Anlagen und Maschinen müssen während des Betriebes regelmäßig inspiziert werden, um Sicherheit und den weiteren störungsfreien Betrieb zu gewährleisten. So wird im ARVIKA-Projekt die Technologie AR genutzt um umfassende Anlagen-Informationen für die Inspektion vor Ort in einem Kraftwerk zur Verfügung zu stellen [Fri04].

Im Projekt Wininspect der Universität Bremen unterstützt ein wearable Computer die Inspektion von Kränen. Der Computer zeigt dem Inspekteur über ein HMD die Inspektionsschritte an. Der Arbeiter interagiert durch einen Handschuh mit der Anwendung (siehe Bild 2-27). Der Handschuh enthält Kontakt-, Neigungs- und Radio Frequenz Identifikations (RFID)-Sensoren. Durch Handbewegungen navigiert der Nutzer durch Menues und über Tasten in den Fingerspitzen kann er die Menuepunkte auswählen. Die zu inspizierenden Komponenten sind mit RFID-Tags markiert. Die RFID-Sensoren identifizieren bei räumlicher Annäherung die Komponenten und das System bietet die entsprechenden Inspektionsanweisungen an.

Der tragbare Computer besitzt nicht genügend Graphikleistung, daher wurde bisher darauf verzichtet, die Computergraphik positions- und lagerichtig in die reale Umgebung einzublenden [HRB+02].

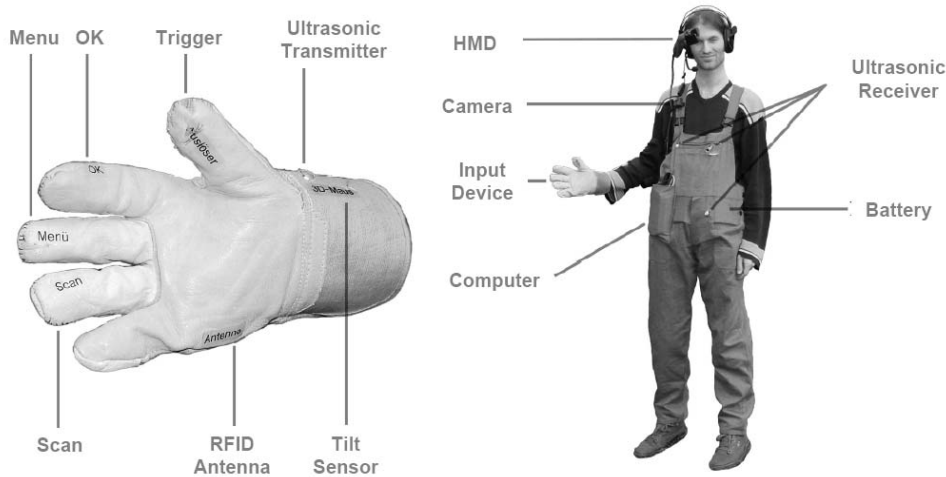


Bild 2-27: Wearable Computing Lösung für die Kraninspektion [HRB+02]

2.5.6 Rücknahme

Aus ökologischen Gründen werden Unternehmen von der Politik aufgefordert ihre Produkte zur Entsorgung zurückzunehmen. In der Automobilindustrie wird dies heute gesetzlich vorgeschrieben und in den kommenden Jahren wird dies immer mehr Branchen treffen. Ziel der Vorgaben ist das Einsparen von Ressourcen wie Rohstoffe und Energie.

Die Technologie AR unterstützt die Rücknahme der Produkte. Sie hilft dem Werker bei der Demontage. Über das Informationssystem wird angezeigt, welche Teile verschrottet oder wieder verwendet werden. Demontageanweisungen helfen die Produkte möglichst schonend zu demontieren, um funktionsfähige Bauteile unversehrt der Wiederverwendung zu zuführen. Im Teilbereich D3: „Simulationswerkzeuge zur demontagerechten Produktgestaltung“ des SFB 218 „Demontagefabriken“ der Technischen Universität Berlin wurde eine AR-Anwendung zur Unterstützung bei der Demontage von Hausgeräten entwickelt. Die Anwendung gibt Demontageanweisungen und visualisiert das zu demontierende Bauteil als 3D-Modell direkt an dem Produkt [Sfb218-01].

2.6 Anforderungen an ein System für ein mobiles skalierbares AR-System zur Präsentation von technischen Produkten

Eine Systemarchitektur für mobile skalierbare AR-Systeme muss zur vollständigen Funktionalität die folgenden Anforderungen erfüllen: Unterstützung der Technologie Augmented Reality, die Unterstützung mobiler Endgeräte, verschiedene Trackingverfahren, ein markerloses optisches Trackingverfahren, eine online Datenbankanbindung und ein Autorensystem zur Generierung von Inhalten für die Anwendung. Nachfolgend werden die sechs Kernanforderungen an die Systemarchitektur vorgestellt:

A1 Augmented Reality

Die Technologie Augmented Reality ermöglicht die Präsentation von Informationen direkt an einem Produkt. Die Technologie soll helfen, das Produkt zu erkennen und die entsprechenden Informationen für das erkannte Produkt bereit zustellen. Im vorherigen Kapitel wurde aufgezeigt, dass die Technologie den gesamten Produktlebenszyklus sinnvoll unterstützt. Damit die Technologie AR zur Präsentation der Produktinformationen genutzt werden, muß die Architektur die drei Basisdefinitionen von Augmented Reality erfüllen: Mischen der Realität mit computergenerierten Informationen, Registrierung im dreidimensionalen Raum und Interaktion in Echtzeit.

A2 Mobile Endgeräte

Das Informationssystem soll dem Benutzer immer und überall bei seinen alltäglichen Aufgaben zur Verfügung stehen. Augmented Reality Anwendungen werden nicht am Schreibtisch eingesetzt, sondern immer im Bezug auf ein reales Objekt, in diesem Fall ist es das reale Produkt. Die Informationen zu den Produkten sollen überall da abgerufen werden, wo sich die Produkte befinden. Fertige Produkte befinden sich in Lagern, in Ausstellungsräumen oder beim Kunden. An all diesen Orten können keine AR-Systeme vorausgesetzt werden. Daher muss das AR System mobil sein, um die Produktinformationen auch an den realen Objekten überall da anzuzeigen, wo sie sich befinden können. Im vorhergehenden Kapitel wurde gezeigt, dass mobile Endgeräte in ihren Ressourcen beschränkt sind, um AR-Anwendungen auszuführen. Daher ist es erforderlich, dass rechenintensive Prozesse von zusätzlichen Systemen übernommen werden können. Damit die Mobilität der mobilen Endgeräte

gewährleistet bleibt benötigen sie eine Möglichkeit zur drahtlosen Datenübertragung um mit dem unterstützenden System zu kommunizieren.

A3 Unterstützung verschiedener Trackingverfahren

Der Einsatz der Technologie Augmented Reality erfordert ein Tracking des Benutzers oder der relevanten Objekte, um die computergenerierten Informationen kontextabhängig in das Sichtfeld des Benutzers einzublenden. Unterschiedliche Anwender, Umgebungen und Produkte stellen unterschiedliche Anforderungen an das Erkennen und Verfolgen von Objekten. Ein Trackingsystem kann nicht alle Anforderungen erfüllen, in dunklen Umgebungen versagen z. B. optische Trackingverfahren oder in Umgebungen mit vielen metallischen Gegenständen versagen elektromagnetische Verfahren. Um einen breiten Einsatz des Systems zu ermöglichen, ist es erforderlich das verschiedene Trackingverfahren von dem System verwendet werden können.

A4 Markerloses videobasiertes Tracking

Die meisten Systeme nutzen einen markerbasierten Trackingansatz. In den Bereich Design, Vertrieb oder beim Kunden spielt das ästhetische Erscheinungsbild eines Produktes eine große Rolle. Durch den Einsatz von Markern wird dieses extrem gestört. Um eine hohe Akzeptanz vor allen in diesen Bereichen zu erreichen ist der Einsatz eines markerlosen Tracking-Verfahrens notwendig.

A5 Online Datenbankanbindung

Produktinformationen liegen heute elektronisch vor und werden durch Produktdatenmanagementsysteme oder andere Datenbanken verwaltet. Die Architektur benötigt eine Schnittstelle zu den Datenbanksystemen, um so auf die Produktdaten zugreifen zu können. Die Kopplung der Produktdatenbank mit dem AR-System sichert eine konsistente Datenhaltung der Produktinformationen.

A6 Autorensystem

Die effiziente Produktion von Inhalten für eine Augmented Reality Anwendung ist ausschlaggebend für einen produktiven und erfolgreichen Einsatz der Technologie in der Praxis. Technische Redakteure, Werbeagenturen und Marketing Mitarbeiter erstellen elektronische und papierbasierte Werbeunterlagen oder Betriebsanleitungen. Sie generieren Inhalte, die in einem Produktinforma-

tionssystem angezeigt werden, darum sollte diese Personen in die Lage versetzt werden Inhalte für eine AR-Anwendung zu erstellen und sie in die Anwendung zu integrieren ohne dass sie Programmierexperten sind. Dies kann durch den Einsatz eines Autorensystems erreicht werden, dass die Programmierfähigkeit durch eine intuitive Benutzungsschnittstelle zur Anwendungsentwicklung ersetzt.

3 Analyse bestehender Systeme für mobile AR Anwendungen

In den folgenden Unterkapiteln werden AR-Systeme für mobile Endgeräte vorgestellt. Während ARVIKA und wearIT@work sehr große Forschungsprojekte mit starker industrieller Beteiligung sind wurden die anderen Systeme an einzelnen Universitäten entwickelt. Die Systeme werden jeweils nach den Anforderungen des vorherigen Kapitels beurteilt.

3.1 ARVIKA

ARVIKA war das größte Forschungsprojekt im Bereich Augmented Reality in Europa und den USA. An dem Projekt waren 18 deutsche Industrieunternehmen und fünf Forschungsinstitute beteiligt. Ziel des Projektes war die Entwicklung einer AR-Basisarchitektur für mobile und stationäre Augmented Reality Anwendungen für Entwicklung, Produktion und Service in der Automobil- und Flugzeugindustrie, sowie für den Anlagen- und Werkzeugmaschinenbau.

Beispielanwendungen für die Fabrikplanung, Flugzeugentwicklung und für das Bolzenschweißen wurden schon in dem vorangegangenen Kapitel vorgestellt.

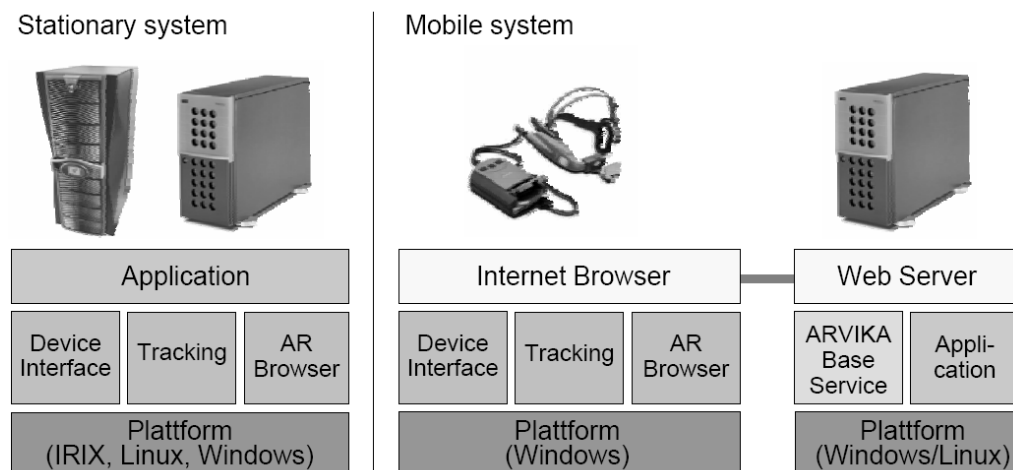


Bild 3-1: ARVIKA Architektur [Fri04]

Die Architektur in Bild 3-1 basiert auf Komponenten, die eine Entwicklung der Anwendungen nach dem Baukastenprinzip ermöglicht. Die Architektur unterstützt High-End-Graphiksysteme für den Laboreinsatz und mobile webbasierte Low End-Systeme, die von Werkern in Produktions- und Serviceumgebungen getragen werden.

Die Basis des Systems ist der ArBrowser. Er blendet die computergenerierten Informationen in das Sichtfeld der Benutzer ein. In der High-End-Lösung ist der ArBrowser eine eigenständige Anwendung, während er in der Low-End-Lösung als eine ActiveX-Komponente¹ in dem Microsoft Internetexplorer ausgeführt wird. Ein markerbasiertes und ein markerloses videobasiertes Trackingverfahren ist im ArBrowser integriert. Weitere Hardware wie Trackingssysteme und Interaktionsgeräte können über die Geräteintegrationsschnittstelle (engl. Device Integration Interface) IDEAL an den ArBrowser angebunden werden. Ein Videosever liefert einen Videostrom aus verschiedenen Kameras und videobasierten Trackingsystemen an die Anwendung.

Für die Umsetzung einer Anwendung bietet ARVIKA Basisdienste an. Bild 3-2 zeigt, dass über einen Webserver auf die folgenden Basisdienste zugegriffen wird:

Der *Contextmanager* ermittelt den Kontext, in dem sich der Anwender befindet. Dabei berücksichtigt die Komponente das Profil des Benutzers, die aktuelle Tätigkeit sowie die verwendete Hard- und Software.

Ein *InfoServer* unterstützt den Informationszugriff über drahtlose und mobile Netze durch Dienste wie Caching², Prefetching³ und URL-Redirection⁴.

Die *Workflow Engine* führt den Benutzer durch die Anwendung. Sie liefert für jeden Arbeitsschritt des Benutzers die entsprechenden Dokumente oder AR-Inhalte. Der Ablauf wird im Vorfeld mit dem Workflow-Editor erstellt und als XML-Datei gespeichert.

Die *NetCollaboration* bindet Remoteexperten in die Anbindung ein. Ein Experte, der nicht vor Ort ist, beobachtet über ein Video die Tätigkeiten eines Anwenders. Der Experte kann Annotationen in das Sichtfeld des Anwenders einblenden, um ihn bei der Tätigkeit zu unterstützen.

Ein *User Interface Configurator* liefert für unterschiedliche Plattformen und Geräte die entsprechende Benutzungsschnittstelle.

¹ ActiveX-Komponenten: Software-Komponenten die als selbständige Programme in Webseiten agieren können. Wird nur vom Microsoft Explorer unterstützt.

² Caching: Daten werden im Zwischenspeicher für einen wiederholten Zugriff aufbewahrt, um Ladezeiten zu vermeiden.

³ Prefetching: Daten werden im Voraus in den Zwischenspeicher geladen, da eine hohe statistische Wahrscheinlichkeit besteht, dass auf sie zugegriffen wird.

⁴ URL Redirection: Falls Dokumente auf dem mobilen Endgerät nicht vorhanden sind, werden sie über das Netzwerk von einem Dokumentenserver abgerufen.

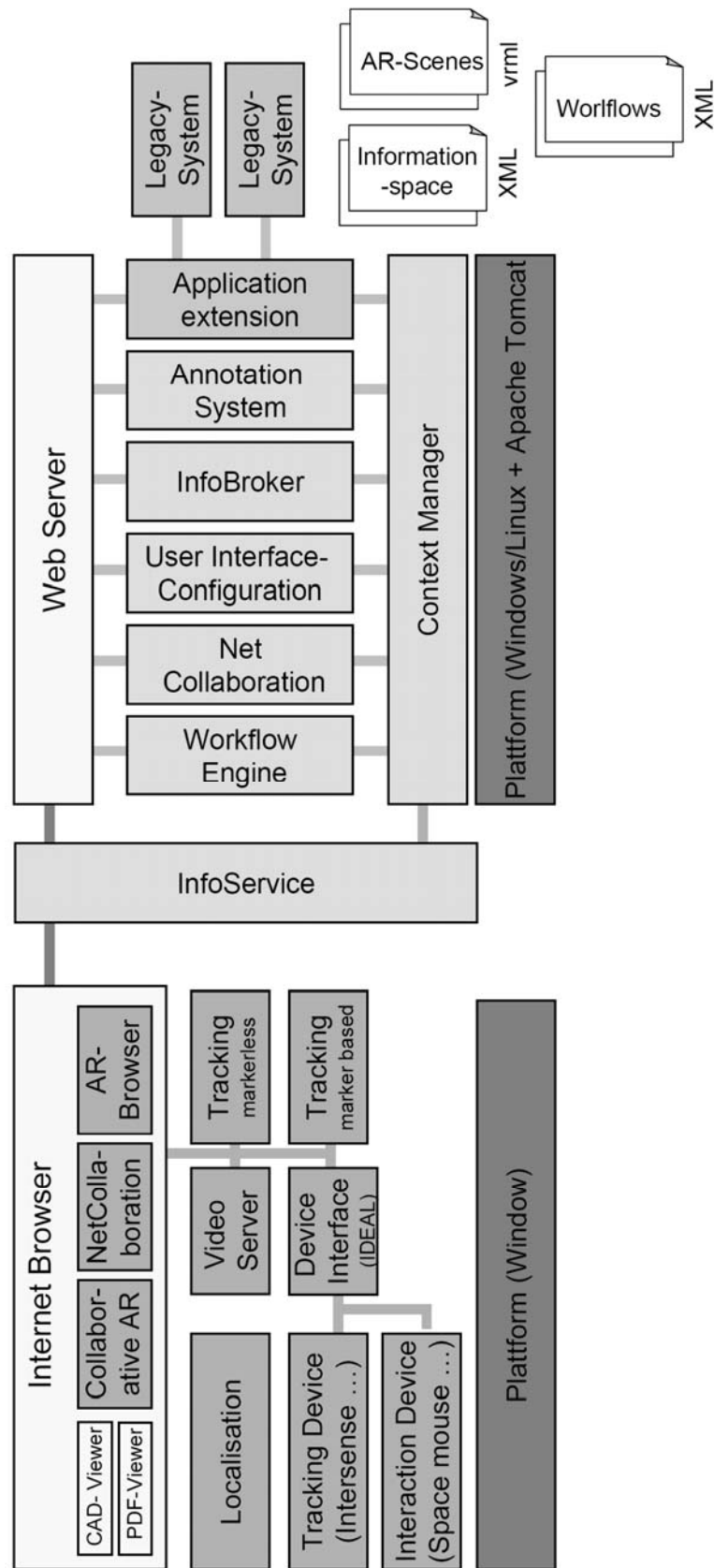


Bild 3-2: Komponenten und Basisdienste der ARVIKA Architektur [Fri04]

Der *InfoBroker* liefert die kontextabhängigen Informationen an den Anwender. Über eine Datenschnittstelle bindet er weiter Legacy-Systeme an, um Informationen aus anderen IT-Systemen des Unternehmens bereitzustellen.

Der Anwender kann mit dem *Annotationssystem* Multimediantexte, wie Bilder, Videos oder Texte zu einem Kontext speichern.

Mit der Architektur wurden eine Vielzahl von AR-Anwendungen für die Entwicklung, Produktion und Service erstellt. Die Anwendungen wurden in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern wie Audi, BMW, DaimlerChrysler, EADS, Ford und Volkswagen umgesetzt und evaluiert [BMR04], [DSA+03], [Fri04], [FW03].

Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen

Die ARVIKA-Architektur deckt einen großen Bereich von Endgeräten ab und unterstützt sehr viele Trackingsysteme. Die Anwendungen zeigen das Potential der Technologie AR in den Bereichen Entwicklung, Produktion und Service. Die Anwendungen werden bisher noch in den Forschungsbereichen der Unternehmen eingesetzt und gehören noch nicht zum täglichen Werkzeug in Industrieunternehmen. Ein Grund sind immer noch die Beschränkungen der Hardware:

- Kurze Akkulaufzeiten bei mobilen Endgeräten
- Fehlen von ergonomischen HMDs
- Fehlende Autorenwerkzeuge für Laien
- Schlechte Trackingqualität

Diese Punkte stellen die Herausforderungen für das ARVIKA-Nachfolgeprojekt, dessen Ergebnisse zu diesem Zeitpunkt nicht öffentlich vorliegen.

Das markerlose Videotracking arbeitet mit Referenzbildern, deren Transformation im Videobild berechnet wird. Das Verfahren unterstützt die Registrierung in 2D und reicht nur für Laborszenarien aus [Fri04].

Der Client des ArBrowsers ist eine ActiveX-Komponente, die den Internetbrowser zur Ausführung auf mobilen Endgeräten benötigt. Diese Anforderungen schließt eine Klasse mobiler Endgeräte aus, die nicht den Internetbrowser unterstützen. Weiterhin lehnen viele Unternehmen ActiveX-Komponenten aus Sicherheitsgründen ab.

Der AR-Editor dient als Autorensystem und bietet die Verknüpfung der Marker mit den 3D-Objekten. Eine GUI wird mit dem Editor nicht erstellt.

3.2 AR ToolKit

Das AR ToolKit wurde 1999 am Human Interface Technology Laboratory (HITlab) der University of Washington entwickelt. Das AR ToolKit ist in erster Linie eine Bibliothek zur Bilderkennung. Eine AR ToolKit-Anwendung besteht aus einer Schleife mit dem folgenden Ablauf: Die Software analysiert den Videostrom einer Kamera, identifiziert die AR-Marker, berechnet die Position und liefert die Daten zur Weiterverarbeitung an einen Renderer zur Darstellung von 3D-Objekten. Das Verhalten wird in die Schleife zwischen der Positionsberechnung und der Darstellung der 3D-Objekte eingefügt. Die Funktion wurde in Kapitel 2.2.2.1 genauer erläutert und in Bild 2-6 visualisiert. Das AR ToolKit ist eine weit verbreitete Software und das günstigste Trackingsystem: Es benötigt eine Kamera und auf Papier gedruckte Marker wie in Bild 3-3 zu sehen.

Das AR ToolKit unterstützt die Betriebssysteme Windows, Mac OS IRIX und Linux. Die Anwendungen werden in der Programmiersprache C erstellt. Die Zuordnung von Marker und 3D-Modell erfolgt in einer Textdatei, in der Position, Orientierung, Skalierung und Beleuchtung eines 3D-Modells angegeben werden [BKK+99], [BKP+00], [BWF96], [BWF97], [KB99].

