

# Augmented Reality als Anwendungstechnologie in der Automobilindustrie

Der Fakultät Maschinenbau der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg zur  
Erlangung des akademischen Grades

**Doktoringenieur  
(Dr.-Ing.)**

am 06.12.2006 vorgelegte Dissertation

von Dipl.-Ing André Tegtmeier

## **Schriftliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit, daß ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsberatung in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form als Dissertation eingereicht und ist als Ganzes auch noch nicht veröffentlicht.

Wolfsburg, 06.12.2006

André Tegtmeier

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen AG

---

## **Vorwort**

Nach Beendigung der Arbeit an dieser Dissertation gilt es denjenigen zu danken, die mich im Laufe der Zeit unterstützt, aufgebaut, ertragen, mit mir zusammen diskutiert und gearbeitet haben.

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand in der Abteilung K-DOE, IS Produktentstehung, der Volkswagen AG Wolfsburg.

Für die Unterstützung und Betreuung dieser Arbeit danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schenk, Leiter des Fraunhofer Institutes für Fabrikbetrieb und –automatisierung (IFF) in Magdeburg sowie des Lehrstuhls für Logistische Systeme des Institutes für Förder- und Baumaschinentechnik, Stahlbau, Logistik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Schulze, Institut für Technische und Betriebliche Informationssysteme der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Die Leiter der Abteilung und Unterabteilungen von K-DOE-3, IS Fertigungsplanung und –vorbereitung Dipl.-Ing. Hans-Werner Krause, Gerhard Rein, Dipl.-Ing. Uwe Silberbach, Dipl.-Ing. Jürgen Kunhenn und Detlef Hansch haben mir mit Ihrem außerordentlichen persönlichen Engagement hervorragende Rahmenbedingungen zur Durchführung dieser Arbeit bei der VOLKSWAGEN AG Wolfsburg bereitet. Die von Ihnen geschaffenen Freiräume und das in mich gesetzte Vertrauen haben maßgeblich dazu beigetragen, den umfangreichen Themenkomplex unter den verschiedensten Aspekten betrachten und untersuchen zu können.

Hr. Dr.-Ing. Werner Schreiber danke ich für gemeinsame Zusammenarbeit innerhalb des BMB+F-geförderten Projektes Arvika. Diese Interessengemeinschaft ist der Grundstein für dieses Thema, sowie den gesamten entstandenen Ideen und Ansätzen gewesen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Klaus-Christoph Ritter für seine umfangreiche Unterstützung, die konstruktiven Diskussionen und stets gute Zusammenarbeit. Zahlreiche fachliche Gespräche haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen

Weiterer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Fabian Doil, Herrn Dipl.-Math. Stefan Nölle und Herrn Dr.-Ing. Michael Symietz, die immer hilfsbereit und unterstützend bei fachlichen Fragen und technischen Problemen schnell und unkompliziert unterstützt haben.

Des Weiteren sei all den Studenten gedankt, die durch Ihre Studien-, Diplomarbeiten und Praktikas an der Entstehung dieser Arbeit mitgewirkt haben.

Für die engagierte Unterstützung bei der Umsetzung des Versuchsträgers und dem „Einbau in den Kellerraum“ danke ich Herrn Dipl.-Ing. Werner Scheffler und seinen Mitarbeitern der Abteilung PWA-1. Der nie geschwächte Glaube in die Vorteile dieser Idee hat maßgeblich zum Gelingen und der Umsetzung in die Wirklichkeit beigetragen.

Den Firmen A.R.T, Herrn Dr.-Ing. Armin Weiß und Herrn Dr.-Ing. Konrad Zürl, sowie Augmented Solutions (metaio), Herrn Dr.-Ing. Thomas Alt und Dipl.-Ing Peter Meier, und ihren Mitarbeitern gilt außerordentlicher Dank. Die freundliche und sehr lange Leihgabe der entwickelten Systeme (Echtzeit-Tracking-System ARTtrack1 und AR Browser SDK) für die Erprobung und Erarbeitung präsentierbarer Szenarien auf wichtigen Ausstellungen und Veranstaltungen hat dieses Gesamtergebnis ermöglicht.

---

Diese Arbeit widme ich meinen Eltern Martina und Rolf und meiner gesamten Familie, die mich während meines Studiums, der Tätigkeit als Doktorand bei der Volkswagen AG in Wolfsburg und nachfolgend bei meiner Assistententätigkeit in der Qualitätssicherung Produktklassenleitung der B-, C- und D-Klasse liebevoll und tatkräftig unterstützt haben. Allen Personen, die nie den Glauben in mich und diese Arbeit verloren haben, danke ich für die immer wieder aufbauenden Worte und Kraft gebende Einwände, die mir das Durchhalten ermöglichten.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung	1
1.2	Motivation	3
1.3	Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit	4
2	Grundlagen Augmented Reality Technologie	6
2.1	Entwicklung von Augmented Reality	6
2.1.1	Geschichtlicher Überblick	6
2.1.2	Definition	11
2.1.3	Abgrenzung	13
2.2	Stand der Technik	14
2.2.1	Aufbau und Funktionsweise von Augmented Reality-Systemen	14
2.2.2	Visualisierungssysteme und –techniken	15
2.2.3	Trackingsysteme	20
2.2.4	Augmented Reality Software	31
2.3	Anwendungsbereiche der AR-Technologie	36
2.3.1	Freizeit	36
2.3.2	Militär	36
2.3.3	Medizin	37
2.3.4	Architektur	38
2.3.5	Industrie	40
2.4	Augmented Reality Projekte	43
3	Entwicklungskonzept für AR-Technologie im Montage/Demontagebereich	48
3.1	Einsatzbereich AR-System für Montage/Demontage	48
3.1.1	Beschreibung des Einsatzbereiches	48
3.2	Anforderungen und Einschränkungen	52
3.2.1	Einsatzbereich (Randbedingungen)	52
3.2.2	Augmented Reality System – Anforderungen und Einschränkungen	54
3.2.3	Eigenentwicklung von AR-Komponenten	60
3.2.4	Datenschema	64

3.3	Vorstellung des Entwicklungskonzeptes	68
3.3.1	Integration des AR-Systems	68
3.3.2	Lösung der Anforderungen	70
3.3.3	Konzept Werkstattwagen	73
4	Umsetzung der Anwendungen	77
4.1	Prozesse und Methoden	77
4.1.1	Der Konstruktionsprozeß	77
4.1.2	SEP – Der SystemEntwicklungsProzeß	80
4.2	ARMON – Augmented Reality unterstützte Montage/Demontage	82
4.2.1	Aufbau (1.Phase)	82
4.2.2	Anforderungen Funktionalität (2. Phase)	83
4.2.3	Systemoberfläche/Design (3. Phase)	85
4.3	AR-AUTOR – Autorenumgebung für die Erstellung von Prozeßabläufen mit Augmented Reality-Inhalten	87
4.3.1	Aufbau (1.Phase)	87
4.3.2	Anforderungen Funktionalität (2. Phase)	88
4.3.3	Systemoberfläche/Design (3. Phase)	89
5	Realisierung der Anwendungen	92
5.1	ARMON	92
5.1.1	Erster Aufbau (Phaeton Szenario)	92
5.1.2	Zweiter Aufbau (Golf Szenario)	96
5.1.3	ARMON betreffende Untersuchungen	99
5.1.4	Auswertung/Fazit nach Aufbauten und Untersuchungen	108
5.2	AR-AUTOR	109
5.2.1	Erstellung Reparaturleitfäden	109
5.2.2	AR-AUTOR betreffende Untersuchungen	114
5.2.3	Auswertung/Fazit nach Untersuchungen	116
6	Zusammenfassung und Ausblick	118
6.1	Zusammenfassung	118
6.1.1	Allgemein	118
6.1.2	Speziell	119

## Inhaltsverzeichnis

---

6.2	Ausblick	120
6.2.1	ARMON	120
6.2.2	AR-AUTOR	121
7	Verzeichnisse	123
7.1	Abkürzungsverzeichnis	123
7.2	Quellenverzeichnis	124
7.3	Abbildungen	137
8	Anhang	140
	Lebenslauf	154





# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung

Die gestellte Forderung an einen Global Player heißt: Weltweit mit entsprechenden Produkten präsent zu sein. Um auf diesen hart umkämpften Märkten zu bestehen und sich gegen internationale Wettbewerber behaupten zu können, sollte ein breites Produktspektrum angeboten werden, das viele Kunden anspricht.

Dieses ist nicht immer einfach, denn der Kunde verlangt neue, innovative und nach seinen individuellen Vorstellungen hergestellte Produkte. Das Kundenverhalten ist jedoch schwer vorherbestimmbar und wird durch Trendeinflüsse stark beeinflusst [ZUB01]. Darüber hinaus stehen für global agierende Unternehmen auch regionale Randbedingungen im Zentrum des Interesses, wie zum Beispiel rechtliche oder kulturelle Besonderheiten der jeweiligen Märkte und Produktionsstandorte.

Um auf dieses kontinuierlich wechselnde Verhalten und die steigenden Anforderungen reagieren zu können, muß das bestehende Produktspektrum entsprechend schnell anpaßbar und erweiterungsfähig sein (Bild 1-1). Bedingt durch die kürzer werdenden Innovationszyklen ist die Verringerung der Prozeßzeit von der Produktidee bis zum erfolgreichen Markteintritt (time to market) unerlässlich.

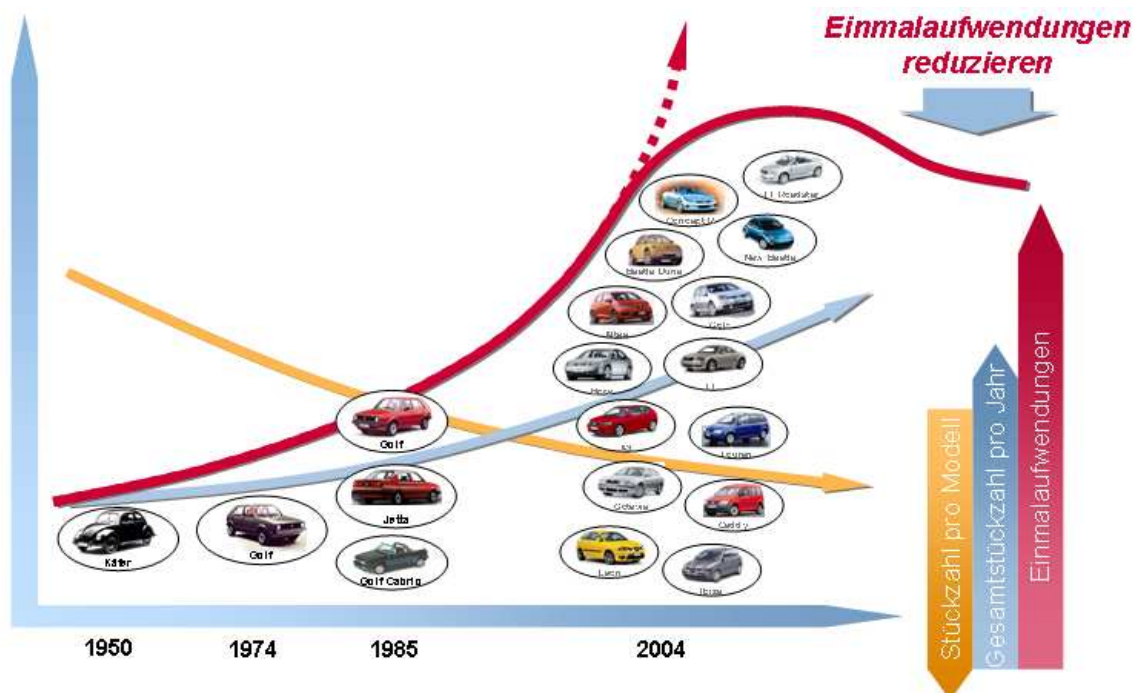


Bild 1-1: Zukünftige Produktszenarien – Rahmenbedingungen in der Automobilindustrie [SCH05]

In der Vergangenheit wurden weniger Modelle in großer Stückzahl produziert. Der VW-Käfer ist dafür ein sehr bekanntes Beispiel. Über die Jahre stiegen die produzierten Stückzahlen, sowie die Anzahl der vom Kunden gewünschten Modelle bzw. Modellvarianten. Dieser Trend wird sich in der Zukunft fortsetzen (Bild 1-1).

Aus den Veränderungen an bestehenden Produktpaletten ergibt sich somit die Notwendigkeit, neue unterstützende Technologien und Organisationsformen einzuführen, die gleichzeitig eine Produktivitätssteigerung der neuen Produkte, eine Verringerung der Kosten und die Erhöhung der Qualität bewirken soll.

Vor diesem Hintergrund der genannten Herausforderungen werden in dem derzeitigen Produktentstehungsprozeß digitale Techniken eingesetzt wie z.B. Digital Mock-Up (DMU), Virtual Prototyping (VP) und Digital Manufacturing (DMF). Dadurch sind produzierende Unternehmen in der Lage folgendes zu bewirken:

- eine Reduzierung der Entwicklungszeiten durch kürzere Iterationsschleifen in der Entwicklung und Planung,
- eine Kostenreduktion durch Vermeidung physischer Prototypen und
- eine frühe Beurteilung von Produktfunktionen und Produktionsprozessen.

Infolgedessen darf der Produktionsfaktor Mensch nicht vernachlässigt werden. Denn der Mensch, mit seiner hohen und geistigen Flexibilität, ist nach wie vor als die wichtigste Größe im gesamten Entwicklungsprozeß zu sehen. Dem Computer gegenüber werden ihm jedoch Grenzen seiner Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Wahrnehmung und Verarbeitung von Informationen aufgezeigt. Aus diesem Grund ist es wichtig, daß die Interaktion und Kommunikation des Menschen mit dem Computer bei der Entwicklung und Einführung neuer Technologien vorangetrieben und berücksichtigt wird.

Die Virtuelle Realität (VR) stellt eine Mensch-Maschine-Schnittstelle dar und ist als eine neue Visualisierungs- und Simulationstechnologie zu sehen [SCH02 ET AL.] [BLÜ03 ET AL.] [SCH03] [GAU00 ET AL.] [KRA00] [WES01]. VR ermöglicht dem Menschen mit Computern extrem komplizierte Datenmengen im dreidimensionalen Raum zu visualisieren und diese durch entsprechende Interaktionsmöglichkeiten zu handhaben und zu bedienen. Seit Jahren wird diese Technologie als leistungsfähiges Werkzeug in dem gesamten Produktentstehungsprozeß eingesetzt. Mit Hilfe von VR können vorab alle Phasen von der Produktidee bis hin zur Planung, Produktion und Schulung des Menschen dargestellt, analysiert und optimiert werden.

Die Augmented Reality (AR) Technologie, welche als eine Weiterentwicklung der VR angesehen wird, beschreibt eine neue Mensch-Maschine-Interaktion, bei der die menschliche Wahrnehmung durch computergenerierte Informationen angereichert wird [GAU00 ET AL.]. Durch die Überlagerung in das reale Sichtfeld des Anwenders, kann dieser zielgerichtet mit Informationen versorgt werden.

Speziell der Bereich der Montage hat sich den individuellen Kundenwünschen am Produkt zu stellen und steht aufgrund der ständig steigenden Variantenvielzahl (Bild 1-1) vor der Aufgabe, mit Hilfe von innovativen Techniken, wie beispielsweise VR und AR, die beschriebenen Probleme und Aufgaben innerhalb des Fertigungsprozesses zu lösen.

Durch die veränderten Arbeitsinhalte und -umfänge ergibt sich eine Fülle an Arbeitstätigkeiten, wie beispielsweise die Prüfung von Bauteilen und deren Handhabung oder Qualitätsuntersuchungen. Diese von den Montagemitarbeitern zu beherrschende Komplexität und Variantenvielfalt bei den durchzuführenden

Arbeitsschritten wird erweitert durch eine zunehmende Integration von elektrischen und elektronischen Bauteilen.

Ohne eine entsprechende Unterstützungsmethode ist dies nur schwer zu bewältigen. Der Einsatz von AR bietet dem Mitarbeiter in der Montage und den Service- und Reparaturwerkstätten ein enormes Nutzenpotential.

Währenddessen die Mitarbeiter im Herstellungsprozeß die Variantenvielfalt und Komplexität des entsprechenden Modells beherrschen müssen, ist der Anspruch an die Servicewerkstätten um ein Vielfaches höher. Diese müssen eine Unmenge mehr an Modellen über viele Jahre hinweg beherrschen und entsprechend Reparaturen oder Wartungen durchführen können.

### 1.2 Motivation

Zum einen ist die Motivation für die Erstellung dieser Arbeit die Begeisterung, die das Produkt Automobil in sich verbirgt. Das Automobil ist ein faszinierendes Hightech-Produkt, welches eine Vielzahl von unterschiedlichen technischen Systemen und Elementen in sich vereint. Als Mittel zum Zweck dient das Automobil vor allem der Fortbewegung. Es hat sich aber auch als Indikator der Leistungsfähigkeit und des Wohlstandes unserer Gesellschaft entwickelt und wird sich durch die Integration neuer technischer Innovationen immer wieder dieser Gesellschaft anpassen. Dieser Trend wird durch die jüngsten Entwicklungen in der Automobilindustrie bestätigt. Weil Mobilität ein immerwährendes Grundbedürfnis sein wird, kann davon ausgegangen werden, daß die Entwicklung des Automobils bei weitem noch nicht abgeschlossen ist.

Zum anderen ist die Vorstellung, reale und virtuelle Objekte dreidimensional miteinander zu kombinieren, spannend und fesselnd zugleich. Augmented Reality verbessert die menschliche Wahrnehmung und die Interaktionsmöglichkeit des Anwenders mit der realen Welt. Anhand von virtuellen Objekten werden dem Anwender Informationen zur Verfügung gestellt, die er mit seinen eigenen Sinnen nicht direkt erfassen bzw. wahrnehmen kann. Diese durch die virtuellen Objekte übermittelten Informationen können dem Anwender bei der Durchführung seiner Aufgaben und Tätigkeiten eine große Hilfe leisten.

Aus diesen Gründen ist besonders der dem Produktionsprozeß nachgeschaltete Service- und Werkstattbereich betroffen, der mit den normalen Unterstützungsmedien die zu bewältigende Komplexität und Modellvielfalt nur schwer erfüllen kann.

Die Verwendung von Augmented Reality Technologie ermöglicht eine vollkommen neue Mensch-Technik-Schnittstelle für den Bereich der Montage-/ Demontageprozesse durch interaktive, dynamische und kontextbezogene Bereitstellung von Informationen. Der Service- und Wartungsbereich benötigt Informationen von z.B. Reparaturleitfäden, Stromlaufplänen und Instandhaltungsplänen bis hin zu Lager- und Standort-Informationen. Das Potenzial der AR Technologie wird hier besonders hilfreich, denn sie ermöglicht einzelne durchzuführende Tätigkeiten miteinander zu verbinden und erreicht somit eine parallele Abarbeitung. Zudem lassen sich Sekundäroperationen verringern, also nicht wertschöpfende Operationen wie die getrennte Informationsaufnahme.

### 1.3 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit

Die Zielsetzung und Abgrenzung dieser Arbeit wird anhand des inhaltlichen Aufbaus in Bild 1-2 dargestellt.

	<b>1</b>	Einleitung
<b>Stand</b>	<b>2</b>	Grundlagen der Augmented Reality Technologie Überblick der Anwendungsbereiche
<b>Konzept</b>	<b>3</b>	Entwicklungsmethodik Datenschema
<b>Umsetzung</b>	<b>4</b>	Montageunterstützendes System ARMON Erstellungssystem für Leitfäden AR-AUTOR
<b>Anwendung</b>	<b>5</b>	Beispielhafte Anwendungen
	<b>6</b>	Zusammenfassung und Ausblick

*Bild 1-2: Gliederung der Arbeit nach Einleitung, Stand, Konzept, Umsetzung, Anwendung und Zusammenfassung*

#### Einleitung

Zur Einführung in die Thematik der Augmented Reality Technologie werden im Anschluß an dieses einleitende Kapitel 1 die zum Verständnis notwendigen Grundlagen dargelegt. Zunächst werden die Entwicklungsgeschichte und der Aufbau mitsamt den benötigten Komponenten für ein AR-System beschrieben. Der allgemeine Stand der Technik bzgl. der für die Verwendung notwendigen Systemkomponenten soll einen momentanen Marktüberblick ermöglichen.

#### Stand

Des Weiteren werden Anwendungsbereiche im Allgemeinen und im Speziellen veranschaulicht. Die sich aus den Grundlagen in Kapitel 2 ergebenden Anforderungen an ein AR-System für den Einsatz in Montage-/Demontage werden abgeleitet.

Darüber hinaus wird untersucht, welche der aufgestellten Anforderungen durch die in der Literatur vorgeschlagenen Lösungsansätze bzw. bekannten Anwendungen abgedeckt werden können. Die verbleibenden Anforderungen sind der Ausgangspunkt für die Entwicklung des Konzeptes für die

**„Augmented Reality als Anwendungstechnologie in der Automobilindustrie“**

### **Konzept**

Der konzeptionelle Teil setzt sich aus den Abschnitten der Entwicklungsmethodik und dem dafür notwendigen Datenschema zusammen.

Im Kapitel 3 werden anhand des Einsatzbereiches und der dort vorzufindenden Bedingungen die in Frage kommenden AR-Komponenten verglichen und bewertet. Als Bewertungsgrundlage dienen die in Kapitel 2 formulierten Anforderungen und Problemstellungen für die notwendigen AR-System-Komponenten. Aus den gesammelten Erkenntnissen für die Verwendung von Augmented Reality Systemen in dem vorgesehenen Einsatzbereich wird ein Konzept entwickelt, anhand dessen eine Methode hergeleitet wird, mit der eine problem- und anwendungsspezifische Vorgehensweisen für eine Augmented Reality unterstützte Montage/Demontage entworfen werden kann. Die sich aus der Entwicklungsmethodik ergebenden Anforderungen führen zur Entwicklung eines Datenschemas, das als Grundlage für die zu entwickelnden Anwendungen dient. Dieses soll wiederum seine Basis aus den in der Systemlandschaft von Volkswagen vorliegenden Datenmodellen und entsprechenden -prozessen beziehen.

### **Umsetzung**

In Kapitel 4 werden die zur Veranschaulichung und Verifizierung des Konzeptes entwickelten Augmented Reality Systeme **ARMON** (Augmented Reality unterstützte Montage) und **AR-AUTOR** (Augmented Reality unterstützte Autorenenumgebung) vorgestellt. Dabei stehen der Aufbau der Systeme aus verschiedenen Software- und Hardwaremodulen, sowie die Struktur der Benutzeroberfläche im Mittelpunkt der Betrachtung.

### **Anwendung**

Kapitel 5 verdeutlicht die Anwendung der entwickelten Systeme für eine AR-unterstützte Montage/Demontage am Beispiel des Ausbaus eines Hauptscheinwerfers (Fahrerseite) bei einem Golf 5. Darüber hinaus wird der dafür benötigte Autorenprozeß für die Erstellung des Prozeßablaufes exemplarisch veranschaulicht. Die in Kapitel 5 dargestellten Untersuchungen und deren Auswertungen werden mit den aus der Literatur bekannten Ergebnissen abgeglichen und sollen eine Bewertung des Potentials für einen Einsatz dieser Technologie in dem untersuchten Bereich ermöglichen.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Zum Abschluß wird in Kapitel 6 auf die geplanten Entwicklungen und Umsetzungen eingegangen, die zu einem industriell produktiven Einsatz von Augmented Reality Technologie in dem betrachteten Einsatzbereich führen sollen. Die Vision der Hardware-Unterstützung des Montage/Demontage Bereiches wird ansatzweise beschrieben und soll diese vorliegende Arbeit abrunden.

## 2 Grundlagen Augmented Reality Technologie

Dieses Kapitel hat die Aufgabe, in die Problematik der Augmented Reality Technologie einzuführen.

Zum besseren Verständnis wird in Kapitel 2.1 dargestellt, wie die Augmented Reality Technologie aus der Virtual Reality Technologie entstanden ist, sich ihr gegenüber abgrenzt und einordnen läßt. Darüber hinaus werden der allgemeine Aufbau und die Funktionsweise von Augmented Reality Systemkomponenten exemplarisch beschrieben.

Art und Umfang eines Augmented Reality Systems divergieren stark je nach ihrem Anwendungszweck. Deshalb ist es für die Entwicklung eines Augmented Reality Systems für die Unterstützung des Montage/Demontage Bereiches notwendig, ausgewählte Grundlagen der Augmented Reality Technologie zu präsentieren. Zur Verdeutlichung der Problemstellung dieser Arbeit, wird in Kapitel 2.2 der Stand der Technik für Augmented Reality Systemkomponenten im Allgemeinen aufgezeigt.

Kapitel 2.3 wird einen Überblick der Anwendungsbereiche geben, um die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und den Nutzen der AR-Technologie deutlicher zu zeigen. Abschließend zeigt Kapitel 2.4 eine Übersicht der AR-Forschungsprojekte, die zu der wesentlichen Entwicklung von AR-Komponenten und deren Software beitragen bzw. beigetragen haben.

### 2.1 Entwicklung von Augmented Reality

#### 2.1.1 Geschichtlicher Überblick

Bereits seit langer Zeit ist der Computer für den Menschen ein wichtiges Hilfsmittel, welches aus dem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken ist. Seine Bedeutung wächst kontinuierlich, und es ergeben sich ständig neue Anwendungsfelder. Dabei hat sich sein Erscheinungsbild von den Anfangsjahren hin bis heute stark verändert. Nicht der Mensch hat sich dem Computer angepaßt, sondern der Computer wurde dem Menschen angepaßt.

Im Jahr 1950 ist Whirlwind am MIT (Massachusetts Institute of Technology) der erste Computer, der eine Kathodenstrahlröhre als Ausgabemedium verwendet, um seine Rechenergebnisse zu präsentieren [KHM04A]. Die Faszination mit einer Maschine unmittelbar interagieren zu können, ließ im Jahr 1963 Ivan Sutherland mit SKETCHPAD: A man-machine graphical communication system [SUT63] promovieren. Mit Hilfe eines Lichtstiftes konnten zum ersten Mal Zeichnungen auf einer Kathodenstrahlröhre erzeugt, manipuliert (kopiert, verschoben, skaliert) und gespeichert werden. Dies war ein wichtiger Knotenpunkt der Historie angesichts des Zusammenführens von Computer, graphischer Ausgabe und unmittelbarer Interaktion des Menschen mit der Maschine. Wenige Jahre später beschreibt Sutherland in „The Ultimate Display“ die Vision eines Virtual Reality Systems wie folgt: "Ein Display, das mit einem Digitalrechner verbunden ist, bietet uns die Möglichkeit, mit Begriffen vertraut zu werden, die sich in der materiellen Welt nicht konkretisieren lassen. Es ist ein Zauberspiegel, der in ein mathematisches Wunderland führt. ...[Er] sollte sich an

möglichst viele Sinne wenden. ...Nehmen wir z.B. ein Computermodell von Teilchen in einem elektrischen Feld. Durch ein solches Display könnten die Kräfte, die auf die Ladung einwirken, für unsere Sinne greifbar werden ..." [SUT65].

Nach papierorientierten Ausgabegeräten, Textterminals und grafischen Oberflächen ist es jetzt Virtual Reality, die dem Computer neue Tore öffnet und die Verwendungsmöglichkeiten durch den Menschen erweitert. Mit Virtual Reality ist es möglich, eine intuitive Benutzerschnittstelle für Computer bereitzustellen, die sich in das Umfeld des Menschen integriert.

Mit der Präsentation des ersten 3D „Durchsicht („see-through“)" Head Mounted Displays (HMD)<sup>1</sup> im Jahr 1968 (Bild 2-1) läßt Sutherland seine Vision wahr werden. Dieses erste HMD-System war allerdings so schwer, daß man es nicht auf dem Kopf tragen konnte. Aus diesem Grund war es mit einer gewaltigen Mechanik an der Decke befestigt. Durch diese Anordnung und des offenbar nicht gerade angenehmen Gefühls, daß einen beschlich, wenn man den Kopf in diese Apparatur stecken sollte, wurde das Gerät auch "Damoklesschwert" genannt (Bild 2-2).



*Bild 2-1: Erstes "see-through" 3D HMD [SUT68]*



*Bild 2-2: Sutherland präsentiert das erste 3D-Head Mounted Display [SUT68]*

Die Mechanik, die zum einen die Aufgabe hatte das HMD zu halten, erfüllte zum anderen die Aufgabe, die Blickrichtung des Anwenders im Raum zu bestimmen. Ein angeschlossener Computer rechnet dessen Kopfbewegungen in entsprechende Visionsänderungen auf dem Bildschirm um.

Auf diesem Visualisierungssystem, welches Sutherland und Sproull aus einem Bell Helikopter Projekt verwendeten, konnte das Drahtgittermodell eines Raumes betrachtet werden. Der Anwender konnte über eine Tür auf der West-Seite den Raum betreten und aus den Fenstern in die drei anderen Himmelsrichtungen hinausblicken [SUN04].

Der Begriff der Virtual Reality wurde erst im Jahr 1989 von Jaron Lanier geprägt. Lanier und Zimmermann konnten mit ihrer Erfindung des Datenhandschuhs, der ein mit Sensoren bestückter Handschuh war, die Hand und deren Fingerbewegungen erfassen und zu einem angeschlossenen Computer übertragen [WAR93]. Lanier hatte somit ein fortschrittliches Ein/Ausgabegerät entwickelt und verkaufte als Erster mit

---

<sup>1</sup> Head Mounted Display (HMD) ist ein Anzeigegeräte, das auf bzw. am Kopf des Anwenders getragen wird (siehe Kapitel 2.2.2)

seiner damals gegründeten Firma VPL das VR-Komplettsystem „Reality Build For Two (RB2)“ für virtuelle Welten [KAL93]. Er beschrieb den Begriff der Virtual Reality folgendermaßen:

„...eine computergenerierte, interaktive, dreidimensionale Umgebung, in die der Anwender eintaucht.“

Diese Definition beinhaltet drei ganz wesentliche Punkte, die erheblich für die Akzeptanz des Anwenders und die Verwendung der Virtual Reality Technologie sind [AUK92 ET AL.]. Bild 2-3 zeigt den Zusammenhang der in dieser Definition enthaltenen Bedingungen:

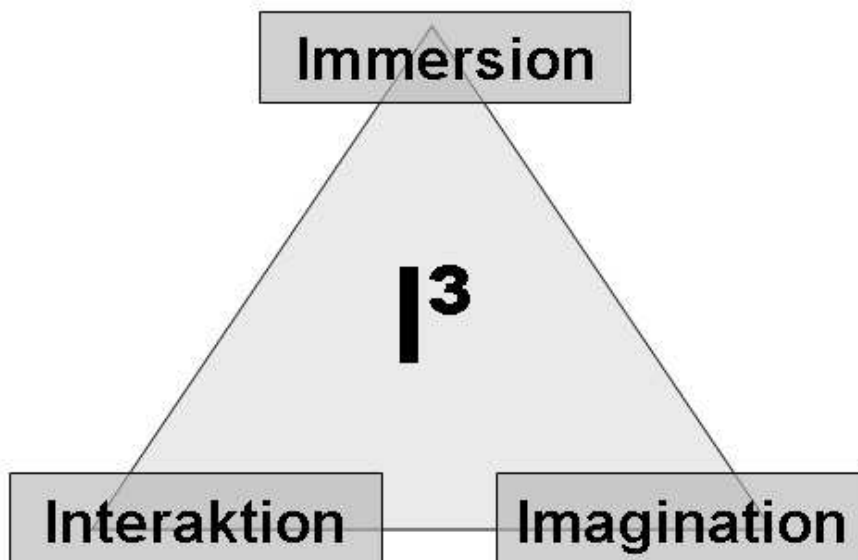


Bild 2-3: I<sup>3</sup>-Dreieck der Virtual Reality [HAL03] [BUR94]

**Immersion:**

bedeutet „Eintauchen“ in die virtuelle Welt. Dabei wird dem Anwender durch seine Sinne das Gefühl vermittelt, in diese Welt integriert und ein Teil von „ihr“ zu sein.

**Interaktion:**

durch Interaktion mit der virtuellen Umgebung und den darin vorkommenden virtuellen Objekten kann sich der Anwender in diese computergenerierte Umgebung integrieren. Die Interaktionsmöglichkeit erlaubt ihm, diese wahrgenommene Welt zu verändern bzw. zu benutzen.

**Imagination:**

erst durch Imagination (die Vorstellungskraft) entsteht beim Anwender das Erlebnis, Teil einer Welt zu sein, die in diesem Fall virtuell und nur im Computer existiert. Die Imagination ist in starkem Maße von der Qualität der Immersion und Interaktion abhängig.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß hinter der Terminologie des Begriffes Virtual Reality die Schaffung einer vom Computer generierten und vom Menschen aufgenommenen Realität steht. Durch den Einsatz bestimmter Geräte wird es dem Anwender ermöglicht, sich interaktiv in dieser vom Computer erzeugten Umgebung zu bewegen.



Dabei soll beim Anwender das Gefühl entstehen, daß diese virtuelle Realität mehr oder weniger der realen Realität entspricht. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Sinne des Menschen getäuscht werden. Seine Wahrnehmungssinne (Bild 2-4) sollen in dieser künstlich erzeugten Welt genauso arbeiten, wie in seiner natürlichen Umwelt.

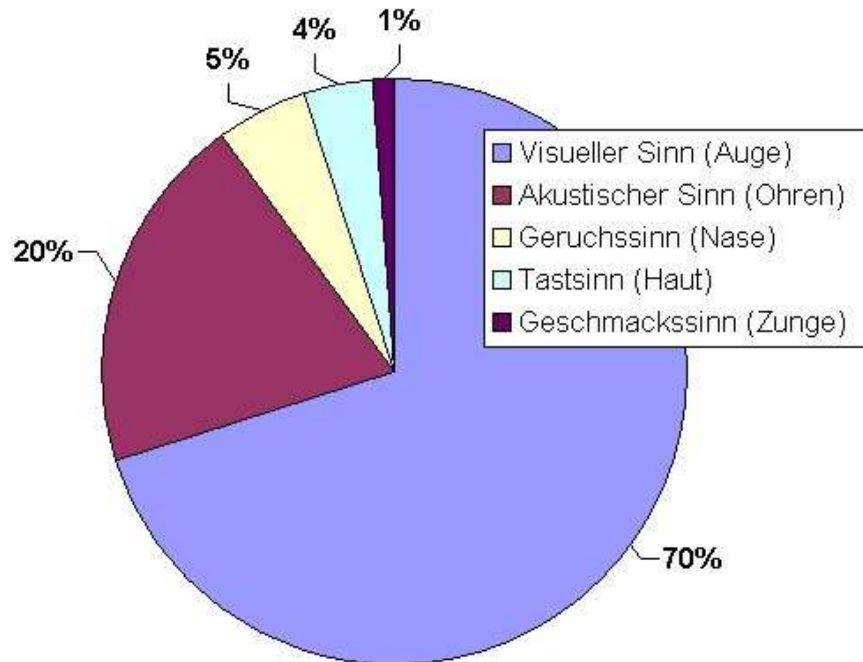


Bild 2-4: Prozentuale Anteile der Sinne an der menschlichen Wahrnehmung [HAL03]

Bei der Erstellung von Virtual Reality Umgebungen und dem Einsatz dieser Technologie, bedient man sich technischer Hilfsmittel, die sich bisweilen auf die visuellen, akustischen und taktilen Sinnesempfindungen beschränken. Die Funktion dieser Sinne für den Menschen werden in Tabelle 2-1 aufgezeigt. Als Sutherland 1968 das erste 3D-HMD vorgestellt hat, legte er den Grundstein für das Empfinden in dieser vom Computer generierten Umgebung integriert zu sein. Durch die Verwendung von HMD's in Virtual Reality Anwendungen wird die gesamte reale Welt abgeblockt und dem Anwender ein Blick in die vollkommen computerkontrollierte Welt präsentiert. Dadurch taucht der Anwender vollständig in diese künstliche Welt ein und wird von der Realität abgekapselt.

Tabelle 2-1: Angesprochene Sinne der menschlichen Wahrnehmung in der Virtual Reality und deren Funktion [KRÖ02]

Sinn	Funktion
Visuell	Räumliches Denken, Informationsaustausch
Akustisch	Orten von unsichtbaren Objekten, Informationsaustausch
Taktil	Fühlen von Oberflächenstrukturen und Temperaturen

Zum Abschluß der Entwicklungsgeschichte der Virtual Reality Technologie ist zu erwähnen, daß sie ihren Ursprung in den Forschungslaboratorien des amerikanischen Militärs und der Raumfahrt hatte. Vor allem durch diese Forschungsfelder in den USA, die das Ziel der Entwicklung perfekter Simulations- und Trainingsanlagen hatten, erhielt diese Technologie eine deutliche Dynamik. Anfang der 80er Jahre startete das Forschungszentrum der amerikanischen Raumfahrtbehörde, das NASA Ames Research Center, mit öffentlichen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Kontext der virtuellen Realität. Im Rahmen des Projektes VIEW (Virtual Interactive Environment Workstation) stand vor allem die Entwicklung eines multimodalen<sup>2</sup> Systems für die Simulation von virtuellen Raumstationen im Mittelpunkt. Zukünftige Teleoperations- und Telepräsenzaufgaben sollten mit diesem System durchgeführt werden können [FIS86 ET AL.]. Schon wenig später erkannte man auch ihren Nutzen für die Medizin und für die Visualisierung in anderen Wissenschaften. Neben der Erschließung der bereits genannten industriellen Einsatzfelder werden die in dieser Technik vorhandenen Potenziale vor allem von der Unterhaltungsindustrie weiter verfolgt.

Mit seinem ersten „see-through“ HMD wollte Sutherland eine Interaktionsmöglichkeit für den Anwender in einer virtuellen Umgebung schaffen. Das Problem aber war zu der damaligen Zeit, daß die graphische Rechenleistung nicht ausreichte, um virtuelle Menüs und Befehle darzustellen. Aus diesem Grund wurden große Schilder mit Befehlsbezeichnungen an der Wand befestigt. Durch einen Handcontroller konnte der Anwender diese realen Schilder virtuell auswählen und infolgedessen mit dem Computer interagieren. Obwohl die Erfinder nicht explizit versuchten dreidimensionale Objekte mit realen Objekten zu überlagern, hatten sie unbewußt ein Beispiel von der Vermischung realer und virtueller Objekte geschaffen [AZU99].

Diese Entwicklung ermöglichte es, neben der Virtual Reality, eine ihr sehr nah verwandte Technologie zu schaffen: die Augmented Reality Technologie. Trotz einer Vielzahl an Gemeinsamkeiten wurden die meisten Anstrengungen in die Umsetzung und Verwirklichung der Virtual Reality Technologie investiert. Erst Anfang der 90er Jahre wurde der Begriff „Augmented Reality“ von David Mizell und Tom Caudell geprägt [CAU92 ET AL.]. Der Begriff „Augmented“ stammt von dem englischen Verb „to augment“ ab und bedeutet im Deutschen übersetzt „erweitern“, „anreichern“. Deshalb spricht man auch von „erweiterter Realität“ oder „augmentierter Realität“ [LEO04].

Eines der umfassendsten Augmented Reality Entwicklungsprojekte in der Industrie wurde bei Boeing durchgeführt. In diesem Projekt wurden zwei Anwendungen untersucht, die mit Augmented Reality Technologie unterstützt werden sollten. Die erste Anwendung war die Herstellung von Kabelbäumen für Flugzeuge. Dabei war die übliche Vorgehensweise folgendermaßen: Jedes einzelne Kabel des Gesamtkabelbaumes mußte von dem Arbeiter auf einem großen Holzbrett verlegt werden. Als Orientierungshilfe war auf dem Holzbrett der ausgedruckte Montageplan des zu fertigenden Kabelbaumes geklebt. Die benötigten Kabellängen könnten dann unproblematisch eingehalten werden, denn auf diesem Brett waren kleine Haken

---

<sup>2</sup> Multimodal bedeutet, daß der Benutzer die virtuelle Umgebung sowohl über sämtliche Sinne wahrnimmt, als auch Rückkopplung über sämtliche Sinne erhält. In erster Linie werden hierbei der visuelle sowie der auditive Wahrnehmungskanal des Menschen angesprochen. Um eine vollständige Illusion zu erzielen müßte auch die haptische, olfaktorische sowie die thermozeptive Wahrnehmung angesprochen werden [EBB98]

angebracht, um die das Kabel gelegt werden mußte [OVR04] [CUR98 ET AL.] [NAS97] [CHU99 ET AL.] [CAU92 ET AL.].

Die Augmented Reality Unterstützung wurde damals mit einem von Mizell so genannten HUD<sup>3</sup> und einem tragbaren Rechner umgesetzt. Dabei wurde auf einem „leeren“ Verlegebrett (ohne aufgeklebten Montageplan) dem Arbeiter die Position der anzubringenden Haken in dem HMD angezeigt. Hatte er alle Haken angebracht, wurde ihm jeder Weg der individuell zu verlegenden Kabel des Kabelbaumes anhand von hellen roten Linien in seinem Sichtfeld eingeblendet (Bild 2-5).



*Bild 2-5: Dr. David Mizell bei der Kabelbaum-verlegung mit Hilfe von Augmented Reality [VAL99]*

Die zweite untersuchte Anwendung war die Folgemontage der Stecker an den zuvor erstellten Kabelbaum. Dabei mußten die in dem Kabelbaum befindlichen Einzelkabel in einen Mehrfachstecker integriert werden, der bis zu 50 Eingänge hatte. Der Arbeiter wurde bei dieser stark fehlerbehafteten Aufgabe nur von einem Papierschaltplan unterstützt. Die Augmented Reality unterstützte Montage visualisierte dem Arbeiter durch eine rote Linie, die aus dem Stecker herausragte, die korrekte Position. Gleichzeitig bekam der Arbeiter die Nummer des Kabels und eine Beschreibung der Kabelfarbe eingeblendet, die ihn somit bei der Auswahl unterstützte [BOE04].

### 2.1.2 Definition

In der Literatur gibt es unterschiedliche Ansätze für eine Umschreibung des Begriffes Augmented Reality. [MIL99 ET AL.] differenziert insgesamt drei Kategorien in Bezug auf die Anwendungen in verschiedenen Einsatzbereichen und den entsprechenden unterschiedlichen systemtechnischen Zusammensetzungen.

Die erste Kategorie sieht für den Einsatz der Augmented Reality Technologie einzig und allein die Verwendung von HMD's oder HUD's vor. Dabei nimmt der Anwender die reale Welt entweder anhand von optischen Durchsichtssystemen oder über

---

<sup>3</sup> HUD: Mizell nannte das von ihm in den Versuchen verwendete Display HUD (heads-up, see-through, head-mounted display) in der Literatur auch Head-Up Display [OVR04]

Videoverbindungen wahr, in die entsprechend computergenerierte Objekte überlagert werden.

Die zweite Kategorie läßt eine wesentlich breitere Bandbreite an Visualisierungskomponenten neben den HMD's zu. Sie beinhaltet die Vielzahl an Möglichkeiten, mit denen die reale Umgebung anhand von virtuellen Objekten augmentiert werden kann, wie z.B. große Anzeigen (Projektionswände) oder monitorbasierte Bildschirme.

Die dritte und letzte in der Literatur vorhandene Klassifizierung des Begriffes Augmented Reality lehnt sich an [AZU97] und beschreibt diese als Technologie, die:

- virtuelle und reale Informationen miteinander verknüpft,
- eine Interaktion des Anwenders in Echtzeit erlaubt und
- eine dreidimensionale Registrierung<sup>4</sup> verwirklicht.

Diese Definition des Begriffes löst sich bewußt von der Verwendung spezieller Geräte, bewahrt sich aber die für den Einsatz von Augmented Reality Technologie wesentlichen Komponenten und Anforderungen.

Die weitere Vorgehensweise und systemtechnischen Aufbauten im Rahmen dieser Arbeit lehnen sich an die dritte Definition. Gerade die in der Definition enthaltenen Parameter Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung (Interaktion), Verknüpfung von realen und virtuellen Informationen sowie der Registrierung sind wesentliche Anforderungen für den Aufbau eines unterstützenden Systems für den Montage/Demontage Bereich. Nur unter der Berücksichtigung der genannten Parameter können die Vorteile der Augmented Reality Technologie zu einem produktiven Einsatz vorangetrieben werden und somit das in dieser Technologie vorhandene Nutzenpotenzial voll zum Tragen kommen lassen.

Zusammenfassend wird für diese hier vorliegende Arbeit der Begriff der Augmented Reality wie folgt definiert:

„Augmented Reality beschreibt die Ergänzung der optischen und auditiven Sinneswahrnehmung durch die situationsgerechte Bereitstellung von computergenerierten Informationen“

Diese Definition konzentriert sich einzig und allein auf die Ergänzung der visuellen und akustischen Wahrnehmung. Es werden keine Beschränkungen bzgl. der Hardware formuliert, da momentan erhältliche tragbare Geräte den hohen Anforderungen der Industrie noch nicht gerecht werden. Aufgrund der rasanten computertechnischen Entwicklung sind sicherlich bald kleine, „tragbare“ und leistungsstarke Geräte erhältlich und somit einsetzbar. Denn im Gegensatz zu der ihr eng verwandten Virtual Reality Technologie, verknüpft Augmented Reality die Realität mit virtuellen Zusatzinformationen. Der Anwender erfährt nach wie vor die physikalischen Grenzen seiner Umgebung durch olfaktorische, gustatorische und taktile Sinnesreizungen, die nicht wie in der Virtual Reality aufwendig simuliert werden müssen. Diese sind für den Einsatzbereich von großer Wichtigkeit und müssen von dem zu unterstützenden

---

<sup>4</sup> Als dreidimensionale Registrierung wird die Synchronisation zwischen virtuellen Objekten und der Realität bezeichnet. Dies ist notwendig um bspw. ein virtuelles Bauteil in exakter Einbaulage an seinem realen Pendant zu visualisieren [REI02 ET AL.].

System unbeeinträchtigt bleiben. Selbst die Ergänzung der optischen und auditiven Sinne darf den Anwender nicht in Gefahr bringen. Somit ist das Ziel der Augmented Reality nicht eine möglichst perfekte Nachbildung der Umgebung, sondern vielmehr eine sinnvolle Ergänzung der Wahrnehmung des Anwenders mit virtuellen Informationen.

### 2.1.3 Abgrenzung

Eine Abgrenzung der beiden Technologien Virtual und Augmented Reality kann anhand des Reality – Virtuality Continuum (Bild 2-6) vorgenommen werden. Dabei unterscheidet man den Grad der Anreicherung der menschlichen Wahrnehmung mit computergenerierten Zusatzinformationen. Hierbei muß zwischen der virtuellen Umgebung (Virtual Environment), der vollständig computergenerierten Umgebung und der realen Umgebung (Real Environment) des Anwenders unterschieden werden.

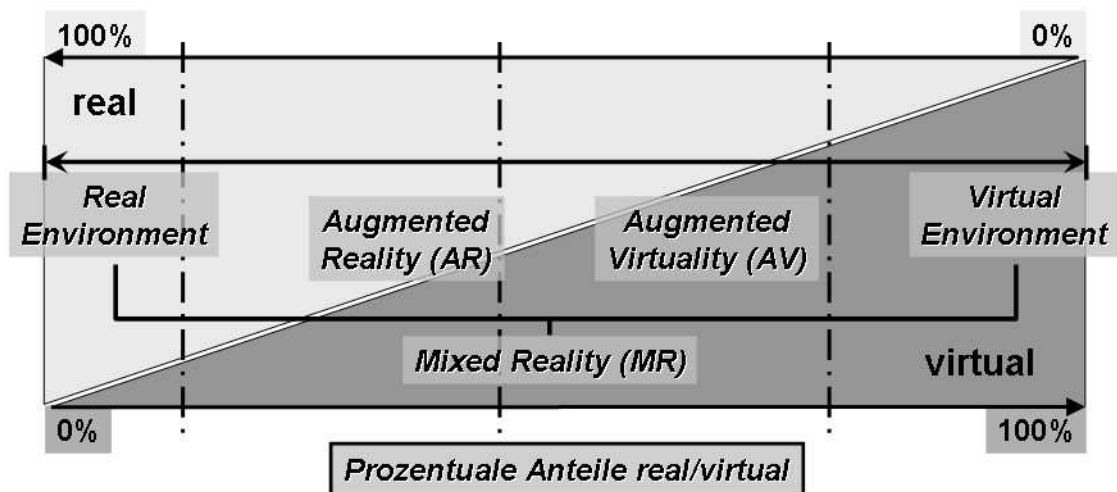


Bild 2-6: Reality – Virtuality Continuum nach [MIL99 ET AL.]und [KUN02]

Der Bereich zwischen den beiden Positionen, die jeweils zu 100 Prozent real oder virtuell sind, wird als Mischrealität (Mixed Reality) oder aber auch als Reality – Virtuality Continuum beschrieben. Dieser teilt sich wiederum in die Bereiche Erweiterte Realität (Augmented Reality (AR)) und Erweiterte Virtualität (Augmented Virtuality (AV)) auf. Währenddessen der Schwerpunkt bei der Augmented Reality in der Wahrnehmung der Realität liegt, ist er bei der Augmented Virtuality statt dessen in der Wahrnehmung der Virtualität zu finden. Eine Unterscheidung dieser Bereiche erfolgt aufgrund des Grades der Anreicherung von computergenerierten Informationen in die reale Umgebung, oder aber der gegenläufigen Anreicherung von realen Objekten in die virtuelle Umgebung [MIL94A ET AL.] [MIL94B ET AL.].

## 2.2 Stand der Technik

### 2.2.1 Aufbau und Funktionsweise von Augmented Reality-Systemen

Der Aufbau eines Augmented Reality Systems (Bild 2-7) besteht allgemein betrachtet aus den folgenden Hauptkomponenten:

- Anzeigegerät (HMD, Monitor, etc.)
- Trackingsystem
- Computer (Datenhaltungssystem)
- Software (Szenengenerator)

Für eine situationsgerechte Bereitstellung von Informationen im Sichtfeld des Anwenders ist es notwendig, die Blickrichtung und Position des Anwenders relativ zu dem betrachteten Objekt zu erfassen und zu bestimmen. Erst anhand dieser Informationen ist es möglich, das Sichtfeld mit situationsabhängigen Informationen (virtuelle Objekte) zu erweitern. Zu diesem Zweck werden so genannte Trackingsysteme eingesetzt, welche die erfaßten x,y,z-Koordinaten zum einen an den Szenengenerator und zum anderen an das Datenhaltungssystem übermitteln. Anhand dieser Informationen sucht das Datenhaltungssystem nach den positionsabhängigen passenden virtuellen Informationen (z.B. Arbeitsanweisung mit speziellem Werkzeug). Diese Daten sendet das Datenhaltungssystem an den Szenengenerator. Dort werden die übermittelten Informationen in Bezug auf die Position und Blickrichtung des Anwenders perspektivisch richtig errechnet und an das Anzeigegerät geschickt. Erst über das Anzeigegerät werden die Informationen in das Sichtfeld des Anwenders visualisiert.

Der in Bild 2-7 dargestellte Aufbau eines Augmented Reality Systems zeigt exemplarisch den minimalen Geräteumfang. Die Ausprägung eines solchen Systems kann entsprechend des Anwendungsbereiches und den damit verbundenen unterschiedlichen Anforderungen variieren. Ist es z.B. nicht notwendig, die virtuellen Informationen kongruent zu überlagern, so kann auf die Verwendung eines Trackingsystems verzichtet werden.

Für eine Anwendung mit der Anforderung einer kongruenten Überlagerung von virtuellen Objekten mit den betrachteten realen Objekten, müssen, je nach geforderter Genauigkeit der Überdeckung, Fein- oder Grobtrackingsysteme eingesetzt werden. Ein solches Grobtrackingsystem ist beispielsweise, das Global Positioning System (GPS), welches mit einer Genauigkeit von 3-10 m arbeitet [Usc95]. Wobei Feintrackingsysteme hingegen eine Genauigkeit von bis zu +/- 1 mm erreichen können [KAT99].

Um für einen Augmented Reality System Anwender einen besonders hohen Grad der Immersion<sup>5</sup> erreichen zu können, müssen die virtuellen Objekte stets paßgenau mit denen der Realität überlagert werden. Diese Schwierigkeit der kongruenten Überlagerung bezeichnet man als Registrierungsproblem, welches sowohl bei Augmented Reality als auch bei Virtual Reality Anwendungen auftritt. Die Ursache

---

<sup>5</sup> Immersion beschreibt den Grad des Eintauchens in die virtuelle Welt

hierfür liegt in der unterschiedlich starken Ausprägung von Sinneswahrnehmungen (siehe Bild 2-4). Demzufolge wird der Mensch durch visuelle Reize stärker beeinflusst als durch akustische oder haptische. Dieses Phänomen bezeichnet man auch als „Visual Capture“ [AZU97].