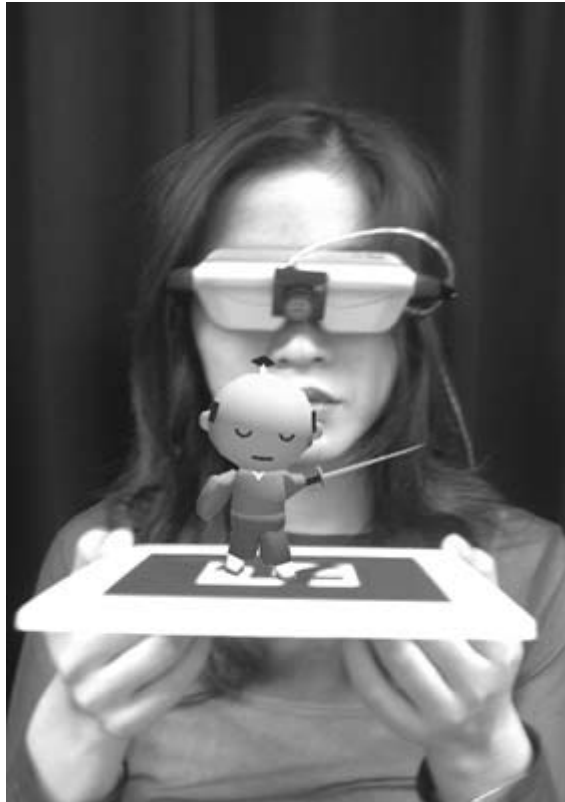


Bild 3-3: AR ToolKit blendet 3D Modell auf einen AR-Marker ein [Hit06]

Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen

Das AR ToolKit ist zu rechenintensiv für mobile Endgeräte. Von einigen Forschungseinrichtungen wurde aus diesem Grund eine Modifizierung des Codes vorgenommen. Die meisten mobilen Endgeräte unterstützen keine Fließkommaberechnungen mit ihrer Hardware, daher wurde die Fließkommaberechnungen durch Festkommaberechnungen ersetzt [WS03], [HO03].

Das AR ToolKit unterstützt nur das markerbasierte Tracking. Ansätze existieren für ein markerloses Tracking, das 2D-Texturen mit Bildelementen vergleicht und nur für 2D-Objekte geeignet ist. Das Lernen der Muster dauert mehrere Stunden [KTG03].

Das AR ToolKit ist nur eine Bibliothek zum Tracken von AR-Markern und hat daher keine Onlineanbindungen zu Datenbanken und Informationssystemen.

Einige Autorenwerkzeuge wurden für das ARToolkit entwickelt. Die Werkzeuge ermöglichten nur die Verknüpfung von Markern mit den 3D-Modellen. Die 3D-Modelle können transformiert, rotiert und positioniert werden. Weitere UI-Elemente und das Verhalten müssen von Experten programmiert werden.

3.3 Studierstube mit ARToolKitPlus für PDA

Studierstube begann 1996 als Forschungsprojekt der Technischen Universität Wien und wird seit 2004 von der Technischen Universität Graz fortgeführt [Stu06-ol]. Studierstube ist eine Sammlung von C++-Klassen die über die Graphik API¹ Open Inventor² gelegt sind. Studierstube ist szenengraphbasiert und unterstützt die Kooperation von mehreren Nutzern durch einen Shared-Scenegraph.

Das Tracking und die Benutzereingabe werden durch das datenflussbasierte Framework *OpenTracker* verwaltet. Es ist XML basiert und steuert den Datenfluss sämtlicher Tracker.

Zusätzlich wurde das *AR ToolKitPlus* für das markerbasierte optische Tracking auf mobilen Endgeräten entwickelt und in das in Bild 3-4 gezeigte Framework integriert. Das ARToolKitPlus ist eine Version des ARToolKits für mobile Endgeräte. Alle Fließkommaoperationen wurden in Festkommaoperationen umgewandelt, so dass die Bilderkennungsalgorithmen besonders schnell auf mobilen Endgeräten laufen, die in der Regel keine Floatingpointprozessoren besitzen. In der Mitte der AR-Marker befindet sich nun eine 6x6 Matrix, die als CRC-Code³ genutzt und viel schneller erkannt wird.

Ein Multimediatool ermöglicht das Abspielen von verschiedenen Multimedia-daten wie MPEG4, Macromediaflash, Videotexturen und verschiedenen Soundformaten.

Für das Rendering wurde *Klimt* entwickelt, eine OpenGL API für OpenGL ES. OpenGL ES ist die Bezeichnung für OpenGL for embedded Systems (ES) und wird von der Graphikhardware von mobilen Endgeräten zur beschleunigten 3D-Darstellung benutzt. Der Standard unterstützt nicht alle OpenGL-Eigenschaften. Durch Klimt werden die fehlenden Eigenschaften zu Open GL ES hinzugefügt.

Studierstube arbeitet nicht direkt auf OpenGL sondern nutzt eine Szenengraphbibliothek wie OpenInventor. *Coin3D* ist eine open source-Alternative zu Openinventor und wurde auf WindowsCE für mobile Endgeräte portiert.

Studierstube ist plattformunabhängig und unterstützt die Betriebssysteme Linux, Windows und Mac OS. Die Anwendungsentwicklung geschieht mit den

¹ API: Application Programming Interface ist eine Schnittstelle, die eine Software anderen Programmen zur Anbindung zur Verfügung stellt

² Open Inventor: Open Inventor ist eine objektorientierte C++-Programm-bibliothek zur Erstellung von 3D-Grafiken unter Verwendung von OpenGL.

³ CRC: Zyklisch redundanter Code (engl. Cyclic Redundand Code). Nach der Codierung wird ein Prüfwert berechnet, über den Fehler bei der Decodierung entdeckt werden.

Programmiersprachen C++, Inventor und Python [FLS97], [RS03], [SFH00], [SFS+96], [SSF+96], [WPL+05], [WS03].

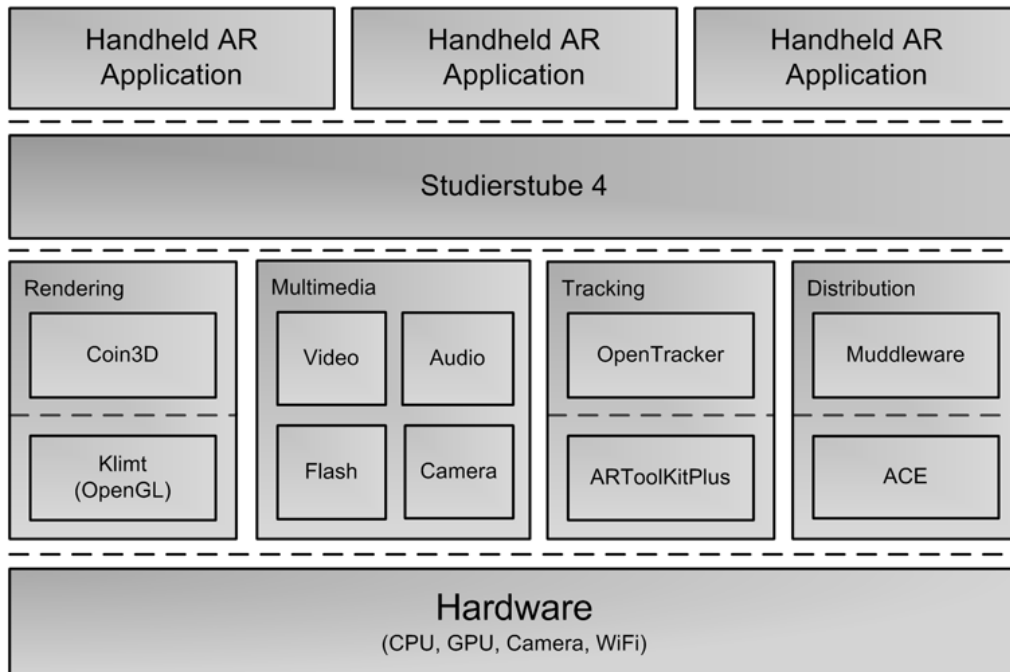


Bild 3-4: Architektur des Studierstube Frameworks für mobiles AR [Stu06-ol]

Bild 3-5 zeigt die mit Studierstube entwickelte kooperative AR-Anwendung „The Invisibel Train“. Auf einem Tisch liegen die Schienen einer Holzspielzeugeisenbahn und AR-Marker. Betrachtet ein Benutzer die Szene durch ein PDA mit integrierter Kamera, so sieht er die virtuellen Weichen und Züge. Der Nutzer kann die Weichen verstellen und die Züge verändern ihre Fahrstrecke. Weitere Nutzer können über ihre PDAs die gleiche Szene aus ihrer eigenen Perspektive sehen und ebenfalls die Weichen verstellen. Die Auswirkungen sind für alle sichtbar. Über Studierstube werden die Daten synchronisiert, so dass eine kooperative Umgebung entsteht. Das Tracking erfolgt mit dem AR ToolKitplus.



Bild 3-5: Studierstube-Anwendung: The Invisible Train [WS06]

Bild 3-6 zeigt die AR-Museums-Anwendung „Virtuoso“. An einer Wand befinden sich AR-Marker. Die Besucher betrachten die AR-Marker durch ihren PDA mit integrierter Kamera und sehen dort zufällig angeordnete virtuelle Kunstobjekte. Die Besucher haben die Aufgabe, die Kunstobjekte in der richtigen zeitlichen Reihenfolge an der Wand aufzureihen. Sie können das virtuelle Kunstobjekt auf ihren PDA übernehmen und an einer anderen Position wieder ablegen. Legen sie das Virtuelle Objekt an einer Informationsstation ab, erklärt der virtuelle Charakter Mr. Virtuoso dort das Objekt mit Multimediainformationen wie Videos, Bildern, Texten und Sound.

Die AR-Markererkennung erfolgt durch das AR ToolKitPlus direkt auf dem PDA und die Synchronisation wird über Studierstube auf einem Laptop vorgenommen, der über WLAN mit den PDAs kommuniziert.



Bild 3-6: Studierstube-Anwendung: Virtuoso [WS06]

Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen

Mit Studierstube können verteilte AR-Anwendungen für mobile Endgeräte erstellt werden. Es werden PDAs und Smartphones unterstützt. Studierstube nutzt für das Tracking das ARToolkitPlus. Zusätzlich können über OpenTracker verschiedene Trackingsysteme eingebunden werden. Ein markerloses optisches Trackingverfahren wird nicht eingesetzt. Die Anwendungen werden mit Hilfe von Programmbibliotheken erstellt und nicht mit einem Autorensystem für Laien unterstützt.

3.4 Cellphone Tracking

Cellphone Tracking ist ein Projekt der Bauhaus-Universität Weimar. Ziel des Projektes war die Entwicklung der ersten Augmented Reality Anwendung für ein handelsübliches Mobiltelefon mit integrierter Kamera. Das Bild 3-7 zeigt das verwendete Mobiltelefon Nokia 7650. Es enthält einen 104 Mhz ARM Prozessor ohne Floatingpointeinheit und 4 MB RAM, sowie dem Betriebssystem Symbian OS 6.1 für Smartphones.



Bild 3-7: AR mit dem Mobiltelefon Nokia 7650 [MLB04b]

Alle Berechnungen für das Tracking wurden aufgrund der fehlenden Fließkommaunterstützung in Integerberechnungen umgewandelt. Die Anwendung erreichte bei einer Auflösung von 160x120 Pixel und einer Farbtiefe von 12 bit eine Framerate von 16 fps. Bei einer Auflösung von 320x240 Pixel fiel die Framerate auf 0.5 fps.

Die Anwendung verwendet dreidimensionale Marker, die in Bild 3-8 dargestellt werden. Die Marker haben eine Grundfläche von ca. 10x10 cm und ihre Kanten sind jeweils rot, grün und blau gefärbt. Da die Kamera ein RGB-Signal¹ liefert, können die eingefärbten Kanten besonders gut identifiziert werden. Die Anwendung geht davon aus, dass das Mobiltelefon richtig gehalten wird und die grüne Kante des Markers senkrecht steht. Der Algorithmus scannt das Bild von oben nach unten und sucht nach der grünen Kante. Ist die Kante gefunden so sucht der Algorithmus die Endpunkte, dort sucht er im Umfeld nach der roten und blauen Kante und findet dadurch den Ursprung der drei Kanten. Die Länge der Kanten ist bekannt und so kann die Position und die Lage der Marker im Raum berechnet werden. Zur Identifizierung der Marker befinden sich auf den Flächen farbige Punkte [MLB04a].

¹ RGB-Signal: Das RGB Signal überträgt die Primärfarben rot, grün und blau, auf drei getrennten Kanälen, durch additive Farbmischung können alle Farben daraus erzeugt werden.

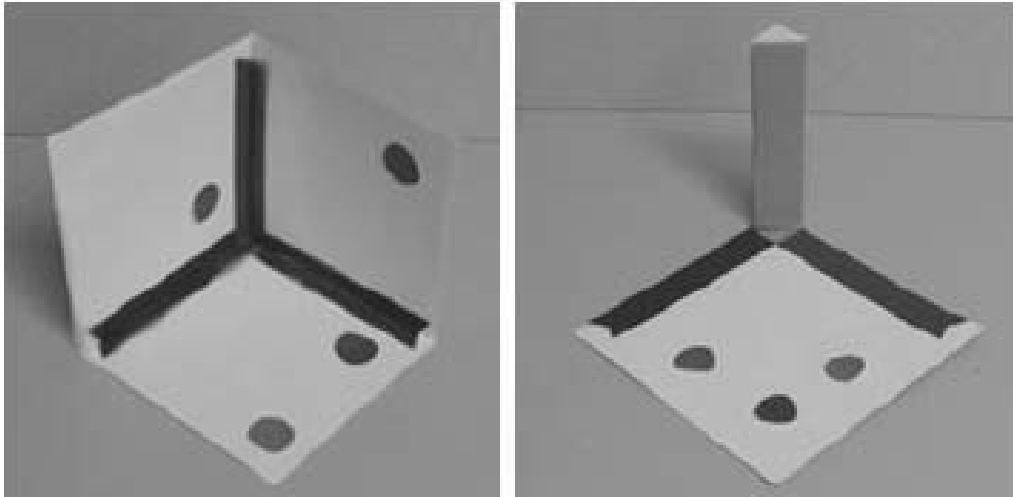


Bild 3-8: 3D-Marker für das Cellphone Tracking [MLB04a]

Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen

Das System zeigt, dass Mobiltelefone in der Lage sind, einfache Trackingalgorithmen auszuführen und eine 3D-Graphik an der berechneten Position des Markers darzustellen. Für einen industriellen Einsatz sind die Marker durch ihre Dreidimensionalität nicht alltagstauglich, da sie schlecht an Produkten befestigt werden können und vor allem die Ästhetik stören. Die Anwendung zeigt auch, dass bei einer höheren Auflösung von 320x240 die Framerate extrem zurück fiel, so dass keine Animation mehr möglich war.

Das System bietet nur das Tracking und das Rendering der Graphik. Es existiert kein Autorensystem zum einfachen Erstellen von Anwendungen. Der Zugriff auf Onlinedatenbanken ist bisher nicht vorgesehen.

3.5 Distributed Wearable Augmented Reality Framework (DWARF)

Das Distributed Wearable Augmented Reality Framework (DWARF) ist ein Projekt der Technischen Universität München. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines erweiterbaren dezentralen Software-Frameworks für verteilte AR-Anwendungen, Kontextermittlung und Ubiquitous¹ Computing. DWARF

¹ Ubiquitous Computing ist die Allgegenwertigkeit von Computern, die unsichtbar in Gebrauchsgegenstände integriert sind, über Sensoren ihre Umgebung wahrnehmen und über drahtlose Kommunikation Daten austauschen [Mat01].

besteht aus wieder verwendbaren Software-Diensten zur Entwicklung von verteilten AR-Anwendungen. Die Middleware basiert auf CORBA¹. Die Dienste werden in XML oder CORBA IDL² beschrieben. Sie werden während der Laufzeit von der Middleware dynamisch zusammengestellt und bilden einen verteilten Datenflussgraph. Für die Erstellung einer AR-Anwendung bietet DWARF Dienste für verschiedene Trackingsysteme, Kalibrierung, szenographbasiertes Rendern, Audio Ein- und Ausgabe, Videocapturing oder für Interaktionsgeräte.

DWARF ist plattformunabhängig und unterstützt die Betriebssysteme Linux, Windows, Mac OS. Für die Anwendungsentwicklung können die Programmiersprachen C++, JAVA und Python verwendet werden [BBK+01] [WRB+03], [WSW+03].

Bild 3-9 zeigt die Kooperative Augmented Reality Anwendung „The Shared Environment Entertainment Pasture“ (SHEEP), die mit DWARF entwickelt wurde. Ein Videobeamer projiziert eine virtuelle Szene auf einen Tisch. Es wird eine Landschaft dargestellt in der sich Schafe und Wölfe befinden. Mit verschiedenen Geräten wie Notebooks, HMDs und PDAs kann mit der Szene interagiert werden. Alle Geräte werden getrackt und zeigen ihre Sicht auf die virtuelle Landschaft abhängig von ihrer Position im Raum. Mit den verschiedenen Geräten kann die Szene modifiziert werden, in dem Schafe entnommen, verändert und an einer anderen Position wieder abgesetzt werden. SHEEP ist eine kooperative Augmented Reality Umgebung in der mehrere Benutzer eine Szene gemeinsam bearbeiten können.



Bild 3-9: DWARF Anwendung SHEEP [She06]

¹ CORBA Common Object Request Broker Architecture ist eine Middleware, die plattformunabhängige Dienste definiert. Sie wurde entwickelt von der Object Management Group (OMG).

² IDL: Interface Definition Language. Beschreibungssprache für Schnittstellen bei CORBA.

Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen

DWARF ist besonders für den Einsatz auf mobilen Endgeräten ausgelegt. Die Dienste können fast auf allen Plattformen ausgeführt werden und kommunizieren über drahtlose Netze miteinander. So kann ein mobiles Endgerät z. B. das AR ToolKit Plus zum Tracken verwenden oder über das Netzwerk auf externe Trackingsysteme zugreifen, die ihre Dienste anbieten.

Verschiedene Trackingsysteme können als Dienste in DWARF-Anwendungen integriert werden. Dabei werden Verfahren wie das AR ToolKit Plus oder externe System wie A.R.T.track unterstützt. Bisher wird kein markerloses optisches Tracking verwendet.

Die Dienste können auch online Zugriffe auf Datenbanken anbieten.

3.6 Tinmith

Tinmith-evo5 ist ein mobiles Outdoor-AR-System, das an der Universität von Südastralien entwickelt wurde. Die Hardwareplattform bildet ein Notebook mit einem HMD als Videoausgabe sowie die Kombination von Kamera, GPS und einem Digitalkompass als Trackingsystem (siehe Bild 3-10). Das GPS-System empfängt die genaue Position des Benutzers durch die Satelliten. Die Blickrichtung wird über den 3-Achsen-Digitalkompass am Kopf des Benutzers ermittelt. Zur Navigation innerhalb von Gebäuden und zur Interaktionserkennung wird das ARToolKit verwendet. Mit einem Sensor-Handschuh interagiert der Benutzer mit dem System. An dem Handschuh befinden sich Kontaktschalter, über die elektronische Signale an das System gegeben werden, die als Interaktionen ausgewertet werden. An dem Handschuh befinden sich AR-Marker, über die die Position und damit die Bewegungen des Handschuhs getrackt werden (siehe Bild 3-11).



Bild 3-10: Tinmith Hardware [Pie04]

Tinmith visualisierte zuerst nur die Gebäudeerweiterung auf dem Campus der Universität Südaustraliens [PHD+99], [PTH+99]. In der aktuellen Version ermöglicht Tinmith-ev0 dem Benutzer virtuelle Objekte in einer realen Szene zu platzieren und zu bearbeiten. Architekten und Bauherren haben damit die Möglichkeit, bereits vor Baubeginn einen Eindruck des späteren Gebäudes oder der Bepflanzung zu erhalten. Bild 3-12 zeigt die Konstruktion eines virtuellen Gebäudes in der realen Umgebung.



Bild 3-11: Interaktion mit Sensor-Handschuh [Pie04]



Bild 3-12: Architekturplanung mit virtuellen Gebäuden in einer realen Umgebung [Pie04]

Zielsetzung des Projektes ist es, eine umfassende Lösung für AR-Anwendungen zu entwickeln, die neben den Basisfunktionalitäten für die Darstellung und das Rendering der Objekte auch komplexe Aufgaben bereits fertig mitliefert, ohne dass sie von Programmierern entwickelt werden müssen. Basierend auf der in Bild 3-13 dargestellten „Low-Level-Architektur“ soll es möglich sein, fertige Komponenten für die Implementierung komplexer Applikationen zu verwenden.

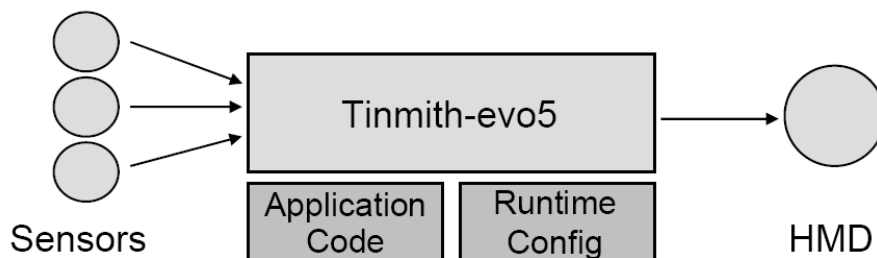


Bild 3-13: Tinmith-evo 5 Gesamtsystemübersicht [Pie04]

Tinmith ist eine datenflußorientierte Architektur. Sie besteht aus verschiedenen Schichten, wie Bild 3-14 zeigt. Die Informationen über die Außenwelt nimmt

das System über die Trackinggeräte wahr. Über eine Hardware-Abstraktionsschicht (engl. Hardware Abstraction) werden die Daten aus den Trackinggeräten für die Weiterverarbeitung abstrahiert und in Objekte verwandelt. In der nächsten Schicht werden die Trackerdaten als Objektevents an einen Zustandsautomaten weitergereicht, der die Logik der Anwendung steuert. Die Events verursachen über den Zustandsautomaten Veränderungen an dem Szenengraphen, der in der letzten Schicht gerendert wird [Pie04], [PT03], [PHD+99], [PTH+99].

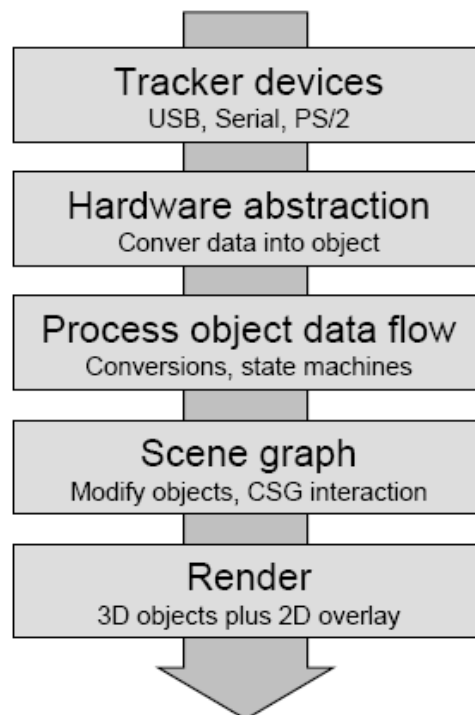


Bild 3-14: Datenfluß durch die Tinmith Module [Pie04]

Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen

Das System erfüllt alle Anforderungen der Definition Augmented Reality. Das System wird von den Entwicklern zwar als mobil bezeichnet, ist aber für einen realen mobilen Einsatz zu groß und damit zu unpraktisch. Der Nutzer trägt einen Laptop und die über viele Kabel angeschlossenen Trackinggeräte in einem Rucksack. In der bisherigen Ausführung wird es schwer sein, eine befriedigende Benutzerakzeptanz zu erreichen.

Zum Tracking außerhalb von Gebäuden verwendet das System GPS und einen digitalen Kreiselkompass und innerhalb von Gebäuden wird das AR-Toolkit zur Positionsbestimmung verwendet.

Das System ist nicht mit einer Onlinedatenbank verbunden. Alle Daten befinden sich auf dem Endgerät im Dateisystem.

Das System selber ist eine Art Autorensystem. Der Nutzer kreiert mit dem System eine Augmented Reality-Umgebung. Durch Gestik erstellt der Benutzer virtuelle Objekte, die in die reale Umgebung eingefügt und später wieder betrachtet werden können. Die Anwendung nutzt eine eigene proprietäre Grafikbeschreibungssprache und kann andere Datenformate nicht lesen oder schreiben. Möchte man das System für andere Anwendungsfälle nutzen, müssen die Komponenten von Experten programmiert werden. In dem Fall werden Laien nicht mit einem Autorensystem unterstützt.

3.7 Ubiquitous Mobile Augmented Reality (UMAR)

Das UMAR Framework in Bild 3-15 zeigt kontextabhängige personalisierte Informationen auf einem Smartphone an. Der Kontext wird über Sensoren ermittelt: Das Smartphone kennt die aktuelle Mobilfunkzelle und kann darüber eine Ortsbestimmung durchführen. Über die interne Kamera und dem AR ToolKit identifiziert die Software auf dem Smartphone die AR-Marker und zeigt dem Marker zugeordnete Informationen an. Mobiltelefone sind im Regelfall genau einer Person zugeordnet, dadurch wird die Informationsanfrage personalisiert.

Die Informationsanfragen werden durch die Interaktion des Benutzers, seine Identität, seine Position und den erkannten AR-Markern bestimmt. Abhängig von der räumlichen Beziehung zu einem Objekt wird die Benutzungsschnittstelle ausgewählt. Bei sehr nahen Objekten mit AR-Markern verwendet das System AR, bei entfernten Objekten wird eine 2D-Karte mit interessanten Punkten der Umgebung angezeigt. Existiert kein räumlicher Bezug zum gesuchten Objekt, so nutzt das System Internetseiten zur Informationsdarstellung [HO03], [HO04].

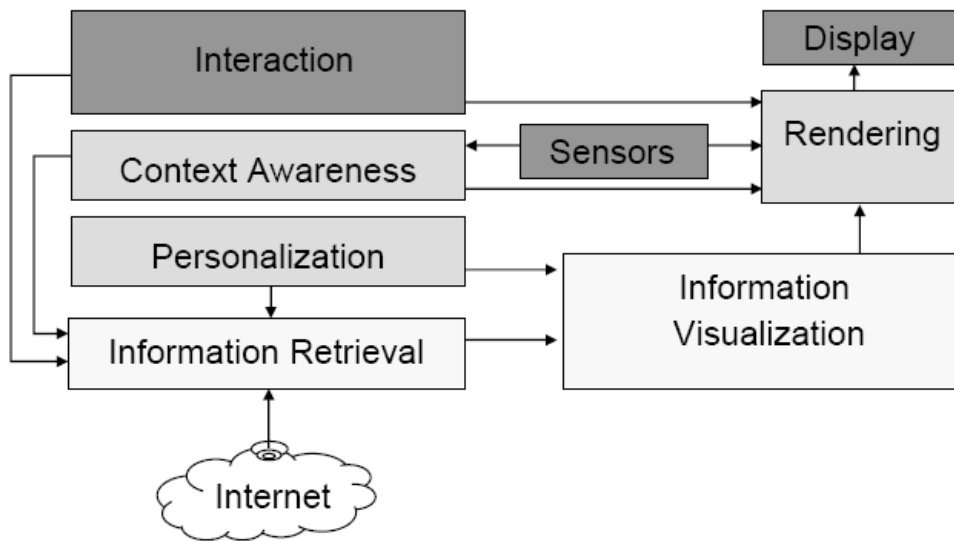


Bild 3-15: UMAR Framework [HO04]

Bild 3-16 zeigt eine Beispielanwendung, die abhängig von der aktuellen Zeit die Position der Straßenbahnen auf einem Stadtplan mit der Technologie AR einblendet. Eine weitere Anwendung ermittelt die aktuelle Mobilfunkzelle und zeigt den entsprechenden Kartenausschnitt der Umgebung als Graphik im Smartphone an. Auf dem Kartenausschnitt befinden sich Hyperlinks zu Videos, die interessante Punkte der Umgebung erläutern.

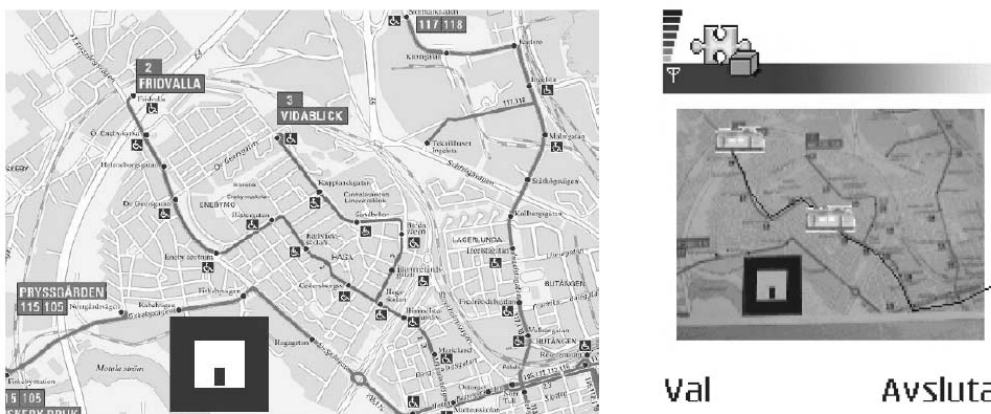


Bild 3-16: Karte mit AR-Marker (links); Im Display des Smartphones wird die Karte mit virtuellen Straßenbahnen erweitert (rechts) [HO04]

Auf Basis der UMAR Erfahrungen erstellten die Autoren ein AR-Tennisspiel für Mobiltelefone [HBO05].

Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen

Das Framework unterstützt die Technologie Augmented Reality für Smartphones. Das Tracking basiert auf eine AR-ToolKit Version, die für mobile Endgeräte angepasst wurde. Die Floatingpointoperationen wurden in Festkommaoperationen umgewandelt, da die mobilen Geräte die Floatingpointoperationen nicht mit der Hardware unterstützen. Die Markererkennung funktioniert bis zu einer maximalen Distanz von 1,5 m und arbeitet nur mit drei Freiheitsgeraden, d.h. die Translation in der 2D-Ebene und die Tiefenentfernung zur Kamera. Die Rotationen in den Ebenen werden nicht erfasst.

Neben dem AR Toolkit-Tracking erkennt die Software in welcher Mobilfunkzelle das Gerät sich befindet. Entsprechend der Mobilfunkzellenidentifikation ruft die Software die Informationen aus einer Onlinedatenbank ab und zeigt sie auf dem Smartphone an.

Die Anwendungsentwicklung wird nicht von einem Autorensystem unterstützt. Die gesamte Anwendung wird vom Entwickler programmiert.

3.8 wearIT@work

Ziel des Projekts wearIT@work ist die Entwicklung einer Wearable Computing Plattform zur Unterstützung mobiler Tätigkeiten in Industrie- und Dienstleistungsunternehmen. Es werden Hard- und Softwarelösungen für die folgenden Anwendungsszenarien entwickelt und evaluiert:

- Wartung von Flugzeugen (EADS, Frankreich)
- Produktion von Fahrzeugen (Skoda, Tschechien)
- Medizinische Versorgung (Gesundheits- und Spitals AG, Österreich)
- Notfallintervention (Feuerwehr Paris, Frankreich)

Das wearIT@work-Framework ist eine serviceorientierte Architektur (SOA). Es bietet für die jeweiligen Aufgaben spezielle Dienste an. Aus den Anwendungsszenarien wurden mögliche Dienste (engl. Services) abgeleitet, z.B. Datenbankzugriffe, Kontexterkenkung, Workflowmanagement und mobile Kommunikation. Diese Dienste registrieren sich bei dem Servicebroker und stehen damit allen Komponenten zur Verfügung. Benötigt eine Anwendung einen bestimmten Service, so fragt sie bei dem Servicebroker nach und kann dann die benötigten registrierten Dienste nutzen.

Das Bild 3-17 zeigt die Struktur des Frameworks zwischen der Anwendung und dem Betriebssystemen. Die Basis bilden die Kernkomponenten (engl. Co-

re-Components) und die Integrationsschicht (engl. Integrationlayer), die verantwortlich für die interne Kommunikation des Frameworks ist. Die Kernkomponenten sind eine Sammlung von Komponenten, die von allen möglichen Anwendungen gemeinsam genutzt werden.

Je nach Anforderungen einer Anwendung werden Kerndienste (engl. Core Services) und domainspezifische Dienste zur Verfügung gestellt.

Die Brokerfunktion übernimmt der WearIT Management Service. Hier registrieren sich die Dienste. Er sorgt für die Zuordnung der Dienste zu den Anwendungen und übernimmt so das gesamte Lifecycle-Management¹ der Dienste.

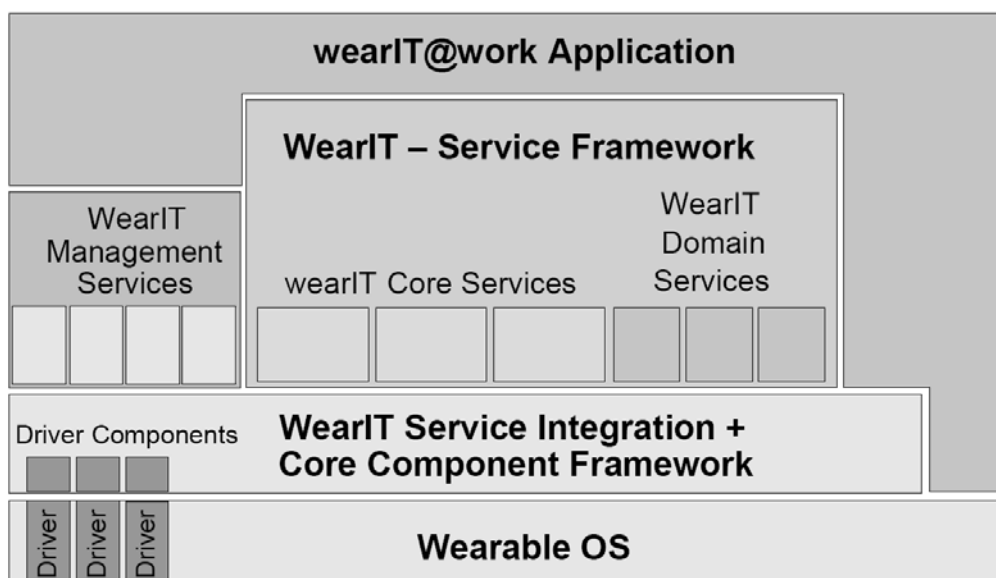


Bild 3-17: *wearIT@work Framework [Sbo05]*

Weiterhin werden im Rahmen des Projektes Treiberkomponenten für die Anbindung verschiedener Hardware an Wearable Computer entwickelt, so dass Sensoren, Tracker, Kommunikationshardware wie Mobilfunk oder WLAN von den Geräten genutzt werden können.

Das Framework unterstützt die Betriebssysteme Linux und Windows. Als Wearable Computer wird der QBIC verwendet [ALO+04]. Der Computer ist in einem Gürtel integriert (siehe Bild 3-18). Der Rechner befindet sich in der Schnalle und ein Bussystem im Gürtel. Über das Bussystem können verschiedenen Hardwarekomponenten an den Rechner angeschlossen werden. Weitere Plattformen sind die kommerziellen Produkte oqo und Xybernaut [Oqo06-ol], [Xyb06ol], [ST06], [BHK+06].

¹ Lifecycle ist hier die Lebensdauer eines Dienstes vom Start bis zur Beendigung

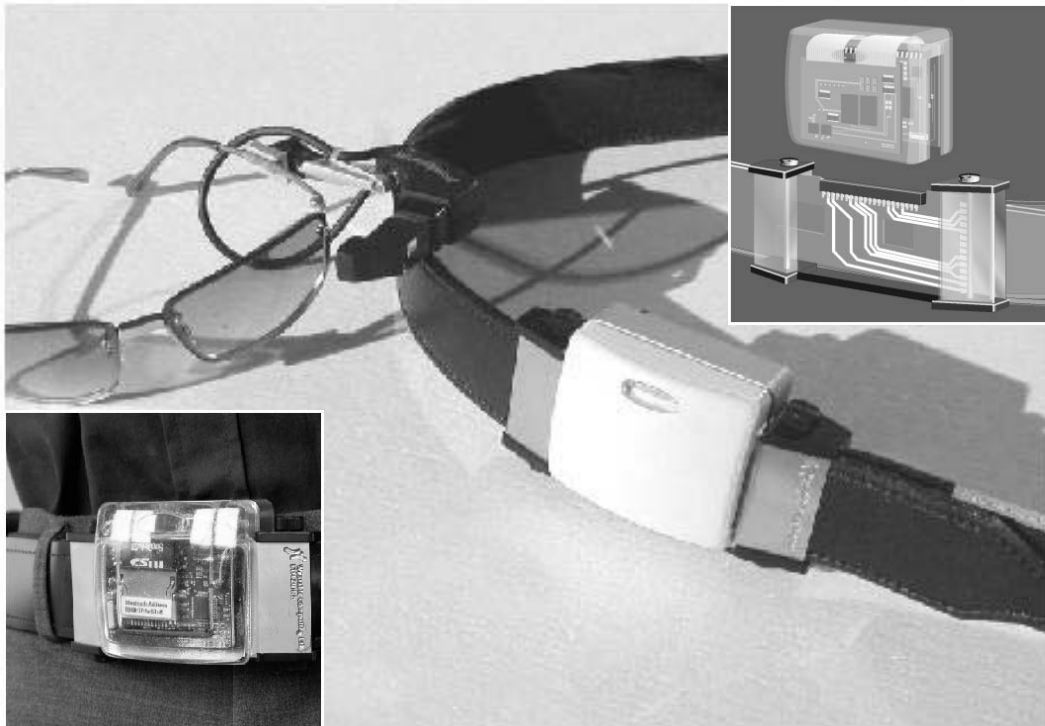


Bild 3-18: QBIC: Computer in der Gürtelschnalle mit MicroOptical Clip-On Display [Qbi06]

Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen

In der bisherigen Planung ist der Einsatz für Augmented Reality in dem Projekt nicht vorgesehen. Das Framework bietet teilweise die benötigten Dienste für ein AR-Anwendung an: Videoübertragung, Kontexterkenkung, Workflowmanagement. Die Entwicklung von Komponente zur 3D-Darstellung und zur Kombination von virtueller und realer Umgebung sind nicht Bestandteile des Projektes.

Das Framework ist speziell für tragbare (engl. Wearable) und damit mobile Computer ausgelegt, die in Industrie- und Dienstleistungsunternehmen eingesetzt werden sollen. Das Framework bietet Dienste für die mobile Kommunikation an wie Bluetooth, WLAN und UMTS. Sind mehrere Kommunikationsmöglichkeiten vorhanden, so wählen intelligente Dienste je nach Anforderung der Anwendung die möglichst optimale Kommunikationsform aus, ohne dass sich der Nutzer darum kümmern muss [MTS+06]. Bei dem Ausfall einer Übertragungstechnologie, z.B. WLAN, kann automatisch auf eine andere Alternati-

ve wie UMTS umgeschaltet werden, ohne dass die laufende Anwendung unterbrochen wird.

Ein Ziel des Projektes ist es die Arbeit durch den Einsatz von Wearable Computern zu erleichtern und den Informationszugriff effizienter zu gestalten. Informationen sollen dem Arbeiter in der Fabrikhalle oder dem Feuerwehrmann im Einsatz geliefert werden. Eine große Anforderung an das Projekt ist die Bereitstellung von einem Onlinezugriff auf die bestehenden Datenbanken und Systeme in den Unternehmen.

In das Framework wurden eine Vielzahl von Trackingsystemen integriert. Es werden z.B. RFID-Sensoren und Bewegungssensoren genutzt, um aus Bewegungen der Nutzers auf ihre Tätigkeiten zu schließen (siehe Bild 3-19) [SLR+06]. Die eingesetzten Trackingsysteme bieten aber nicht die notwendige Präzision für AR.

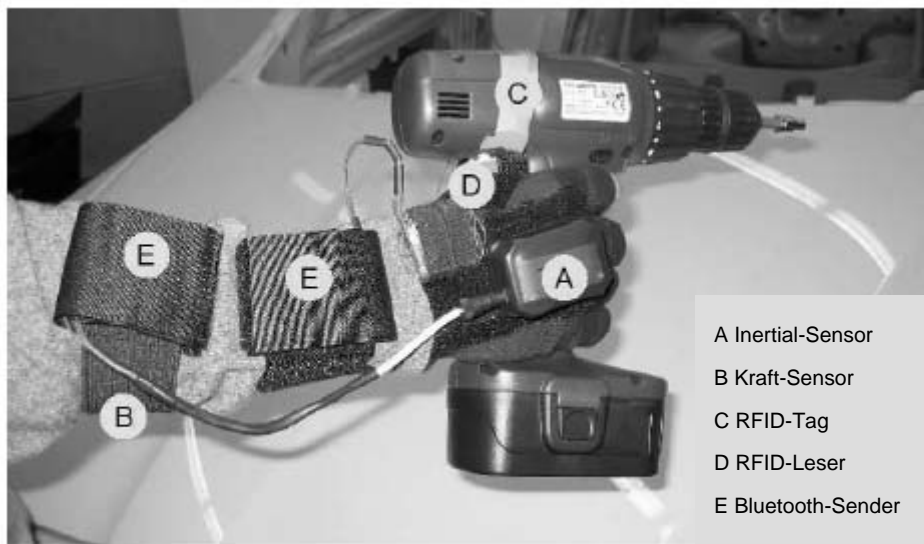


Bild 3-19: Trackingsensoren zur Kontexterkenung [SLR+06]

Das Framework bietet nur Dienste an. Alle Anwendungen müssen programmiert werden. Der Anwendungsprogrammierer kann die Dienste über ihre Schnittstellen in seine Anwendung integrieren. Es existiert kein Autorenwerkzeug, das es Laien ermöglicht Anwendungen für das Framework ohne Expertenwissen zu entwickeln.

3.9 Handlungsbedarf und Zielsetzung der Arbeit

Die Analyse der Systemarchitekturen zeigt, dass keines der Systeme alle gestellten Anforderungen erfüllt. Bild 3-20 stellt eine tabellarische Übersicht der nach den Anforderungen aus Kapitel 2.6 bewerteten Systeme dar.

In den Forschungsprojekten der Universitäten steht die Weiterentwicklung der AR-Basistechnologien wie Tracking und die Darstellung der 3D-Objekte auf den Endgeräten im Vordergrund und nicht die Integration der Systeme in den Produktlebenszyklus. Erst die Projekte wearIT@work und ARVIKA mit starker industrieller Beteiligung beschäftigen sich mit der Online-Anbindung an Datenbanken oder andere Legacy-Systeme, um auf konsistente und aktuelle Produktdaten zugreifen zu können.

In allen Projekten können die Anwendungen nur von Experten erstellt werden. Für eine Akzeptanz der Technologie müssen auch Personen aus anderen Bereichen mit wenig IT-Erfahrung wie Marketing oder technischen Redaktionen in die Lage versetzt werden kostengünstig Inhalte für eine Anwendung zur Produktpräsentation zu erstellen.

Die meisten Systeme nutzen einen markerbasierten Trackingansatz. In den Bereichen Design, Vertrieb oder beim Kundensupport spielt das ästhetische Erscheinungsbild eines Produktes eine große Rolle. Durch den Einsatz von Markern wird dieses extrem gestört.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung einer Architektur für mobile skalierbare Augmented Reality-Anwendungen für die Produktpräsentation. Hierbei wird ein markerloses optisches Trackingverfahren integriert, um besonders die ästhetischen Anforderungen aus den Bereichen Marketing, Vertrieb und Kundensupport zu berücksichtigen und somit eine hohe Akzeptanz zu erreichen. Der Onlinezugriff auf eine Datenbank mit den Anwendungsdaten soll einen konsistenten und aktuellen Informationsstand gewährleisten. Die Einbindung eines Autorensystems wird eine kostengünstige Generierung von Inhalten auch für Nichtexperten ermöglichen und damit ebenfalls die Akzeptanz des Systems erhöhen.

Bewertungs-kriterium \ System	A1 Augmented Reality	A2 skalierbar für mobile Endgeräte	A3 mehrere Tracking-systeme	A4 markerloses Tracking-system	A5 Online-Datenbank-anbindung	A6 Autoren-system
ARVIKA	●	◐	●	◐	●	◐
AR ToolKit	●	○	○	◐	○	◐
Studierstube ART +	●	●	●	○	◐	○
Cellphone Tracking	●	●	○	○	○	○
DWARF	●	●	●	○	◐	○
Tinmith	●	◐	●	◐	○	◐
UMAR	●	●	◐	○	●	○
wearIT@work	○	●	●	◐	●	○



Bild 3-20: Bewertung der bestehenden Systeme für AR und Mobile Computing hinsichtlich der in Kapitel 2.6 aufgestellten Anforderungen

4 Konzeption und Systementwurf

In dem vorangehenden Kapitel wurde gezeigt, dass die bestehenden Systeme nicht alle Anforderungen an ein System zur Produktpräsentation erfüllen.

Im Folgenden wird eine Konzeption einer Architektur für ein System zur Produktpräsentation vorgestellt und ein Vergleich mit einer Referenzarchitektur vorgenommen. Anschließend werden die Komponenten der Architektur erläutert. Darauf folgt eine Vorstellung eines Autorensystem, mit dem Laien in die Lage versetzt werden, Inhalte für eine Anwendung zu generieren.

Des Weiteren wird erläutert, wie die Trackingdaten innerhalb des Entwicklungsprozesses generiert werden und wie die Inhalte über die Produktlebensphasen erstellt werden. Am Ende des Kapitels wird gezeigt, dass alle Anforderungen an ein System zur Produktpräsentation erfüllt werden.