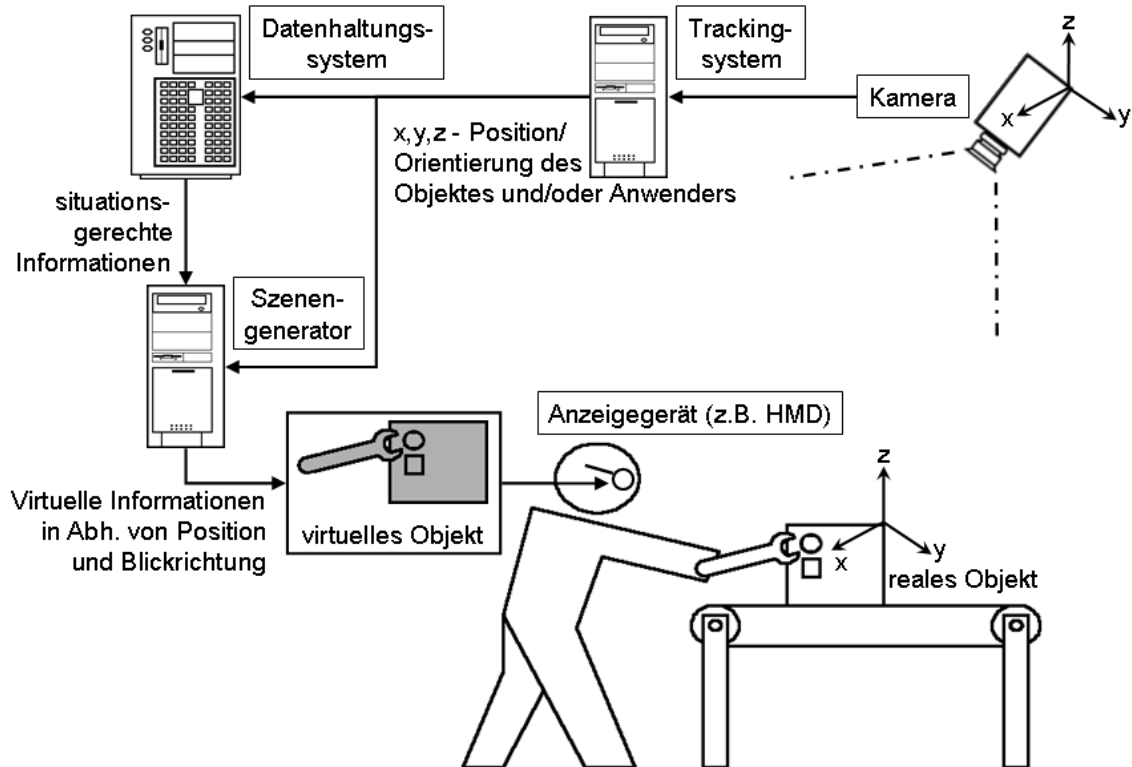


Bild 2-7: Grundsätzlicher Aufbau von Augmented Reality Systemen

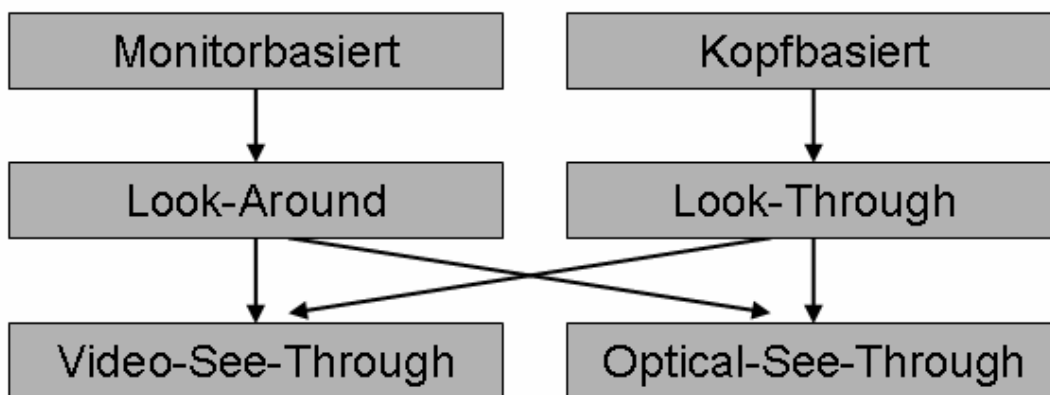
Dem Anwender einer Virtual Reality Anwendung bleibt nur das haptische Feedback, um einen Anhaltspunkt zu bekommen, wie gut überlagert wird. Da er ausschließlich die virtuelle Umgebung sieht, ist es für ihn nicht nachvollziehbar, ob sich z.B. seine Hand genauso bewegt wie die in der virtuellen Umgebung eingeblendete. Erst wenn die Lage des dargestellten virtuellen Handmodells gravierend von der Stellung seiner realen Hand abweicht, fällt ihm dies durch den haptischen Eindruck auf. Würde der Anwender hingegen seine reale Hand zusätzlich sehen können, so würde er die kleinste Abweichung zwischen dem angezeigten überlagerten virtuellen und dem realen Objekt sofort bemerken. Augmented Reality Systeme stellen somit wesentlich höhere Anforderungen an die Positionserfassung und -bestimmung als Virtual Reality Anwendungen.

### 2.2.2 Visualisierungssysteme und -techniken

Für die Visualisierung der generierten virtuellen Objekte können verschiedene Anzeigegeräte eingesetzt werden. Dabei ist eine Klassifizierung in monitorbasierte und kopfbasierte Geräte vorzunehmen. Monitorbasierte Geräte stellen die Informationen auf frei beweglichen, herkömmlichen Computermonitoren dar, wohingegen kopfbasierte Geräte, wie z.B. HMD's, von dem Anwender ähnlich wie eine Brille auf dem Kopf getragen werden.

Diese beiden Geräteklassen werden darüber hinaus in Bezug auf die Wahrnehmung von virtuellen Informationen in so genannte Umblicksysteme (Look-Around) und Durchsichtssysteme (Look-Through) unterschieden. Umblicksysteme erlauben dem Anwender, neben der Wahrnehmung der virtuellen Informationen, einen freien Blick in die reale Umgebung, ähnlich wie bei einem Bildschirmarbeitsplatz. Im Gegensatz hierzu ist das Sichtfeld des Anwenders bei Durchsichtssystemen fast vollständig verdeckt und schränkt den natürlichen Sichtbereich des Menschen, der bei ca. 200° liegt, unterschiedlich stark ein.

So wie umblickbasierte (Look-Around) Systeme ausschließlich monitorbasiert realisiert werden können, werden durchsicht-basierte Systeme nur als kopfbasierte Geräte ausgeführt. Beiden Geräteklassen ist gemein, daß sie sowohl die Video-See-Through (VST) als auch die Optical-See-Through (OST) Visualisierungsklasse annehmen können (siehe Bild 2-8).



*Bild 2-8: Übersicht der Anzeigetechniken*

### **Monitorbasierte Anzeigegeräte**

Der Aufbau eines solchen Systems kann sowohl statisch als auch mobil erfolgen. Dabei können nach [ALT02] die virtuellen Informationen auf unterschiedlichen verwendbaren Anzeigegeräten wie:

- fest installierten Bildschirmen,
- mobilen, handgetragenen Kleinstrechnern oder
- mobilen, am Arm getragenen Bildschirmen angezeigt werden.

Diese Geräteklasse kann nach Bild 2-8 nicht nur Video-See-Through als Visualisierungstechnik sondern auch Optical-See-Through verwenden. [ENC00 ET AL.] beschreibt einen fest installierten, halbdurchlässigen Spiegel, durch den die reale Umgebung vom Anwender betrachtet werden kann. Mittels Rückprojektion werden auf diesen Spiegel entsprechend virtuelle Objekte angezeigt. In unterschiedlichen Anwendungen, wie z.B. in [MED04] ist darüber hinaus die Verwendung von durchlässigen AR-Displays beschrieben.

Bei einem mobilen System muß die Position der Kamera zusätzlich von einem Trackingsystem erfaßt werden, um einen Bezug zwischen den angezeigten virtuellen Objekten und der betrachteten Umgebung herstellen zu können. Der Aufbau einer



mobilen, monitorbasierten Augmented Reality Anwendung ist exemplarisch in Bild 2-9 dargestellt.

Monitorbasierte Systeme können auch für eine Stereovisualisierung eingesetzt werden, wodurch der Anwender für die korrekte Wahrnehmung eine so genannte Shutterbrille<sup>6</sup> benötigt.

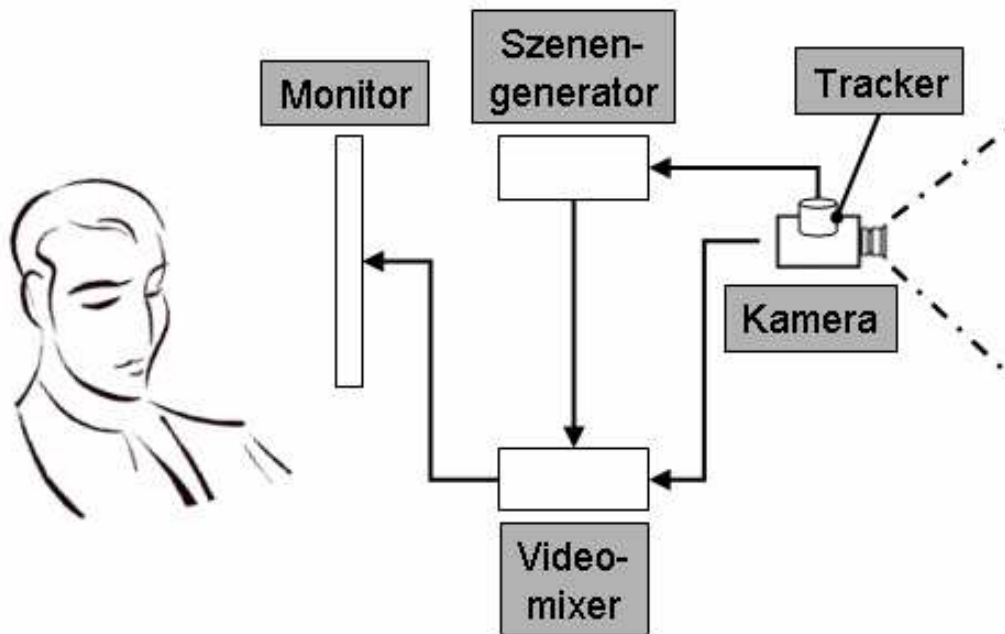


Bild 2-9: Konzeptdiagramm eines monitor-basierten AR-Systems nach [AZU97]

### Kopfbasierte Anzeigegeräte

Kopfbasierte Geräte werden, wie der Name suggeriert, von dem Anwender am Kopf getragen und präsentieren die errechnete Szenenansicht durch einen Strahlenteiler zusammen mit der wahrgenommenen realen Umgebung im Sichtfeld. Dabei handelt es sich um so genannte HMD, HUD oder auch HWD<sup>7</sup>. Bei der Verwendung von kopfbasierten Anzeigegeräten wird nach Bild 2-8 ebenfalls, wie bei den monitorbasierten Anzeigegeräten, eine Einteilung in die beiden Visualisierungstechniken VST und OST vorgenommen. Die grundsätzlichen baulichen Unterschiede gegenüber den monitorbasierten und den kopfbasierten Anzeigegeräten werden exemplarisch in Bild 2-10 dargestellt.

Nach [FEI02] wird bei OST-Visualisierung das virtuelle Bild im Sichtfeld des Anwenders durch einen Strahlenteiler, der sich in der Sehachse befindet, angezeigt. Die

---

<sup>6</sup> Shutterbrille: Eine Shutterbrille besteht aus zwei Flüssigkristall-Anzeigen, die elektronisch zwischen durchlässig und undurchlässig umgeschaltet werden können. Damit lässt sich wahlweise das linke oder das rechte Auge abdunkeln. Mit einer solchen Brille ist es möglich Stereobilder auf einem Monitor zu betrachten.

<sup>7</sup> HWD bedeutet **H**ead **W**orn **D**isplay. Alternative Bezeichnung nach [FEI02] für ein Head Mounted Display

wahrgenommenen Objekte (real und virtuell) werden somit im Auge des Anwenders zusammengeführt.

Ganz anders ist die technische Realisierung bei der VST-Visualisierung. Das reale Sichtfeld wird hier mit einer Videokamera aufgenommen und in einem Video-Mixer mit den virtuellen Informationen angereichert. Diese werden auf einem vor dem Auge des Anwenders positionierten Monitor angezeigt.

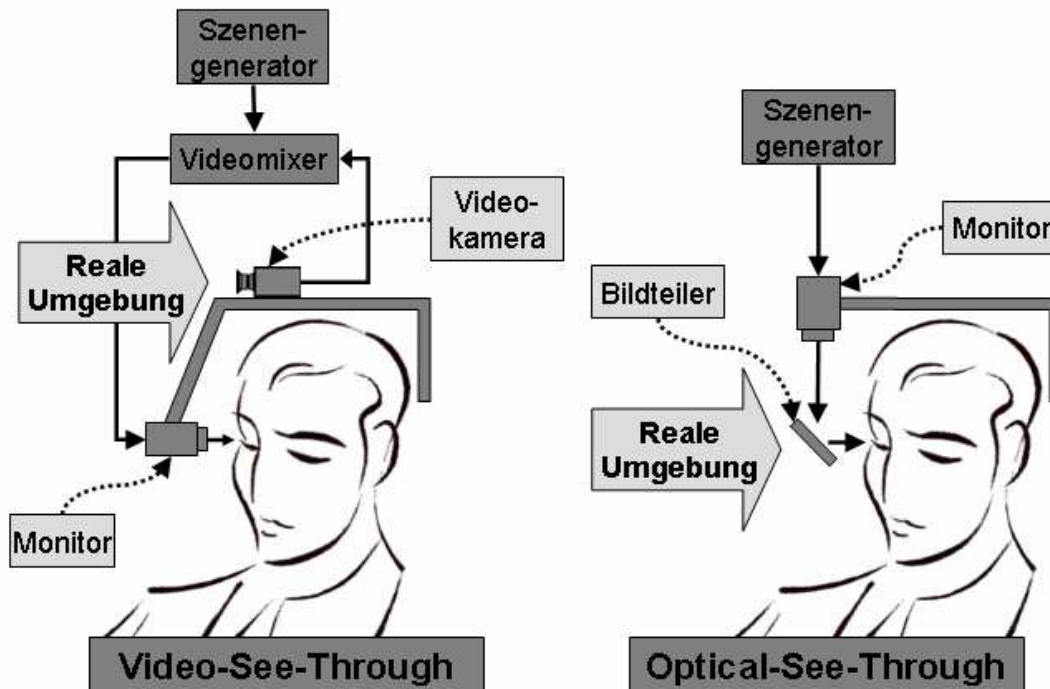


Bild 2-10: Visualisierungsklassen von Look-Through-Geräten

Je nachdem wie die virtuellen Informationen im Sichtfeld des Anwenders angezeigt werden, differenziert man die kopfbasierten Anzeigegeräte in monokular, biokular und binokular. In Bild 2-11 werden die Bauformen in ihrem Aufbau schematisch dargestellt.

Der Aufbau der monokularen Bauform zeigt eine Bildquelle, die sich vor nur einem Auge des Anwenders befindet. Demgegenüber sind bei der binokularen Bauform zwei getrennte Bildquellen mit gesonderten, optischen Strahlengängen vor beiden Augen des Anwenders positioniert. Die technische Umsetzung der binokularen Bauform zeigt, daß mit beiden Augen eine Bildquelle betrachtet wird. Die in der Bildquelle dargestellten Informationen werden jedoch durch getrennte Strahlengänge für beide Augen entsprechend erstellt. Die biokulare und binokulare Bauform der kopfbasierten Anzeigegeräten ermöglicht durch die entsprechende Darstellung eine stereoskopische Darstellung und somit die Anzeige von dreidimensionalen Objekten.

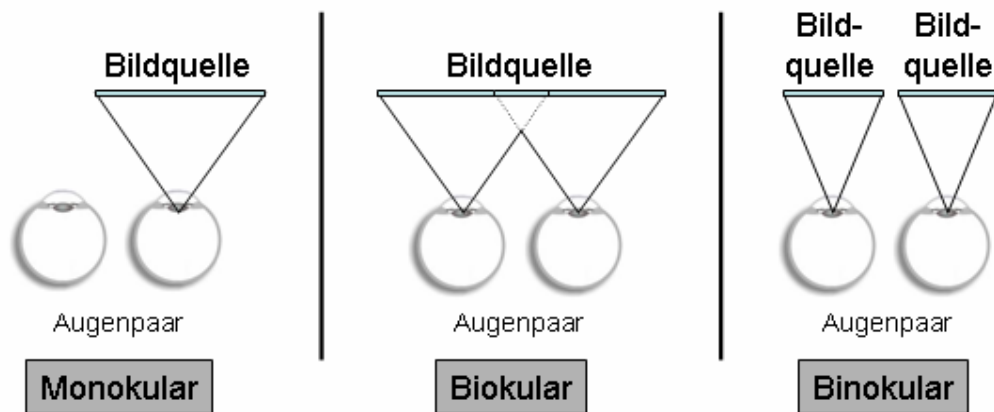


Bild 2-11: Bauformen von kopfbasierten Anzeigegeräten nach [ALT02]

Die Art und Weise wie die Informationen anhand der Anzeigegeräte dem Anwender in sein Sichtfeld visualisiert werden, hängt von der zu unterstützenden Aufgabe, der angeforderten Unterstützungsart und dem eingesetzten Augmented Reality System ab. Aus diesem Grund ist eine Klassifikation der Visualisierungsarten von Augmented Reality relevanten Informationen wie in Bild 2-12 ableitbar.

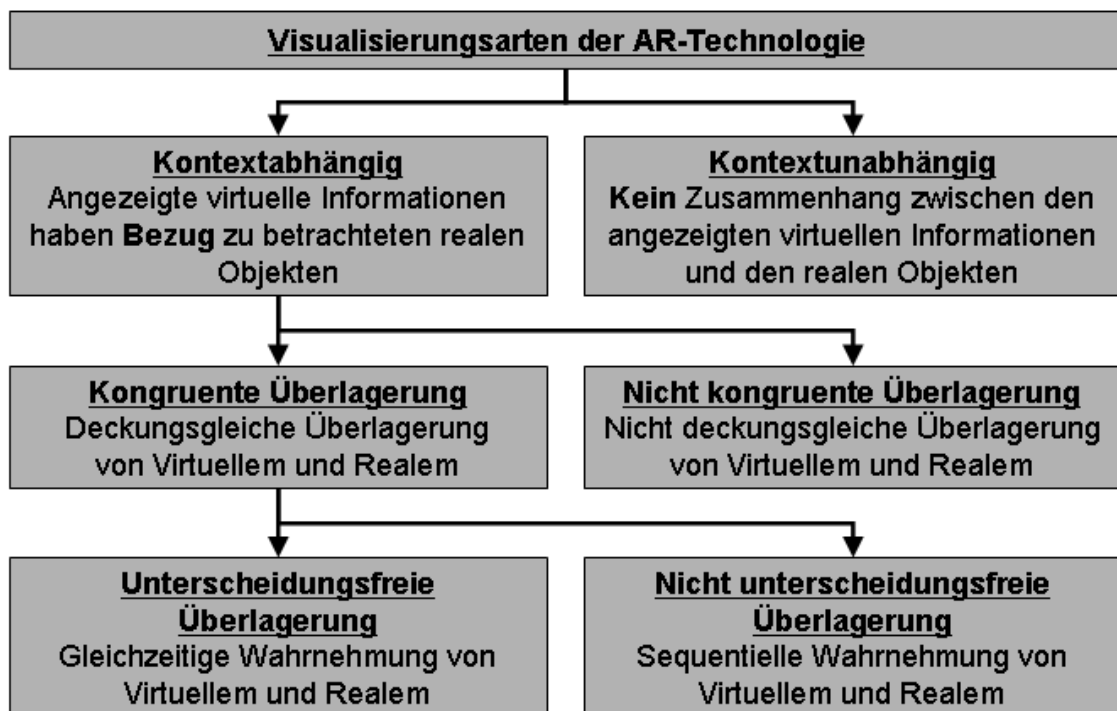


Bild 2-12: Klassifikation von Visualisierungsarten nach [ALT02]

Eine Visualisierung von Augmented Reality Informationen ist sowohl kontextabhängig als auch kontextunabhängig grundsätzlich möglich. Kontextabhängig bedeutet, daß die angezeigten virtuellen Informationen in Bezug zu den betrachteten realen Objekten

stehen. Im Gegensatz dazu bedeutet kontextunabhängig, daß kein Zusammenhang zwischen den angezeigten virtuellen Informationen und den realen Objekten besteht.

Was diese grundsätzlichen Visualisierungsarten betrifft, gibt es technische Anforderungen bezüglich der Positionserfassung des Anwenders und des realen Objektes. Bei der kontextabhängigen Visualisierung müssen zu jedem Zeitpunkt die genauen Positionierungs- und Orientierungswerte (6 DOF)<sup>8</sup> bekannt sein, damit die virtuellen Objekte in dem Szenengenerator entsprechend berechnet und zur Verfügung gestellt werden können. Wohingegen bei der kontextunabhängigen Visualisierung virtuelle Informationen ohne Bezug zu den betrachteten realen Objekten eingeblendet werden.

Nach Bild 2-12 erfolgt die kontextabhängige Visualisierung als deckungsgleiche (kongruente) Überlagerung oder aber als nicht deckungsgleiche Überlagerung mit realen betrachteten Objekten. Um eine deckungsgleiche Überlagerung von virtuellen mit den realen Objekten zu gewährleisten, ist der Einsatz von so genannten „Fein-Tracking-Systemen“ erforderlich, um die Genauigkeitsanforderungen bezüglich der Bestimmung von Position und Blickrichtung des Anwenders erfüllen zu können. Bei einer nicht deckungsgleichen Überlagerung ist lediglich die Position des Anwenders anhand eines „Grob-Tracking-Systems“ zu bestimmen.

Eine deckungsgleiche (kongruente) Überlagerung kann sogleich in eine unterscheidungsfreie als auch in eine nicht unterscheidungsfreie Visualisierung differenziert werden. Bei der unterscheidungsfreien Visualisierung werden das reale und das virtuelle Objekt in einer Objektweite angezeigt und entsprechend von dem Anwender gleichzeitig wahrgenommen.

### 2.2.3 Trackingsysteme

Um eine kontextabhängige Visualisierung umsetzen zu können, ist, wie oben beschrieben, die Positionsbestimmung des Anwenders notwendig, um Transformationsinformationen von Objekten der Realwelt auf virtuelle Objekte übertragen zu können. Für eine solche Bestimmung werden so genannte Trackingsysteme eingesetzt, die nach [ROL01 ET AL.] in sechs grundsätzliche Kategorien eingeteilt werden können. Die Einteilung erfolgt aufgrund der unterschiedlichen technologischen Ansätze:

- Laufzeit-Messungs-Verfahren (Time of Flight)
- Optisches Tracking (Spatial Scan = Räumliche Abtastung))
- Inertiales Tracking (Inertial Scan = Trägheits-Erfassung)
- Mechanisches Tracking (Mechanical Linkages)
- Phasen-Differenz-Verfahren (Phase Differences)
- Elektro-Magnetisch (Direct Field Sensing)

---

<sup>8</sup> DOF **D**egrees **O**f **F**reedom bedeutet Freiheitsgrade

Grundsätzlich ist allen Trackingsystem die Bestimmung der Position für verschiedene Objekte gemeinsam (Bild 2-13). In bezug auf ein festes Weltkoordinatensystems kann mit Hilfe der Trackingsysteme die Position des Anwenders, des Objektes oder aber beidem erfaßt werden [ALT02].

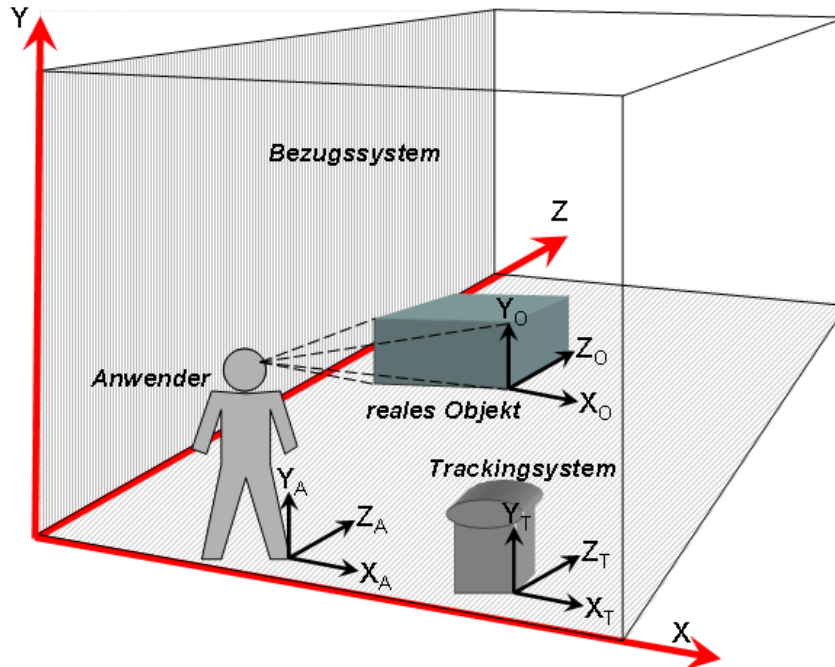


Bild 2-13: Bestimmung der Position mit Trackingverfahren nach [ALT02]

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Kategorien im Einzelnen von der Funktionsweise her beschrieben und im Speziellen die Eigenschaften der verschiedenen Verfahren in Abhängigkeit von der zugehörigen Kategorie benannt. Abschließend werden die beschriebenen Systeme nach den in Tabelle 2-2 genannten technischen Bemessungskriterien bewertet:

Tabelle 2-2: Technische Bewertungskriterien von Trackingsystemen

Kriterium	Definition
Lag	Verzögerungszeit zwischen Sensorbewegung und resultierendem Signal
Update-Rate	Aktualisierungsfrequenz der vom Sensor erfassten Werte
Genauigkeit	Meßtoleranz des Trackingsystems
Auflösung	Genauigkeit des Sensors in Positionierung / Orientierung
Reichweite	Max. Abstand zwischen Sender und Empfänger
Interferenz	Anfälligkeit des Messverfahrens bzgl. äußeren Einflüssen

### 2.2.3.1 Laufzeit-Messungs-Verfahren (TOF = Time of Flight)

Bei diesem Verfahren wird die Zeit gemessen, die ein Signal benötigt, um von einem Sender zu einem Empfänger übertragen zu werden. Zu diesen Laufzeit-Messungs-Verfahren zählen beispielsweise die Ultraschallmessung und das Global Positioning System (GPS).

Die Ultraschallmessung verwendet drei oder mehr Emitter, die Töne im Ultraschallbereich (~20-40 Khz) aussenden. Demgegenüber stehen Empfänger, die diese ausgesendeten Töne empfangen können. Aufgrund dessen, daß die relative Position des Referenz- und Zielpunktes bekannt sind, kann die Position und Ausrichtung der von den Emittlern und Empfängern aufgespannten Ebene im Raum über eine Triangulation berechnet werden.

Die Vorteile dieser Technik liegen in der hohen Genauigkeit, der kleinen Bauform, dem niedrigen Gewicht und den niedrigen Kosten.

Die Genauigkeit der Ultraschallübertragung variiert stark in Abhängigkeit von mehreren Variablen, wie z.B. der konstanten Geschwindigkeit des akustischen Signals. Diese wird durch Umgebungseinflüsse wie z.B. Temperatur, Druck, Luftfeuchtigkeit, Turbulenzen und Positionsveränderungen beeinflusst. Darüber hinaus nimmt die Stärke des Signals über die Entfernung ab. Störende, ebenfalls hochfrequente Geräuschquellen und bauliche Verdeckungen können die Positionsbestimmung erschweren [ROL01 ET AL.] [MÜL00 ET AL.].

Das Global Positioning System (GPS) arbeitet nach dem gleichen technischen Grundprinzip der Triangulation und ist ein satellitengestütztes System zur weltweiten Positionsbestimmung, das vom Verteidigungsministerium der USA betrieben wird. Die offizielle Bezeichnung ist NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging). Dieses System war ursprünglich im militärischen Bereich zur Navigation (Waffensystemen, Kriegsschiffen, Flugzeugen) vorgesehen. Es wird jedoch auch zivil in der See- und Luftfahrt, durch Navigationssysteme im Auto und zur Orientierung im Outdoor-Bereich genutzt.

GPS basiert auf insgesamt 24 Satelliten, die die Erde umkreisen und dabei Signale ausstrahlen, die von speziellen Empfangsgeräten ausgewertet werden. Aus den Laufzeitunterschieden verschiedener Signale kann der GPS-Empfänger den Abstand zu den einzelnen Satelliten und daher seine Position relativ zu diesen Satelliten errechnen. Für eine solche räumliche Positionsbestimmung sind die Signale von mindestens vier Satelliten notwendig. Da die Daten der Umlaufbahnen der Satelliten bekannt sind, kann daraus die Position auf der Erdoberfläche und die Höhe bestimmt werden. Voraussetzung ist, daß die Daten von den Satelliten mit einem Zeitstempel versehen und synchronisiert ausgestrahlt werden. Dafür ist jeder Satellit mit Atomuhren ausgestattet. Ein GPS-Signal enthält Informationen zum Status des Satelliten, seiner Umlaufbahn sowie seine genaue Uhrzeit. Es gibt die folgenden zwei Dienstklassen:

- SPS (Standard Positioning Service) ist für jedermann verfügbar und ist ursprünglich auf eine Genauigkeit von 100 Metern (in 95% der Messungen) ausgelegt worden.
- PPS (Precise Positioning Service) ist der militärischen Nutzung vorbehalten und ist ursprünglich auf eine Genauigkeit von 22 Metern (in 95% der Messungen) ausgelegt worden. Diese Signale werden verschlüsselt ausgestrahlt.