4.1 Systemarchitektur

Das Augmentieren von Videobildern mit virtuellen Informationen sowie das Tracking sind sehr rechenintensive Prozesse, die nur sehr eingeschränkt auf den aktuellen mobilen Endgeräten ausgeführt werden können. Ein Lösungsansatz ist die in Bild 4-1 dargestellte Client/Server-Architektur, die es ermöglicht, die rechenintensiven Prozesse bei Bedarf auf einen Server auszulagern. Dies erlaubt einen flexiblen Einsatz von unterschiedlichen Geräten. Z. B. kann ein leistungsstarker Tablet PC gleichzeitig als Client und Server dienen und die rechenintensiven Prozesse der Bildverarbeitung selber ausführen. Leistungsschwache Geräte wie z. B. PDAs dienen nur zur Anzeige der Informationen und zur Interaktion mit dem Benutzer, während die rechenintensiven Prozesse auf einem Server ausgeführt werden. Die Minimalfunktionen eines Clients sind dann die Ein- und Ausgabe von Video und Audio sowie die Interaktion mit dem Benutzer.

Der Server besteht aus einem *Managementsystem*, das die Ausführung der Anwendung steuert und deshalb mit allen Komponenten des Servers kommuniziert. Das *Trackingsystem* liefert die Position und die Identität eines gefundenen Objektes. Die *Objektdarstellung* berechnet die Ausgabe des Systems. Dies umfasst die GUI und die 3D-Objekte. Über eine Datenbankschnittstelle wird auf die interne Datenbank zugegriffen, in der die Anwendungs- und Trackingdaten liegen. Ferner kann über diese Schnittstelle der Zugriff auf weitere externe Datenbanken geregelt werden. Das Managementsystem kann auch externe Anwendungen aufrufen, um z. B. Dokumente oder andere Daten anzuzeigen.

Client und Server kommunizieren über Standard-Internet-Protokolle wie TCP/IP oder UDP/IP miteinander, so dass Netzwerktechnologien wie WLAN oder UMTS zur Kommunikation zwischen Client und Server genutzt werden können.

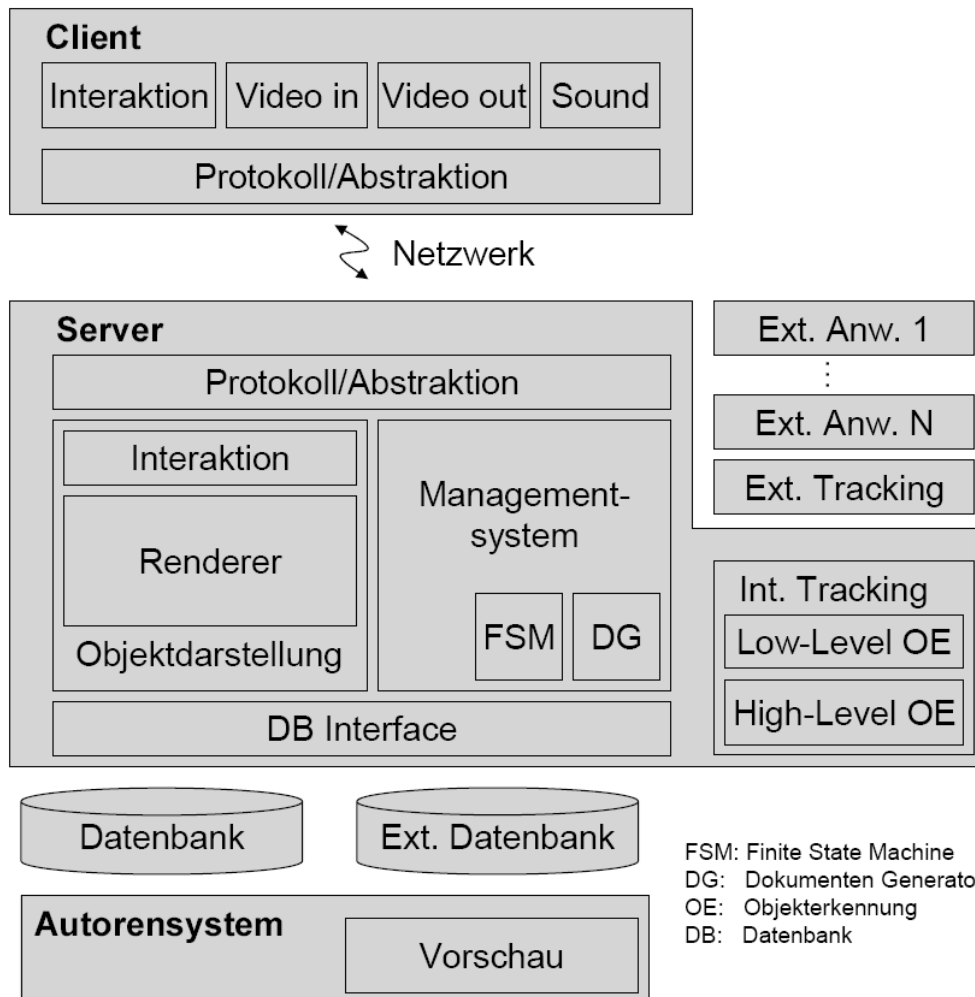


Bild 4-1: Systemarchitektur des AR-Produktpräsentationssystems

Im Rahmen des ARVIKA-Projektes wurde von der Technischen Universität München eine Referenzarchitektur für Augmented Reality-Anwendungen erstellt [BMR04]. Nach der Referenzarchitektur in Bild 4-2 besteht ein AR-System aus den Subsystemen: Anwendung (engl. Application), Tracking, User input, User output, Kontext, World Model.

Die Komponenten der hier entwickelten Systemarchitektur decken alle Subsysteme der Referenzarchitektur ab:

Anwendung:	Die Anwendungslogik wird im Anwendungsskript beschrieben und vom Managementsystem ausgeführt.
Kontext-Manager:	Der Kontext-Manager wird durch eine Finite State Maschine (FSM) implementiert, die den aktuellen Kontext durch ihren Zustand darstellt. Ereignisse wie Benutzerinteraktionen oder Trackinginformationen, die einen Kontextwechsel darstellen, führen zu einem Übergang in einen neuen Zustand der FSM.
Eingabe:	Die Eingaben erfolgen per Stift-Interaktion und über die Tasten des mobilen Endgerätes. Das aufgenommene Videobild der Kamera dient als Eingabe für das markerlose modellbasierte Trackingverfahren.
Ausgabe:	Ein 3D Renderer stellt die 3D Modelle dar. Ein Videoplayer gibt das mit Zusatzinformationen angereicherte Videobild auf dem Endgerät aus. Über einen PDF-Viewer können PDF-Dokumente oder die vom Dokumentengenerator erzeugten Dokumente ausgegeben werden.
Tracker:	Zum Identifizieren und Verfolgen der Objekte wird ein markerloses modellbasiertes Trackingverfahren verwendet.
Weltmodell:	Das gesamte Weltmodell wird in einem Anwendungsszenario beschrieben. Ein Anwendungsszenario enthält mehrere Anwendungsskripte, die je nach Kontext ausgeführt werden.

Die Architektur wird in die drei Elemente Client, Server und Kommunikation aufgeteilt, die in den folgenden Kapiteln näher beschrieben werden.

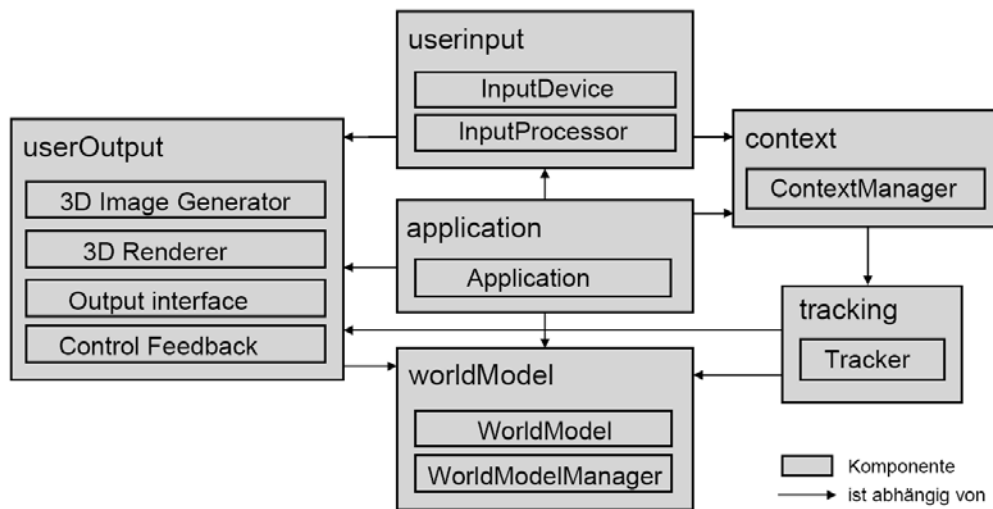


Bild 4-2: Referenzarchitektur für AR-Systeme [BMR04]

4.1.1 Client

Der Client mit seinen Komponenten in Bild 4-3 ist die Schnittstelle zwischen dem Benutzer und der Anwendung. Der Client bietet dem Benutzer die Interaktionsmöglichkeiten mit der Anwendung. Dies kann über die Tasten des Gerätes erfolgen oder wie bei den meisten PDAs mit einem berührungsempfindlichen Display und einem Stift. Die Stifteingabe liefert eine 2D-Koordinate auf dem Display, sie wird in der Protokoll- und Abstraktionsschicht geräteunabhängig codiert und an die Anwendung zur Auswertung gesendet.

Das Gerät dient auch als Eingabegerät für ein optisches Tracking, daher ist der Client mit einer Videokamera ausgestattet. Die Kamera sendet über den Client ein Video an die Serveranwendung und damit an das Trackingsystem. Das von der Kamera aufgenommene Bild wird in der Protokoll- und Abstraktionsschicht des Client nach dem verwendeten Videostandard und Übertragungsprotokoll komprimiert, codiert und anschließend versendet.

Vom Server erhält der Client ein Video mit den angereicherten Informationen. Er muss daher kein 3D-Rendering mehr vornehmen, sondern zeigt die Ausgabe nur als Video an. Zu diesem Zweck nutzt der Client eine Videoabspielsoftware, die abhängig vom verwendeten Videoprotokoll den Videostrom vom Server abspielen kann.

Die Anbindung des Clients an den Server geschieht durch drahtlose Kommunikation, daher unterstützt der Client hard- und softwareseitig einen breitbandigen Kommunikationsstandard, wie UMTS oder WLAN.

Der Client kann auch externe Anwendungen nutzen. Neben der Anzeige von AR-Inhalten können so auch Dokumente oder Präsentationen geöffnet werden, falls der Client die entsprechende Software anbieten kann.

Bei einem leistungsstarken Client kann der Server auch auf dem Endgerät ausgeführt werden. In dem Fall interagiert der Benutzer direkt mit der Objektdarstellung. Das Videobild der Kamera wird als direkte Eingabe für das optische Tracking verwendet. Die Codierung, Komprimierung, Versendung, Dekomprimierung und Decodierung des Videos entfällt. Eine Online-Anbindung über drahtlose Kommunikation wird weiterhin benötigt, um Zugriff auf die Datenbanken mit den aktuellen Anwendungsdaten zu gewährleisten.

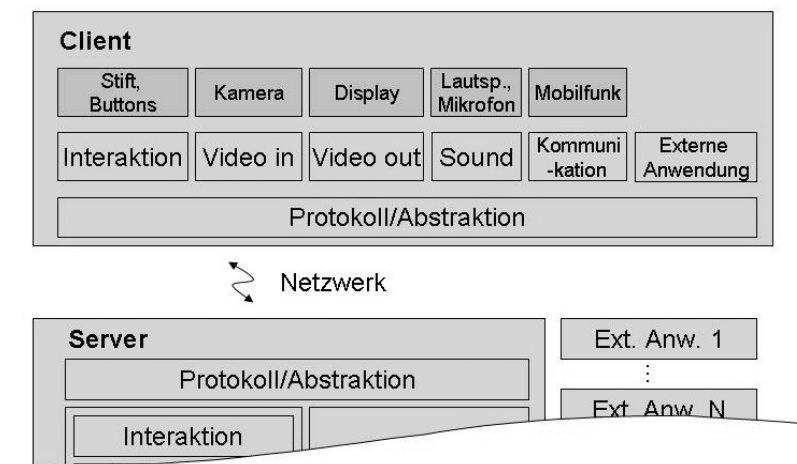


Bild 4-3: Komponenten des Clients

4.1.2 Kommunikation

Die Kommunikation ist so ausgelegt, dass unterschiedliche Endgeräte unterstützt werden. Für die Übertragung der Daten und die Komprimierung der Bilder werden daher Standardprotokolle eingesetzt, wie die Netzwerkprotokolle TCP/IP oder UDP/IP für die Datenübertragung. Bei der Auswahl der Protokolle sollte sichergestellt werden, dass sie von den Übertragungsstandards zur drahtlosen Kommunikation wie WLAN oder UMTS unterstützt werden. Für die Kommunikation werden drei Kanäle benötigt: zwei Kanäle für die Videoübertragung, d. h. ein Kanal zur Videoübertragung vom Client zum Server sowie ein Kanal zurück und einen Kanal für die Übertragung der Interaktionen und Befehle.

4.1.2.1 Videoübertragung

Für die Übertragung der Videos wird ein Videostandard verwendet. Hier bieten sich besonders die Standards für Videokonferenzen an, da sie zwei Videostreams parallel bei geringer Datenübertragungsrates übertragen müssen. Die Internationale Telefon Union (ITU) legte für die Komprimierung Standards wie H.261, H.263 oder H.264 fest [ITU06-ol]. Die Standards sind besonders für starke Komprimierung bei wenigen Bewegungen optimiert, d. h. zwischen den einzelnen Bildern des Videostroms gibt es wenige Veränderungen. Dies ist im Bereich AR der Fall, da der Nutzer in erster Linie versucht, dass zu untersuchende Objekt anzuvisieren, um darüber Informationen abzurufen. Der Einsatz von Videostandards hat den Vorteil, dass sie von der Hardware unterstützt werden können. So ist z.B. H.263 ein Teil von MPEG4 für Videotelefonie mit UMTS-Mobiltelefone.

Die benötigte Übertragungsbandbreite kann nicht nur durch Komprimierung reduziert werden, sondern auch durch intelligente Anwendungsentwicklung. Neben dem „Live-AR-Modus“, bei dem alle Bilder von der Kamera komprimiert an den Server geschickt werden, kann mit einem „AR-Fotografiermodus“ die zu Übertragende Datenmenge stark reduziert werden. Die Bilder der Kamera werden zunächst nur lokal auf dem Client angezeigt. Erst wenn der Anwender auf den Auslöseknopf drückt, werden die Bilder so lange zum Server geschickt, bis dieser ein Objekt identifiziert hat. Ab dann werden nur noch Daten vom Server zum Client gesendet und das Tracking ist in der Phase nicht mehr aktiv. Aus Sicht des Anwenders verringert sich dabei die Latenz des Systems und die Handhabung wird erleichtert, da er nicht mehr das reale Objekt anvisieren muss.

4.1.2.2 Interaktionen

Die Interaktionen des Benutzers mit dem Endgerät werden als Nachrichten (engl. Messages) an den Server geschickt. Die Nachrichten beschreiben die Interaktionen mit den Interaktionselementen der Endgeräte, wie das Drücken von Tasten oder Knöpfen sowie die Berührung eines berührungsempfindlichen Displays mit einem Stift oder Finger. Dabei werden die Interaktionen durch die folgenden Schlüsselwörter beschrieben: keydown, keyup, pendown, penup. Als Parameter werden die Bezeichnungen der Tasten und Knöpfe und die Displaykoordinaten übertragen. Der Server erhält die geräteabhängigen Daten und wandelt sie in der Abstraktionsschicht in geräteunabhängige Daten um, da die verschiedenen Endgeräte z. B. unterschiedliche Bildschirmauflösungen besitzen können. Die geräteunabhängigen Daten werden an das Interaktionsmodul der Objektdarstellung weitergeleitet, das die Daten weiterverarbeitet.

4.1.3 AR-Server

Der AR-Server besteht wie in Bild 4-4 dargestellt aus den Komponenten Tracking, mit der High-Level- und Low-Level Objekterkennung, Objektdarstellung, Managementsystem, Datenhaltung und die *Data-Control-Pipeline* über die Daten zwischen den Komponenten ausgetauscht werden.

Das mobile Endgerät nimmt mit einer integrierten Videokamera eine Szene auf. Das Videobild wird komprimiert und über die breitbandige Mobilfunkstrecke zum Server gesendet. Nach dem Empfang der Daten, werden sie decodiert und in der Datenstruktur der *Data- Control-Pipeline* abgelegt.

Alle Komponenten legen ihre Daten in den vorher vereinbarten Formaten in die Datenstruktur des *Data-Control-Pipeline* ab und das Modul regelt den Zugriff der anderen Komponenten auf die Daten (siehe Bild 4-5). Dies gewährleistet die korrekte Zugriffsreihenfolge der einzelnen Module und ermöglicht so, dass die Komponenten Decoder, Tracking, Objektdarstellung und Encoder wie eine Pipeline arbeiten. Die Komponenten entnehmen aus der Data-Control-Einheit ihre Eingabedaten, verarbeiten sie und legen das Ergebnis wieder in die Datenstruktur ab, auf die dann die nächste Komponente zugreifen kann.

Die *Low-Level-Objekterkennung* analysiert mit Bildverarbeitungs-Algorithmen das Video und erkennt z. B. dominante Kanten und andere Charakteristika.

Die *High-Level-Objekterkennung* erkennt und verfolgt Objekte durch den Vergleich der Ergebnisse der Low-Level-Vision mit den Informationen zu den gesuchten Objekten aus den Objekterkennungsdateien. Sie berechnet die Position und die Lage des realen Objektes und legt das Ergebnis als Matrix in die Datenstruktur der Data-Control-Pipeline.

Die *Objektdarstellung* stellt die Multimediadaten wie z. B. 3D/2D-Grafiken, Animationen oder Texte relativ zur berechneten Position des erkannten Objektes dar und mischt sie mit dem Videobild der Realität. Weiterhin behandelt sie die Benutzeraktionen mit ihrem *Interaction Handler*. Um die Interaktionen unabhängig von der Hardware des Clients zu halten, wurde ein Protokoll und Abstraktionsschicht als Zwischenschicht konzipiert. Sie liefert die Interaktionen geräteunabhängig an den Interaction Handler. Er reagiert auf die Benutzeraktionen wie z. B. Tastendruck auf dem mobilen Endgerät und interpretiert sie: Haben die Benutzeraktionen Auswirkungen auf die Szene im Renderer, so leitet der Interaction Handler die Informationen an den Renderer weiter, der die neue Szene berechnet und darstellt. Das gerenderte Bild wird komprimiert, codiert und zur Anzeige zurück zum Client gesendet.

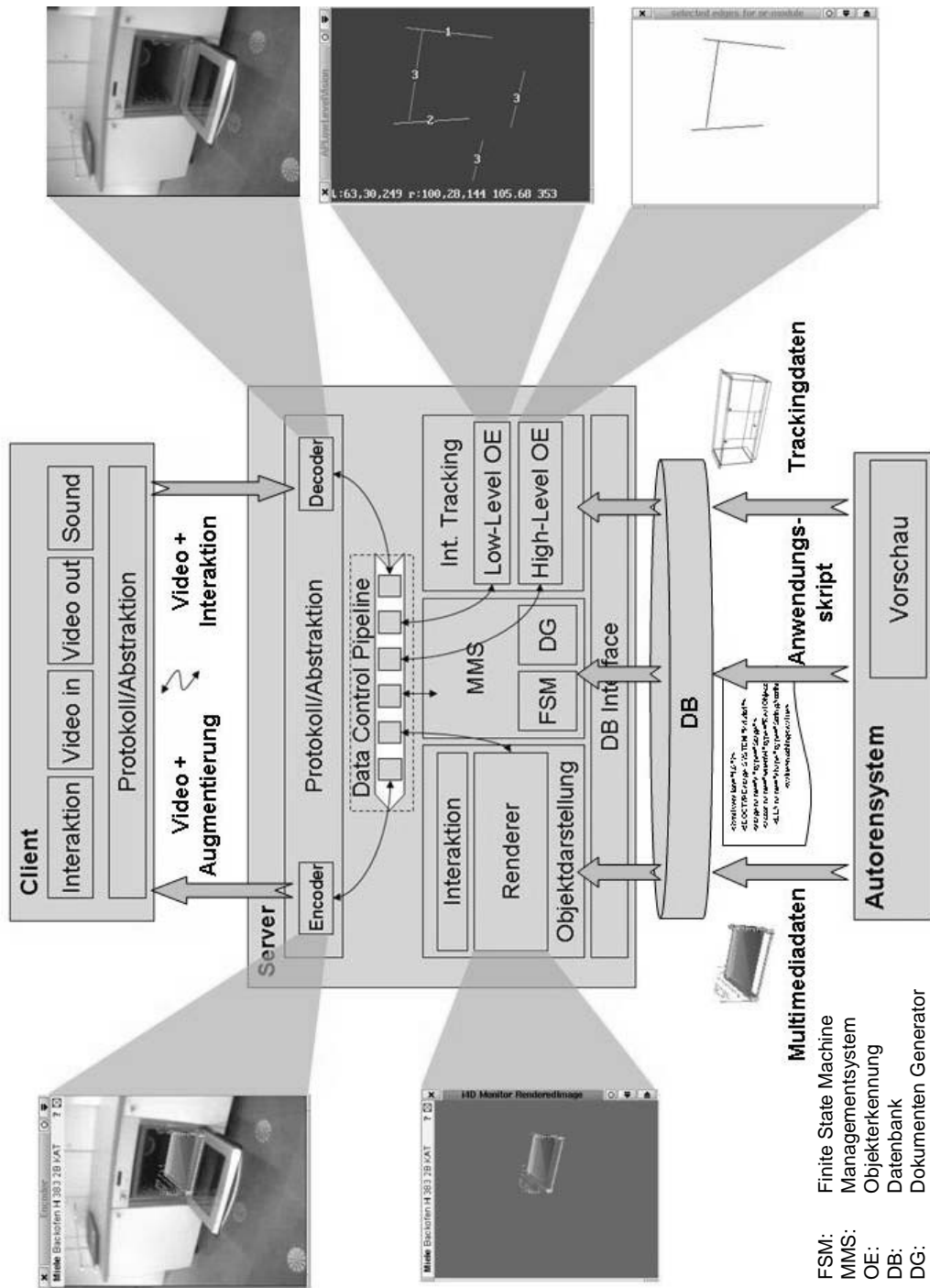


Bild 4-4: Datenfluss innerhalb der Architektur

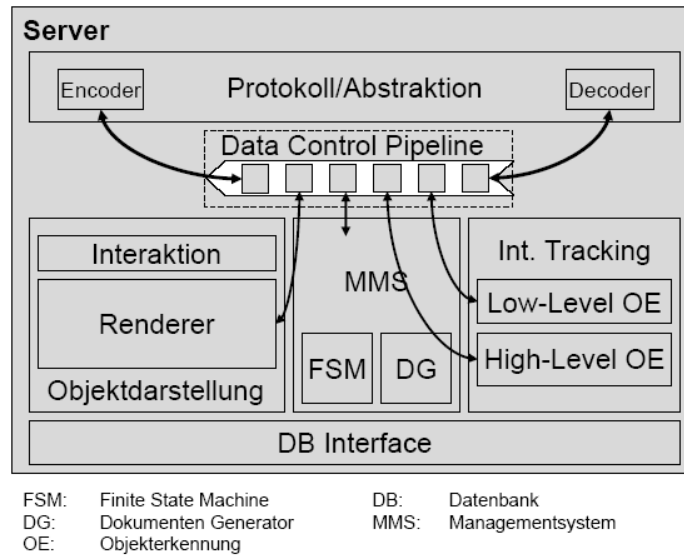


Bild 4-5: Kommunikation der Module über die Data-Control-Pipeline

Einzelne Stufen der Pipeline könnten auf das Endgerät ausgelagert werden. Grundsätzlich wäre es zum Beispiel möglich, die Low-Level-Analyse auf dem Endgerät durchzuführen. Das würde die Übertragung der Bilddaten zum Server unnötig machen. Aufgrund der geringen Rechenleistung der PDAs ist die Umsetzung eines Moduls auf dem Endgerät zur Zeit noch nicht möglich. Grundsätzlich kann durch eine Auslagerung einiger Servermodule auf ein Endgerät mit mehr Rechenleistung aber durchaus erfolgreich eingesetzt werden. Das Resultat wären deutliche geringere Latenzen.