Um nicht-autorisierte Nutzer (militärische Gegner) von einer genauen Positionsbestimmung auszuschließen, wurde die Genauigkeit für SPS künstlich verschlechtert (Selective Availability, SA). Am 1. Mai 2000 wurde diese künstliche Ungenauigkeit abgeschaltet, so daß das System seitdem auch außerhalb des bisherigen exklusiven Anwendungsbereichs zur präzisen Positionsbestimmung genutzt

werden kann. Dadurch wurde eine Meßgenauigkeit in mindestens 90 Prozent der Messungen besser als 10 Meter erreicht. Eine weitere Erhöhung der Genauigkeit (3-5 Meter) kann mittels Differential GPS (DGPS) erreicht werden [WIK03].

Der Vorteil von GPS liegt in der weltweiten Verfügbarkeit dieses Signals. Darüber hinaus sind Kombinationen mit GPS technisch realisierbar, die Genauigkeiten von ca. 50 cm erreichen [PIE03 ET AL.]. Problematisch ist, daß die Empfangseinheiten allgemein nur im Freien verwendet werden können und die Update-Rate nur bei ca. 1Hz liegt [ROL01 ET AL.].

### 2.2.3.2 Optisches Tracking (Spatial Scan)

Die Grundlage dieses Verfahren liegt in der Analyse von 2D-Projektionen mit Hilfe von optischen Sensoren, wie z.B. ein CCD-Chip in einer Kamera. Dabei wird in diesen Projektionen nach bekannten Bildmerkmalen gesucht. Anhand dieser Merkmale kann die Position und Orientierung des mit dem so genannten Target ausgestatteten Objektes bestimmt werden. Der Aufbau dieses Trackingverfahrens kann divergiert werden, was im Weiteren beschrieben wird.

### Markerbasiertes Tracking

Erhält ein Computersystem ein Bild eines Positionsmarkers per Videokamera, so kann dieses mit Hilfe einer Bildanalyse zur Positionsbestimmung der Kamera oder des Objektes verwendet werden [KAT99]. Dieser Prozeß wird als markerbasiertes Inside-Out Tracking bezeichnet. In Bild 2-14 soll dies anhand eines rechteckigen Markers exemplarisch beschrieben werden. Die für das Positionsbestimmungssystem notwendige genaue Form des Markers wird diesem anhand einer Textdatei übergeben. Diese beinhaltet sowohl die Abmessungen als auch den Aufbau des grafischen Musters.

```
# Example file...
#
world_ref 0
arMarker [
  1 1 0 0 ;
  1 1 0 0 ;
  0 1 0 0 ;
  0 0 0 0 ]

P0 [ 0.0, 0.0, 0.0 ]
P1 [ 0.0, 5.4, 0.0 ]
P2 [ 5.4, 5.4, 0.0 ]
P3 [ 5.4, 0.0, 0.0 ]
end_world
```

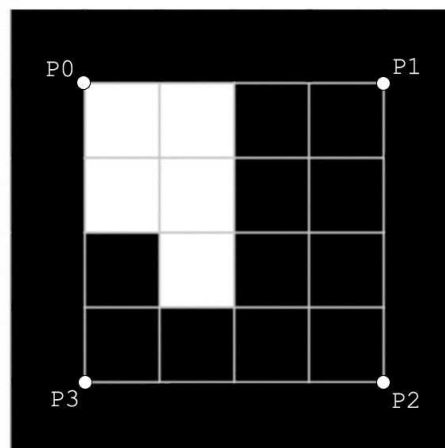


Bild 2-14: Definition der Textdatei und dazugehöriger Marker [DOI03]

Für eine Analyse des Videobildes wird ein Algorithmus durchgeführt, der die Bildpunkte (Pixel) nach allen Regionen durchsucht, deren Kontur durch ein Viereck beschrieben werden kann [KAT99].

Eine gefundene Region (Bild 2-15a) wird bei einem bestimmten Helligkeitsschwellenwert in ein Bild mit einem Bit Farbtiefe (schwarz/weiß) konvertiert (Bild 2-15b) und anschließend einer perspektivischen Transformation unterzogen. Der Transformationsprozess verschiebt die Eckpunkte der vier Konturlinien, bis sie eine quadratische Form mit möglichst lotrechten Kanten ergeben, und berechnet auf dieser Basis neue Pixel-Positionen für das Muster (Bild 2-15c). Das quadratische Bild wird auf die Dimensionen der definierten Markerfelder skaliert (Bild 2-15d), so dass es nun mit dem gesuchten Muster verglichen werden kann [DOI03].

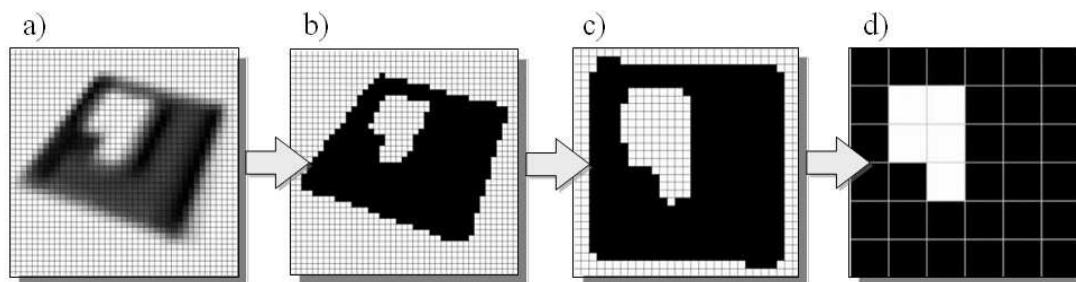


Bild 2-15: Analyse de Videobildes: a)Erkennen einer Region b)Konvertierung; c)Koordinatentransformation; d)Skalierung bestimmen

Wird der Marker erfolgreich erkannt, werden die ursprünglichen Konturlinien der gefundenen Regionen als Vektoren interpretiert und spannen eine x-y-Ebene auf (Bild 2-16a). Ein weiterer, senkrecht zu dieser Ebene stehender Vektor (Bild 2-16b) wird mathematisch berechnet [KAT99] und als dritte Dimension zur Erzeugung eines Raums herangezogen (Bild 2-16c) [DOI03].

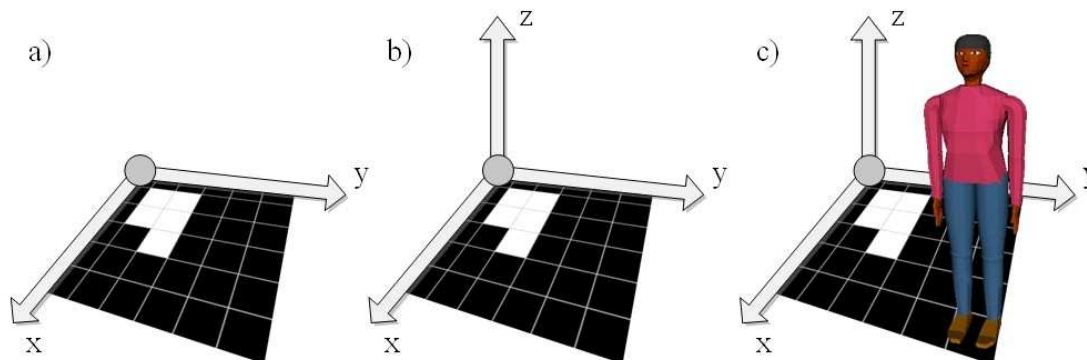


Bild 2-16: Koordinatensystem des Markers a)Ebene; b)Senkrechte c)Virtuelles Objekt [DOI03]

Innerhalb dieses (virtuellen) Raums wird die Länge der Vektoren mit den in der Datei angegebenen (realen) Abmessungen der Eckpunkte in Beziehung gesetzt, um eine Größeneinheit für das Koordinatensystem im Raum zu erzeugen. Dieses kann nun verwendet werden, um exakte Positionen anzugeben, bspw. um den eindeutigen Standort der Kamera zu ermitteln (Bild 2-17) oder um virtuelle Objekte deckungsgleich zum realen Sichtfeld des Betrachters zu platzieren [DOI03].



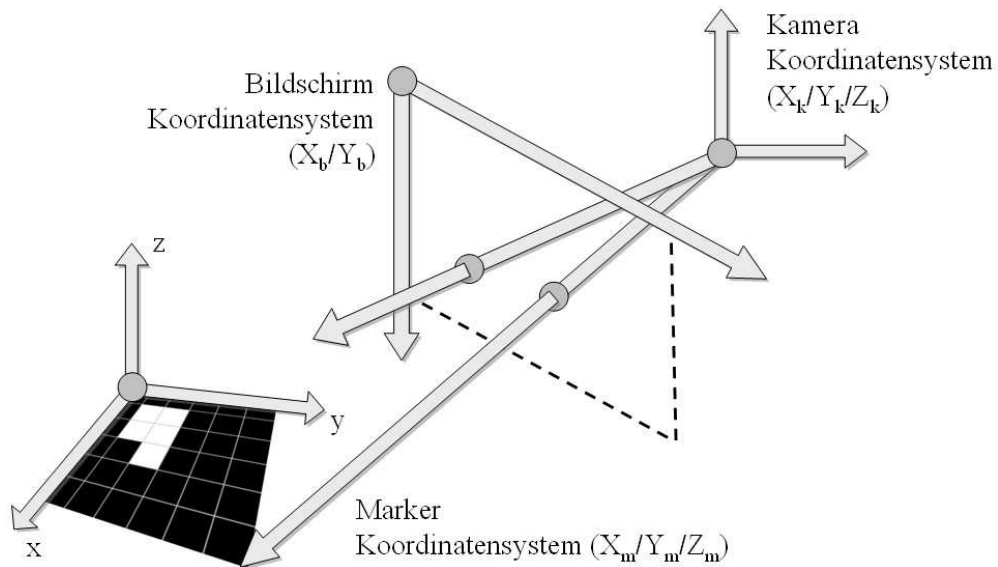


Bild 2-17: Bestimmung der Kameraposition nach [KAT99] aus [DOI03]

### Äußeres Tracking (Outside-In)

Zum einen gibt es das so genannte Outside-In Tracking, welches sich vom Aufbau wie folgt erklären läßt. Der optische Sensor (z.B. Kamera) ist ortsfest installiert und nimmt kontinuierlich die Merkmale des Targets auf, welches sich in dem Erfassungsbereich befindet (Bild 2-18). Dieses Target ist dem System in seiner Dimension (Größe) und seinem Aufbau bekannt. Nach [ROL01 ET AL.] gibt es prinzipiell zwei Ansätze, um die Position und Orientierung des erkannten Targets zu bestimmen. Einerseits kann die Bestimmung mit Hilfe von mehreren Kameras umgesetzt werden. Dieser Ansatz wird multiskopisch genannt und nutzt die aus verschiedenen Perspektiven aufgenommenen Bilder der Kameras als Basis für die räumliche Positionsbestimmung durch Triangulation [LIV98].

Andererseits kann über das Mustererkennungsverfahren ein Rückschluß auf die Position und Orientierung der Kamera hergestellt werden. Das Aussehen und die Größe des Targets (bspw. ein gedruckter Papiermarker) müssen dafür dem System bekannt sein. Die Bestimmung der Position und Orientierung der Kamera kann durch eine Projektionsumkehrung des von der Kamera aufgenommenen zweidimensionalen Bildes des Targets berechnet werden [ROL01 ET AL.].

Vorteile dieses Trackingverfahrens liegen vor allem in der Genauigkeit und Geschwindigkeit der Positionsbestimmung. Diese läßt allerdings mit zunehmender Entfernung nach, da das zu erkennende Target optisch schlechter eindeutig identifiziert werden kann. Schlechte Lichtverhältnisse und Reflexionen können darüber hinaus die Positionserfassung erschweren. Durch sich in Zukunft ständig erhöhende Rechnerleistungen ist eine Verbesserung der Genauigkeit und Geschwindigkeit zu erwarten.

Nachteil ist der hohe Preis der kommerziell erhältlichen Systeme.[IMA01] [QUA01].

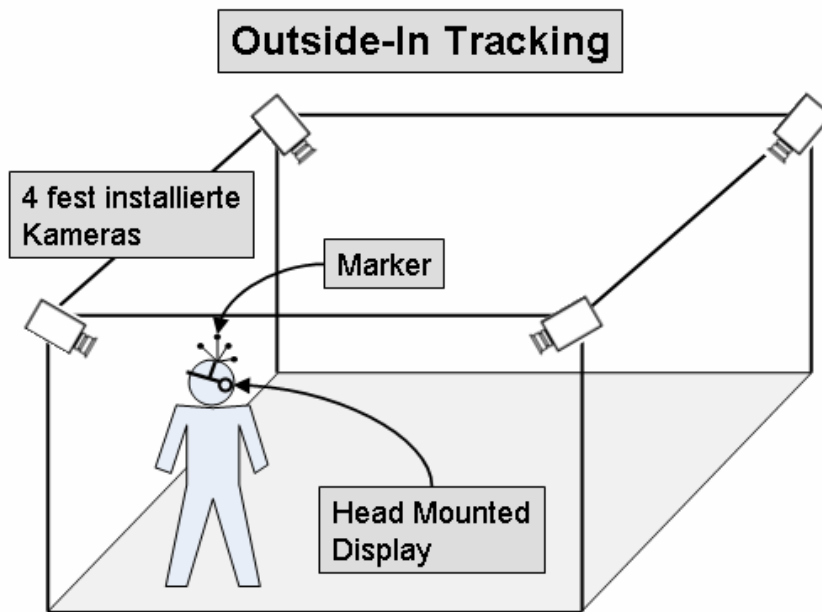


Bild 2-18: Prinzipieller Aufbau Outside-In Tracking

### Inneres Tracking (Inside-Out)

Zum anderen gibt es neben dem äußeren auch das innere Tracking. Bei diesem Verfahren werden die optischen Sensoren z.B. am Anwender oder dem Objekt selber angebracht (Bild 2-19).

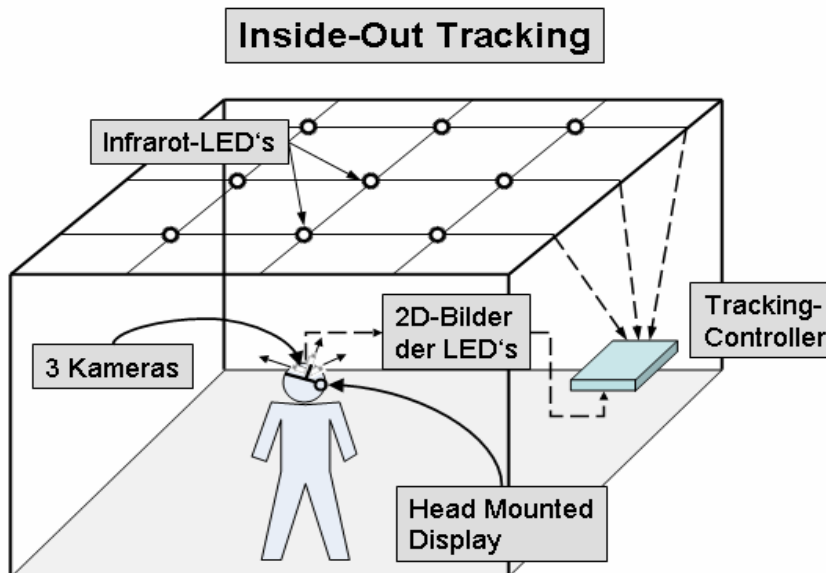


Bild 2-19: Prinzipieller Aufbau Inside-Out Tracking

Die Bestimmung der Position bedient sich einem photometrischen Ansatz. Hierfür werden auf dem Kopf des Anwenders eine oder mehrere Kameras angebracht. In der Umgebung des Anwenders sind Targets (Marker oder Infrarot-LEDs) angebracht und zueinander exakt vermessen. Ein optisches Bildverarbeitungssystem erkennt diese Targets und mittels einer Bilderkennungssoftware ist die relative Position der Kamera zu den erkannten Targets berechenbar [KAT99].

Die Vorteile dieses Trackingansatzes liegen in der hohen Beweglichkeit des Anwenders, der kleinen Ausführungsform dieser Systeme, des dadurch bedingten geringen Gewichtes und den geringen Kosten.

Nachteile sind der hohe Rechenaufwand für die Erkennung der Targets in den aufgenommenen Bildern und die starke Beeinflussung durch sich verändernde Lichtverhältnisse.

Nach [MÜL00 ET AL.] ist die Erweiterung dieses Systems durch die Verwendung von Objektgeometrien (z.B. CAD-Datenmodelle) als „natürliche“ Marker ein Ansatz, um ein so genanntes markerloses Verfahren ermöglichen zu können. Durch die elektronische Repräsentation der Geometrie eines realen Objektes in der Umgebung kann das System in seiner Bildverarbeitung diese als „natürlichen Marker“ verwenden [ALT02]. Dies würde bedeuten, daß keinerlei Targets in der Umgebung platziert und untereinander exakt vermessen werden müssen, um eine Positionsbestimmung durchführen zu können.

### 2.2.3.3 Inertiales Tracking (Inertial<sup>9</sup> Scan)

Inertiales Tracking ist ein sogenanntes Trägheitsmeßverfahren, das die lineare bzw. rotatorische Geschwindigkeit und Beschleunigung von Objekten (Kreiselsystemen) mißt [FER91]. Durch die einfache (Geschwindigkeit) bzw. zweifache (Beschleunigung) Integration des Meßergebnisses kann die Position des Kreisels im Raum bestimmt werden [MÜL00 ET AL.].

Vorteile dieses Trackingverfahrens liegen in dem theoretisch unbegrenzten Wirkungsbereich, dem geringen Gewicht, der kleinen Bauform, und daß dieses System ohne einen externen Referenzmeßpunkt auskommt.

### 2.2.3.4 Mechanisches Tracking (Mechanical Linkages)

Dieses Verfahren ist eines der ältesten, das für die Positionsbestimmung eingesetzt wird und ist bis heute das genaueste und schnellste Verfahren. Die Bestimmung erfolgt über die Verbindung der Referenzposition mit der zu erfassenden Zielposition anhand einer mechanischen Verbindung. Diese Verbindung wird anhand eines Armes verwirklicht, der je nach Auslegung durch Gelenke entsprechend beweglich ist. Für eine Bestimmung der Position in allen sechs Freiheitsgraden müssen die Länge der einzelnen Armglieder und die Stellung der Gelenke bekannt sein. Die Stellung der Gelenke wird über Potentiometer in den Gelenken erfaßt [ROL01 ET AL.].

Dieses Verfahren ist sehr genau und schnell mit einem sehr geringen Lag. Die für die Erfassung notwendige Elektronik ist kostengünstig und erlaubt eine sehr kleine

---

<sup>9</sup> Inertial (engl.) bedeutet Trägheit

Bauform. Nachteilig ist, daß die Bewegungsfreiheit und der Aktionsradius des Anwenders durch die notwendige mechanische Verbindung eingeschränkt werden.

### **2.2.3.5 Phasen-Differenz-Verfahren (Phase Differences)**

Das Phasen-Differenz-Verfahren vergleicht die Phasen von bestimmten Frequenzwellen miteinander. Eine Variante dieses Verfahrens arbeitet vergleichsweise wie das o.g. TOF-Verfahren. Dabei werden von einer Gruppe von Emittlern Ultraschallwellen ausgesendet, die wiederum von einer Gruppe von Receivern ausgewertet werden. Diese Auswertung vergleicht die empfangenen Signale mit einem Referenzsignal und kann anhand der Phasenverschiebung die relative Positionsveränderung berechnen. Eine Triangulation ermöglicht wie bei dem TOF-Verfahren eine genaue Positionsermittlung im Raum.

Die Verwendung eines solchen Systems ermöglicht eine sehr hohe Auflösung, und darüber hinaus besitzen sie eine hohe Update-Rate, da kontinuierlich Signale ausgesendet und empfangen werden. Als Nachteil ist zu erwähnen, daß nur relative Positionsänderungen bestimmt werden und sich somit über die Zeit Fehler in den Messungen niederschlagen [ROL01 ET AL.].

### **2.2.3.6 Elektro-Magnetisch (Direct Field Sensing)**

Bei diesem Verfahren werden durch Spulen elektromagnetische Felder erzeugt. Sowohl in dem Sender als auch dem Empfänger sind jeweils drei orthogonal zueinander ausgerichtete Spulen angebracht, wodurch der Strom in den drei möglichen Raumkoordinaten fließen kann. Durch das Anlegen einer Spannung an dem Sender werden nacheinander drei Magnetfelder in den senkrecht zueinander stehenden Spulen erzeugt und an den Empfänger übermittelt. Der Empfänger mißt somit für jeden der drei Ströme die entstehenden Magnetfelder bzw. die Stärke des induzierten Stromes. Auf diese Art und Weise kann mit den insgesamt neun Meßwerten die Position des Senders im Raum berechnet werden. Bei diesem Trackingverfahren ist es am Anfang nötig, daß das System kalibriert wird, da ansonsten der Anfangsabstand von Sender und Empfänger später nicht mehr korrekt bestimmt werden kann [ASC01] [POL01].

Dieses Verfahren bietet die Vorteile, daß es hohe Update-Raten, keine Probleme mit Verdeckungen, geringe Latenzzeiten und einen geringen Preis aufweist. Darüber hinaus ermöglicht es eine große Bewegungsfreiheit und durch die 3x3 Koordinaten eine relativ hohe Genauigkeit. Der Nachteil ist die Beeinflussung der Meßergebnisse durch metallische Objekte und die Abnahme der Genauigkeit mit größer werdender Entfernung.

### **2.2.3.7 Hybride Verfahren**

Jedes der o.g. Systeme hat seine spezifischen Vor- und Nachteile. Um beispielsweise für einen speziellen Einsatzbereich eventuelle Meßinterferenzen auszuschließen, werden verschiedene Verfahren dieser Trackingsysteme miteinander kombiniert. Durch diese Kombination lassen sich die jeweiligen verfahrensabhängigen Nachteile gegenseitig kompensieren.

Ein Beispiel hierfür wird in [PIE03 ET AL.] beschrieben. Das zivil nutzbare GPS-System wurde für eine genauere Positionsbestimmung mit einem Verfahren kombiniert, welches durch Ausstrahlen von Korrekturinformationen die Genauigkeit für die Satellitennavigation mittels GPS erhöht. Durch die Kombination dieser beiden Verfahren konnte die Genauigkeit von den Standard +PS Empfängern von ungefähr 5 m auf bis zu 50 cm verbessert werden.

### 2.2.3.8 Bewertung der Trackingsysteme

Nachdem in den vorherigen Abschnitten die einzelnen Trackingsysteme beschrieben wurden, werden diese im Folgenden nach den in Tabelle 2-2 genannten Kriterien hin bewertet. In dieser Bewertung wird ausschließlich das optische, mechanische, ultraschall und elektro-magnetische Verfahren betrachtet. Die Trägheitssysteme werden nicht mitbewertet, da sie lediglich als Ergänzung für die genannten Systeme eingesetzt werden würden. Das GPS-Tracking wird ebenfalls nicht verglichen, da die zu erwartende Genauigkeit und Update Rate nicht dem Anspruch einer Augmented Reality Anwendung für den Indoor-Bereich genügt.

Die Qualität einer unterscheidungsfreien Überlagerung von realen Objekten mit virtuellen Objekten hängt von der Genauigkeit des verwendeten Trackingsystems und der Aktualisierungsrate der erfaßten Positionsdaten (Update-Rate) ab. Aufgrund dessen sind dies mit die wichtigsten Kriterien, auf die bei der Auswahl einer Trackingmethode für eine Augmented Reality Anwendung geachtet werden sollte. Darüber hinaus sind die erreichbare Auflösung, Reichweite und Interferenzen gegenüber äußeren Einflußfaktoren weitere Kriterien, die bei der Beurteilung von diesen Verfahren eine wichtige Rolle spielen.

Wie in der folgenden Übersicht Tabelle 2-3 zu erkennen ist, liefert das optische Trackingverfahren sehr gute Ergebnisse in der Genauigkeit (Erkennungsleistung). Die Erkennungsleistung nimmt allerdings bei wachsender Entfernung ab. Untersuchungen von [ABA04 ET AL.] und [MAL02 ET AL.] bzgl. des Mustererkennungsverfahrens auf Basis des AR-Tool-Kits haben ergeben, daß die Genauigkeit zum einen von der Entfernung und zum anderen von dem Winkel zwischen Marker und Kamera abhängt. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ergibt eine maximale Abweichung von 27 mm bei einer Entfernung von 2,5 m. In [WEI03] wird das optische Trackingsystem DynaSight der Fa. Origin mit einer Reichweite von bis zu 12 m bei der Verwendung von aktiven Markern angegeben.

Optische Systeme sind durch sich verändernde Lichtverhältnisse in ihrer Erkennungsleistung leicht bis stark beeinflussbar. Der Einsatz von Infrarottechniken kann diesen Nachteil zwar mindern, jedoch nicht ganz ausschließen. Den Nachteil den alle optischen Systeme gemeinsam haben, ist die „Line-Of-Sight“-Bedingung, d.h. es muß zwischen der Kamera und dem Marker eine ständige Sichtverbindung bestehen, um eine Positionsbestimmung durchführen zu können. Das bedeutet, daß diese Systeme bei einer Verdeckung von Kamera und Marker der Augmented Reality Anwendung keinerlei Positionsinformationen für eine kontextabhängige Visualisierung gewährleisten können.

Tabelle 2-3: Bewertung Trackingsysteme nach [ROL01 ET AL.], [WEI02] und [ALT02]

	<b>Optisch</b>	<b>Mechanisch</b>	<b>Ultraschall</b>	<b>Elektro-Magn.</b>
Lag [ms]	9 - 28	k.A.	k.A.	4 - 6
Update Rate [Hz]	50 - 400	~300	25 - 200	15 - 144
Genauigkeit [mm]	0.23 - 27	0.005 - 0.127	0.5 - 6	0.8 - 25
Auflösung	0,003-0,1 mm	0,01°	k.A.	0,2°
Reichweite [mm]	1000 - 12000	1800 - 6000	250 - 4500	~10000
Interferenz gegenüber:				
- Lichtverhältnissen	ja	nein	nein	nein
- Lärm	nein	nein	ja	nein
- el. Störquellen	nein	nein	ja	ja
- Klimabedingungen	nein	nein	ja	nein
- Verdeckungen	ja	nein	ja	nein

Mechanische Trackingsysteme besitzen in den hier betrachteten Kriterien sehr gute Werte und werden durch äußere Einflüsse nicht beeinträchtigt. Je nach Anzahl und Länge der eingesetzten Glieder eines mechanischen Armes begrenzt sich entsprechend die Reichweite. Nachteilig ist zu erwähnen, daß der Anwender in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt wird. Durch die Kombination mit anderen Trackingtechnologien kann dies weitgehend verbessert werden. Diese Systeme haben eine überdurchschnittliche Genauigkeit, wie man sie auch von Koordinatenmeßgeräten kennt. Anbieter dieser Meßgeräte wie z.B. die Fa. FARO oder ZETTMESS geben die Genauigkeit mit 0.005 bis 0.127 mm an [FAR05].

Ultraschall-basierte Trackingsysteme haben aufgrund ihrer kleinen und kompakten Bauform einen Gewichtsvorteil. Jedoch hängt die Genauigkeit der Meßwerte von Faktoren ab, die durch äußere Einflüsse wie beispielsweise der Lufttemperatur und – feuchtigkeit, anderen hochfrequenten Geräuschquellen und möglichen baulichen Verdeckungen durch die räumliche Umgebung beeinflusst werden. Die Reichweite dieser Systeme ist eher im mittleren Entfernungsbereich einzuordnen. Abschließend muß zu den ultraschall-basierten Systemen ergänzt werden, daß die Genauigkeit mit der Zeit nachläßt und somit eine Neukalibrierung des Systems erfordert.

Elektro-magnetische Trackingsysteme weisen ebenfalls eine kleine Bauform auf. Die Genauigkeit der ermittelten Positionswerte können durch äußere Störquellen wie z.B. elektromagnetische Felder oder metallische Gegenstände beeinflusst werden. Die geringe Latenzzeit dieses Systems ist von Vorteil, jedoch kann die Update-Rate im ungünstigsten Fall weniger als 25 Aktualisierungen pro Sekunde betragen und somit die Überlagerung der virtuellen Objekte für den Anwender als störend empfunden werden. Die beschriebenen Merkmale der betrachteten System sind zusammenfassend in Tabelle 2-3 aufgelistet. Abschließend werden das optische und mechanische Trackingsystem als die für Augmented Reality Anwendungen am zweckhaftesten angesehen. Diverse Weiterentwicklungen dieser beiden Systeme haben viel versprechende Ansätze [TEG04 ET AL.] [AUG05B].

## **2.2.4 Augmented Reality Software**

Die im Umfang dieser Arbeit betrachteten Softwaresysteme für Augmented Reality Anwendungen werden kurz vorgestellt und beschrieben. Dabei liegen die Betrachtungsschwerpunkte auf der Softwarearchitektur, den Systembausteinen, den systemspezifischen Einstellungsparametern, den verwendbaren dreidimensionalen Modellformaten sowie den verwendeten Modellviewern.

### **2.2.4.1 AR-Browser (ARVIKA) Stand 2003**

Das Leitprojekt ARVIKA wurde im Zeitrahmen von Juli 1999 bis Juni 2003 von dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMB+F) gefördert. Ziel dieses Leitprojektes war die benutzerzentrierte und anwendungsgetriebene Entwicklung von Augmented Reality-Technologien zur Unterstützung von Arbeitsprozessen in Entwicklung, Produktion und Service für komplexe technische Produkte und Anlagen.

#### **Softwarearchitektur**

Das Ergebnis dieses Leitprojektes ist ein Komponentenpaket, welches eine der Anwendung entsprechende individuelle Zusammenstellung benötigter Komponenten erlaubt. Der AR-Browser besitzt eine webbasierte Architektur und kann anhand eines ActiveX-Steuerelementes in einem Internet Explorer ausgeführt werden. Das für diese Software eingesetzte Betriebssystem ist Windows 2000 oder höher. Die Grafikformate Fraunhofer VR-data-exchange (fhs) und VRML97 (wrl) können verarbeitet werden. Eine Augmented Reality Anwendung kann über JavaScript Aufrufe erstellt werden und mit der ActiveX-Steuerung für den AR-Browser in einer HTML-Seite eingebunden werden [WEI02].

#### **Systembausteine**

Der AR-Browser (ARVIKA) verfügt in der Basisversion über ein optisches Markertracking. Damit die in der Umgebung platzierten Marker erkannt werden können, muß ein Videosignal im Video-For-Windows Format vorliegen. Der AR-Browser unterstützt sowohl Video-See-Through als auch Optical-See-Through Visualisierungen. Darüber hinaus kann mit zwei synchronisierten Rechnern eine stereoskopische Darstellung realisiert werden. Die Anbindung an alternative Trackingsysteme wie z.B. das elektromagnetische Trackingsystem der Fa. Intersense ist geplant (Stand 2003).

#### **Modellpositionierung**

Die richtige Positionierung der virtuellen Objekte in der realen Szene ist für eine kontextgerechte Unterstützung wichtig. Die Position der virtuellen Objekte kann zum einen über den Syntaxaufbau der fhs-Modelle erfolgen. Dies geschieht über die Transformationsmatrix des ersten Knotens, was jedoch aufwendige Berechnungen erfordert. Zum anderen kann über die Methoden „translate“, „rotate“ oder „scale“ ein Knoten anhand eines Vektors an die gewünschte Position, mit der korrekten Orientierung und der entsprechenden Größe, geschoben werden. Die Modellpositionierung von VRML97-Modellen wird genauso vorgenommen wie bei dem AR-Tool-Kit. Aus dem Grund wird auf die Beschreibung im Abschnitt AR-Tool-Kit verwiesen.

### Modellviewer

Der in dem AR-Browser eingesetzte Modellviewer arbeitet auf der Grundlage des Open Scene Graph (OpenSG), der die aktuellen Erkenntnisse der VR/AR-Anwendungen in sich zu vereinigen versucht. Einige dieser Erkenntnisse sind die Unterstützung von „NURBS“, „Subdivision Surfaces“ und „Volumen“ [BEH02 ET AL.].

### Kamerakalibrierung

Die für die Kameraeinstellungen notwendigen Werte wie Brennweite und Auflösung werden in einer .cal-Datei eingeschrieben und dem System übergeben. Da der AR-Browser (ARVIKA) z.Zt. noch kein Werkzeug für eine Kamerakalibrierung zur Verfügung stellt, können momentan nur zwei verschiedene Kameras eingesetzt werden.

### Besonderheiten und Randbedingungen

ActiveX ist eine von Microsoft entwickelte Methode, die zum dynamischen Laden von Komponenten über das Internet verwendet wird und stellt eine Weiterentwicklung der Object Link Embedding (OLE) Technologie dar [KOP99 ET AL.]. Diese Elemente bestehen aus Maschinencodes und haben somit den Vorteil, daß sie auf jeden Teil der Systeme zugreifen können und keinen Übersetzer benötigen, der das System in der Verarbeitungsgeschwindigkeit beeinträchtigen könnte. Nachteilig ist allerdings, daß es keinerlei Möglichkeiten gibt, diese Steuerelemente zu kontrollieren. Über JavaScript wird die Verbindung zwischen ActiveX und HTML geschaffen [KOC99].

#### 2.2.4.2 AR-Tool-Kit

Mitte der 90er Jahre wurde innerhalb des Forschungsprojektes von Hirokazu Kato (Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University), Mark Billinghurst (Human Interface Technology Laboratory, University of Washington) und der MIC Research Labs in Kyoto das AR-Tool-Kit entwickelt. Als Open Source-Software kann sie unter [KAT02 ET AL.] kostenlos aus dem Internet heruntergeladen werden. Das AR-Tool-Kit steht für die Betriebssysteme Windows, Linux/Unix und MacOS zur Verfügung.

### Softwarearchitektur

Das AR-Tool-Kit besitzt keine Software-Installationsroutine. Das im Internet erhältliche Programm ist vorkompiliert und kann direkt ausgeführt werden. Erst bei Veränderungen im Quellcode muß die Software mit einem Compiler<sup>10</sup> in der Programmiersprache C erneut kompiliert werden. Für die Verwendung unter Windows müssen die Microsoft Vision SDK<sup>11</sup> und die OpenGL-Bibliothek GLUT installiert sein.

---

<sup>10</sup> Compiler: Ein Computerprogramm, das ein vollständiges, in einer problemorientierten höheren Programmiersprache formuliertes Quellprogramm in das Maschinenprogramm (Objektprogramm) übersetzt [MEY99]

<sup>11</sup> SDK bedeutet Software Development Kit



### **Systembausteine**

AR-generierte Bilder können zum einen auf HMD's und zum anderen auf Monitoren ausgegeben werden. Die Darstellung auf HMD's kann sowohl für Optical-See-Through als auch für Video-See-Through realisiert werden. Eine stereoskopische Darstellung ist ebenfalls möglich.

Das in dem AR-Tool-Kit integrierte visuelle Markertracking benötigt ein Kamerabild, welches über die Standardschnittstellen wie USB, FireWire oder S-VHS in den Rechner eingespeist werden kann. Für die entsprechende Schnittstelle existieren verschiedene Programmvarianten im Internet.

### **Modellpositionierung**

Die Positionierung von VRML-Modellen erfolgt über eine zu jeder VRML-Datei zugehörige .dat-Datei. In dieser Datei sind Informationen über den Speicherort der Modell-Datei und entsprechende Positionseinstellungen für die dem Marker zugehörige Szene gespeichert. In dieser Datei kann die Position der Modelle über die Funktionen Transformation und Rotation vorgenommen werden. Eine Größenanpassung über die Skalieren-Funktion ist ebenfalls möglich. Eine Anpassung des VRML-Modells ist ebenfalls über Veränderungen in dem Quelltext der Datei durchführbar, sollte aber nur von erfahrenen Anwendern vorgenommen werden [VIE03].

### **Modellviewer**

Das AR-Tool-Kit verwendet für die Grafikausgabe, die bereits seit 1992 bestehende 2D/3D Schnittstelle OpenGL. Diese bietet verschiedene Funktionen wie Rendering, Texture Mapping und diverse andere Visualisierungseffekte. Der Vorteil dieser Schnittstelle liegt in ihrer breiten Verwendung in Computerspielen, 3D-Anwendungen und vor allem Virtual Reality Anwendungen. Aus diesem Grund entwickeln bspw. Grafikkartenhersteller speziell Produkte für diese OpenGL-Funktionen. Darüber hinaus ist dieses Grafikformat auf fast allen Betriebssystemen verwendbar und läuft sehr stabil. Die Entwicklung dieser Schnittstelle wird von einem unabhängigen Konsortium verwaltet, dem führende Industrieunternehmen angehören [OPE03].

### **Kamerakalibrierung**

In dem Umfang des AR-Tool-Kit's ist eine eigene Softwareunterstützung integriert, um die von einer Kamera aufgenommenen Videobilder in den Rechner einspeisen zu können. Kameras unterscheiden sich jedoch nicht nur von ihrem allgemeinen konstruktiven Aufbau her, sondern auch in den objektiv-bedingten Verzerrfaktoren und anderen Parametern. Das AR-Tool-Kit bietet für die Bestimmung dieser Parameter eine eigene Methode anhand von vorgegebenen Kalibriermustern an.

### **Besonderheiten und Randbedingungen**

Der Quellcode dieser Software kann den individuellen Bedürfnissen des jeweiligen Anwenders entsprechend angepaßt werden. Der Vorteil einer solchen Strategie ist, daß innerhalb kürzester Zeit ein erheblicher Fortschritt in der Weiterentwicklung dieser Software erreicht werden konnte. Nachteilig ist, daß bei möglichen Problemen kein

Support gewährleistet wird, sondern einzig und allein ein Forum für einen Informationsaustausch untereinander zur Verfügung steht.

### 2.2.4.3 AR-Browser (Augmented Solutions GmbH)

Die Fa. Augmented Solutions GmbH ist ein Spin-Off-Unternehmen, das aus dem ARVIKA-Projekt heraus eine eigene Software für Augmented Reality Anwendungen entwickelt hat. Der AR-Browser ist ein kommerzielles lizenzpflichtiges Produkt.

#### Softwarearchitektur

Der AR-Browser ist als ActiveX-Komponente realisiert. Dadurch kann er problemlos in eine webbasierte Anwendungsentwicklung mit HTML-Seiten integriert werden. Über VB-Skript-Schnittstellen kann die Basissoftware angesprochen werden. Darüber hinaus ist es möglich über VisualStudio.NET das AR-Browser SDK einzubinden.

Das SDK der Fa. Augmented Solutions stellt eine Reihe von dokumentierten Funktionen bereit, über die zum einen die Initialisierung der Augmented Reality Anwendung gestartet und der laufende Betrieb gesteuert werden kann. Bild 2-20 beschreibt die interne Organisation der Hauptmodule des AR-Browser SDK. Das „Core Development“ besteht aus C++-Bibliotheken, die die Basisfunktionalitäten für mathematische Algorithmenberechnungen unterstützen. Die „Modules“ stellen komplexe Serviceaufgaben, wie das optische Tracking oder 3D-Rendering dar. Alle Ebenen zusammen ergeben das AR-Browser ActiveX Control, auf dessen Grundlage ausschließlich windowsbasierte, anwendungsspezifische Augmented Reality Anwendungen erstellt werden können.

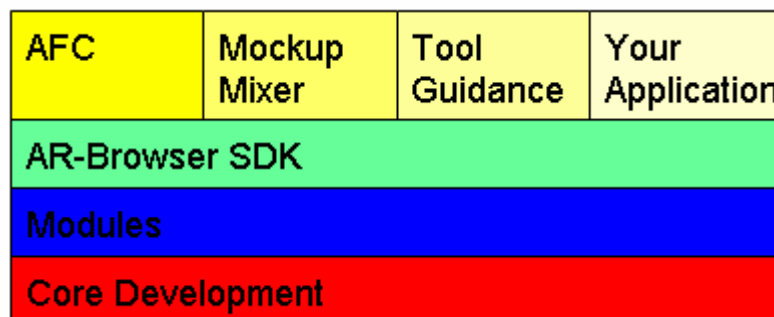


Bild 2-20: Layer-Organisation der Systembausteine AR-Browser SDK [AUG05B]

#### Systembausteine

Das AR-Browser SDK bietet folgende Komponenten:

- Optisches Inside-Out Tracking, das zum einen mit Bildern, Filmen, als auch mit Live-Kamerabildern eine Positionsermittlung durchführen kann
- Optionale Anbindung an das Outside-In Tracking System der Fa. Advanced Realtime Tracking

- Workflow-Engine als ActiveX-Control, für eine schnelle Umsetzung von Arbeitsabfolgen
- 3D-Markerloses Einmess-System für die Bestimmung des Offset's zwischen dem realen und dem virtuellen Objekt, um eine bestmögliche kongruente Überlagerung zu erreichen
- Optical-See-Through als auch Video-See-Through Visualisierung

### **Modellpositionierung**

Das AR-Browser SDK verwendet für die Platzierung von virtuellen Objekten in der realen Szene eine MarkerData-Datei. In dieser Datei kann die Verschiebung des virtuellen Objektes bzgl. des realen Tracking-Koordinatensystems angegeben werden. Ebenso kann das virtuelle Bauteil entsprechend um seine Achsen rotiert werden. Das AR-Browser SDK ermöglicht darüber hinaus eine Manipulation der virtuellen Objekte über den Szenegraphen in Bezug auf Positionierung, Orientierung, Skalierung, Farbe etc. zur Laufzeit. Voraussetzung ist eine entsprechende interne Struktur der verwendeten VRML-Dateien. Für eine realistische Darstellung der Überlagerung unterstützt das AR-Browser-SDK die Modellierung von Occlusion-Objekten. Anhand dieser Objekte kann der Renderer virtuelle Objekte verbergen, die durch reale verdeckt werden.

### **Kamerakalibrierung**

Ebenso wie das AR-Tool-Kit bietet das AR-Browser SDK ein eigenes Tool für eine Kamerakalibrierung an, womit die Parameter der verwendeten Kameras bestimmt werden können. Die Kameras können über zwei verschiedene Systemtreiber, entweder DirectShow oder VideoForWindows, angesprochen werden.

### **Besonderheiten und Randbedingungen**

In [AUG05B] wird von der Entwicklung eines markerlosen Trackingsystems berichtet, welches in Echtzeit eine Positionsbestimmung durchführt und eine AR-Visualisierung mit bis zu 20 fps (frames per second) auf Standard-Hardware-Komponenten realisiert. Die Entwicklung soll jedoch erst in naher Zukunft den Prototypenstatus verlassen.

## 2.3 Anwendungsbereiche der AR-Technologie

Wie in Kapitel 2.1.1 kurz erwähnt wurde, sind erste Anwendungsfelder der Augmented Reality Technologie seit Ende der 60er Jahre bekannt. Hier erfolgte die bisherige Entwicklung zu einem großen Teil im militärischen Bereich, wo sich in einigen Truppenteilen diese Technologie bereits im Einsatz befindet.

Durch die Vielfalt der Möglichkeiten, die diese Technologie mit sich bringt, wurden viele Anwendungsbereiche, in denen Anwender mit technischen Einrichtungen interagieren müssen, aufmerksam. Hier sind insbesondere der medizinische und militärische Einsatzbereich zu nennen. Viele wichtige Daten sind von dem Anwender einzusehen und zu verarbeiten. Durch die Möglichkeiten der AR-Technologie jegliche Art von computergenerierten Daten kontextabhängig zu visualisieren und mit der Wahrnehmung zu synchronisieren, stellt eine vielversprechende Unterstützung des Anwenders dar.

### 2.3.1 Freizeit

Besonders interessant ist der Freizeit und Endverbraucherbereich, denn anhand eines tragbaren Kleinstrechners, wie beispielsweise eines PDA<sup>12</sup>, beschreiben [FRÜ01A ET AL.] [FRÜ01B ET AL.] [GAU02 ET AL.] eine mobile Augmented Reality Anwendungen, die dem Verbraucher Produktinformationen oder interaktive Bedienungsanleitungen zur Verfügung stellen kann. Durch die rasche Weiterentwicklung leistungsstärkerer mobiler Rechereinheiten und hybrider Trackingssysteme sind auch Anwendungen denkbar, wie sie in [SCH04] dargestellt werden. In den dort beschriebenen pervasiven Spieleanwendungen verschmilzt der Spieler mit der realen Umgebung und den eingeblendeten virtuellen Objekten zu einer Welt, in der sie mit- oder gegeneinander virtuelle Monster bekämpfen, anhand von zu sammelnden virtuellen Werkzeugen Aufgaben lösen oder, zurück im wirklichen Leben, interessante geschichtliche Hintergründe und Informationen zu dem momentanen standortspezifischen Aufenthaltsort innerhalb einer kulturellen Stätte abrufen können [ARC03].

### 2.3.2 Militär

Die Möglichkeit mit Augmented Reality Technologie jegliche Art von computergenerierten Informationen den Soldaten bei der Ausübung ihrer Aufgaben zur Verfügung zu stellen, erlaubt in diversen Einsatzbereichen verschiedenartige Anwendungen. Wie z.B. in [WAN89], wodurch die Visualisierung von Vektorgrafiken in das reale Sichtfeld von Kampffjet- oder Hubschrauberpiloten nicht nur die allgemeinen Flug- und Navigationsinformationen, sondern auch die Zielerfassungsdaten angezeigt und somit die Konzentration auf das wesentliche gefördert und unterstützt wird.

Die Anwendungsbereiche im militärischen Bereich konzentrieren sich im Allgemeinen auf:

- die Unterstützung und Schulung des Soldaten bei der Bedienung von militärischen Geräten [TAP01 ET AL.]

---

<sup>12</sup> PDA bedeutet **P**ersonal **D**igital **A**ssistant

- die Navigation von Bodentruppen oder Fahrzeugen (Schiffen, Panzern etc.) wie z.B. bei der Durchquerung von feindlichem und evtl. vermintem Gebiet [IIP03] [BAT03] (Bild 2-21)
- die Bereitstellung von verschiedenen taktischen und einsatzbezogenen Informationen, wie z.B. digitalisierten Karten, geheimdienstlichen Nachrichten und satelliten- oder lufttechnischen Berichterstattungen [IIP03] (Bild 2-22)
- die Simulation von gefährlichen Situationen für Trainingszwecke [KIR02 ET AL.] (Bild 2-22)



*Bild 2-21: Militärische Anwendungsbereiche Navigation mit Hilfe von Augmented Reality [IIP03]*



*Bild 2-22: Militärischer Anwendungsbereich Taktik mit Hilfe von Augmented Reality [IIP03]*

Die speziell für den militärischen Einsatzbereich entwickelte GPS-Technologie (Kapitel 2.2.3.1) bildet für die meisten der o.g. Szenarien die Grundlage für die Positionsbestimmung. Spezielle für den harten Einsatz entwickelte HMD's oder am Körper getragene Displays visualisieren den Soldaten die entsprechenden Informationen.

### **2.3.3 Medizin**

Im medizinischen Bereich sind schon seit einiger Zeit diverse computertechnische Systeme im Einsatz, wie z.B. die Computertomographie, um pre- und interoperative Informationen über den Zustand des Patienten zu erlangen. Anhand dieser Technik

können von dem Patienten dreidimensionale Bilder generiert werden, die dem Operateur während der Operation auf einem Videomonitor zur Verfügung stehen. Eines der Hauptnachteile dieser computerunterstützten Operationssysteme ist der sich ständig wiederholende, von dem Patienten entfernende Blick, des Operateurs auf das entsprechende Ausgabemedium [LIE01 ET AL.]. Diverse prototypische Anwendungen aus dem medizinischen Bereich beschäftigen sich mit dem Einsatz der Augmented Reality Technologie, um die aus den Voruntersuchungen gewonnenen Informationen, wie z.B. Lage und Position der inneren Körperorgane, ohne operativen Eingriff anhand eines so genannten „Röntgenblickes“, auch als „X-ray-vision“ bezeichnet, sichtbar zu machen [YAM88 ET AL.]. In [SUT02 ET AL.] [SIE02] [FUC98 ET AL.] [GRI96 ET AL.] und [STA96 ET AL.] werden diverse prototypische Anwendungen aus dem Bereich der Medizintechnik dokumentiert. Dabei muß zwischen den preoperativen Untersuchungen und den interoperativen Anwendungen unterschieden werden. In [SUT02 ET AL.] wird z.B. ein Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Leberchirurgie dargestellt, denn gerade der komplexe anatomische Aufbau der Leber ist ohne eine dreidimensionale Rekonstruktion nur schwer zu veranschaulichen. [BER97 ET AL.] beschreiben den Ansatz eines Augmented Reality basierten Systems für die lasergestützte Behandlung von Augenkrankheiten und [UNC03] beschäftigt sich mit ähnlichen Systemen für Ultraschalluntersuchungen.

Alle Anwendungen im medizinischen Bereich haben aufgrund der Handhabung mit Patienten eine sehr hohe Anforderung an die Sicherheit, Genauigkeit und Systemstabilität der entsprechenden Augmented Reality Anwendungen, da Fehlfunktionen lebensbedrohliche Auswirkungen mit sich ziehen können.

### 2.3.4 Architektur

In den Bereichen der Architektur und Innenarchitektur liegen die Hauptanwendungen für diese Technologie in der Gebäudesimulation. Hier ist besonders der Aspekt von Bau- bzw. Umbaumaßnahmen interessant, da die durch Verkleidungen versteckte Gebäudestruktur mittels einer Augmented Reality Überlagerung direkt angezeigt werden können. Dies ermöglicht eine bessere Darstellung und Überprüfung verschiedener Planungsstände und bietet für alle Betroffenen eine dreidimensionale einfach aufzunehmende Präsentations- und Diskussionsgrundlage. Bild 2-23 zeigt ein Screenshot des Projektes „Collaborative Interior Design“, welches sich mit der kooperativen Inneneinrichtung von Räumen auseinandersetzt. Anhand dieses Systems



konnten Möbel oder Einrichtungsgegenstände aus einem digitalen Katalog gewählt werden und als virtuelles Objekt in ein von einer Videokamera aufgenommenes Bild in Echtzeit überlagert werden. Der Anwender konnte diese Objekte mit einer 3D-Maus frei in dem Videobild platzieren und darüber hinaus die Kamera in die von ihm gewünschte Position bewegen.

*Bild 2-23: Interaktives, graphisches Echtzeitvideosystem zur kooperativen Inneneinrichtung [WHI94]*

Die Fa. Augmented Solutions bietet mit dem „AFC – Augmented Furniture Client“ [AUG05B] ein Software Programm an, mit dem in eine einfach gehaltene Oberfläche Bilder, die mit einer Digitalkamera aufgenommen wurden, eingeladen werden können. Die aufgenommenen Bilder müssen einen einfachen Papiermarker enthalten, der von dem integrierten Bilderkennungsprogramm erkannt wird, sodaß in das Bild die gewünschten virtuellen Objekte geladen werden können (Bild 2-24). Die Funktionalitäten sind auf ein Minimum beschränkt worden, um eine besonders einfache Bedienung zu gewährleisten. Der Anwender kann Modelle hinzuladen, diese um die



eigene Achse rotieren und Screenshots der geladenen Szene erzeugen und speichern.

Bild 2-24: Programmoberfläche des „AFC – Augmented Furniture Client“ [AUG05B]

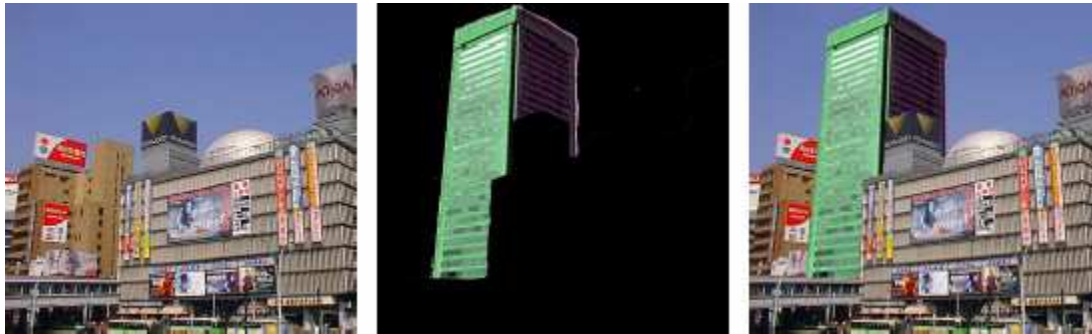
Ergänzend ist ein Einsatz für die Aufnahme, Bewertung und Aktualisierung von Gebäuden wie in Bild 2-25 denkbar. Mit Hilfe der Augmented Reality Technologie können in alten Gebäuden während einer Videokonferenz bestimmte Bauteile näher und exakter betrachtet, entsprechend ihrer Schädigung, Materialität und vermuteten strukturellen Zusammenhang erfaßt und als verlinkte Information in das Datenmodell des untersuchten Gebäudes integriert werden [GRE01] [KLI97 ET AL.].



Bild 2-25: Baubestandsaufnahme mit Augmented Reality Unterstützung [GRE01]

Die Visualisierung von virtuellen Objekten in den architektonischen Bereichen erfordert für eine realistische Überlagerung eine automatische Korrektur von verdeckten Objekten. Dies bedeutet, daß die virtuellen Objekte, wie z.B. neu geplante Gebäude

(Bild 2-26 Mitte), sich entsprechend ihrer Positionierung in der realen Umgebung einpassen. Um das zu erreichen müssen zum einen die sowohl bereits bestehenden, davor liegenden Gebäudestrukturen das eingeblendete virtuelle Objekt verdecken, als auch die hinter dem virtuellen Objekt liegenden Gebäude von diesem perspektivisch korrekt überlagert werden [KIY00 ET AL.] [WEB96 ET AL.] [KLI01 ET AL.] [TAM99 ET AL.].



*Bild 2-26: Gegenseitige Verdeckung von virtuellen und realen Objekten [KIY00 ET AL.]*

### 2.3.5 Industrie

Die Entwicklung entsprechender Augmented Reality Anwendungen in dem industriellen Einsatzbereich wurde bereits in Kapitel 2.1 eingehend beschrieben. Erst Mizell [MIZ01] hat durch die ersten industriellen produktionstechnischen Versuche die Technologie zu etablieren, den Begriff der Augmented Reality geprägt und vorangetrieben. Wie in Kapitel 2.4 zu erkennen ist, ist diese mittlerweile in vielen Bereichen sehr weit verbreitet und Mittelpunkt diverser Forschungsvorhaben in unterschiedlichen Anwendungsbereichen.

Aufgrund dessen, daß die Anwendungsbereiche in der Industrie eine Vielzahl an möglichen Anwendungen beinhalten, sollen hier nur exemplarisch einige Schwerpunkte benannt und inhaltlich kurz vorgestellt werden.

#### **Produktentwicklung, Design und Service**

Die Erstellung und Ertestung neuer Design- und Produktvarianten ist wichtig, um auf Kundenwünsche und –anregungen reagieren zu können. Erste Ansätze sind in [REG01A ET AL.] zu finden, wo anhand der Augmented Reality Technologie verschiedene Layoutalternativen eines Cockpits, die sich in Form von abwechselnden Anordnungen der Fluginstrumente unterscheiden, überprüft werden. Der Anwender hat die Möglichkeit, seine Änderungswünsche direkt in dem Layout durch das Verschieben der entsprechenden Marker umzusetzen.