Die Basisprozesse des Servers können wie in Bild 4-6 gezeigt mehrfach ausgeführt werden und gleichzeitig auf eine Datenbasis zugreifen. Dies ermöglicht den gleichzeitigen Zugriff mehrerer Clients und damit mehrerer Personen auf den Server. Für jeden Client wird ein Server ausgeführt. Jedes Client-Server-Paar muss andere Kommunikationsports benutzen, damit die Videoströme und Interaktions-Daten den richtigen Partner erreichen.

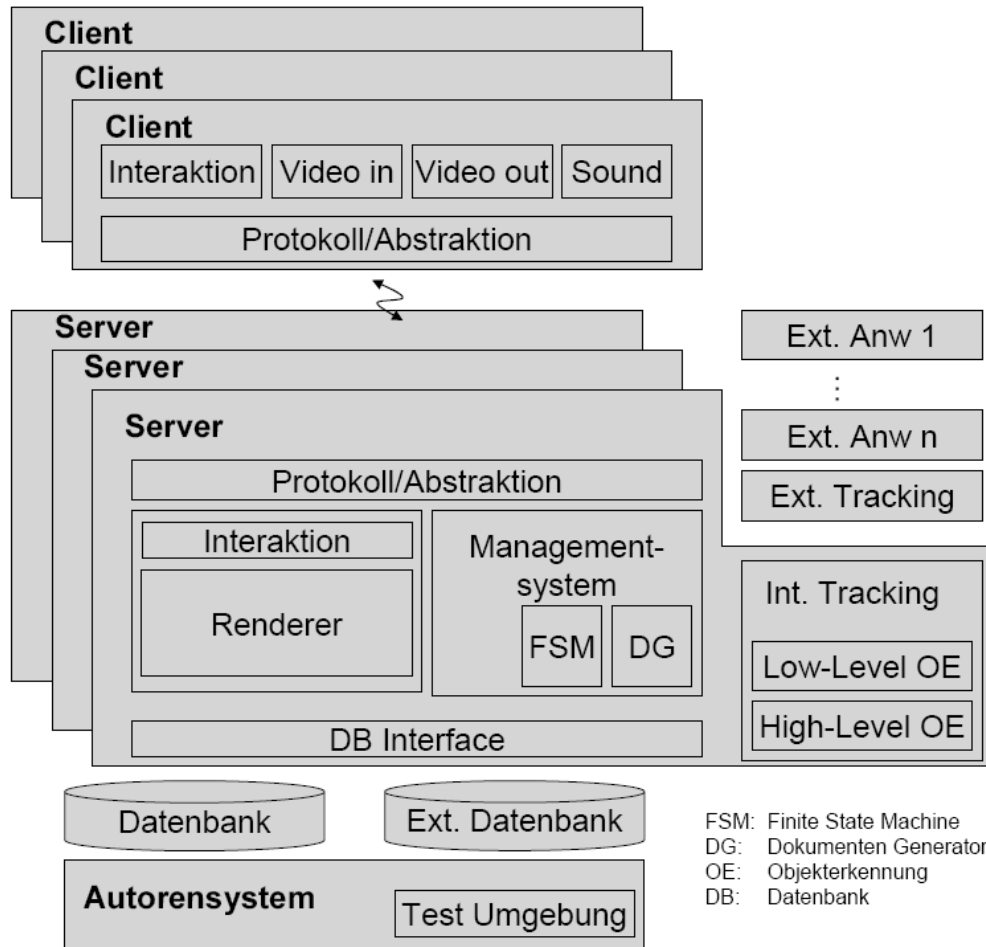


Bild 4-6: Konzept für die parallele Verarbeitung mehrerer Clients

4.1.3.1 Das Managementsystem

Das Managementsystem steuert den logischen Ablauf der Anwendung. Die Logik der Anwendung basiert auf einem Zustandsautomaten und wird in einem Anwendungsskript in XML beschrieben. Das Managementsystem lädt über die Datenbankschnittstelle das Anwendungsskript, interpretiert es und führt es dann aus. Es agiert während der Ausführung als Zustandsautomat, der auf Ereignisse (engl. Events) der Objekterkennung, der Objektdarstellung sowie des Clients reagiert. Die Architektur hat den Vorteil, dass sich das Management nur mit dem logischen Ablauf der Anwendung beschäftigt und nicht mit dem getakteten Ablauf der Pipeline.

Das Managementsystem besteht aus einem Eventsystem, einem endlichen Automaten (engl. Finite State Machine FSM) und der Schnittstelle zur Datenhaltung (Bild 4-7).

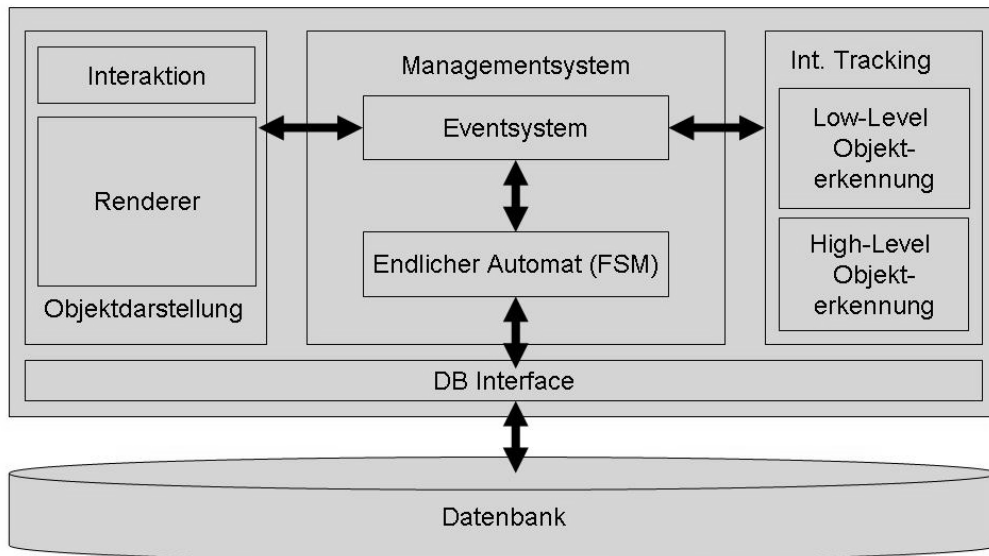


Bild 4-7: Aufbau und Datenfluss des Managementsystems

Der endliche Automat besitzt Zustände mit Zustandsübergängen. Der zu verwendende Zustandsübergang wird anhand von Ereignissen ausgewählt. Aktionen können beim Betreten, während sowie beim Verlassen eines Zustandes und während einer Transition ausgeführt werden. Dabei ist die Anzahl der Aktionen unbegrenzt. Die Transitionen können Bedingungen beinhalten, von denen ihre Ausführung abhängt. Bild 4-8 zeigt den Zustandsautomaten für die Initialisierung des Systems: Die Komponenten Objektdarstellung (OD) und Objekterkennung (OR) melden sich beim Managementsystem an. Nachdem eingegangenem Ereignis der Anmeldung gibt das Managementsystem an die Komponenten den Befehl zum Laden des jeweiligen Skriptes. Nachdem die Objekterkennung die Trackingdaten und die Objektdarstellung die Multimedialdaten geladen haben, ist die Initialisierung abgeschlossen.

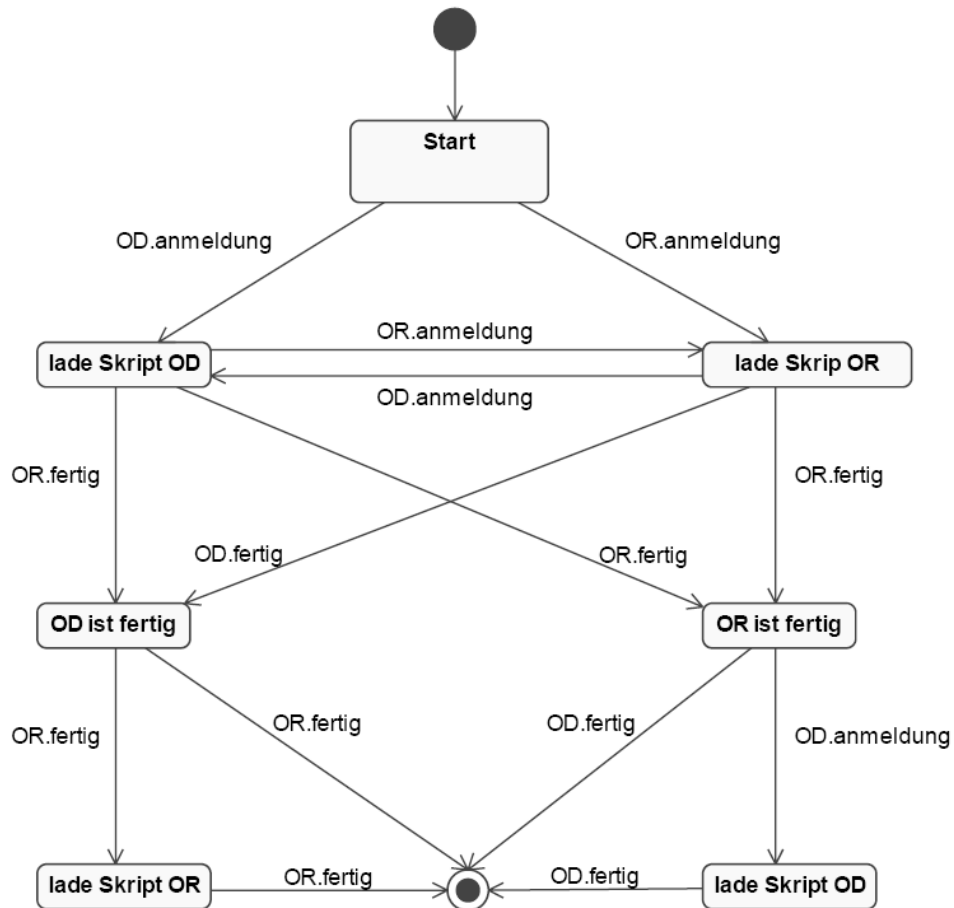


Bild 4-8: Zustandsautomat für die Initialisierung des Gesamtsystems

Das Eventsystem verwaltet die Ereignisse. Nach dem sich die Komponenten beim Eventsystem angemeldet haben, besteht eine TCP/IP-Verbindungen zwischen den Komponenten und dem Eventsystem. Dies hat den Vorteil, dass die einzelnen Komponenten im Netz verteilt sein können. Über die Verbindung schicken die Komponenten Ereignisse an das Eventsystem. Das Eventsystem gibt das Ereignis an die FSM weiter. Die FSM wechselt abhängig vom Ereignis den Zustand und versendet einen Befehl oder ein Ereignis an das Eventsystem, das die Daten wiederum an die Komponenten verteilt. Der Befehl an die Objektdarstellung (OD) zum Laden der Datei „AR.xml“ wird wie folgt angegeben:

```

<Action Class="SendPaket">
  <Param Name="Ziel" Value="OD"/>
  <Param Name="Befehl" Value="ladeskript"/>
  <Param Name="Kennung" Value="OD"/>

```



```
..<Param Name="AddParameter" Value="AR.xml"/>  
</Action>
```

Neben der Verarbeitung von Events gibt das Managementsystem an, welche Dateien zur Ausführung der Anwendung von den Komponenten geladen werden müssen. Das Managementsystem teilt der Bilderkennung mit, welche Suchmuster aus der Datenbank verwendet werden. Die Objektdarstellung erhält die Information, welche Multimediadatei sie laden soll. Die Multimediadatei enthält die Präsentationssicht auf die Anwendung, d.h. in ihr ist die Gestalt der Anwendung enthalten, dies umfasst die Gestaltung der Benutzungsoberfläche, Texte, Sounds, Filme sowie die einzelnen 3D-Modelle, die in der Anwendung verwendet werden.

Die Anbindung an das Autorensystem erfolgt über die Datenhaltung. Die von dem Autorensystem erstellten Anwendungen werden als „Anwendungsskript“ in der Datenbank abgelegt. Dies hat den Vorteil, dass jede Anwendung unabhängig vom Server im Autorensystem erstellt werden kann und der Server verschiedene Anwendungen ausführt.

Der Benutzer kann jeweils den aktuellen Zustand der Anwendung in einer Datenbank speichern, um ihn später wieder abzurufen. Der Nutzer kann an der gespeicherten Position weiterarbeiten. Beim Speichern der Konfiguration werden das aktuelle Bild der Szene sowie der Zustand der Finite State Machine gespeichert. Dies ermöglicht eine spätere Rekonstruktion der Szene und dem Benutzer können vom Autor vorgefertigte Konfigurationen zur Verfügung gestellt werden. Die Daten können zusätzlich ausgedruckt oder als E-Mail versendet werden.

4.1.3.2 Objektdarstellung

Die Objektdarstellung zeigt die 3D-Modelle und die 2D-Benutzungsoberfläche (GUI) an. Für die 3D-Darstellung wird die Bibliothek I4D verwendet [Pae02]. Die Attribute wie Position, Orientierung, Größe, Farbe und Textur der 3D-Objekte können während der Laufzeit geändert werden. Den Objekten können auch Animationen zugeordnet werden, um Bewegungsabläufe darzustellen. Das Objekttracking liefert die Position und die Orientierung des gefundenen realen Objektes an die Objektdarstellung. Relativ zum realen Objekte werden die 3D-Objekte eingeblendet. Der Hintergrund wird einfarbig dargestellt und durch das Videobild ersetzt, so dass die 3D-Modelle in der Realität erscheinen.

Liegt ein Teil des realen Objektes vor dem virtuellen Objekt, so kommt es zur Verdeckungsproblematik: Da das Video im Hintergrund der Szene liegt wird der eigentlich sichtbare Teil des realen Objektes durch das im Vordergrund lie-

gende virtuelle Objekt verdeckt. Dies Problem wird durch Phantomobjekte gelöst. Das verdeckte reale Objekt wird als Phantomobjekt modelliert und in der Szene transparent dargestellt. Das Phantomobjekt wird als letztes Objekt gerendert und wird somit von den bereits vorhandenen virtuellen Objekten subtrahiert, an diesen Stellen wird das Video im Hintergrund sichtbar.

Für die Darstellung der Benutzungsoberfläche wird die freie Bibliothek glGUI verwendet [GLG05-ol]. In einer XML-Datei wird die Benutzeroberfläche beschrieben. Die Datei kann während der Laufzeit geladen werden. Mit der glGUI wurden die folgenden Elemente umgesetzt:

- Textfelder
- Buttons
- Auswahllisten
- Menüs
- Popup Menüs
- Icons

Wie oben beschrieben erhält die Interaktionsschnittstelle die geräteunabhängigen Benutzerinteraktionen von dem Client. Die Information enthält den Event wie „Pendown“ und die normalisierte Displaykoordinate, wenn der Benutzer mit dem Stift das Display berührt hat. Die Interaktionsschnittstelle ermittelt das betroffene Element in der 3D-Szene oder in der GUI. Hat der Stift z. B. den Button „A“ getroffen, gibt die Interaktionsschnittstelle den Event „Button „A“ gedrückt“ an das Managementsystem. In der FSM des Managementsystems wechselt der Zustand abhängig von dem Event in den Folgezustand und die entsprechende Aktion aus dem Anwendungsskript wird ausgeführt.

4.1.3.3 Tracking

Das Tracking wird durch ein markerloses Modell bzw. kantenbasiertes Verfahren realisiert [BBB+03]. Das Verfahren extrahiert Kanten aus dem Videobild und vergleicht sie mit den Kanten des Referenzmodells und berechnet die Position und Orientierung des Objektes.

Mit Hilfe von verschiedenen Filtern findet das Verfahren gerade Kanten (Bild 4-9 a). Die Kanten werden zur Weiterverarbeitung vektorisiert und künstlich verlängert, um Schnittpunkte zu finden (Bild 4-9 b) [Sti04]. Aus jeweils drei gefundenen Kanten werden Hypothesen über die Position des realen Objektes aufgestellt (Bild 4-9 c). Für jede Hypothese wird das Referenzmodell in die Bildebene projiziert. Die Kanten des projizierten Modells werden mit den ge-

fundenen Kanten verglichen. Durch die Anzahl der Übereinstimmungen kann die Qualität der Hypothese bewertet werden. Die Hypothese mit der besten Bewertung wird erst als korrekte Hypothese angesehen, wenn ihre Bewertung einen gewissen Schwellenwert erreicht hat. Bild 4-9 d) zeigt eine gefundene Hypothese.

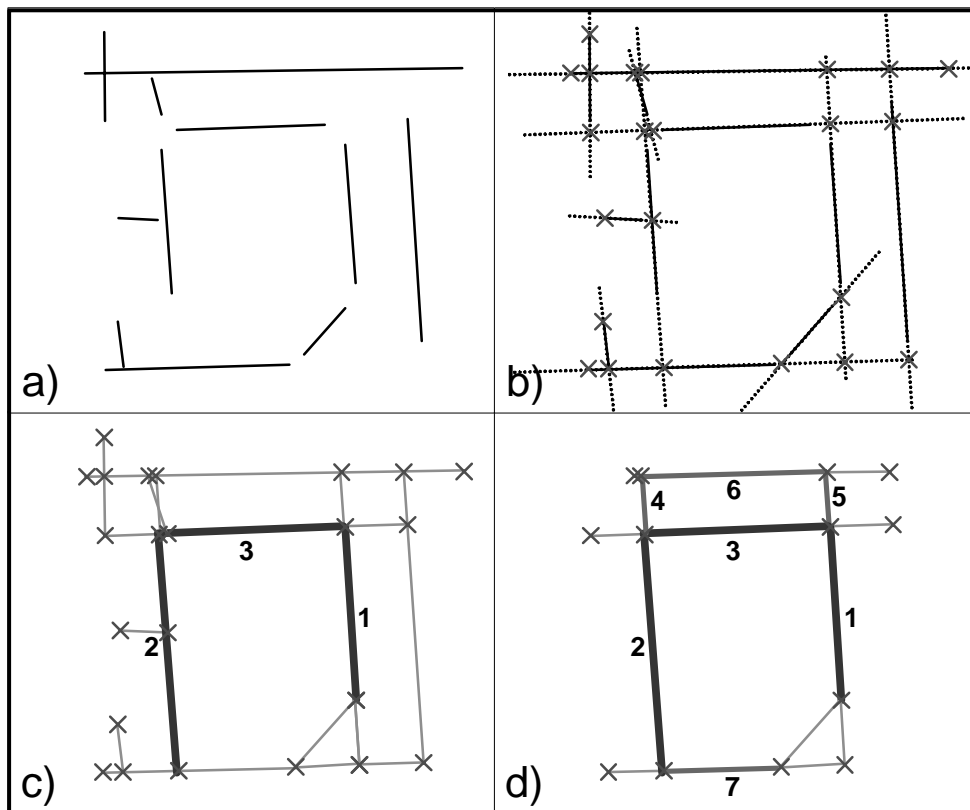


Bild 4-9: Low-Level Objekterkennung

Zur weiteren Objektidentifikation wird ein Texturvergleich eingesetzt. Nach dem über die Hypothesen die Position bestimmt wurde, wird ein aussagekräftiger Bereich des Bildes ausgewählt, der zur eindeutigen Identifizierung dient. Der Bereich des Bildes wird aufgrund der berechneten Position und Orientierung entzerrt und mittels eines gradientenbasierten Verfahrens mit den Referenztexturen aus der Datenbank verglichen. Bild 4-10 zeigt auf der linken Seite Referenztexturen von Bedienfeldern unterschiedlicher Backöfen und auf der rechten Seite die daraus berechneten Gradiententexturen. Das Verfahren hat den Vorteil, dass keine Markierungen an den gesuchten Objekten angebracht werden müssen.

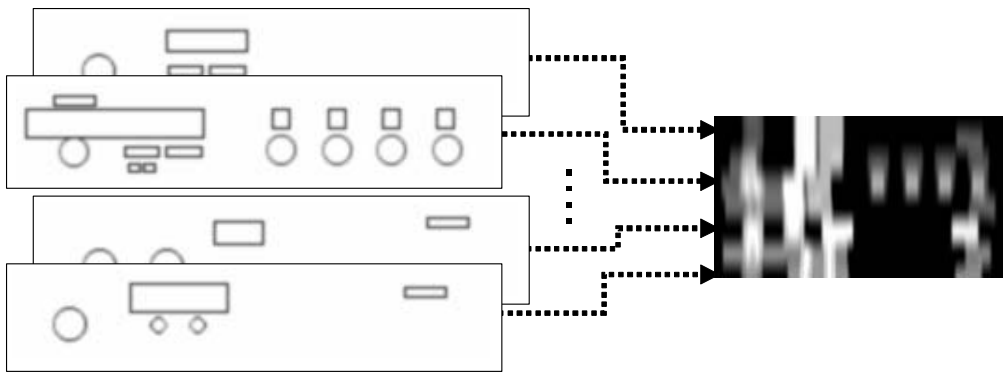


Bild 4-10: Referenztexturen der Bedienelemente (links) mit den entsprechenden Gradiententexturen (rechts)

4.1.3.4 Datenhaltung

Die Datenhaltung speichert die Daten für die AR-Anwendungen sowie die Benutzerinformationen wie das Datenmodell in Bild 4-11 zeigt. Die Benutzer werden in Gruppen eingeteilt, die entsprechende Zugriffsrechte besitzen. Diese Gruppen sind z.B. Kunden, Mitarbeiter, Autoren oder Administratoren. Administratoren haben den Vollzugriff auf alle Daten. Autoren dürfen neue Daten anlegen. Mitarbeiter dürfen nur lesend auf die Daten zugreifen. Kunden haben eine beschränkte Sicht auf die Daten. So können unternehmensinterne Informationen wie z.B. Einkaufspreise verborgen werden.