Wartungs- und Servicetätigkeiten gehören für alle Industriebereiche zu notwendigen, produktionsabsichernden und sicherheitsrelevanten Aufgaben. Besonders die Wartung und Instandhaltung von großflächigen Industrieanlagen, wie z.B. Kraftwerken [DUT01 ET AL.] und Erdölraffinerien oder weitläufigen Rohrleitungssystemen [NAV99 ET AL.] wird durch Orientierungsprobleme erschwert. [RUS01 ET AL.] beschreiben eine Möglichkeit mit Augmented Reality den Anwender in dem Areal zu lokalisieren und seine Position mit einem zweidimensionalen Grundriß der Anlage abzugleichen. Dadurch können dem Anwender je nach seinem Standort ent-



sprechende Informationen, die in Bezug zu seiner Umgebung stehen, eingeblendet werden. Dies können maschinenbezogene Wartungspläne, Betriebszustände oder Herstellerinformationen sein, die ihm nach Bedarf auf einem tragbaren Kleinstrechner zur Verfügung gestellt werden.

Für die Beurteilung neu gestalteter Karosserie- und Formteile werden in der Automobilindustrie sowohl Crashtest-Berechnungen als auch Crashtest-Versuche angestellt. Mit Hilfe von Augmented Reality wird in [ALT01A ET AL.] eine Anwendung beschrieben, die entsprechende grafisch aufbereitete Ergebnisse aus berechneten Crashuntersuchungen mit den real gecrashten Fahrzeugen überlagert. Anhand dieser Vorgehensweise, dem kombinierten Betrachten von realen und virtuellen Ergebnissen, können Differenzen in den Untersuchungen veranschaulicht und diskutiert werden. Ziel ist es, zum einen bestehende Simulationswerkzeuge zu verbessern, damit die berechneten Ergebnisse sich exakter und genauer an reale Crashtest-Ergebnisse annähern. Zum anderen könnten damit in Zukunft die Anzahl realer Crash-Tests im Entwicklungsprozeß verringert werden, was wiederum zu einer Kosteneinsparung führen würde.

Durch einen Einsatz von Augmented Reality bei der Wartung von Flugzeugen geht man von einer Verkürzung der Wartungszeit aus. Laut einer von [NEU99 ET AL.] durchgeführten Untersuchung werden nur ca. 45 Prozent der gesamten benötigten Wartungszeit für die Durchführung von Arbeitstätigkeiten verwendet. Die restliche verbleibende Zeit wird für das Aufsuchen und die Beschaffung von Informationen aufgewendet. Für die Unterstützung der durchzuführenden Wartungstätigkeiten wurden verschiedene prototypische Anwendungen entwickelt. Diese reichten von einer einfachen Anzeige der benötigten Arbeitsschritte bis hin zu einer intelligenten Anwendung, die die Arbeitsfortschritte erkennt und bei Bedarf den nächsten durchzuführenden Tätigkeitsschritt zur Verfügung stellt [NEU99 ET AL.]. Anhand dieser Untersuchungen haben sich diese Anwendungen darüber hinaus als hilfreiche Unterstützung bei der Schulung und Weiterbildung bzgl. sich ändernder oder neuer Instandhaltungsaufgaben von Mitarbeitern erwiesen.

In der Literatur sind darüber hinaus Anwendungen zu finden, die sich mit der kontextbezogenen Anzeige von Informationen für die Wartung von Werkzeug- und Fertigungsmaschinen auseinandersetzen. Die in [WEC99 ET AL.] [KIP00] [ELZ00 ET AL.] [ARV02] [MÜL01] vorgestellten Möglichkeiten reichen von der mit Augmented Reality unterstützten Störungsbehebung, über die Inbetriebnahme und Bedienung industrieller Anlagenkomponenten, bis hin zur Bereitstellung von Prozeßinformationen.

### **Produktion**

Den Grundstein für einen Einsatz der Augmented Reality Technologie in der Produktion hat Dr. David Mizell [MIZ01] durch eines der umfangreichsten Pilotprojekte bei dem Flugzeughersteller Boeing Anfang der neunziger Jahre gelegt. Der für die Kabelbaummontage entwickelte Prototyp konnte sich allerdings selbst nach zehnjähriger Laufzeit nicht für einen alltäglichen Einsatz etablieren, selbst wenn Versuchsergebnisse der durchgeführten Testreihen ergeben haben, daß die zu dem damaligen Zeitpunkt eingesetzten Visualisierungs- und Trackinggeräte den Ansprüchen der Arbeitsaufgabe genügten.

Durch die Möglichkeit kontextabhängige computergenerierte Informationen in das reale Sichtfeld des Anwenders zu visualisieren und gleichzeitig eine annähernd

uneingeschränkte Mobilität zu garantieren, ist besonders der Bereich der produzierenden Industrie interessant, in dem produktspezifische Montageabfolgen umzusetzen sind, die eine hohe Varianz und Komplexität sowie entsprechende Sicherheitsanforderungen aufweisen.

Besonders die Flugzeug- und Automobilmontage setzen große Anstrengungen in die Erstellung und den Aufbau von prototypischen Anwendungen für die Unterstützung mit Augmented Reality Technologie. [RUS01 ET AL.] beschreiben bspw. die Montage eines Bugfahrwerkes anhand eines exemplarischen größenidentischen Modells, in dem die entsprechenden durchzuführenden Montageschritte im Sichtfeld des Monteurs überlagert werden.

Die für die Automobilindustrie interessanten Einsatzbereiche reichen, ähnlich wie in der Flugzeugindustrie, von der Prozeß-, Fabrik- und Anlagenplanung [PAT02] [GAU02] über die Montage bis hin zu Service und Wartungstätigkeiten. In [WEC04 ET AL.] wird eine Serviceanwendung für Werkzeugmaschinen vorgestellt, in der beispielhaft aufgezeigt wird, welchen Umfang ein effizienter Einsatz der Augmented Reality Technologie von der Datenaufbereitung bis hin zu einer geeigneten Interaktionsmöglichkeit mit der unterstützten Serviceapplikation in der Industrie mit sich bringt. Weitere Augmented Reality Anwendungen sind dokumentiert worden, wie z.B. die Türmontage in [SEL00], der Produktionsmontage bei [EVE01 ET AL.] sowie der Diagnostik und Prüfung von [SAT99 ET AL.] [STA01 ET AL.].

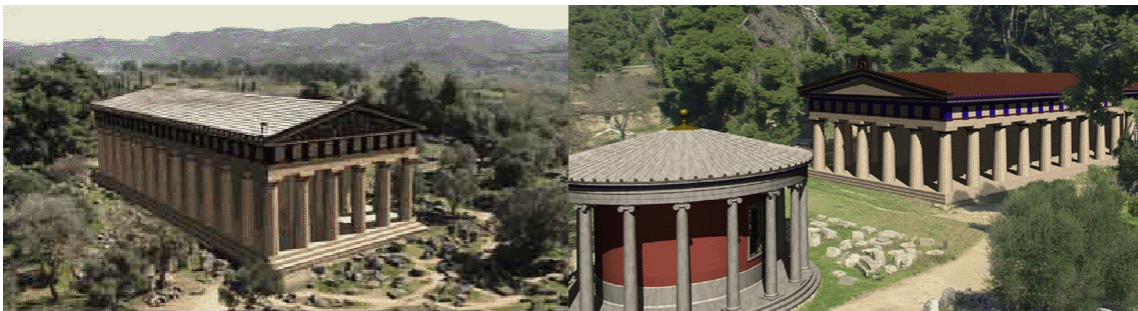
Weitere Einsatzbereiche für Augmented Reality in der Produktion sind Assistenzsysteme, die den Anwender durch eine kontextabhängige Überlagerung von verschiedenen Informationen unterstützend helfen, wie z.B. beim Lichtbogenschweißen anhand wichtiger Prozeßparameter [GRÄ01 ET AL.] [HIL04 ET AL.] [ECH04 ET AL.], bei Kommissioniertätigkeiten durch signifikante Teileinformationen oder der produktspezifischen Qualitätsdatenerfassung [ALT01B ET AL.].

## 2.4 Augmented Reality Projekte

Diverse Projekte beschäftigen sich mit dem Einsatz von Augmented Reality Technologie und den damit verbundenen Schwierigkeiten und Anforderungen, die zum einen der Einsatzbereich formuliert und zum anderen die Technologie an sich mit sich bringt. Um einen kleinen Eindruck über die vielfältigen Projekte und deren Inhalte zu geben, werden exemplarisch die bekanntesten kurz inhaltlich vorgestellt:

### **ARCHEOGUIDE (Augmented Reality based Cultural Heritage On-site GUIDE)**

ARCHEOGUIDE ist das Akronym für ein Projekt, das von dem EU IST Netzwerk (IST-1999-11306) über den Zeitraum von Januar 2000 bis Oktober 2002 gefördert und von einem Konsortium europäischer Organisationen getragen wurde. Es hatte das Ziel, neue Wege der Wissensvermittlung an Stätten des kulturellen Erbes zu eröffnen.



*Bild 2-27: Rekonstruierte historische Bauwerke an Originalstätten [ZGD04]*

Hintergrund dieser Anforderung war, daß diese Orte sehr empfindlich sind und jegliche Eingriffe oder Störungen minimiert werden sollten. Das Konsortium entwickelte ein bewegliches AR-System, das dem Besucher erlaubte, computererzeugte 3D-Rekonstruktionen von Ruinenstätten mit kontextbezogenen Informationen zu sehen (z.B. in Olympia, Griechenland) (Bild 2-27).

Das System stellt dem Anwender 2D- und 3D-Navigationshilfen mit intuitiven und bekannten Anwender-Schnittstellen (Internet-Explorer-Fenster) zur Verfügung und startet außerdem automatisch audiovisuelle Präsentationen über die Stätte, abhängig von der Position und Orientierung und den angegebenen Interessen des Anwenders. Augmented Reality Rekonstruktionen der wichtigsten Tempel des Ortes werden von ausgewählten Standpunkten und unter Verwendung eines neuen und weiter entwickelten Tracking-Verfahrens erzielt. Dieses Verfahren ist das Schlüsselement des Systems und basiert auf einem Bild-zu-Bild-Zuordnungsverfahren durch Phasenkorrelation[ZGD04] [NET05].

Spezielle in diesem Projekt bearbeitete Themen sind 3D-Visualisierung auf mobilen Endgeräten, multimodale Interaktionen, Multi-User-Augmented-Reality-System, benutzerfreundliche Schnittstellen und Outdoor Tracking [ARC03] [NET05].

### **ARIS (Augmented Reality Image Synthesis)**

Ein weiteres vom BMBF gefördertes Projekt ist ARIS, welches das Ziel verfolgte, neue Technologien für eine nahtlose Integration von virtuellen Objekten in einer Augmented

Reality-Umgebung zur Verfügung zu stellen, sowie neue Visualisierungs- und Interaktionsmethoden für kollaborative AR-Anwendungen zu entwickeln. Diese Schwerpunkte sollten die Grundlage für eine neue innovative Augmented Reality Technologie bilden, mit denen e-commerce Anwendungen unterstützt werden sollten, die es ermöglichen, Produkte im Kontext ihrer zukünftigen Umgebung zu präsentieren [ARI03]. Aus diesem Grund wurde zum einen ein interaktives Desktop-System (Bild 2-28) entwickelt, daß anhand von digitalen Fotografien die 3D-Szene und Kameraparameter weitgehend automatisch rekonstruiert.

Darüber hinaus soll der Anwender befähigt werden, dreidimensionale Produktmodelle in eine beliebige Auswahl von digitalen Bildern integrieren zu können [ARI03].

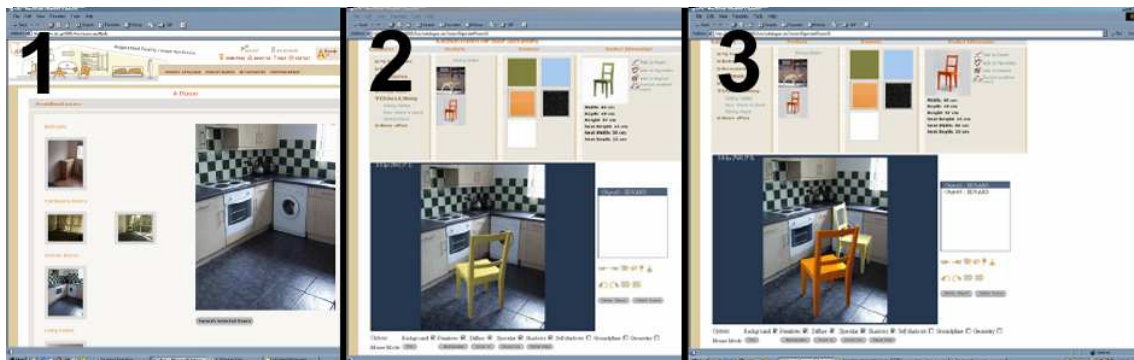


Bild 2-28: Desktop-System ARIS (Darstellung von Stühlen mit Lichtsimulation) [ARI03]

Desweiteren sollte eine mobile Augmented Reality Einheit entwickelt werden, mit der dreidimensionale Objekte direkt in der realen Umgebung visualisiert werden können. Zudem soll diese Einheit eine Diskussionsplattform zur Verfügung stellen, um mit Remoteteilnehmern anhand geteilter Augmented Reality Technologien erstellte Szenen in Betracht ziehen zu können.

### **MEDARPA (MEDical Augmented Reality for Patients)**

Das Ziel von MEDARPA (gefördert durch das BMBF) besteht in dem Aufbau eines Augmented Reality gestützten Arbeitsplatzes mit spezieller Unterstützung von interventionellen<sup>13</sup> Maßnahmen. Ein zentrales Problem heutiger interventioneller Maßnahmen besteht in der vielfach eingeschränkten Sicht auf den Patienten. So wird der zu behandelnde Bereich bei minimal-invasiven chirurgischen Eingriffen nur sehr begrenzt bzw. häufig sogar gar nicht für den behandelnden Arzt sichtbar freigelegt.

<sup>13</sup> Als interventionell bezeichnet man Diagnose- oder Therapieverfahren, die - im Gegensatz zum konservativen Vorgehen - gezielte Eingriffe (Interventionen) am erkrankten Gewebe vornehmen, um den Krankheitsverlauf positiv zu beeinflussen [DOC05]

Der Arzt ist somit dazu gezwungen, die Operation anhand von entsprechend vorab gewonnenen Daten des Patienten sowie mit Hilfe seiner Erfahrungen hinsichtlich der Anatomie durchzuführen. Ein zentraler Aspekt ist hierbei der mangelnde räumliche Bezug zwischen den a priori gewonnenen Daten und der Lage des Patienten während des Eingriffs. Werden vor der Operation mehrere Modalitäten erhoben, so muß der Chirurg diese zusätzlich räumlich registrieren und vor seinem „geistigen“ Auge auf den Patienten abbilden[MED04].



*Bild 2-29: Versuchsaufbau Medarpa (links); Blick auf und durch das AR-Display (rechts) [MED04]*

Zusammenfassend kann das Projektziel von Medarpa als „Unterstützung eines interventionellen medizinischen Arbeitsplatzes durch den Einsatz neuartiger Visualisierungs- und Interaktionsverfahren“ formuliert werden. Die fehlende visuelle Information soll mit Hilfe von innovativer AR-Technologie, räumlich registriert, geliefert werden, ohne dabei den Arzt durch komplizierte technische Geräte oder Aufbauten zu behindern (Bild 2-29). Somit kann der Arzt während der Operation quasi in den Patienten hineinschauen, ohne dabei seinen Blick von der Operationsstelle abwenden zu müssen. Die Bereitstellung dieser Zusatzinformation erfolgt auf einem frei positionierbaren, halbtransparenten Display und kann von dem Arzt je nach Behandlungssituation optional verwendet werden[MED04].

Die technologische Herausforderung ist hierbei:

- die Entwicklung eines flexibel einsetzbaren, einfach zu bedienenden und ergonomisch „transparenten“ Systems, welches preiswert ist und darüber hinaus eine allgemeine Navigation für den gesamten Körper ermöglicht
- die anwendungsspezifischen Adaptation der Bausteine Datenerhebung, Registrierung, Tracking und Visualisierung

### **AR-PDA (Augmented Reality for Personal Digital Assistants)**

Das Projekt AR-PDA ist, ebenfalls wie ARVIKA, ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Projekt. In dem Zeitraum von März 2001 bis 2004 wurde der Kerngedanke verfolgt, durch die Verbindung von neuartigen, video-tauglichen, mobilen Endgeräten des Consumer-Marktes mit der AR-Technologie, Verbraucher bei ihren alltäglichen Aufgaben zu unterstützen. Die technische Realisierung des Systems erfolgt in der Art und Weise, daß der Benutzer die integrierte

Kamera des Endgerätes auf ein Objekt in seiner Umgebung richtet. Das aufgenommene Videosignal wird über eine drahtlose Übertragungsstrecke (z.B. Mobilfunk, UMTS oder WLAN) an einen zentralen Server gesendet, der das Video analysiert, das jeweilige Objekt erkennt und kontextsensitiv die erforderlichen Zusatzinformationen ermittelt [PDA04].

Der AR-PDA erweitert die Realität um computergenerierte Informationen (z.B. 3D-Animationen, Text, etc.) und ermöglicht ferner Benutzerinteraktionen mit der AR-Szene. Spezielle Informationen unterstützen hier den Benutzer (Bild 2-30), z.B. bei der Reparatur seiner Waschmaschine, bei der Programmierung des Videorecorders oder bei der Einrichtung seiner Wohnung mit Möbeln aus e-Shops [FRÜ01A ET AL.] [FRÜ01B ET AL.] [GAU02 ET AL.].



*Bild 2-30: AR-PDA Demonstrator [PDA04]*

### **ARVIKA** (Augmented Reality for Development, Production and Service)

ARVIKA ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Bereich „Mensch-Technik-Interaktion“ gefördertes Leitprojekt. Im Juli 1999 startete ARVIKA mit der Zielsetzung, mobile AR-Technologien zur Unterstützung von Arbeitsprozessen in Entwicklung, Produktion und Service benutzer- und anwendungsorientiert zu erforschen und zu realisieren. Dieses Leitprojekt wurde von einem Konsortium aus 20 Partnern getragen, die sich aus der Großindustrie, mittelständisch strukturierten Unternehmen sowie den führenden Instituten aus Forschung und Wissenschaft unter der Konsortialleitung durch die Siemens AG, Bereich Automation & Drives, zusammensetzten.

Die Projektergebnisse wurden in Anwendungsfelder wie Automobil- und Flugzeug- sowie Maschinen- und Anlagenbau umgesetzt. Diese anwendungsbezogenen Themenschwerpunkte von ARVIKA bildeten die Basis für eine Anforderungserhebung zur Systemgestaltung und zielten auf die praktische Erprobung mobiler AR-Technologien im Feld.

Grundlage für alle Anwendungsfelder waren die zu erforschenden Augmented Reality Basistechnologien, die die High-End / Poweranwendungen in der Entwicklung genau so unterstützen sollten, wie den Low-End-Einsatz am Gürtel des Facharbeiters in der realen Fertigungs- und Serviceumgebung. Aus diesem Grund erfolgte die Realisierung auf einer offenen Systemplattform, die unterschiedliche Leistungsabstufungen und insbesondere den portablen Einsatz erlaubte. Ziel war die marktgerechte Unterstützung von produkt-, fertigungs- und serviceorientierten Informations- und Kommunikationstechnologien für die Verwendung durch Facharbeiter, Techniker und Ingenieure [ARV02] [BEU01 ET AL.].

### **ARTESAS** (Advanced Augmented Reality Technologies for Industrial Service ApplicationS)

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung und betreut durch den Projektträger für Informationstechnik beim Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum, verfolgt das ARTESAS-Projekt die Erforschung und Erprobung von AR Basistechnologien für den Einsatz im industriellen Service-Umfeld. Das Projekt setzt auf die Grundlagen und Ergebnisse aus dem BMBF-MIT-Leitprojekt ARVIKA auf und richtet seine Projektschwerpunkte auf folgende zu bearbeitende Themenbereiche aus:

- Instrumentierungsfreie Trackingverfahren für raue Industrieumgebungen – Position und Orientierung des Benutzers müssen präzise erfaßt werden, um die virtuelle Information lagerichtig zur realen Umgebung im Blickfeld des Nutzers einzublenden. Herausforderung ist ein universelles Framework zur anwendungsgerechten Kombination der Vorteile verschiedener Verfahren.
- Nutzergerechte Augmented Reality Geräte nach technischen und ergonomischen Gesichtspunkten – Test und Bewertung von Geräte-Neuentwicklungen; Bereitstellung und Evaluierung einer integrierten Lösung eines AR-gerechten Head-worn Display mit adäquaten Wearable Komponenten.
- Umsetzung und Erprobung in industriellen Anwendungsfeldern

Diese ausgewählten industriellen Anwendungs- und Erprobungsfelder von ARTESAS sind:

Service für Automobile: Informationsbereitstellung für die Automobil-Werkstatt der Zukunft, mit dem Ziel, eine Steigerung von Effizienz und Effektivität bei Diagnose- und Instandsetzungsprozessen am Fahrzeug bewerkstelligen zu können

Service an Flugzeugen: Unterstützung von Vor- und Nachfluginspektion bei Hubschraubern, Reparaturszenarien an Luftfahrzeugen, um durch den Einsatz der Augmented Reality Technologie eine Erhöhung von Produktivität und Qualität des Service zu erreichen, sowie die Evaluierung von AR-Technologien in engen, schwer zugänglichen Bauräumen

Service in der Automatisierung: Zeitintensive Service-, Wartungs- und Instandhaltungsfälle in der Automatisierungstechnik, die für die Bewältigung einen hohen Grad an Maschineninformationen benötigen, sollen durch dieses Projekt Effektivitätssteigerungen durch AR-basierte Unterstützung bei unterschiedlichsten Dimensionen und Einsatzbedingungen der Anlagen (z.B. Einzel- und Sondermaschinen) erfahren [ART04]

## **3 Entwicklungskonzept für AR-Technologie im Montage/Demontagebereich**

Der Einsatzbereich und die zu unterstützenden Tätigkeiten beeinflussen grundlegend die Wahl für die am Besten dafür geeigneten Komponenten. Aus diesem Grund müssen mögliche Einflußfaktoren sorgsam betrachtet und ausführlich bewertet werden. Das folgende Kapitel soll vorab einen Überblick über den Einsatzbereich mit den dort vorzufindenden Umgebungsbedingungen und –einflüssen geben. Exemplarisch wird ein immer wiederkehrender Arbeitsvorgang beschrieben und die durch einen AR-Einsatz resultierenden Verbesserungen analysiert und aufgezeigt. Aufbauend auf dieser Analyse wird angestrebt, die dort anfallenden Aufgaben und durchzuführenden Tätigkeiten mit derzeit am Markt erhältlichen Komponenten umzusetzen. Diese müssen hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit, den arbeits- und schutztechnischen Anforderungen des Einsatzbereiches bewertet werden. Gleichzeitig wird ein Konzept entwickelt, welches die Entwicklung einer eigenen speziellen und auf den Anforderungen des Einsatzbereiches abgestimmten Technologiekomponente aufzeigt.

### **3.1 Einsatzbereich AR-System für Montage/Demontage**

Die beiden vorangegangenen Kapitel 2.3 und 2.4 haben einen allgemeinen Überblick der Forschungs- und Anwendungsbereiche für Augmented Reality Technologie und Projekte gegeben. Der betrachtete Einsatzbereich, für den ein AR-System entwickelt wird, wird in dem anschließenden Kapitel 3.1.1 vorgestellt. Dies beinhaltet die Darstellung der Umgebungsbedingungen und des Aufgabenfeldes, die von dem zu entwickelnden AR-System bewältigt werden müssen.

Aus der Beschreibung des Einsatzbereiches in Kapitel 3.1 werden in Kapitel 3.2 dem Einsatzbereich entsprechende Anforderungen abgeleitet und formuliert. Diese Anforderungen stellen eine allgemeine Grundlage für das Konzept einer AR-Unterstützung dar, daß in Kapitel 3.3 beschrieben wird. Die in diesen Kapiteln allgemeine Betrachtung für ein AR-Konzept bildet die Ausgangsbasis für die Erstellung des speziellen Entwurfes, der im Anschluß in Kapitel 4 erläutert wird.

Darüber hinaus wird eine Gegenüberstellung der für ein AR-System notwendigen Komponenten Tracking, Visualisierung und Rechneinheit für eine mobile (und tragbare) und variabel einsetzbare Variante aufgebaut, um die weitere Vorgehensweise für die Integration der AR-Technologie in dem Einsatzbereich zu festigen. Ergänzend wird der Prozeß exemplarisch für eine in dem Bereich vorkommende alltägliche Tätigkeit veranschaulicht. Parallel wird die gleiche Tätigkeit mit AR-Unterstützung durchgeführt und mit dem IST-Stand verglichen.

#### **3.1.1 Beschreibung des Einsatzbereiches**

Der Einsatzbereich in dem das zu entwickelnde AR-System zum Einsatz kommt, gleicht dem Aufbau einer Kundendienst-Werkstatt. Aufgabenschwerpunkt ist es, bereits hergestellte Produkte, die aufgrund von diversen Einflußfaktoren wie z.B. Liefer-schwierigkeiten von Teilelieferanten in Form von schadhafte und nicht dem hohen Qualitätsstandard entsprechenden Teilen, Produktionsausfällen oder höhere Gewalt,



zu korrigieren. Dafür können diverse nachträgliche Montage- und Demontagetätigkeiten anfallen, um ein verkaufswürdiges Produkt zu garantieren.

Für die Durchführung dieser Arbeiten stehen den Anwendern eigene Arbeitsplätze zur Verfügung. Diese Arbeitsplätze beinhalten diverse Hilfsmittel wie z.B. Standardwerkzeuge, die in einem rollbaren Werkstattwagen untergebracht sind, eine Hebebühne für erleichternde Arbeitspositionen und ein Diagnosetester zum Auslesen der Steuergeräte für eine Fahrzeugdiagnose. Dieser Diagnosetester ist in einem industrietauglichen Laptopgehäuse untergebracht und besitzt eine berührungssensitive Oberfläche als Interaktionsschnittstelle (Bild 3-1).



*Bild 3-1: Diagnosetester VAS5052*

Auf diesem Gerät befinden sich diverse Hilfsprogramme, die dem Anwender nach einer eindeutigen Identifikation des zu bearbeitenden Produktes zur Verfügung stehen. Diese Programme unterstützen bei der Diagnostik der Fahrzeugelektrik und bieten Hilfestellung für die Durchführung von Demontageaufgaben am Produkt an. Diese Hilfestellung beschreibt die durchzuführenden Tätigkeiten anhand eines Reparaturleitfadens und verwendet neben der textuellen Beschreibung technische Skizzen. In diesen Skizzen sind Teilansichten des Produktes abgebildet, die dem Anwender für die Durchführung seiner Tätigkeit helfen sollen, sich schneller an dem Produkt zu orientieren, um den Verbauort zügig zu lokalisieren und den Suchaufwand somit zu verringern. Diese Reparaturleitfäden beschreiben aber nur die Demontage, nicht aber die Montage bzw. Remontage. Bei der Durchführung von umfassenden Arbeiten an dem Produkt, die bis zu zwei oder drei Arbeitsschichten in Anspruch nehmen können, ist diese Aufgabe für den Anwender nicht einfach umzusetzen. Die Begründung hierfür liegt in der entsprechenden Montagetiefe, die bei den Tätigkeiten erreicht wird und der Navigation innerhalb des Reparaturleitfadens.

In Bild 3-2 wird eine Übersicht der betrachteten Arbeitsumgebung gezeigt. Anhand der Abarbeitung eines exemplarischen Auftrages für Tätigkeiten an der Klimaanlage wird der zurückzulegende Weg [m] mit der dafür benötigten Zeit [s] in Tabelle 3-1 aufgezeigt. Eine mögliche Einsparung durch den Einsatz von AR-Technologie wird diesem Beispiel gegenübergestellt.

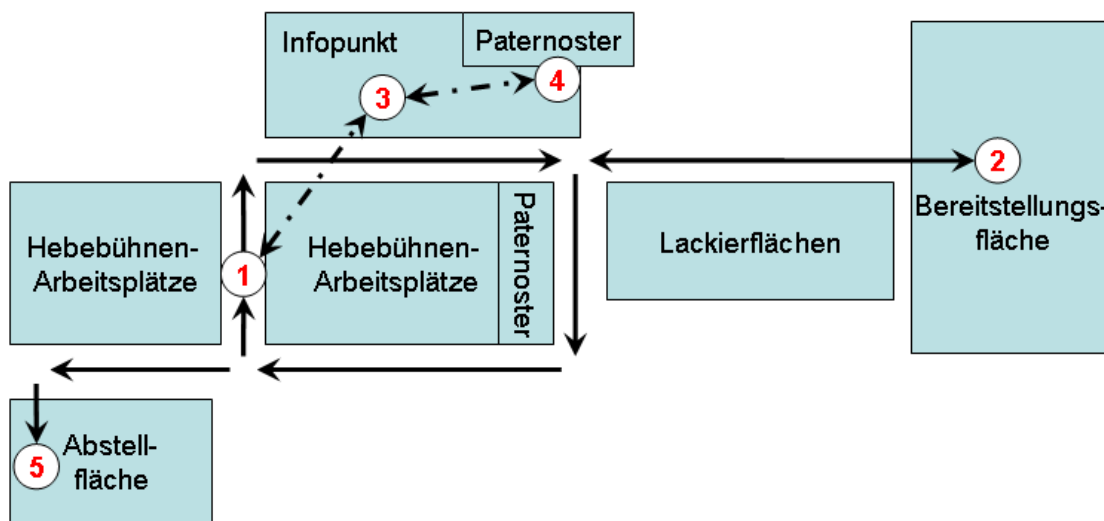


Bild 3-2: Übersicht Arbeitsumgebung

Startpunkt für die Abarbeitung eines Auftrages ist in dem Bild 3-2 der Punkt ①. Von dort aus bewegt der Anwender sich zu Fuß zu Punkt ②, wo die Bereitstellungsfläche der Fahrzeuge ist. Auf dieser Fläche sind die Fahrzeuge nach Art und Umfang der Tätigkeiten vorsortiert. Der Anwender kontrolliert in der Wagenbegleitkarte (WBK) die durchzuführenden Umfänge (z.B. Elektrik- oder Motorkomponenten) und fährt das Fahrzeug zu Punkt ① in seinen Arbeitsbereich. Die WBK gibt dem Anwender weitere Hinweise über die Art der Beanstandung. Gleichzeitig wird der in den Steuergeräten vorhandene Code mit dem VAS 5052 ausgelesen, um weitere Informationen zu erhalten. Ist die durchzuführende Maßnahme eingegrenzt, beschafft der Anwender sich bei Punkt ③ die zu dem Fahrzeug notwendigen Ersatzteilnummern in einem Computersystem. Mit der Teilenummer wird das zu ersetzende Bauteil entweder in dem unter Punkt ④ befindlichen Lagersystem ausgefaßt oder aber im Zentrallager durch einen weiteren Mitarbeiter beschafft. Das Bauteil wird dann an dem Fahrzeug entsprechend ersetzt, aussortiert und ordnungsgemäß entsorgt. Nach abgeschlossener technischer und elektronischer Funktionsprüfung wird ein Prüfprotokoll erstellt und in der WBK hinterlegt. Erst danach kann der Anwender das Fahrzeug zu Punkt ⑤ bringen, wo das Fahrzeug entsprechend seiner weiteren vorgesehenen Bestimmung entgegen genommen wird.

Tabelle 3-1 zeigt anhand der exemplarischen Abarbeitung eines Auftrages, welche Strecke [m] und Zeit [s] der Anwender benötigt. Die für die einzelnen Etappen erfaßten Werte wurden anhand eines Arbeitsumfanges an der Klimaanlage aufgenommen und gegenübergestellt.

Die Werte für Zeit und Strecke des IST-Zustandes ergeben sich aus der Addition aller Einzelpositionen der durchzuführenden Arbeitsschritte. Die Summe der Einsparung durch AR entsteht durch Addieren der Zeiten, die durch die Verwendung von AR wegfallen oder schneller abgearbeitet werden. Bei der Erstellung und Erfassung dieser Übersicht war es nicht möglich für c.) Werte aufzunehmen. Die Begründung hierfür ist, daß zu dem Zeitpunkt der Untersuchung keine Möglichkeit gegeben war, für diese Positionen eine zeitnahe Umsetzung und Erstellung einer Testumgebung herbeizuführen, um Werte aufzunehmen. Aus diesem Grund konnten in dieser ersten Gegenüberstellung die Einzelpositionen zu c.) nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 3-1: Exemplarische Abarbeitung eines Auftrages

Exemplarische Abarbeitung eines Auftrages		
Beschreibung der Tätigkeit für Nacharbeit im Bereich Klima	s in [m]	t in [s]
a.) Fahrzeug abholen (von ① → ② → ①)	330	145
b.) Auswerten der WBK (von ① → ③ → ①)	117	380
c.) Fehler erkennen (bei ①)	0	0
d.) Teile beschaffen (von ① → ③ → ④ → ①)	110	212
e.) Reparatur (bei ①)	146	187
f.) Fahrzeug Abtransport (von ① → ⑤)	165	45
	IST:	868
	Einsparung mit AR:	162
	in [%]	19
		969
		537
		55

Es ist anzunehmen, daß durch diese Werte in der Gesamtstrecke in [m] keine Änderung erfolgt. Durch eine mit AR unterstützte geführte Fehlersuche ist anzunehmen, daß eine Verkürzung des Suchaufwandes und damit des gesamten Zeitaufwandes für die Durchführung einer Reparatur realisierbar ist. Das Ergebnis in Tabelle 3-1 zeigt eine Verkürzung der Wegstrecke um bis zu 20 Prozent und der benötigten Arbeitszeit sogar um über 50 Prozent. Dieser erste Ansatz beruht im Allgemeinen auf dem theoretischen Ansatz der Machbarkeit, um eine vorläufige Tendenz der Vorteile eines AR-Einsatzes für den vorgesehenen Tätigkeitsumfang zu erkennen. Aus diesem Grund ist es notwendig, diesen Ansatz in 5.1.3 genauer zu untersuchen und auszuwerten.

Aufgrund der Variantenvielfalt, die ein solches Produkt erreichen kann, kann die Komplexität von zwei Produkten der gleichen Familie technisch sehr stark unterschiedlich ausgeprägt sein. Diese entsprechende Verbau- und Spezialisierungstiefe muß der Anwender beherrschen können, denn der Umfang seines Aufgabenfeldes hat in den letzten Jahren aufgrund der dem Kundenwunsch stetig stärker ausgeprägten Individualisierungsmöglichkeiten enorm zugenommen. Neben den notwendigen Montageschritten müssen diverse andere Aufgaben durchgeführt werden. Immer mehr Steuergeräte übernehmen die Aufgaben für zusätzliche elektronische Komfort- und Assistenzsysteme, um dem Kunden die Verwendung des Produktes so angenehm und sicher wie möglich zu gestalten. Diese elektronischen Zusatzsysteme müssen von dem Anwender fachgemäß beherrscht und bedient werden können, denn sie erfordern eine entsprechende Handhabung, um bei Montagetätigkeiten nicht beschädigt zu werden. Aufgrund der ständigen Weiterentwicklung der Produkte, bedingt die Entwicklung des KFZ-Mechanikers immer tiefere Spezialkenntnisse über Elektronik- und Computerwissen. Daher muß eine Unterstützung entwickelt werden, die den gestiegenen Anforderungen der durchzuführenden Tätigkeiten entspricht. Selbige muß dem Anwender alle notwendigen Informationen zur Verfügung stellen sowie eine einfache und übersichtliche Handhabung selbst bei langwierigen und komplizierten Reparaturen garantieren. Folglich ist eine Unterstützung des Anwenders in diesem Bereich nur noch mit Systemen möglich, die ihm helfen, die riesigen Datenmengen zu verwalten und zu beherrschen.

Eine Unterstützung mit Augmented Reality Technologie kann die beschriebenen Anforderungen für den oben vorgestellten Einsatzbereich erfüllen und darüber hinaus

bei Prozeß- oder Produktänderungen kurzfristig schnell reagieren. Die Verwendung für ein AR-System in diesem Bereich erfordert entsprechende technische Anpassungen, damit der ungestörte Betrieb sowie die Funktionalität sichergestellt werden kann. Diese Anforderungen werden in dem folgenden Kapitel 3.2 herausgearbeitet. Auf der Grundlage der in Kapitel 2.2 beschriebenen Vor- und Nachteile der für ein AR-System notwendigen Komponenten, werden diese zu einem für den Einsatzbereich tauglichen AR-System zusammengesetzt.

## **3.2 Anforderungen und Einschränkungen**

Dieses Kapitel beschreibt die Umgebungsbedingungen, Randbedingungen, Problematiken und die daraus resultierenden Anforderungen des Einsatzbereiches, die ein zu entwickelndes Augmented Reality System für Montage- und Demontage-tätigkeiten erfüllen muß. Ziel ist, die Grundlage für ein Systemkonzept zu erarbeiten, um die dafür notwendigen Funktionalitäten (Tracking, Visualisierung und Rechner-system/Interaktion) zu garantieren.

### **3.2.1 Einsatzbereich (Randbedingungen)**

Die Umgebungsbedingungen im Einsatzbereich variieren sehr stark in ihrer Ausprägung. Aus diesem Grund ist eine Darstellung möglicher Einflüsse von großer Bedeutung, sodaß diese bei der Komponentenauswahl entsprechend beachtet werden können. In Kapitel 2.2.1 und folgende wurden die für ein AR-System notwendigen Systemkomponenten eingehend beschrieben, und die Vor- als auch Nachteile herausgearbeitet. Die Konzeption eines AR-Systems für den Einsatzbereich verlangt, daß alle möglichen Einflußfaktoren mit den einsetzbaren technischen Lösungen bzgl. jeder einzelnen notwendigen AR-Systemkomponente gegenübergestellt werden.

Folglich werden die durch die Umgebungsbedingungen auf das AR-System einwirkenden Einflüsse formuliert, und die in Frage kommenden Komponenten in Bezug auf ihre Eigenschaften entsprechend verglichen und ausgewählt. In dem betrachteten Einsatzbereich können diverse Einflußfaktoren wie z.B. Lichtverhältnisse, Umgebungsgeräusche, Temperaturen, Staub, Stoß und Spritzwasser den Betrieb des AR-Systems beeinflussen.

In der nachstehenden Tabelle 3-2 werden die Einflußfaktoren den technischen Systemkomponenten gegenübergestellt und entsprechend ihrer Einsatzmöglichkeit bewertet. Aus dieser Bewertung ist zu erkennen, welche Komponenten besonders für den Einsatzbereich geeignet sind und eine gute Basis für das AR-System bilden.

Der vorgesehene Einsatzbereich ist eine Hallenumgebung, die zum einen ungleichmäßige akustische Geräusche und zum anderen stark unterschiedliche Lichtbedingungen aufweist. Für die Durchführung gewisser Teilumfänge der Tätigkeiten werden elektrische oder pneumatische Werkzeuge verwendet, durch deren Einsatz die angesprochene ungleichmäßige akustische Belastung entsteht.

Tabelle 3-2: Gegenüberstellung von Systemkomponenten und Einflußfaktoren

Systemkomponente	Tracking				Visualisierung		Rechnersystem	
	Optisch	Mechanisch	Ultraschall	Elektromagnetisch	Monitor mit Gehäuse	HMD	Standard PC	Wearable PC
Lärm	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Licht	ja	nein	nein	nein	ja	ja	nein	nein
Klima	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja
Stoß	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja
Spritzwasser	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein
Staub	ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein

Die stark unterschiedlichen Lichtbedingungen werden durch Sonneneinstrahlung, zusätzliche Kunstlichtbeleuchtung, oder aber am Standort auftretende Einflüsse, wie z.B. Reflexionen, verursacht. Jahreszeitbedingt treten in dem Einsatzbereich Temperaturen auf, die zwischen ca. 15° C bis 35° C liegen. Durch direkte Sonneneinstrahlung kann die Temperatur entsprechend höher sein. Weitere Einflußfaktoren, die auf das AR-System einwirken können, werden durch die unterstützende Tätigkeit selbst hervorgerufen. Dabei kann beispielsweise dem System eine direkte oder indirekte Krafteinwirkung (z.B. ein Stoß oder ein Sturz) widerfahren, die ihren Betrieb oder korrekte Funktionsweise nicht beeinflussen darf. Darüber hinaus muß dieses System den härteren Umgebungsbedingungen, die durch den Aufgabenbereich bedingt sind, wie z.B. Einwirkung durch Fett, Säure, Staub, Spritzwasser etc., standhalten können.

In Tabelle 3-2 ist zu erkennen, daß die AR-Systemkomponente Tracking durch die Einflußfaktoren des Einsatzbereiches bei der mechanischen und elektromagnetischen Variante nicht beeinflusst wird. Die Vor- und Nachteile der für ein AR-System in Frage kommenden Trackingsysteme wurden bereits in Kapitel 2.2.3 herausgearbeitet. Da die Reichweite des elektro-magnetischen Systems zu gering und ungenau ist, wird hier das mechanische Tracking gewählt.

Die Visualisierungskomponente „Monitor mit Schutzgehäuse“ kann durch eine ungünstige Blickwinkelposition das Erkennen der angezeigten Informationen für den Anwender erschweren. Durch eine entspiegelte Glasplatte können zusätzliche, durch Licht hervorgerufene Reflexionen auf ein Minimum reduziert werden. Die Verwendung eines „HMD’s“ wirft darüber hinaus zusätzliche Probleme auf. Durch eine entsprechende, für den Anwender angenehm kleine und leicht zu tragende Bauform, leidet die Robustheit einer solchen Visualisierungskomponente, wodurch die Verwendung in dem Einsatzbereich als nicht zweckdienlich eingestuft wird.

Die letzte notwendige Komponente für ein AR-System ist die verarbeitende Rechereinheit. Diese kann als stationäre oder tragbare Einheit ausgeführt sein. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Verwendung einer tragbaren Rechereinheit entsprechende leistungsspezifische und systemaufwertende Einschränkungen mit sich

bringt. Ferner sind bereits Entscheidungen für die Visualisierung und des Trackings getroffen worden, die den Einsatz einer tragbaren Rechereinheit nicht verlangen.

Weitere Anforderungen, die der Einsatzbereich an das zu entwickelnde AR-System stellt, sind:

- klare, anspruchslose und einfach zu bedienende Systemoberfläche
- einfache Kalibrierung des Trackingsystems
- niedrige Kosten für die Umsetzung
- durchgängiger Betrieb während einer Arbeitsschicht bei Batteriebetrieb
- keine Persongebundenheit
- Systemkompatibilität zu bereits vorhandenen operativen Systemen und Komponenten
- leichte Austauschbarkeit (Servicefall).

Alle Anforderungen müssen in dem Konzept für eine AR-Unterstützung ihre Berücksichtigung finden und umgesetzt werden. Entsprechend dem Einsatzbereich ist ein Konzept zu erstellen, welches zum einen die hardware- und softwaretechnischen und zum anderen die prozeßtechnischen Gegebenheiten miteinander in Einklang bringt. Dieses Konzept wird in dem folgenden Kapitel vorgestellt.

#### **3.2.2 Augmented Reality System – Anforderungen und Einschränkungen**

Um ein Augmented Reality System für den oben beschriebenen Einsatzbereich konzipieren zu können, müssen die Anforderungen, die ein solches System mit sich bringt, in das Entwicklungskonzept einfließen. Aus diesem Grund soll systematisch jede einzelne Komponente (Bild 3-3) des AR-Systems betrachtet, und die Ergebnisse in das Konzept aufgenommen werden. Diese Betrachtung der einzelnen Komponenten beinhaltet die kritische Aufbrechung der Konzeptentwicklung in ein „kleines und tragbares“ sowie in ein „großes und bewegliches“ AR-System. Dabei werden die Kriterien der einzelnen Systemkomponenten entsprechend ihres Einsatzbereiches und den daraus resultierenden Anforderungen und Einschränkungen beschrieben.

Die Aufspaltung des AR-Systems wird in drei Komponenten vorgenommen. Die Anforderungen und Einschränkungen der Visualisierungs- (Bild 3-4), Rechner-(Bild 3-5) und Trackingeinheit (Bild 3-6) werden dem Einsatzbereich entsprechend abgeleitet und in den folgenden Bildern dargestellt.

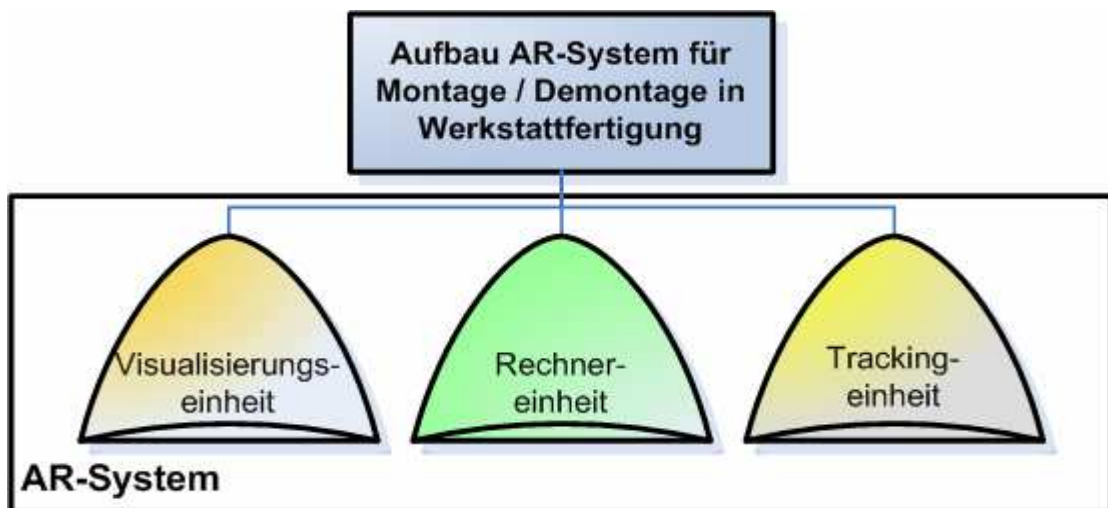


Bild 3-3: Systemkomponenten AR-System

Die Visualisierungseinheit des AR-Systems ist besonders wichtig, denn der Anwender soll mit dieser seine alltägliche Arbeit bewältigen. Aus diesem Grund muß sie bezüglich der Optik, der Auflösung und insbesondere der optischen Problematiken hin betrachtet werden. Ergänzend ist die Akzeptanz des Anwenders zu untersuchen. Diese hat einen erheblichen Einfluß auf die Verwendung des Systems und der daraus resultierenden Verbesserung gegenüber dem IST-Zustand. Ein weiterer wichtiger Faktor ist der Preis und die Verfügbarkeit der Visualisierungseinheit. Diese muß in kurzen Lieferzeiten erhältlich, preisgünstig und somit wirtschaftlich schnell amortisierbar sein.

In Bild 3-4 ist die Visualisierungseinheit diesen Faktoren gegenübergestellt und bewertet worden. Für ein „kleines und tragbares“ System kann als Visualisierungseinheit ein HMD eingesetzt werden. Die Beurteilung dieser Hardware zeigt schon im Ansatz, daß die Akzeptanz bei dem Anwender nur schwer bis gar nicht erwartet werden kann. Die am Markt erhältlichen HMD's sind in Bezug auf Auflösung, Gewicht, Handhabung und optischer Darstellung gegenüber dem Anwender nicht zumutbar. Ein Einsatz über eine mehrstündige Arbeitsschicht kann aufgrund der noch nicht gelösten augenoptischen Problematik, die Übelkeit, Schwindel, Augenbrennen, Kopfschmerz oder sogar Erbrechen auslöst, nicht forciert werden. Der Grund für diese Beschwerden ist, daß das Auge ständig bestrebt ist, sich auf betrachtete Dinge zu fokussieren. Dies bedeutet eine permanente Fern- und Nahakkommodation des Sehmuskels, was alsbald zu einer Ermüdung desgleichen führt und die besagten gesundheitlichen Beschwerden hervorrufen kann. Je nach Ausführung können HMD's darüber hinaus durch ihr hohes Eigengewicht Nacken- und Rückenschmerzen verursachen. Die Verwendung eines HMD's zeigt schon im Vorfeld eine Reihe von noch nicht gelösten Problemen auf.

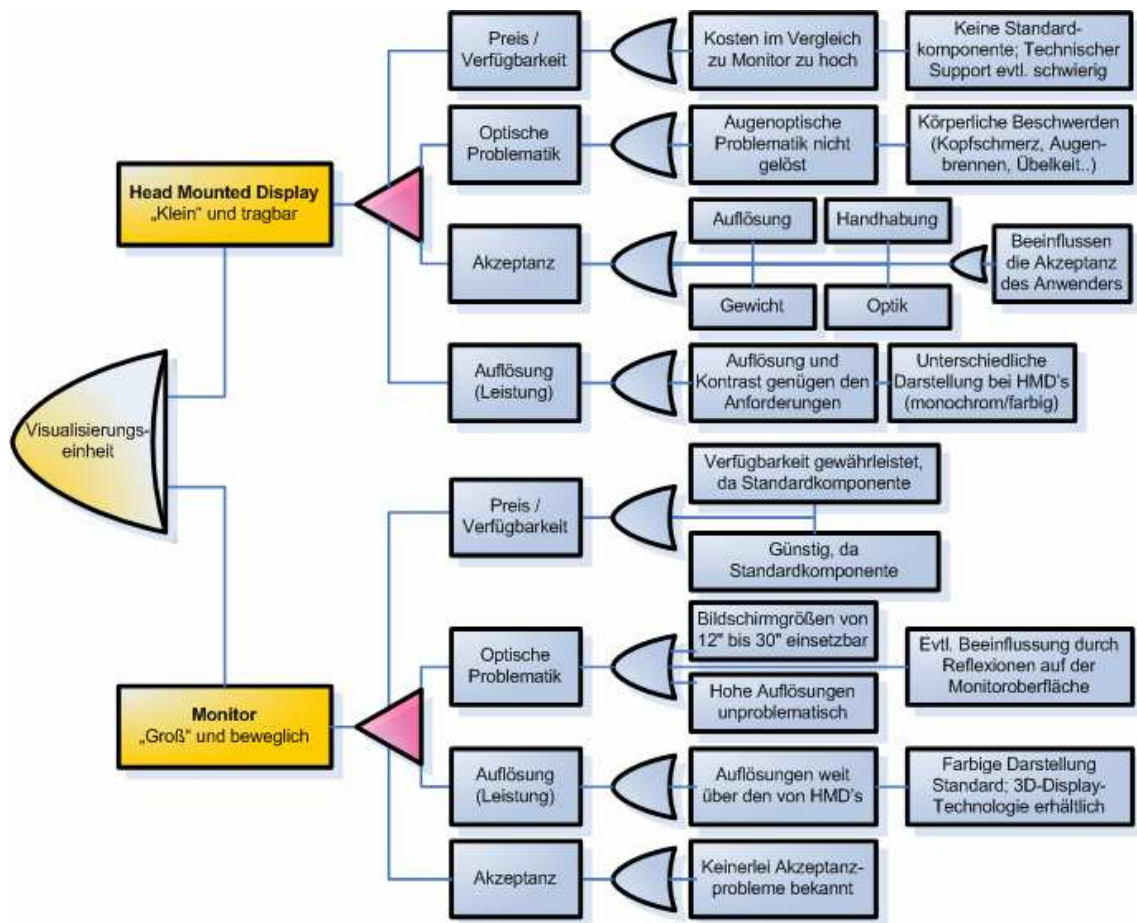


Bild 3-4: Kriterienübersicht Visualisierungseinheit

Ein „großes und bewegliches“ System hat den Vorteil, daß es den Anwender komplett unberührt läßt. Das soll bedeuten, daß die Visualisierungseinheit nicht am Kopf oder anderen Körperteilen getragen wird, sondern an einem fest installierten Ort dem Anwender die notwendigen Informationen zur Verfügung stellt. Eine solche Visualisierungseinheit ist zum Beispiel ein monitorbasiertes System. Diese genießen den HMD's gegenüber den Vorteil, daß der Anwender sie von seiner Arbeit am PC bereits kennt und akzeptiert hat. Durch das Entkoppeln des Anwenders von der Visualisierungseinheit, fühlt der Anwender sich nicht eingeengt oder bepackt. Seine optische Wahrnehmung muß sich nicht erst an einem direkt vor dem Auge getragenen Kleinstbildschirm gewöhnen. Darüber hinaus sind Monitore in allen Größen kostengünstig erhältlich und können jede gewünschte Auflösung darstellen.



Die Rechneinheit (Bild 3-5) stellt im Hinblick auf das Gesamtsystem das „Herzstück“ dar. Sie hat die Aufgabe, eine Verbindung mit der Unternehmensdatenbank aufrecht zu erhalten, um jederzeit die entsprechenden Informationen abrufen zu können.

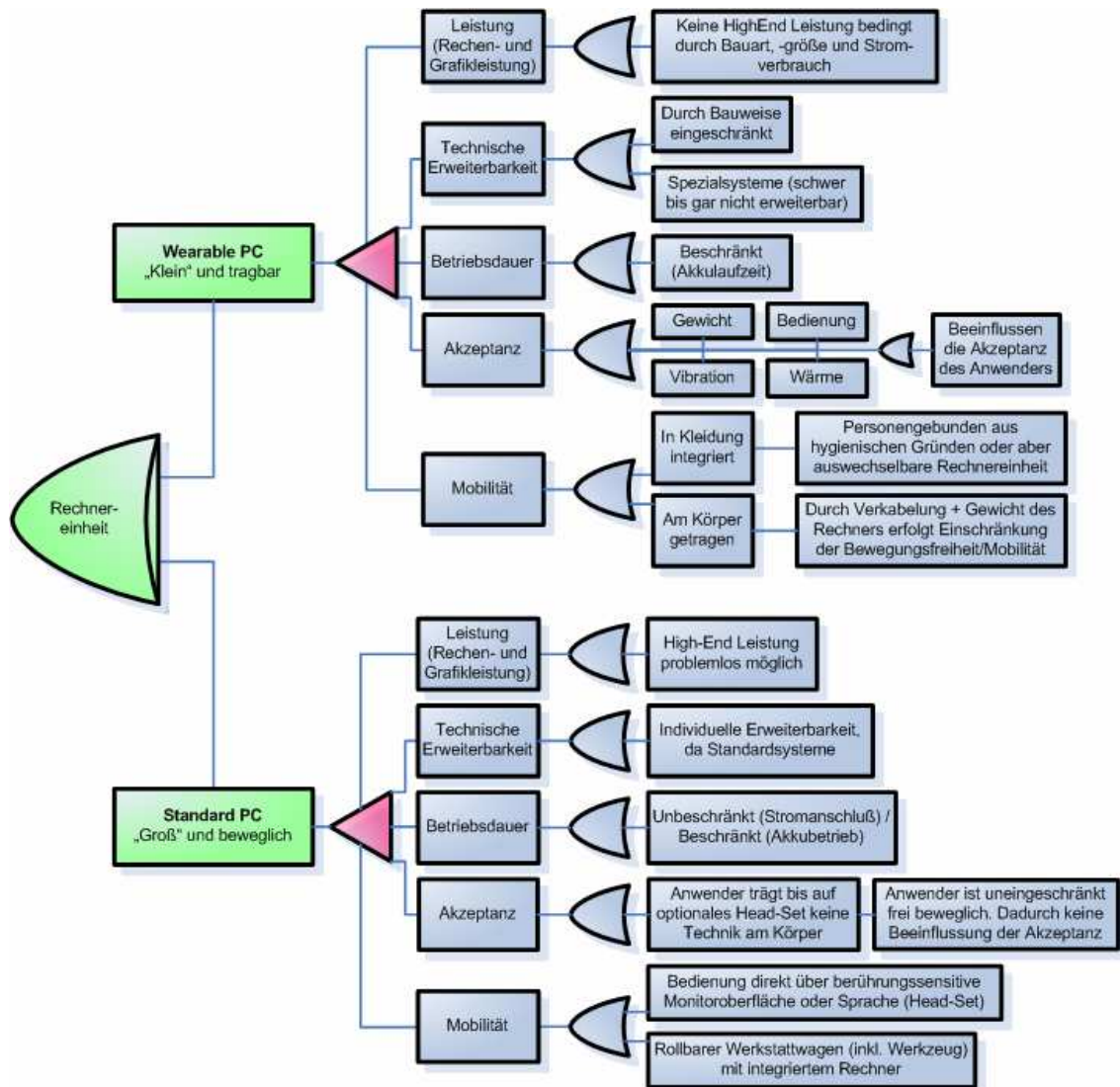


Bild 3-5: Kriterienübersicht Rechneinheit

Die Rechneinheit muß die von dem Trackingsystem gelieferten Positionsdaten verarbeiten. Dies bedeutet für eine korrekte Überlagerung der realen Objekte mit virtuellen Informationen eine permanente Berechnung des jeweilig abhängigen Blickwinkels des Anwenders. Der ermittelte Blickwinkel wird dann an die Visualisierungseinheit übermittelt. Diese berechnet die korrekte Position der virtuellen Objekte und überlagert diese kongruent zu ihren realen Abbildern. Ergänzend ist zu erwähnen, daß der Anwender in der Lage sein muß, die Rechneinheit ohne Probleme zu bedienen.