Die Anwendungsdaten werden als Szenarien gespeichert. Jedes Szenario kann mehrere Versionen enthalten. Eine Szenarioversion enthält die Objekterkennungsdaten, die 3D-Modelle, Videos, Audiodaten, Texturen und das Skript für die Anwendungslogik. Die Anwendungslogik wird in XML beschrieben und liegt damit als ASCII-Datei vor, während alle weiteren Daten als Binärobjekte gespeichert werden. zeigt das Datenmodell.

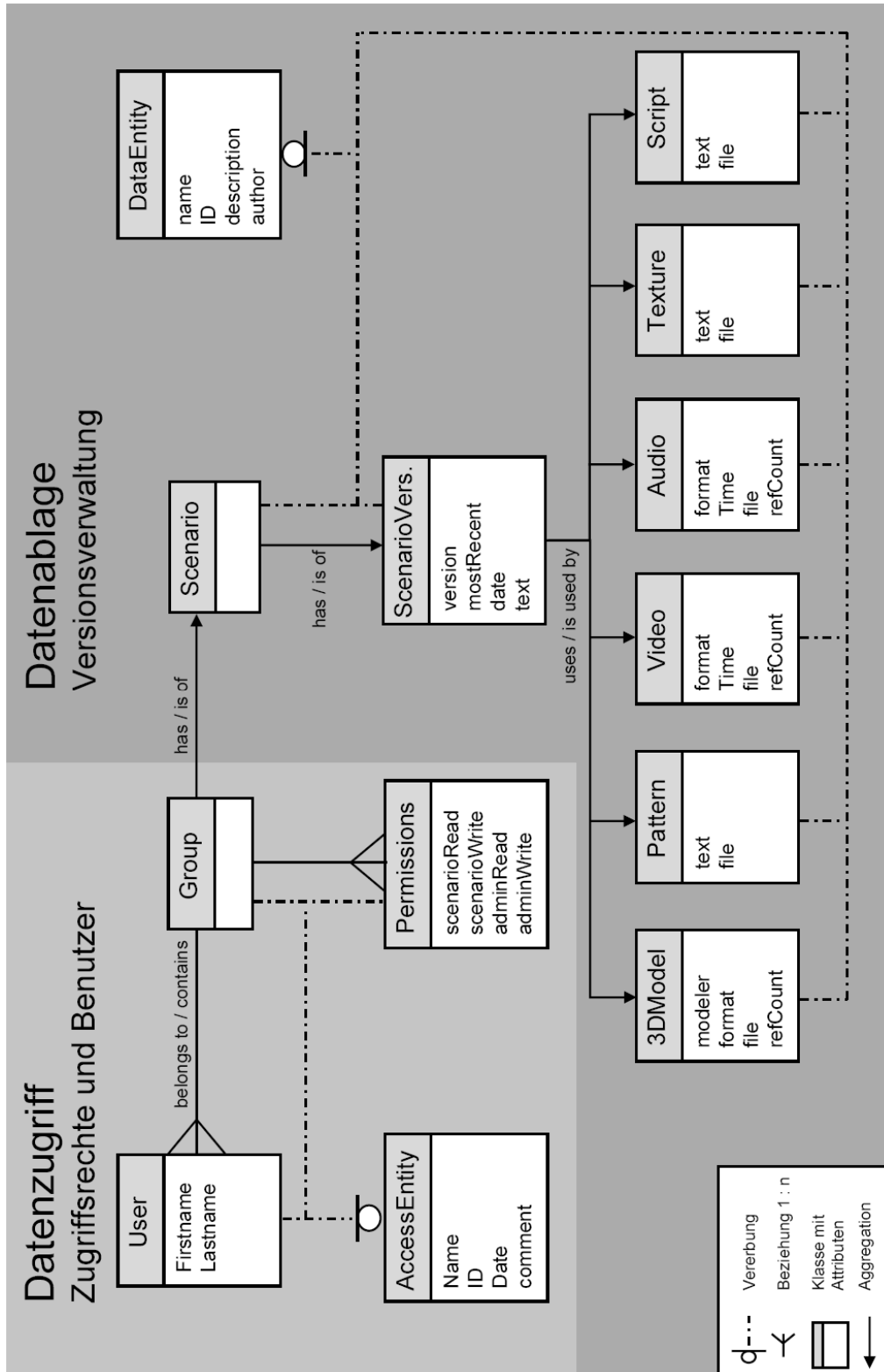


Bild 4-11: Datenmodell der Datenhaltung

Eine relationale Datenbank, wie die freiverfügbare Open-Source-Software MySQL wird zur Verwaltung der Benutzer- und Anwendungsdaten eingesetzt.

4.2 Autorensystem

Mit Hilfe des Autorensystems werden auch Laien in die Lage versetzt eine Anwendung für das Gesamtsystem zu entwickeln. Das Autorensystem beinhaltet die gesamte Objektdarstellung, so dass die Anwendung in einem Vorschau-fenster getestet werden kann wie es in Bild 4-12 dargestellt wird.

Eine Anwendung wird hierarchisch aufgebaut und als Szenario abgelegt. Als Ausgangspunkt wird als erstes das reale Objekt angelegt. Dem Objekt wird die Tracking-Datei zugewiesen, in der die Trackingdaten für die Objekterkennung abgelegt sind um das reale Objekt zu identifizieren und zu verfolgen. Relativ zu dem realen Objekt werden dann Erweiterungsobjekte oder Interaktionsobjekte angelegt. Erweiterungsobjekte sind Multimediadaten, die relativ zum realen Objekt eingeblendet werden, 3D-Objekte, Videos, Texte oder Sound. Zu jedem eingefügten 3D-Objekt wird die Position, Orientierung und die Skalierung zur Positionierung im Raum angegeben. Die Erweiterungsobjekte werden mit den Interaktionsobjekten verknüpft. Über die Interaktionsobjekte werden die Erweiterungsobjekte in der Anwendung ausgewählt und anschließend angezeigt.

Die Interaktionsobjekte sind in Bild 4-13 dargestellt und vom folgenden Typ:

- *Buttons* sind Knöpfe, auf denen Texte angezeigt werden. Bei der Auswahl des Buttons wird ein Event erzeugt, das eine neue Handlung auslöst. Die Buttons können ihren Text ändern und werden graphisch hervorgehoben wenn sie ausgewählt wurden. Die Buttons können mit einem Stift ausgelöst werden oder über die Knöpfe der Hardware.
- *Icons* sind Piktogramme oder graphische Symbole. Über sie werden Popup-Menüs aufgerufen, die Befehle aufrufen oder Erweiterungsobjekte zur Auswahl anzeigen.
- *Popup-Menüs* sind eine Liste von Auswahlmöglichkeiten, die durch Buttons oder Icons dargestellt werden. Ein Pop-Up Menü wird auch genutzt, um Texte oder Bilder anzuzeigen.

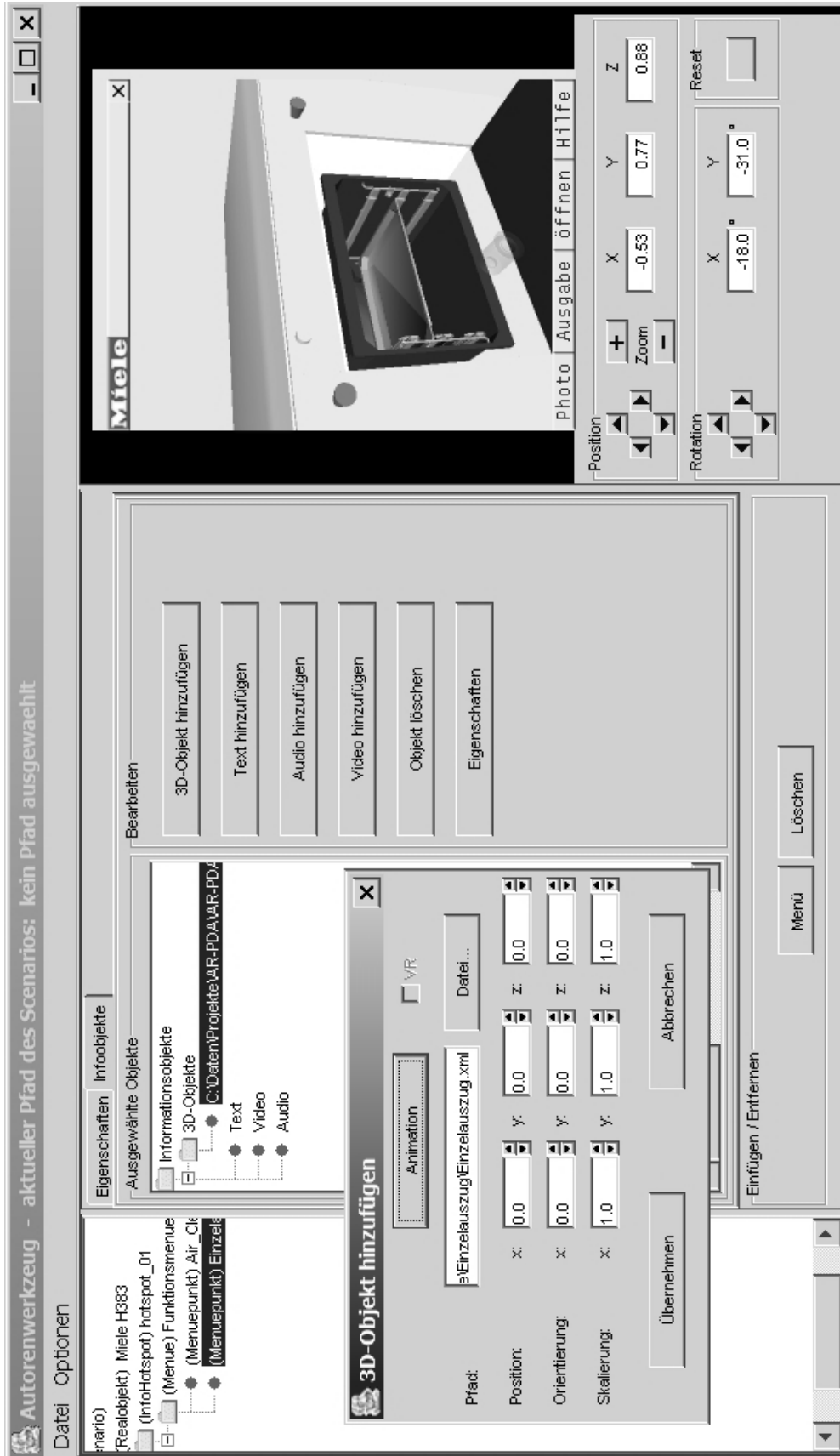


Bild 4-12: Autorensystem

- *Hotspots* sind auswählbare 3D-Interaktionsobjekte. Sie sind räumlich angeordnet und stehen in Bezug zu dem realen Objekt oder zu Erweiterungsobjekten. Sie zeigen an, dass weitere Informationen zu einem Objekt vorliegen. Bei der Auswahl wird ein Pop-up Menü aufgerufen, das wiederum Befehle oder Erweiterungsobjekte aufruft.

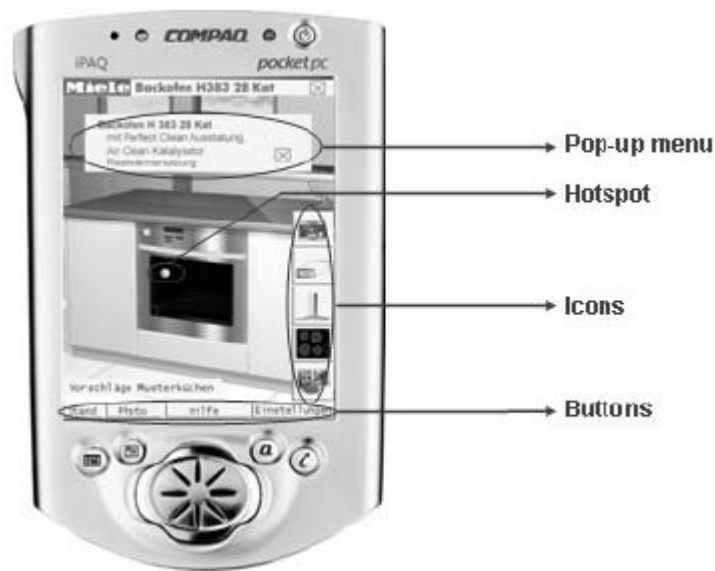


Bild 4-13: Informationsobjekte der Benutzungsschnittstelle

Das Autorensystem legt alle Daten in der relationalen Datenbank der Datenhaltung ab. Neben den verwendeten Multimediadaten entstehen zwei XML-Dateien. In einer Datei wird der Aufbau der Benutzungsoberfläche gespeichert und in der anderen Datei wird die Anwendungslogik abgelegt [EKM+04].

4.3 Integration in den Produktlebenszyklus

Das System kann im gesamten Produktlebenszyklus eingesetzt werden. In den einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus fallen die Daten an, die für die Inhaltsgenerierung der AR-Anwendung genutzt werden. Viele verschiedene Systeme erzeugen und speichern die Daten in den einzelnen Phasen wie Bild 4-14 zeigt.

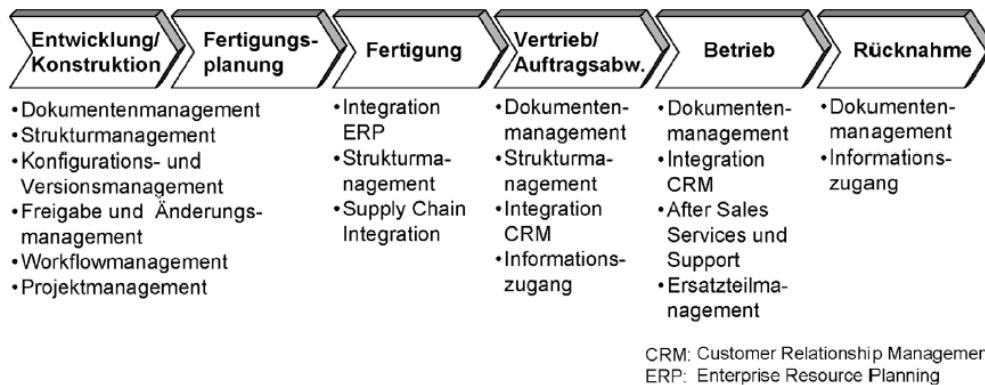


Bild 4-14: Einsatz Verschiedener Software in den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus [GHK+06]

4.3.1 Ermittlung der Trackingdaten

Kapitel 2.5.1 zeigt, dass die Technologie Augmented Reality ein besonders hohes Nutzenpotenzial in der Produktentwicklung hat. AR kann die Anzahl der realen Prototypen reduzieren und damit Kosten senken. Die Produktentwicklung erfolgt in den häufigsten Fällen mit Hilfe von CAD-Systemen. Mittels des Verfahrens der „Dynamischen Kantenreduktion“ von Matysczok können die Trackingdaten aus den CAD-Modellen generiert werden [Mat04]. Es werden die dominanten sichtbaren Kanten eines Produktes ermittelt, die als Referenzmodell für das modellbasierte Tracking aus [BBB+03] dienen.

Während der Produktentwicklungsphase wird das Produkt immer weiter konkretisiert, dabei müssen die Trackingdaten angepasst werden. Existiert z.B. noch kein physikalischer Prototyp, so können das konzipierte Produkt als virtuelles Modell in die Umgebung eingeblendet werden. Hierbei kann man zwei Situationen unterscheiden: Es handelt sich um eine Neuentwicklung oder eine Weiterentwicklung eines bestehenden Produktes. Bei einer Neuentwicklung können die üblichen AR-Marker genutzt werden, um einen virtuellen Prototypen in die Realität einzublenden. Bei einer Weiterentwicklung können die Trackingdaten aus den vorherigen Produktversionen abgeleitet werden, damit kann

das neue digitale Produkt über das reale Vorgängerprodukt gelegt werden, um die Änderungen zu demonstrieren.

Aus den Planungsdaten werden Daten von Teilmodellen abgeleitet, so ist es möglich, halfertige physikalische Prototypen zu einem Prototyp durch die virtuellen Daten zu ergänzen. Ist die Entwicklung des Produktes abgeschlossen, so stehen die Trackingdaten für die restlichen Lebenszyklen fest wie Bild 4-15 zeigt.

Zur Positionsbestimmung genügen die Daten aus den 3D-Modellen. Zur Identifizierung der Objekte werden zusätzliche Texturvergleiche ausgeführt. Daher ist es erforderlich, die Unterscheidungsunkte zwischen den Produkten festzulegen, um sie später durch einen Texturvergleich zu identifizieren.

Die Trackingdaten sollten direkt im PDM-System abgelegt werden, sie können dann auch den einzelnen Entwicklungsständen zugeordnet werden.

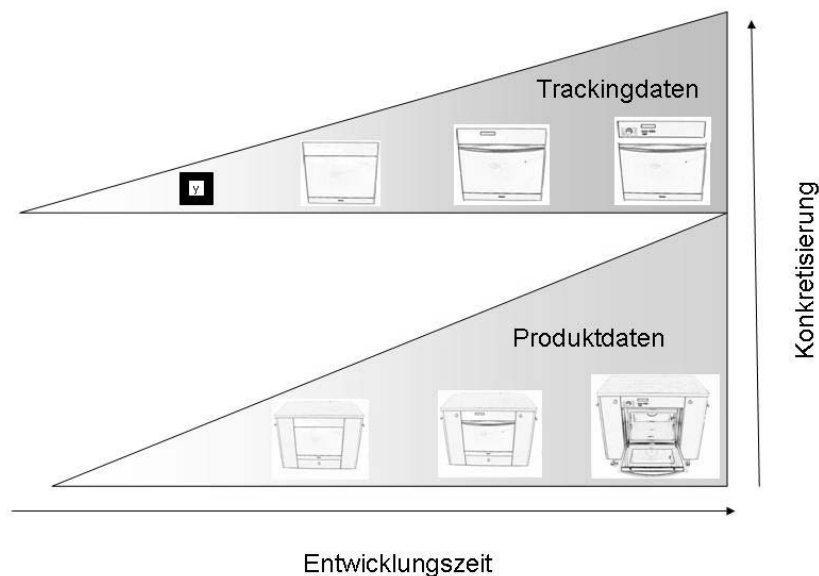


Bild 4-15: Konkretisierung der Produkt- und Trackingdaten

4.3.2 Anwendungsentwicklung

Bild 4-16 zeigt das Vorgehen bei der Inhaltsgenerierung für das AR-basierte Informationssystem. Wie oben beschrieben werden die Trackingdaten und ein

3D-Modell zur Repräsentation des realen Objektes aus den CAD-Daten abgeleitet. Die Repräsentation des realen Objektes bildet die Ausgangssituation für die Erstellung der Inhalte, darum wird sie in einer 3D-Szene positioniert und mit den abgeleiteten Tracking-Informationen verknüpft, so dass Lage und Position des realen Objektes mit der virtuellen Repräsentation übereinstimmen.

Kontextabhängige GUI-Elemente werden relativ zum realen Objekt über die oben beschriebenen Hotspots verbunden. Alle anderen GUI-Elemente bekommen eine feste Position auf dem Bildschirm zugeordnet.

Die GUI-Elemente werden mit den Mediadaten verknüpft, wie Videos, Fotos, Texte, Sounds oder Dokumente. Anschließend wird die Verhaltenslogik angegeben.

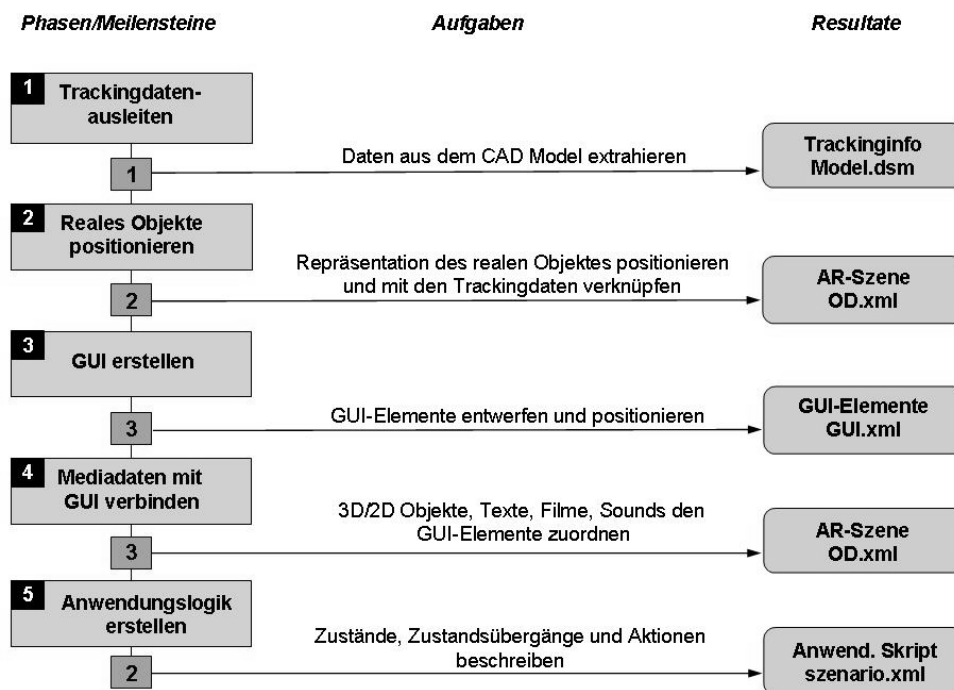


Bild 4-16: Vorgehen bei der Inhaltsgenerierung

4.3.3 Integration in die bestehende IT-Umgebung

In allen Phasen des Product Lifecycles fallen eine Menge von Produktinformationen an, die in elektronischer Form in den verschiedenen Verwaltungssystemen abgelegt werden. Product Lifecycle Managementsysteme (PLM) verwalten alle anfallenden Daten in dem gesamten Lebenszyklus eines Produktes. In

dem PLM-System werden alle Daten aus den Fremdsystemen zusammen geführt.

Für die Akzeptanz einer AR-Anwendung zur Produktpräsentation im Unternehmen ist es wichtig, dass das AR-System vorhandene Ressourcen für die Inhaltsgenerierung wieder verwenden kann. Dazu benötigt der Anwendungsentwickler einer AR-Anwendung Zugriff auf die verwendeten CAD-Systeme, Produktdatenmanagementsysteme und den Electronic Publishing Systemen. Aus den CAD-Systemen werden, wie oben beschrieben, die Trackinginformationen abgeleitet. Die PDM System liefern die Produktstruktur und die dazu gehörigen Planungsdaten. In den Electronic Publishing Systemen werden Bedienungsanleitungen, Katalog und Werbeinformationen abgelegt. Die Datenhaltung des AR-Systems speichert zurzeit die Dateien in einer eigenen Datenbank. Zur Integration des AR-Systems in die bestehende Infrastruktur kann durch das Speichern von Datenreferenzierung auf die Fremdsysteme erfolgen, dazu sind Schnittstellen zu den oben genannten Systemen nötig oder eine Anbindung des AR-Systems über eine externe Schnittstelle an ein PLM-System, wie Bild 4-17 zeigt.

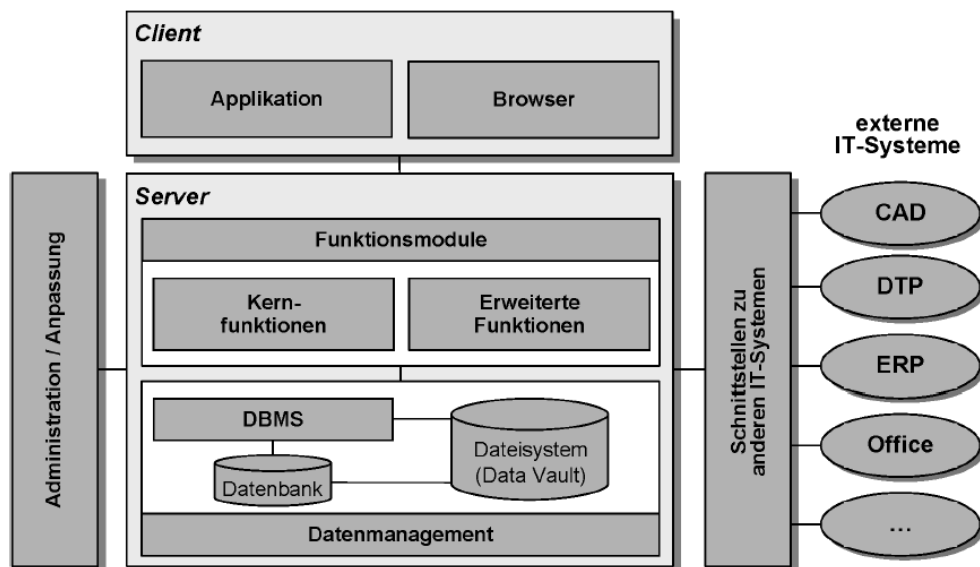


Bild 4-17: Architektur eines PLM-Systems [BK02]

4.4 Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen

Die Architektur nutzt ein modellbasiertes Trackingverfahren und erfüllt die Definition für Augmented Reality: Das Verfahren liefert die Position und Orientierung der relevanten Objekte und erfüllt damit die Anforderung für die Registrierung im Raum. Die Interaktion mit dem System erfolgt in Echtzeit und ein Livevideo wird mit computergenerierten Informationen angereichert.

Das eingesetzte modellbasierte Trackingverfahren ist markerlos und wird daher besonders die ästhetischen Anforderungen an eine Produktpräsentation aus den Bereichen Marketing, Vertrieb und Kundensupport erfüllen. Die Anwendung benötigt wie alle AR-Anwendungen die Position und Lage eines gesuchten Objektes als Projektions- und Rotationsmatrix. Die beiden Matrizen werden von den meisten Trackingsystem als Ausgabe geliefert. Dies ermöglicht das Einbinden weiterer Trackingsysteme.

Durch den Einsatz von drahtloser Datenübertragung werden auch leistungsschwächere mobile Endgeräte in die Lage versetzt Augmented Reality Anwendungen zu nutzen. Die Anwendung kann für die Endgeräte skaliert werden:

Im High-End-Bereich kann interaktive Augmented Reality in Echtzeit auf einem leistungsstarken Endgerät ausgeführt werden, in dem Client und Server auf dem Gerät ausgeführt werden.

Im Low-End-Bereich könnten Fotos anstelle des Livevideos zu einem Server geschickt werden, der eine Bildanalyse durchführt und entsprechend der erkannten Objekte zusätzlichen Informationen an das Endgerät zurück überträgt. So kann ein einfaches Mobiltelefon mit einer Kamera als Informationssystem genutzt werden.

In den anderen Fällen, die zwischen der Low- und der High-End-Lösung liegen, wird ein Livevideo zwischen Client und Server verschickt und mit Informationen angereichert. Das Endgerät dient zur Interaktion mit der Anwendung und zur Videoein- und -ausgabe.

Die Inhalte für die Anwendungen können mit einem Autorensystem erstellt werden. Das Autorensystem arbeitet mit Drag&Drop-Mechanismen, ist grafikorientiert und ermöglicht ein intuitives Erstellen der Anwendungsinhalte. Durch die integrierte Vorschaukomponente kann die Anwendung im Autorensystem ausgeführt und getestet werden. Die Anwendungsdaten werden in Szenarien zusammengestellt und in einer relationalen Datenbank abgelegt. In der Datenbank können auch Referenzen auf andere Informationssysteme liegen, aus denen die aktuellen Informationen für die Anwendung geholt werden. Über

die Datenbankschnittstelle können auch weitere externe Datenbanken angebunden werden.

5 Prototypische Realisierung

Das Konzept wurde für zwei Systeme umgesetzt, um die breite Einsatzmöglichkeit und die Skalierbarkeit zu zeigen. Es existieren eine Thin-Client-Lösung und ein Komplettsystem auf einem Tablet PC. Bei der Thin-Client-Lösung wird das mobile Endgerät zur Ein- und Ausgabe der Videodaten und für die Benutzerinteraktion verwendet, die Rechenprozesse werden auf einem stationären Server ausgeführt (siehe Bild 5-1). Das mobile Endgerät nimmt die Videodaten mit einer Kamera auf, komprimiert sie und sendet sie über IEEE802.11b WirelessLAN an den Server. Der Server analysiert das Video, erkennt die relevanten Objekte und reichert das Video mit computergenerierten Informationen an. Das erweiterte Video wird über WLAN zurück zum mobilen Endgerät gesendet und dort angezeigt.



Bild 5-1: Anwendung für den PDA

5.1 Implementierung

Der Server ist ein Standard-PC mit Intel Pentium 4 CPU 2800 MHz, 2 GByte RAM und einer GeForce4 TI 4600 Grafikkarte. Als Betriebssystem wurde Suse Linux 8.1 verwendet. Das mobile Endgerät ist ein PDA e740 der Firma Toshiba. Der PDA wurde über die Compact-Flash-Schnittstelle mit einer Kamera erweitert. Die Kamera ist eine FlyCam-CF der Firma LifeView. Sie besitzt eine Auflösung von 320x240 und liefert 15 bis 20 Bilder pro Sekunde. Microsoft Windows Pocket PC wird als Betriebssystem auf dem PDA eingesetzt. Die Übertragung des Videostroms vom Client zum Server, die Bilderkennung und die Übertragung des angereicherten Bildes zurück zum Client erreicht eine Latenzzeit von 1 bis 2 Sekunden.

Die Framerate beträgt 10 fps. Ohne die Einschränkung der Ausgangsbedingung ergibt sich eine polynominelle Laufzeit für die Kantenerkennung. Es werden mindestens 3 Kantenpaare zur Positionsbestimmung benötigt, bei n erkannten Kanten und m Modellkanten ergeben sich ca. $(n*m)^3$ Kombinationsmöglichkeiten [BBB03]. Durch Einschränkung der Kantenanzahl, Klassifizierung der Kanten und die Annahme der wahrscheinlichen Kameraposition kann die Anzahl der Lagehypothesen auf 100 beschränkt werden, um so eine Framerate von 10 fps zu gewährleisten, wenn 1 ms für die Berechnung und Verifikation einer Hypothese benötigt wird. Die Identifikation eines Objektes aus 64 Varianten benötigt 18 ms. Ist ein Objekt erkannt und sind die Änderungen zum nächsten Videobild nicht signifikant, so kann die neue Position in weniger als 10 ms errechnet werden.

Die Komponenten des Systems wurden in C++ implementiert. Für die Objektdarstellung wurde die Bibliothek I4D von [Pae02] verwendet. Das Managementsystem nutzt als Finite State Maschine eine freiverfügbare Bibliothek [FSM02-ol]. Das Managementsystem ist in der Lage 2000 Events pro Sekunde zu verarbeiten. Als Datenbank wurde MySQL eingesetzt. Das Autorensystem wurde in Java implementiert, um eine Plattformunabhängigkeit zu gewährleisten. Über ein Java Native Interface (JNI) nutzt das Autorensystem die Objektdarstellung des Servers als Vorschau-system.

Bei der zweiten Lösung befinden sich Client und Server als ein komplettes System auf einem Tablet PC (siehe Bild 5-2). Der Tablet PC ist ein TC1000 der Firma Hewlett Packard. Er ist ausgestattet mit einem Transmeta Crusoe TM5800 Prozessor mit 1 GHz und 512 MB RAM. Die Grafikverarbeitung wird von einem NVIDIA GeForce2 Go Graphikprozessor mit 16 MB RAM unterstützt. Als Kamera wird eine USB Kamera der Firma Philips mit einer Auflösung von 640x480 und 15 bis 20 Bilder pro Sekunde verwendet. Das System erreicht aufgrund der geringeren Prozessorleistung und dem größeren Videobild eine Framerate von 5 bis 8 Fps.



Bild 5-2: Anwendung für einen Tablet PC

5.2 Anwendungsszenario

Beide Systeme werden in einem Vertriebsszenario eingesetzt. Sie unterstützen den Vertrieb von Hausgeräten. Die Objekterkennung erkennt verschiedene Elektroherde und einen Cafevollautomaten und berechnet ihre Position und Orientierung im Raum. Die Trackingdaten wurden aus den CAD-Daten des Herstellers abgeleitet. Mit dem Autorensystem wurde eine Anwendung zur Konfiguration einer Küchenzeile entwickelt. In der Küche können verschiedene Oberflächen, Arbeitsplatten, Elektroherde, Dunstabzugshauben und Kochfelder dargestellt werden, wie Bild 5-3 zeigt. Die Konfigurationen können gespeichert und zu späteren Zeitpunkten wieder angezeigt werden. Die Inhalte für die Anwendung stammen aus den Produktkatalogen und Marketingunterlagen des Herstellers.



Bild 5-3: PDA Lösung mit Auswahl der Küchenoberfläche, Auswahl der Dunstabzugshaube



Bild 5-4: Eine Videoanimation erläutert das Funktionsprinzip des Cafevollautomaten.

Die gelben Hotspots in der mittleren Darstellung in Bild 5-3 zeigen, dass weitere Informationen zu den Objekten vorhanden sind. Bei der Auswahl der Hotspots erscheinen Popup-Menues, die den Zugang zu den Informationen bieten. Es können Werbevideos zum Elektroherd und zum Cafevollautomaten angezeigt werden (siehe Bild 5-4).

Weitere Ausstattungsmerkmale des Elektroherdes, wie der Teleskopwagen oder der Einzelauszug, werden als 3D-Modelle eingeblendet. Textfelder erläutern die besonderen Eigenschaften des Elektroherdes wie z. B. die kühle Front, die verhindert, dass die Fronttür des Herdes während des Betriebes heiß wird. Mit Hilfe der Technologie Augmented Reality werden die Alleinstellungsmerkmale der Produkte präsentiert und Verkaufsargumente visualisiert.



Bild 5-5: Benutzungsschnittstelle für den Tablet PC

Im praktischen Einsatz auf Messen stellte sich heraus, dass ein „Fotografiermodus“ die Akzeptanz des Systems erhöht. Im „Livemodus“ des Systems muss der Anwender das Objekt immer anvisieren, so dass die kontextsensitiven Informationen angezeigt werden. Für die Handhabbarkeit des Systems ist es von Vorteil eine ideale Aufnahme des Objektes zu machen und anschließend mit dem Standfoto zu interagieren. Weiterhin bevorzugt das Verkaufspersonal die Tablet PC-Version, auf der Verkäufer und Kunde gleichzeitig das Produkt betrachten können. Der Verkäufer kann so dem Kunden die digitalen Informatio-

nen zu einem Produkt präsentieren und seine Verkaufsargumentation unterstützen.

Die PDA-Lösung findet eine höhere Akzeptanz bei den Kunden, da das kleine und handliche Gerät zum Einkaufen mitgeführt werden kann. Das kleinere Display schützt die Privatsphäre des Anwenders, da Außenstehende den Bildschirminhalt nicht sehen können.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Technische Produkte im Maschinenbau werden zunehmend komplexer und parallel dazu steigt die Variantenvielfalt immer weiter an. Besonders in den Bereichen Produktion und Wartung von technischen Produkten stellt die Verfügbarkeit der aktuellen Produktinformationen eine Herausforderung dar. Die wirksame Unterstützung des Benutzers hängt dabei sehr stark von der Art der Bereitstellung dieser Informationen ab. Die Produktdaten sind heute in Handbüchern, Bedienungsanweisungen oder elektronischen Produktdatenmanagementsystemen (PDM) vorhanden. Durch den Einsatz von Augmented Reality können diese Informationen direkt am Arbeitsplatz und am Produkt dargestellt werden

In dieser Arbeit wurde eine Softwarearchitektur konzipiert, die es ermöglicht, die Technologie Augmented Reality auf verschiedenen mobilen Endgeräten einzusetzen, um Produktinformationen in das Sichtfeld des Nutzers einzublenden. Auf diese Weise unterstützt die Technologie Augmented Reality den Nutzer in allen Phasen des Produktlebenszyklus.

Die in dieser Arbeit vorgestellte Softwarearchitektur ist eine Client/Serverarchitektur. Bei leistungsstarken Endgeräten können Client und Server auf einem Gerät ausgeführt werden. Beim Einsatz eines leistungsschwachen mobilen Endgerätes werden die rechenintensiven Prozesse von dem Server übernommen. Das mobile Endgerät nimmt über eine integrierte Kamera ein Objekt auf. Das Video wird über drahtlose Kommunikation an den Server gesendet. Der Server analysiert das Video, erkennt das Objekt und reichert das Video mit kontextspezifischen Informationen an. Das angereicherte Video wird wieder zurück zum Endgerät übertragen und dort angezeigt.

Die Architektur nutzt ein modellbasiertes markerloses Trackingverfahren und erfüllt daher besonders die ästhetischen Anforderungen an eine Produktpräsentation aus den Bereichen Marketing, Vertrieb und Kundensupport.

Die Inhalte für die Anwendungen können mit einem Autorensystem erstellt werden. Das Autorensystem ermöglicht ein intuitives Erstellen der Anwendungsinhalte. Durch die integrierte Vorschaukomponente kann die Anwendung im Autorensystem ausgeführt und getestet werden. Die Anwendungsdaten werden in Szenarien zusammengestellt und in einer relationalen Datenbank abgelegt. In der Datenbank können auch Referenzen auf andere Informationssysteme liegen, aus denen die aktuellen Informationen für die Anwendung geholt werden.

Eine Anwendung für die Präsentation von Hausgeräten wurde prototypisch umgesetzt. Die Trackingdaten wurden aus den CATIA-Daten des Herstellers

abgeleitet. Das System erkannte verschiedene Hausgeräte. Der Benutzer konnte um die Hausgeräte eine Küche konfigurieren und Informationen zu den Hausgeräten abrufen.

Die rasante Entwicklung und Miniaturisierung von mobilen Endgeräten wird dazu führen, dass die Geräte immer mehr Funktionalitäten des AR-Servers übernehmen können. Die Produzenten von Grafikhardware bieten schon Lösungen zur Beschleunigung der 3D-Grafik auf mobilen Endgeräten an. Mobiltelefone, PDAs, Digitalkameras und Notebooks wachsen immer mehr zusammen, so dass in kürzerer Zeit die Qualität der Kameras und die Rechenleistung der mobilen Endgeräte zunehmen werden.

7 Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
AR	Augmented Reality
CAD	Computer Aided Design
CAL	Control Abstraction Layer
CPU	Central Processing Unit
DCT	Diskrete Kosinustransformation
dof	Degree of Freedom (Freiheitsgrade)
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolutions
GSM	Global System for Mobile Communication
FSM	Finite-State-Machine
GByte	Giga Byte
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning Service
GSM	Global System for Mobile Communications
GUI	Graphical User Interface
HAL	Hardware Abstraction Layer
HMD	Head Mounted Display
HSCSD	High Speed Circuit Switched Devices
HTML	Hypertext Markup Language
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
PC	Personal Computer
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association

PDA	Personal Digital Assistant
PDM	Produktdatenmanagement
PLM	Productlifecyclemanagement
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio Frequenz Identifikation
UMAR	Ubiquitous Mobile Augmented Reality (UMAR)
SMS	Short Message Service
TCP	Transmission Control Protocol
u. a.	unter anderem
UDP	User Datagram Protocol
UI	User Interface
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USB	Universal Serial Bus
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modeling Language
WAP	Wireless Application Protocol
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Exensible Markup Language
z.B.	zum Beispiel

8 Abbildungsverzeichnis

Bild 2-1:	Mixed Reality Kontinuum [MTU+94]	5
Bild 2-2:	Virtuelle Informationen werden in das Sichtfeld des Monteurs eingeblendet [Gau02]	6
Bild 2-3:	Prinzip des Video See-Through Systems [Mat05]	8
Bild 2-4:	Prinzip des Optical See-Through Systems [Mat05]	9
Bild 2-5:	Intersense IS900 arbeitet mit Ultraschall	12
Bild 2-6:	Funktionsprinzip des markerbasierten Trackings [HIT06-ol]	14
Bild 2-7:	Verschiedene Marker [Fia05b]	15
Bild 2-8:	ARTtrack1: Optisches Infrarot-Tracking [ART06-ol]	16
Bild 2-9:	Der Buchdeckel wird als Muster erkannt [LLF05]	17
Bild 2-10:	Das Tracking wird auf 3D-Objekte angewendet [LLF05]	17
Bild 2-11:	Kanten Tracking [WVS05]	18
Bild 2-12:	Lasertracker Laserbird [Asc06-ol]	19
Bild 2-13:	Stiftbedienung bei einem Tablet PC [Wac06-ol]	21
Bild 2-14:	PDA Toshiba e740 und iPAQ hx2795 Pocket PC von hp [Tos06-ol], [HP06-ol]	22
Bild 2-15:	Smartphone XDA [O06-ol]	23
Bild 2-16:	WLAN Betriebsarten: Ad-hoc-Modus (links) Infrastruktur- Modus (rechts)	26
Bild 2-17:	AR-basiertes Prototyping in der Automobilvorentwicklung	28
Bild 2-18:	Entwurf des Cockpit Layouts mit AR [Fri04]	29
Bild 2-19:	Planung neuer Anlagen mit Augmented Reality	30
Bild 2-20:	AR-gestützte Planung in einer realen Halle [DSA+03]	31
Bild 2-21:	Kabelbaummontage mit AR-Unterstützung [CM92]	32
Bild 2-22:	Montage von Klemmleisten in einem Schaltkasten	32
Bild 2-23:	Bolzenschweißpistole mit AR-Display [Fri04]	33
Bild 2-24:	virtuelle Gartenmöbel werden mit Schatten perspektivisch korrekt in ein Foto eingeblendet [SHD06-ol]	34
Bild 2-25:	Live Möbelkonfigurator zeigt virtuelle Polstermöbel im realen Raum	35

Bild 2-26:	Bedienungserklärung mittels Augmented Reality	36
Bild 2-27:	Wearable Computing Lösung für die Kraninspektion [HRB+02]	37
Bild 3-1:	ARVIKA Architektur [Fri04]	41
Bild 3-2:	Komponenten und Basisdienste der ARVIKA Architektur [Fri04]	43
Bild 3-3:	AR ToolKit blendet 3D Modell auf einen AR-Marker ein [Hit06].....	46
Bild 3-4:	Architektur des Studierstube Frameworks für mobiles AR [Stu06-ol]	48
Bild 3-5:	Studierstube-Anwendung: The Invisible Train [WS06].....	49
Bild 3-6:	Studierstube-Anwendung: Virtuoso [WS06].....	50
Bild 3-7:	AR mit dem Mobiltelefon Nokia 7650 [MLB04b].....	51
Bild 3-8:	3D-Marker für das Cellphone Tracking [MLB04a]	52
Bild 3-9:	DWARF Anwendung SHEEP [She06]	53
Bild 3-10:	Tinmith Hardware [Pie04]	55
Bild 3-11:	Interaktion mit Sensor-Handschuh [Pie04]	55
Bild 3-12:	Architekturplanung mit virtuellen Gebäuden in einer realen Umgebung [Pie04].....	56
Bild 3-13:	Tinmith-evo 5 Gesamtsystemübersicht [Pie04].....	56
Bild 3-14:	Datenfluß durch die Tinmith Module [Pie04]	57
Bild 3-15:	UMAR Framework [HO04]	59
Bild 3-16:	Karte mit AR-Marker (links); Im Display des Smartphones wird die Karte mit virtuellen Straßenbahnen erweitert (rechts) [HO04]	59
Bild 3-17:	wearIT@work Framework [Sbo05].....	61
Bild 3-18:	QBIC: Computer in der Gürtelschnalle mit MicroOptical Clip-On Display [Qbi06]	62
Bild 3-19:	Trackingsensoren zur Kontexterkenung [SLR+06].....	63
Bild 3-20:	Bewertung der bestehenden Systeme für AR und Mobile Computing hinsichtlich der in Kapitel 2.6 aufgestellten Anforderungen	65
Bild 4-1:	Systemarchitektur des AR-Produktpräsentationssystems.....	68
Bild 4-2:	Referenzarchitektur für AR-Systeme [BMR04]	70
Bild 4-3:	Komponenten des Clients	71

Bild 4-4:	Datenfluss innerhalb der Architektur	74
Bild 4-5:	Kommunikation der Module über die Data-Control-Pipeline.....	75
Bild 4-6:	Konzept für die parallele Verarbeitung mehrerer Clients	76
Bild 4-7:	Aufbau und Datenfluss des Managementsystems	77
Bild 4-8:	Zustandsautomat für die Initialisierung des Gesamtsystems.....	78
Bild 4-9:	Low-Level Objekterkennung.....	81
Bild 4-10:	Referenztexturen der Bedienfelder (links) mit den entsprechenden Gradiententexturen (rechts)	82
Bild 4-11:	Datenmodell der Datenhaltung.....	83
Bild 4-12:	Autorensystem.....	85
Bild 4-13:	Informationsobjekte der Benutzungsschnittstelle.....	86
Bild 4-14:	Einsatz Verschiedener Software in den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus [GHK+06].....	87
Bild 4-15:	Konkretisierung der Produkt- und Trackingdaten.....	88
Bild 4-16:	Vorgehen bei der Inhaltsgenerierung	89
Bild 4-17:	Architektur eines PLM-Systems [BK02]	90
Bild 5-1:	Anwendung für den PDA	93
Bild 5-2:	Anwendung für einen Tablet PC	95
Bild 5-3:	PDA Lösung mit Auswahl der Küchenoberfläche, Auswahl der Dunstabzugshaube.....	96
Bild 5-4:	Eine Videoanimation erläutert das Funktionsprinzip des Cafevollautomaten.....	96
Bild 5-5:	Benutzungsschnittstelle für den Tablet PC.....	97

9 Literaturverzeichnis

- [ABB+01] AZUMA, R.; BAILLOT, Y.; BEHRINGER, R.; FEINER, S.; JULIER, S.; MACINTYRE, B.: Recent Advantages in Augmented Reality. In: Computer Graphics and Applications, November/December 2003, IEEE Press, 2001
- [ALO+04] AMFT, O.; LAUFFER, M., OSSEVOORT, S; MACALUSO, F.; LUKOWICZ, P.; TRÖSTER, G.: Design of the QBIC wearable computing platform, ASAP 2004: Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Application-specific Systems, Architectures and Processors, Galveston, Texas, 2004
- [ALJ+99] AZUMA, R. T.; LEE, J. W.; JIANG, B.; PARK, J.; YOU, S.; NEUMANN, U.: Tracking in unprepared environments for Augmented Reality Systems. In: Computers & Graphics 23, 6 (December 1999), pp. 787-793
- [ART06-ol] ADVANCED REALTIME TRACKING GMBH (Hrsg.): Firmenseite unter <http://www.ar-tracking.de/>, 8. Oktober 2006
- [Asc06-ol] ASCENSION TECHNOLOGY CORPORATION (Hrsg.): Laser Bird 2. unter: <http://www.ascension-tech.com/images/laserbirdlarge.jpg>, 11. Oktober 2006
- [Azu97] AZUMA, R. T.: A Survey of Augmented Reality. In: Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol 6, No 4, August 1997
- [BBB03] BEIER, D.; BILLERT, R.; BRÜDERLIN, B.: Model-based Object Recognition and Localization for Augmented Reality. In: Proceedings of the Computer Vision / Computer Graphics Collaboration for Model-based Imageing, Rendering, Image Analysis and Graphical Special Effects, 2003
- [BBB+03] BEIER, D.; BILLERT, R.; BRÜDERLIN, B.; STICHLING, D.; KLEINJOHANN, B.: Marker-less Vision Based Tracking for Mobile Augmented Reality. In: Proceedings of the Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Tokyo, Japan, 2003
- [BBK+01] BAUER, M.; BRUEGGE, B.; KLINKER, G.; MACWILLIAMS, A.; REICHER, T.; RISS, S.; SANDOR, C.; WAGNER, M.: Design of a component-based augmented reality framework. In Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality (ISAR), October 2001.
- [BHK+06] BORONOWSKY, M., HERZOG, O., KNACKFUB, P., LAWOW, M.: Wearable Computing – an Approach for Living Labs In: Proceedings of the 3rd International Forum on Applied Wearable Computing, IFAWC 2006, Bremen, 2006
- [BIT07] BITKOM: Daten zur Informationsgesellschaft, Edition 2007, Broschüre des Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. Berlin, Mai 2007
- [BK+01] BAUER, M.; BRUEGGE, B.; KLINKER, G.; MACWILLIAMS, A.; REICHER, T., RISS, S.; SANDOR, C.; WAGNER, M.: Design of a component-based augmented reality framework. In Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality (ISAR), October 2001
- [BK02] BERLINER KREIS (Hrsg.): PLM-Systemklassen. Technology monitoring 1/02, Product Lifecycle Management, Berliner Kreis – Wissenschaftliches Forum für Produktentwicklung, Paderborn, 2002

- [BKK+99] BILLINGHURST, M.; KATO, H.; KRAUS, E.; MAY, R.: Shared Space: Collaborative Augmented Reality. In: Visual Proceedings, SIGGRAPH 1999, ACM Press, New York, NY, USA, 1999
- [BKP+00] BILLINGHURST, M.; KATO, H.; POUPYREV, I.; IMAMOTO, K.; TACHIBANA, K.: Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment. In: Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality ISAR, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, 2000
- [BMR04] BRÜGGE, B.; MACWILLIAMS, A.; REICHER, T.: Software architectures for augmented reality systems – report to the ARVIKA consortium. Technical Report TUM-I0410, Technische Universität München, July, 2004
- [BWF96] BILLINGHURST, M.; WEGHORST, S.; FURNESS, T.: Shared Space: Collaborative Augmented Reality. In: Proceedings of the CVE '96 Workshop Proceedings, September, Nottingham, Great Britain, 1996
- [BWF97] BILLINGHURST, M.; WEGHORST, S.; FURNESS, T.: Shared Space: An Augmented Reality Interface for Computer Supported Collaborative Work. In: Proceedings of First International Symposium on Wearable Computing, 1997
- [Can07] CANALYS: 64 million smartphones shipped worldwide in 2006, Canalys Research Release 2007/024, Canalys, Reading UK, February. 2007
- [CM92] CAUDELL, T.; MIZELL, D.: Augmented Reality: An Application of Heads-up Display Technology to Manual Manufacturing Processes. In: Proceedings of the Hawaii International Conference on System Science, Maui, Hawaii, IEEE Press, January 1992
- [DSA+03] DOIL, F.; SCHREIBER, W.; ALT, T.; PATRON, C.: Augmented Reality gestützte Fabrik- und Anlagenplanung. In: 2. Paderborner Workshop "Augmented Reality/Virtual Reality in der Produktentstehung", HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2003
- [Ebb97] EBBESMEYER, P.: Dynamische Texturwände - Ein Verfahren zur echtzeitorientierten Bildgenerierung für Virtuelle Umgebungen technischer Objekte. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 25, 1997
- [EKM+04] EBBESMEYER, P.; KRUMM, H.; MATYSCZOK, C; MACIEJ, J.: Efficient Creation of Augmented Reality Content by using an Intuitive Authoring System. In: Proceedings of the ASME 2004 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Salt Lake City, USA, 2004
- [Fia05a] FIALA, M.: ARTag, a Fiducial Marker System Using Digital Techniques in 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) - Volume 2pp. 590-596
- [Fia05b] FIALA, M.: ARTag Rev2 Fiducial Marker System: Vision based Tracking for AR. in Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2005), October 5th – 8th, 2005, Vienna, Austria, 2005
- [FLS97] FUHRMANN, A.; LÖFFELMANN, H.; SCHMALSTIEG, D.: Collaborative Augmented Reality: Exploring Dynamical Systems. In: Proceedings of the Visualization 97, IEEE Press, October 1997

- [FME+04] FRÜND, J.; MATYSCZOK, C; EBBESMEYER, P.; KNOBEL, M.: AR-PDA: Innovative Product Marketing for Innovative Products. In: International Status Conference Virtual and Augmented Reality, Leipzig, 2004
- [Fri04] FRIEDRICH, W.: ARVIKA - Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis Corporate Publishing, Erlangen, 2004
- [FSM02-ol] SOURCEFORGE.NET (Hrsg.): Finite State Mashine. unter <http://sourceforge.net/projects/finsm/>, 30. August 2002
- [FW03] FRIEDRICH, W.; WOHLGEMUTH, W.: ARVIKA - Augmented Reality for Development, Production and Service. In: Proceedings of the International Workshop on Potential Industrial Applications of Mixed and Augmented Reality, Tokyo, Japan, October, 2003
- [Gau02] GAUSEMEIER, J.: Neue Interaktionstechniken in der rechnerintegrierten Produkt- und Produktionsprozessentwicklung In: 1. Paderborner Workshop: Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, Paderborn, Germany, HNI-Verlagsschriftenreihe, Juni 2002
- [GFG04] GAUSEMEIER, J.; FRÜND, J.; GRAFE, M.; MATYSCZOK, C.: Augmented Reality as a New User Interface for the Layout Planning of Manufacturing Systems. In: Ong, Soh Khim; Nee, Andrew Yeh Ching (Hrsg.) Virtual and Augmented Reality in Manufacturing, Springer Verlag, 2004
- [GFM+05] GAUSEMEIER, J.; FRÜND, J., MATYSCZOK, C.; RADKOWSKI, R.: Using Augmented Reality Technology to Support the Automobile Development. In: Lecture Notes in Computer Science, Band 3168, Kapitel: 30, S. 289 - 298. Springer Verlag LNCS, 2005
- [GEK01] GAUSEMEIER, J.; EBBESMEYER, P.; KALLMEYER, F.: Produktinnovation - Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen: Carl Hanser Verlag München Wien, 2001
- [GHK+06] GAUSEMEIER, J.; HAHN, A.; KESPOHL, H. D.; SEIFERT, L.: Vernetzte Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag München Wien, 2006
- [GLG05-ol] SOURCEFORGE.NET (Hrsg.): glGUI. unter <http://sourceforge.net/projects/glgui/>, 26. Oktober 2006
- [GPP-ol] 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJEKT (Hrsg.): 3GPP a Global Initiative unter: <http://www.3gpp.org>, 26. Oktober 2006
- [GRS+02] GENC, Y.; RIEDEL, S.; SOUVANNAVONG, F.; AKINLAR, C.; NAVAB, N.: Marker-less Tracking for AR: A Learning-Based Approach. In: Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, 2002
- [HBO05] A. HENRYSSON, M. BILLINGHURST, M. OLLILA. Face to Face Collaborative AR on Mobile Phones. In Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2005), October 5th – 8th, 2005, Vienna, Austria, 2005
- [HBF03] HABBACH, H.; BÖSE, R.; PFAFF, M.: Einstieg in die virtuelle Produktentwicklung. In: Konstruktion, Springer-VDI-Verlag 03-2003, 2003
- [HIT06-ol] HiLAB WASHINGTON (Hrsg.): ARToolKit <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/userarwork.htm>, 26. Oktober 2006

- [HO03] HENRYSSON, A.; OLLILA, M.: "Augmented Reality on Smartphones". 2nd IEEE International Augmented reality Toolkit Workshop 2003, Tokyo, Japan, 2003
- [HO04] HENRYSSON, A.; OLLILA, M.: "UMAR - Ubiquitous Mobile Augmented Reality". To appear at 3rd Mobile Ubiquitous Multimedia 2004, Washington, USA, 2004
- [HP06-ol] HEWLETT PACKARD (Hrsg) Firmenseite www.hp.com 26. Oktober 2006
- [HRB+02] HERZOG, O.; RÜGGE, I.; BORONOWSKY, M.; NICOLAI, T.: Potenziale des Wearable Computing in der Industrie - am Beispiel der Inspektion. In: 2. Paderborner Workshop: Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, Paderborn, Germany, HNI-Verlagsschriftenreihe, Juni 2000
- [ITU06-ol] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION (Hrsg): International Telecommunication Union <http://www.itu.int/home/> 26. Oktober 2006
- [KB99] KATO, H.; BILLINGHURST, M.: Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System. In: Proceedings of the IWAR, 1999
- [KS02] KOCH, R.; SCHULZ, A.: XML-Techniken für Transaktionen bei der Produktkonfiguration im eProcurement, Tagungsband Zentrum für Grafische Datenverarbeitung e.V., Juni 2002
- [KTB+02] KATO, H.; TACHIBANA, K.; BILLINGHURST, M.; GRAFE, M.: Real-time tracking system based on matching templates generated from image texture - in Proceeding of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2002, Darmstadt, 2002
- [KTG03] KATO, H.; TACHIBANA, K.; GRAFE, M.: A registration method based on texture tracking using artoolkit. In 2nd IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop. Waseda Univ., Tokyo, Japan, 2003
- [KW04] KLINKER, G.; WAGNER, M.: 2nd Joint Advanced Summer School 2004, Course 3: Ubiquitous Tracking for Augmented Reality. Technischer Bericht der TU München, TUM-I0417, June 2004
- [LF05] LEPETIT, V.; FUA, P.: Monocular Model-Based 3D-Tracking of Rigid Objects: A Survey. Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision Vol. No. 1, Now Publishers, 2005, S1-98
- [LLF05] LEPETIT, V.; LAGGER, P.; FUA, P.: Randomized Trees for Real-Time Key-point Recognition. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Diego, CA, 2005, S. 775-781
- [Mat01] MATTERN, F.: Ubiquitous Computing: Vision und technische Grundlagen. INFORMATIK-INFORMATIQUE 5/2001 (joint issue with Novática and Upgrade), pp. 4-7, October 2001
- [Mat05] MATYSCZOK, C.: Dynamische Kantenextraktion - Ein Verfahren zur Generierung von Tracking-Informationen für Augmented Reality-Anwendungen auf Basis von 3D-Referenzmodellen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, Band 165, 2005
- [Miz01] MIZELL, D.: Boeing's Wire Bundle Assembly Project in Barfield, W.: Caudell, C. (Hrsg.): Fundamentals of Wearable Computers and Aug-

- mented Reality. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2001, S.447-467
- [MLB04a] MÖHRING, M.; LESSING, C.; BIMBER, O.: "Video See-Through and Optical Tracking with Consumer Cell Phones," presented at the Association of Computing Machinery (ACM) Special Interest Group Graphics (Siggraph) 2004 conference, Los Angeles, 2004, S.8-12
- [MLB04b] MÖHRING, M.; LESSING, C.; BIMBER, O.: "Video See-Through AR on Consumer Cell Phones: A first Case-Study," 1. Workshop Erweiterte und Virtuelle Realität. 27. - 28. September 2004, Technische Universität Chemnitz, 2004
- [MTS+06] VAN MEGEN, F.; TIMM-GIEL, A.; SALMRE, I.; GÖRG, C.: Smart Networking Requests: Supporting Application Development Relying on Network Connectivity for Wearable Computers In: Proceedings of the 3rd International Forum on Applied Wearable Computing, IFAWC 2006, Bremen, 2006
- [MTU+94] MILGRAM, P.; TAKEMURA, U.; UTSUMI, A.; KISHINO, F.: Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. In: Proceedings of the SPIE Conference on Telemanipulation and Telepresence Technologies SPIE, Boston, October 1994
- [O06-ol] O2 (Hrsg.): O2 Firmenwebseite unter www.o2online.de, 12. August 2006
- [Oqo06-ol] OQO (Hrsg.): OQO Firmenwebseite. www.oqo.com, 12. August 2006
- [Ovt 04] OVTCHAROVA, J.: Virtual Engineering, Herausforderung und Chance am Beispiel der Automobilindustrie. In: 3. Paderborner Workshop VR/AR, 2004.
- [Pae02] PAEELKE, V.: Design of Interactive 3D Illustrations, Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, C-LAB Publications, Paderborn, 2002
- [PHD+99] PIEKARSKI, W.; HEPWORTH, D.; DEMCZUK, V.; THOMAS, B.; GUNTHER, B.A.: Mobile Augmented Reality User Interface for Terrestrial Navigation. In: 22nd Australian Computer Science Conference, Auckland, New Zealand, Januar 1999
- [Pie04] PIEKARSKI, W. Interactive 3D Modelling In Outdoor Augmented Reality Worlds. PhD Thesis, Adelaide, SA, University of South Australia, 2004.
- [PKV+98] POLLEFEYS, M.; KOCH, R.; VERGAUWEN, M.; GOOL, L.V.: Flexible 3D Acquisition with a Monocular Camera. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, 1998
- [PT03] PIEKARSKI, W.; THOMAS, B.H.: An object-oriented software architecture for 3D mixed reality applications. In Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), October 2003
- [PTH+99] PIEKARSKI, W.; THOMAS, B.; HEPWORTH, D.; GUNTHER, B.; DEMCZUK, V.: An Architecture for Outdoor Wearable Computers to Support Augmented Reality and Multimedia Applications. In: Proceedings of the Third International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems, Adelaide, SA, 1999
- [Qbi06] ETH ZÜRICH (Hrsg.): QBIC, a Wearable Computer integrated in a Belt unter <http://www.wearable.ethz.ch/qbic.0.html>, 10. Juni 2006

- [RDB01] ROLLAND, J. P.; DAVIS, L. D.; BAILLOT, Y.: A Survey of Tracking Technologies for Virtual Environments. In: Barfield, Woodrow; Caudell, Thomas (Hrsg.): *Fundamentals of Wearable Computer and Augmented Reality* (2001), Kapitel 3, S. 67-112, Laurence Erlbaum Associates (2001), ISBN 0-8058-2902-4
- [RNB02] RÜGGE, I.; NICOLAI, T.; BORONOWSKY, M.: Computer im Blaumann. In: *Useware 2002 - Mensch-Maschine-Kommunikation/Design*, no. 1678, VDI-Berichte, S. 105-110, VDI/VDEGesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik, Verein Deutscher Ingenieure, 2002
- [Rot02] ROTH, J: *Mobile Computing: Grundlagen, Technik, Konzepte*, dpunkt.Verlag, Heidelberg, 2002
- [RS03] REITMAYR, G.;SCHMALSTIEG, D.: *Data Management Strategies for Mobile Augmented Reality*. In: *Proceedings of the International Workshop on Software Technology for Augmented Reality Systems, STARS 2003*, Tokyo, Japan, 2003
- [SB02] SIMON, G.; BERGER, M.-O.: Reconstructing while Registering: A Novel Approach for Markerless Augmented Reality. In: *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA,USA, 2002
- [Sbo05] SBODIO, M.L.: Show case framework architectural design and specification, Deliverable 6, wearit@work, 2005
- [Sfb218-ol] SONDER FORSUCHUNGS BEREICH 218 TU BERLIN (Hrsg.):. Die Demontafabrik. unter: <http://www.sfb281.tu-berlin.de/>, 26. Oktober 2006
- [SFH00] SCHMALSTEIG, D.; FUHRMANN, A.; HESINA, G.: Bridging Multiple User Interface Dimensions with Augmented Reality. In: *Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality*, Munich, Germany, 2000
- [SFS+96] SCHMALSTEIG, D.; FUHRMANN, A.; SZALAVARI, Z.; GERVAUTZ, M.: Studierstube - An Environment for Collaboration in Augmented Reality. In: *CVE '96 Workshop Proceedings*, September, Nottingham, Great Britain, 1996
- [SHD06-ol] SHD KREATIVE PLANUNGS-SYSTEME GMBH & Co. (Hrsg.): KPS Click & Design unter http://www.shd.de/deu/loesungen/KPS/KPS_clickdesign/ 26. Oktober 2006
- [She06] LEHRSTUHL FÜR INFORMATIKANWENDUNGEN IN DER MEDIZIN & AUGMENTED REALITY DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN KLINKER G.(Hrsg): SHEEP – The Shared Environment Entertainment SHEEP unter <http://campar.in.tum.de/Chair/ProjectSheep> 26. Oktober 2006
- [Sie05-ol] SIEMENS AG: Multimedialer GPS-Wegweiser im Handy. Unter: http://w4.siemens.de/de2/html/press/newsdesk_archive/2004/c_0414_d.html Meldung1, 23. Juli 2005
- [SLR+06] STIEFMEIER, T.; LOMBRISER, C.; ROGGEN, D.; JUNKER, H.; OGRIS, G.; TROSTER, G.: Event-Based Activity Tracking in Work Environments, In: *Proceedings of the 3rd International Forum on Applied Wearable Computing, IFAWC 2006*, Bremen, 2006
- [SSF+96] SZALAVARI, Z.; SCHMALSTIEG, D.; FUHRMANN, A.; GERVAUTZ, M.: Studierstube - An Environment for Collaboration in Augmented Reality. In:

- Proceedings of the 1996 Workshop on Collaborative Virtual Environments CVE 96, Nottingham, England, September, 1996
- [Sti04] STICHLING, D.: Visitrack-Inkrementelles Kameratracking für mobile Echtzeitsysteme, Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, C-LAB Publication, Band 19, 2004
- [Stu06-ol] TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ (Hrsg.): Studierstube Augmented Reality Projekt unter: <http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at> oder www.studierstube.org, 26. Oktober 2006
- [ST06] SBODIO, M.L.; THRONICKE, W.: Context processing within an open, componentoriented, software framework In: Proceedings of the 3rd International Forum on Applied Wearable Computing, IFAWC 2006, Bremen, 2006
- [Tos06-ol] TOSHIBA (Hrsg.): Toshiba Firmenwebseite unter www.toshiba.de, 12. August 2006
- [TP03] TUROWSKI, K.; POUSTTCHI, K.: Mobile Commerce – Grundlagen und Techniken, Heidelberg 2003
- [VK02] VAINIO, T.; KOTALA, O.: Developing 3D Informatins Systems for Mobile Users: Some Usability Issues. In: Proceedings of the Second Nordic Conference on Human-Computer Interaction. Aarhus 2002
- [Wac06-ol] WACOM (Hrsg.): WACOM Technology Firmenwebseite unter www.wacom.com/pressinfo/photography/TabletPC_callouts.jpg
- [WPL+05] WAGNER, D.; PINTARIC, T.; LEDERMANN, F.; SCHMALSTIEG, D.: Towards Massively Multi-User Augmented Reality on Handheld Devices in Proceedings of Third International Conference on Pervasive Computing, Pervasive 2005, 2005
- [WRB+03] MACWILLIAMS, A.; REICHER, T.; BRÜGGE, B.: Decentralized coordination of distributed interdependent services. In IEEE Distributed Systems Online – Middleware '03 Work in Progress Papers, Rio de Janeiro, Brazil, June 2003
- [WS03] WAGNER, D.; SCHMALSTIEG, D.: First Steps Towards Handheld Augmented Reality. In: Proceedings of the 7th International Conference on Wearable Computers, White Plains, NY, USA, 2003
- [WS06] WAGNER, D.; SCHMALSTIEG, D.: Handheld Augmented Reality Display-irst Steps Towards Handheld Augmented Reality. In: Proceedings of the 7th International Conference on Wearable Computers, White Plains, NY, USA, 2003
- [WSW+03] MACWILLIAMS, A.; SANDOR, C.; WAGNER, M.; BAUER, M.; KLINKER, G.; BRÜGGE, B.: Herding sheep: Live system development for distributed augmented reality. In Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), October 2003
- [WVS05] WUEST, H.; VIAL, F.; STRICKER, D: Adaptive Line Tracking with Multiple Hypotheses for Augmented Reality. In Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), October 2005
- [Xyb06-ol] XYBERNAUT (Hrsg.): Xybernaut Firmenwebseite. www.xybernaut.com, 12. August 2006

-
- [YN01] YOU, S.; NEUMANN, U: Fusion of Vision and GyroTracking for Robust Augmented Reality Registration. In: IEEE Virtual Reality 2001, pp.71-78, Yokahama Japan, March 2001.
- [YNA99a] YOU, S.; NEUMANN, U.; AZUMA, R.: Hybrid Inertial and Vision Tracking for Augmented Reality Registration. Proceedings of IEEE VR '99 (Houston, TX, 13-17 March 1999), pp. 260-267
- [ZFN02] ZHANG, X.; FRONZ, S.; NAVAB, N.: Visual marker detection and decoding in AR systems: a comparative study - In Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), October 2002