Bei der Betrachtung der Kriterien für die Rechneinheit bezüglich eines „kleinen und tragbaren“ Systems fällt auf, daß diese Systeme Abstriche bei ihrer Leistungsfähigkeit eingestehen müssen. Sie sind für mobile Anwendungen vorgesehen, die keine High

End-Leistung erfordern und somit die Akku-Leistung entsprechend schonen. Weiterhin verfügen kleine mobile Rechereinheiten über keinerlei Erweiterungsmöglichkeiten, wie z.B. Aufrüstung auf eine neuere Grafik- oder Rechnerprozessoreinheit. Die Akzeptanz des Anwenders ist eher niedrig einzustufen, denn durch das Tragen einer mobilen Rechereinheit mit einem Gürtel um die Hüfte, verspürt der Anwender das Gewicht und die mit dem Betrieb verbundenen Nebeneinflüsse wie entstehende Wärme und Vibration. Diese Einflüsse können über einen längeren Einsatz hin als störend bis hin zu nicht akzeptabel auf den Anwender einwirken. Ferner sind die entsprechenden Interaktionsgeräte einer solchen Rechereinheit entweder an diese angeschlossen oder befinden sich direkt auf der Oberfläche des Gerätes. Sind die Interaktionsgeräte über Funk angeschlossen, so verringert sich die Betriebszeit im Allgemeinen, denn die Funkeinheit verbraucht zusätzlich Strom. Bei einer Kabelverbindung der Interaktionsgeräte mit der Rechereinheit kann der Anwender sich nicht mehr frei bewegen, und es kann passieren, daß unfreiwillige Interaktionen durch Hängenbleiben des Kabels ausgelöst werden. Ein weiteres Kriterium ist eine mögliche direkte Integration der Rechereinheit in die Arbeitskleidung (z.B. eine Jacke oder ein Arbeitsanzug). Ist die Rechereinheit dort nicht ohne weiteres austauschbar, setzt dies voraus, daß jeder Anwender in dem Einsatzbereich seine eigene Rechereinheit hat. Aus rein hygienischen Gründen ist die Weitergabe der Jacke dann nicht ohne weiteres möglich und wird sicherlich große Akzeptanzprobleme hervorrufen. Herstellerfirmen geben die maximale Waschbarkeit solcher in die Kleidung integrierter Technik mit ca. 10-20 Reinigungen an, bevor deren Funktionalität nicht mehr gegeben ist [IFE06].

Die Lösung der Rechereinheit in einem „großen und beweglichen“ System hat den Vorteil, daß diese nicht auf ihren Energieverbrauch zu achten haben, da sie generell für einen anderen Einsatzzweck bezüglich der Rechen- und Grafikleistung konzipiert und ausgelegt wurden. Aus diesem Grund kann bei dieser Variante auf kostengünstige Standardsysteme zurückgegriffen werden, die unproblematisch jederzeit leistungsspezifische Aufwertungen erhalten können. Diese Rechereinheit in der Größe eines Standard-PC's soll in einem rollbaren Werkstattwagen untergebracht werden, in dem gleichzeitig Werkzeuge und andere notwendige Arbeitsutensilien untergebracht werden sollen. In Bezug auf die Betriebsdauer sind diese Geräte auf eine direkte Stromnetzverbindung angewiesen und schränken dadurch den Anwender geringfügig durch den Stromanschluß in seiner allgemeinen Mobilität ein. Es ist aber zu erwähnen, daß ein zeitlich beschränkter Einsatz über Akkubetrieb technisch machbar ist. Die direkte Mobilität des Anwenders kann lediglich durch ein optionales Head-Set für eine Sprachinteraktion geringfügig eingeschränkt werden. Im Übrigen ist dieser uneingeschränkt frei beweglich, denn die Interaktion soll über ein in den Werkstattwagen fest integriertes industrietaugliches Tastatur- und Maussystem oder aber den berührungssensitiven Monitor direkt geschehen. Durch diese Lösung, bei der der Anwender frei von jeglichen zu tragenden Objekten bleibt, ist seine Akzeptanz hinsichtlich des Gesamtsystems „groß und beweglich“ sicherlich einfacher zu gewinnen.

Die letzte zu bewertende Systemkomponente ist die Trackingeinheit (Bild 3-6). Diese hat die wichtige Aufgabe, die Position der Kamera in Bezug auf das betrachtete Objekt zu erfassen. Ohne eine solche Einheit könnte keine Überlagerung von virtuellen und realen Objekten umgesetzt werden. Aus diesem Grund stellt sie ein wichtiges Bindeglied zwischen der Rechner- und der Visualisierungseinheit dar. Kriterien für eine Bewertung im Hinblick auf die umzusetzenden Systeme waren vor allen Dingen der maximal erfaßbare Arbeitsbereich, die damit verbundene Auflösung, die Kalibrierung und Bedienbarkeit. Eine Abschätzung der preislichen Eingrenzung und Verfügbarkeit ist für den Einsatzbereich ein weiteres wichtiges Kriterium.

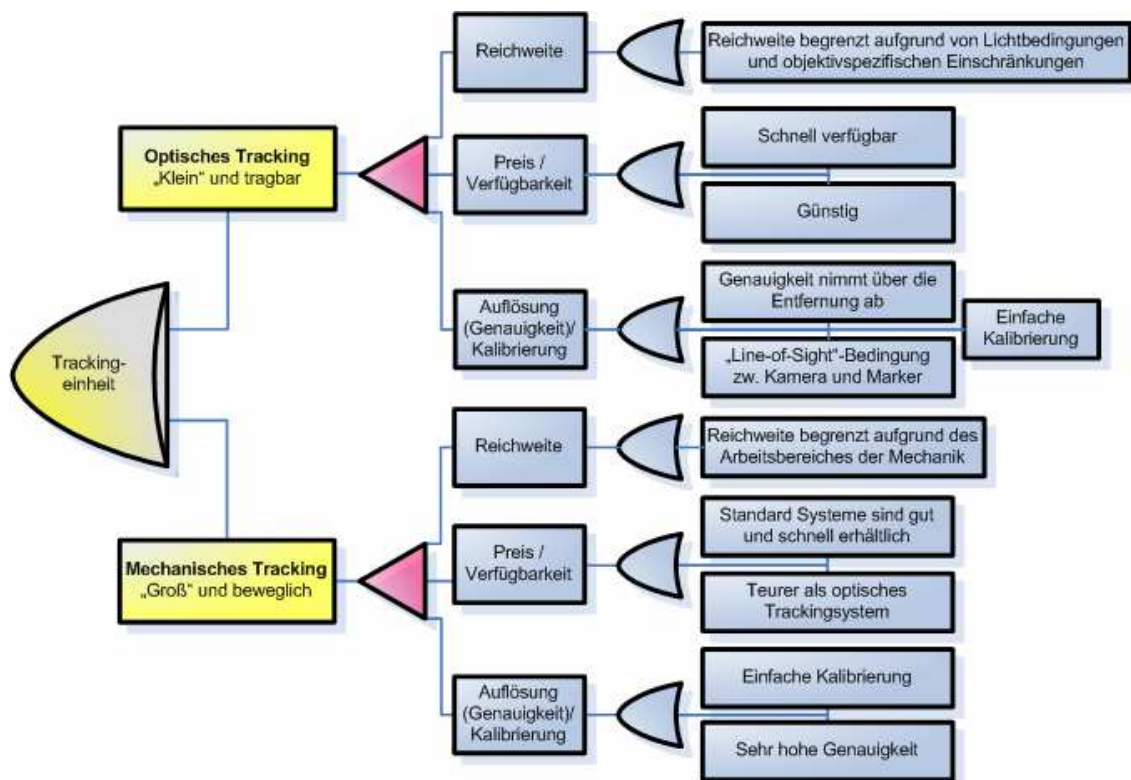


Bild 3-6: Kriterienübersicht Trackingeinheit

Die für ein „kleines und tragbares“ System einsetzbare optische Trackinglösung ist aufgrund der objektspezifischen Einschränkungen und Lichtbedingungen in ihrem Arbeitsbereich stark eingeschränkt. Aufgrund der Orientierung über einen Marker muß dieses System ständig einen oder mehrere Marker erfassen, um konstante Positionswerte errechnen und an die Rechneinheit leiten zu können. Im Hinblick auf ihre Kalibrierung ist diese Art der optischen Trackingsysteme sehr einfach zu kalibrieren und darüber hinaus kostengünstig und schnell verfügbar.

Bei der „großen und beweglichen“ Lösung anhand des mechanischen Trackings begrenzt sich der Arbeitsbereich auf die maximale Reichweite, die mit der Mechanik erreicht werden kann. Die Positionsermittlung der Kamera im Raum wird über das Auslesen der Gelenkstellung erreicht, wodurch zum einen sehr hohe Genauigkeit und zum anderen Echtzeitfähigkeit erreicht wird. Mechanische Trackingsysteme sind konstruktionsbedingt teurer als optische Marker-Trackingsysteme, haben aber den Vorteil, daß keinerlei Marker zuerst an den Objekten angebracht werden müssen. Ihre Ausführungen sind industrietauglich und robust, wodurch ein zuverlässiger Einsatz garantiert werden kann. Durch Ihre Verbreitung sind sie bereits als Standardsysteme gut und schnell verfügbar. Auch die Kalibrierung dieser Systeme weist gegenüber dem Anwender keinerlei Schwierigkeiten auf, da sie durch die verwendete Elektronik selbstkalibrierend sind. Der Vorteil bei der Verwendung eines mechanischen Trackingsystems liegt in der permanenten Positionserfassung und –übermittlung an die

Rechnereinheit, ohne einer „Line-of-Sight“<sup>14</sup> Bedingung wie bei optischen markerbasierten Trackingsystemen.

### 3.2.3 Eigenentwicklung von AR-Komponenten

Die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Systeme zur Visualisierung und Positionsbestimmung wurden den anspruchsvollen Anforderungen des Einsatzbereiches hin gegenüber geprüft und bewertet. Das Ergebnis der Recherche nach auf dem Markt erhältlichen Gesamtsystemen, aber auch Teilkomponenten wie Tracking-, Visualisierungs- und Recheneinheiten, werden in diesem Kapitel erläutert.

Bei der Suche nach geeigneter erhältlicher Hardware wurde besonderes Augenmerk auf die bereits herausgearbeiteten Anforderungen des Einsatzbereiches gelegt, wie:

- klare, anspruchslose und einfach zu bedienende Systemoberfläche,
- einfache Kalibrierung des Trackingsystems,
- niedrige Kosten für die Umsetzung,
- durchgängiger Betrieb während einer Arbeitsschicht bei Batteriebetrieb,
- keine Persongebundenheit,
- Systemkompatibilität zu bereits vorhandenen operativen Systemen und Komponenten,
- hohe Leistungsfähigkeit,
- leichte Austauschbarkeit (Servicefall).

Diese Anforderungen sind wichtig für einen produktiven Einsatz und der Akzeptanz des Anwenders und bedeuten, daß die grundsätzlichen Probleme der AR, wie:

- Performanz: Nachführung der Bilder bei Bewegungen.
- Energieversorgung: Die momentan verfügbaren Akkus reichen noch nicht aus, um AR-Systeme längere Zeit zu versorgen.
- Sensorik: Es können bei einigen Systemen Rauschen bei Bewegung, Drift oder Abschattung des Trackingsystems (z. B. bei GPS) auftreten.
- Daten: Verfügbarkeit und hohe Komplexität der Daten.
- Visualisierung: Für eine überzeugende Einbettung der virtuellen Szene in die reale Szene, sind Daten notwendig, die die Umgebung auch in ihrer Geometrie beschreiben. Darauf aufbauend können dann virtuelle Schnitte durch reale Objekte gezeichnet und die Verdeckung der virtuellen Objekte durch die realen Objekte berechnet werden.

---

<sup>14</sup> Line-of-Sight-Bedingung bedeutet daß zwischen dem erkannten Marker und der Kamera eine ständige Sichtbedingung herrschen muß, um Positionsdaten erfassen zu können

- Benutzerschnittstellen: Insbesondere bei mobilen Anwendungen ist die Eingabe von Information durch Tastatur und Menüsteuerung durch Maus umständlich.
- Ergonomie: Die bisherigen Systeme sind noch relativ schwer und für den Anwender unbequem.

durch ein Gesamtsystem oder einer Kombination einzelner Komponenten zu einem Gesamtsystem entsprechend gelöst, oder aber für den Anwender als nicht störend empfunden werden müssen.

Bei der Recherche nach einem erwerbbaaren AR-Gesamtsystem hat sich gezeigt, daß ein AR-Gesamtsystem erhältlich ist, aber dieses die oben genannten Anforderungen des Einsatzbereiches nicht erfüllt. Erhältliche Einzelkomponenten wie Tracking, Visualisierung und tragbare Rechner sind in der unten stehenden Tabelle aufgeführt.

Aufbauend auf dieser Analyse wird angestrebt, die in dem Einsatzbereich anfallenden Aufgaben und durchzuführenden Tätigkeiten mit derzeit am Markt erhältlichen Einzelkomponenten umzusetzen. Diese müssen hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit, den arbeits- und schutztechnischen Anforderungen des Einsatzbereiches bewertet werden. Gleichzeitig wird ein Konzept entwickelt, welches die Entwicklung einer eigenen speziellen und auf den Anforderungen des Einsatzbereiches abgestimmten Technologiekomponente aufzeigt. Die Entwicklung einer eigenen AR-Komponente ermöglicht einerseits die speziellen Anforderungen zu berücksichtigen und die Möglichkeit diese in anderen Bereichen des Produktentstehungsprozesses mit ähnlichen Randbedingungen zu integrieren.

Die auf dem Markt erhältlichen Systeme zur Positionserfassung sind in Tabelle 2-3 in bezug auf ihre Eigenschaften und der im Einsatzbereich auftretenden Einflußfaktoren bewertet worden. Es hat sich gezeigt, daß mechanische Trackingsysteme hier am unempfindlichsten sind. Erwerbbaare mechanische Systeme werden hauptsächlich zum Messen eingesetzt und besitzen aufgrund dessen nicht die Erweiterungen bzw. Eigenschaften, die für den Einsatzbereich benötigt werden. Die Funktionen, wie z.B.:

- integrierte Kamertechnik
- in jeder Position selbsthaltend (auch bei Stromausfall)
- robuste und umweltunempfindliche Konstruktion
- eine in den eigenen Achsen vorhandene Verdrehbarkeit (8 Achsen für eine bessere Anpaßbarkeit der Armspitze) mit der darin enthaltenen Optik, um jede erdenkbare Lage und Position einfach zu erreichen,

werden von keinem System im Gesamten angeboten. Die vorherrschenden arbeits- und schutztechnischen sowie tätigkeitsspezifischen Anforderungen des Einsatzbereiches werden somit nicht erfüllt.

Das erhältliche M.A.R.S-System der Fa. A.R.T. [ART06] besitzt ein optisches Trackingsystem und ist in einem fahrbaaren Werkstattwagen untergebracht. Besonders hervorzuheben ist hier die mobile Einsatzfähigkeit und der Ansatz ein System für den Werkstattbereich anzubieten. Die Ausführung des Systems, die Reichweite, die Handhabung und die Störanfälligkeit sind aufgrund der Umweltbedingungen in dem Einsatzbereich schlecht bis gar nicht einsetzbar. Durch die Verwendung von

sogenannten Targets, die für eine korrekte Überlagerung exakt an dem Objekt ausgerichtet sein müssen, ist zu jeder Zeit eine „line-of-sight“ Bedingung zwischen den Trackingkameras und den Target's (Objekt und WebCam) notwendig. Dies ist erforderlich, um eine 6-DOF-Erfassung und somit eine korrekte Anzeige und Überlagerung der virtuellen Objekte auf dem gewählten Visualisierungssystem zu gewährleisten. Das M.A.R.S-System verwendet zur Visualisierung ein WebPad an dem eine Web-Cam mit einem Target montiert ist. Der Anwender muß für eine Überlagerung des interessierenden Bereiches mit virtuellen Objekten die WebCam mit dem WebPad entsprechend halten, um eine Überlagerung sehen zu können. Das Gewicht und die Handhabung des WebPad's schließt eine Verwendung des Systems in dem Einsatzbereich durch eine unvorteilhafte unergonomische Verwendung über eine gesamte Arbeitsschicht hinweg aus. Ergänzend ist zu erwähnen, daß der Anwender für jeden abzuarbeitenden Arbeitsschritt das WebPad niederzulegen hat. Für jeden neuen zu überlagernden Arbeitsschritt ist dieses wieder aufzunehmen.

Um dem Anwender ein ständiges Ablegen der Visualisierungseinheit wie bei dem M.A.R.S.-System der Fa. A.R.T. zu ersparen, sind Überlegungen unternommen worden für den Einsatzbereich ein HMD als Visualisierungssystem einzusetzen. Bei näherer Betrachtung am Markt erhältlicher HMD's gibt es nur wenige Systeme, die annähernd für eine Verwendung in dem Einsatzbereich in Frage kommen würden. Gewichtssparende und leicht zu bedienende Systeme werden von den Firmen Microvision [[MIC06A] Bild 3-8, Liteye [LIT06] Bild 3-7, und Microoptical [MIC06B] angeboten.



*Bild 3-7: HMD der Firma Liteye [LIT06]*

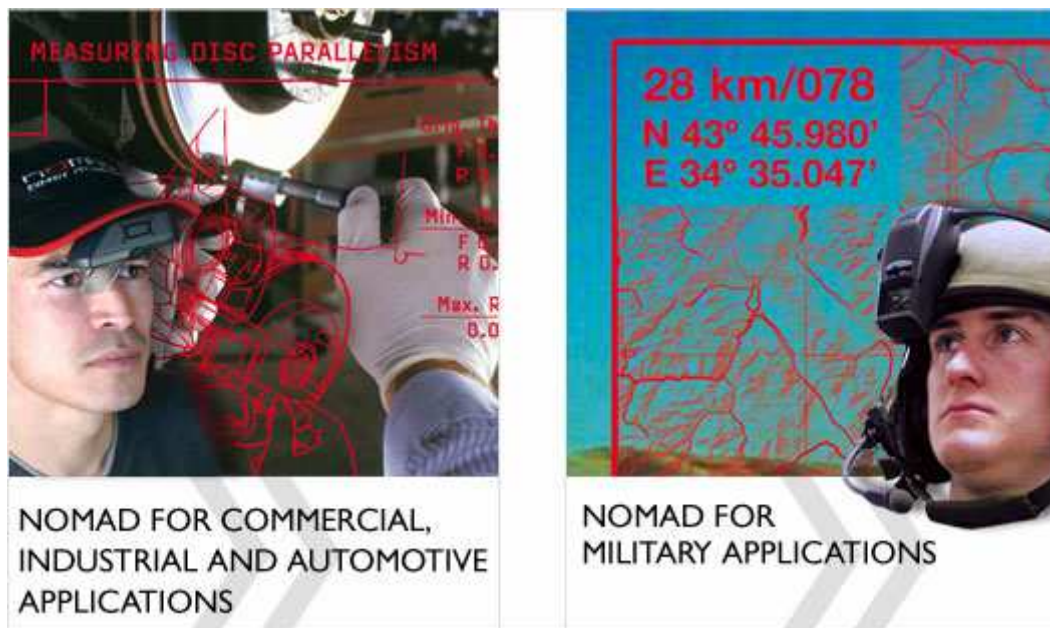


Bild 3-8: HMD`s der Firma Microvision [Mic06A]

Die Problematik bei der Verwendung von HMD`s ist die Erfassung der Blickrichtung des Anwenders, die notwendig für die korrekte Überlagerung von virtuellen mit dem betrachteten realen Objekt ist. Darüber hinaus sind folgende wichtige Punkte sicherzustellen:

- schnelle Übertragungsverbindung für die in einem Rechner korrekt berechneten Visualisierungsinformationen.
- eine bis zu acht Stunden lange Energieversorgung ist zu garantieren. Alternativ kann auch mit einer Batterieschnellwechselfunktion die Einsatzbereitschaft sichergestellt werden.
- eine unter mehreren Anwendern unproblematische Anpassung des HMD`s bei unterschiedlichen Sehstärken.

Diese oben genannten Punkte sind im Moment schwer zu vollführen und können mit den gegenwärtig am Markt erhältlichen HMD`s nicht umgesetzt werden. Die Hauptproblematik ist die korrekte, permanente und für den Anwender als nicht störende Erfassung der 6-DOF. Die mit Hilfe von AR-Technologie umzusetzende Unterstützung in dem Einsatzbereich verlangt eine genaue Positionierung der virtuellen Informationen. Die bisher durchgeführten Untersuchungen für eine Unterstützung mit HMD`s zeigen nach einer kurzen Eingewöhnungszeit eine schnellere Abarbeitung der Aufgaben, allerdings sind die möglichen gesundheitlichen Nebenwirkungen nicht außer Betracht zu lassen. Durch die Darstellung der Informationen direkt vor dem Auge des Anwenders mit Hilfe des HMD`s, muß das Auge ständig zwischen zwei unterschiedlichen räumlichen Tiefen hin und her fokussieren [ALT02] Die Belastung des Augenmuskels ist dadurch um ein vielfaches höher und kann zu Nebenwirkungen führen, wie z.B. Augenbrennen, Kopfschmerz und Übelkeit bis hin zum Erbrechen.

Tragbare Rechnersysteme, sogenannte Wearable Computer<sup>15</sup> sind nicht in der für den Einsatzbereich gewünschten benötigten Leistungsfähigkeit (Grafik- und Prozessorgeschwindigkeit) und Akku-Einsatzdauer erhältlich. Am Markt erhältliche Systeme der Firmen Xybernaut und Microvision werden in Verbindung mit einem HMD angeboten. Diese weisen die oben genannten Probleme auf und kommen aus diesem Grund nicht als Visualisierungssystem in Frage. Die technischen Spezifikationen der tragbaren Rechner reichen nicht für die Anforderungen des Einsatzbereiches. Neben der reinen Visualisierungsleistung sollen auf den benötigten Rechnern weitere Softwareprogramme zum Einsatz kommen, die dem Anwender für seine Tätigkeit zur Verfügung stehen sollen. Darüber hinaus entsteht durch die Funkübertragung zwischen dem am Körper getragenen Rechner und dem Visualisierungsrechner eine kleine zeitliche Verzögerung, die zu arbeitsschutztechnischen Bedenken führen. Zudem bestehen Schwierigkeiten in der Bereitstellung einer Interaktionsmöglichkeit für den Anwender, denn die klassischen Eingabegeräte wie Maus und Tastatur sind bei Wearable Computer nicht angedacht. Aus diesem Grund wird der Einsatz von Standard-PC-Technik favorisiert. Sie ist schnell und unkompliziert austauschbar, kostengünstig und kurzfristig verfügbar. Desweiteren sind Standard-Rechner- und Interaktionssysteme bei den Anwendern bekannt und führen nicht zu Berührungs- und Verständnisängsten.

Die für den Einsatz von AR-Technologie benötigte Software für eine Überlagerung von dreidimensionalen virtuellen Informationen und einem realen Videobild wird von der Firma metaio [MET06] verwendet. Sie bietet ein Höchstmaß an Anpassungsmöglichkeiten für den geplanten Verwendungszweck und ist in Performance und Darstellungsqualität sehr gut. Ein wichtiger Entscheidungsgrund für die kommerzielle AR-Software der Firma metaio gegenüber frei erhältlicher AR-Software ist die Gewährleistung von technischem Support, sowie dem modularen Aufbau und der unproblematischen schnellen Anpassung bei Änderungswünschen.

#### 3.2.4 Datenschema

In diesem Kapitel wird zuerst abgebildet, wie die zurzeit existierenden Daten für die Unterstützung des Anwenders erstellt, gespeichert und zur Verfügung gestellt werden. Daraus folgend wird aufgezeigt, welche Daten momentan dem Anwender für die Durchführung seiner Arbeiten zur Verfügung stehen, und welche Daten für eine mit AR unterstützte Montage-/Demontage noch ergänzt werden müssen. Anhand dieser Daten sollen dem Anwender sowohl durch textuelle Hinweise, als auch durch Überlagerung virtueller Bauteile, Werkzeuge und Hilfsgeometrien, die Arbeitsanleitung näher gebracht werden. Ein Lösungsansatz für eine Zusammenführung des Bestehenden und dem für eine AR-Unterstützung noch Notwendigem wird in dem Kapitel 3.3.2 aufgezeigt.

Zurzeit werden dem Anwender Daten für die Bewältigung seiner Aufgaben zur Verfügung gestellt. Solche Daten sind z.B. die in einem sogenannten Workflow<sup>16</sup> beschriebenen einzelnen Tätigkeitsschritte für die Durchführung einer Aufgabe an dem Produkt. Für eine solche „Schritt-für-Schritt-Anleitung“ muß jeder einzelne Workstep<sup>17</sup>

---

<sup>15</sup> Wearable Computer bedeutet Tragbare Kleinstrechner

<sup>16</sup> Ein Workflow ist eine sequentielle Liste bestehend aus mehreren Worksteps

<sup>17</sup> Workstep ist ein Arbeitsschritt innerhalb eines Workflows



folgende Informationen beinhalten, um eine geführte Verrichtung der Aufgabe zu gewährleisten:

- Textuelle Anweisung mit entsprechender Differenzierung der Wichtigkeit
- Benötigte Werkzeuge
- Bezeichnung der produktspezifischen Teile.

Dies sind die Grunddaten, die dem Anwender beispielsweise in einem herkömmlichen Reparaturleitfaden (RL) für Werkstätten zur Verfügung gestellt werden. Diese können entweder auf dem in Kapitel 3.1.1, Bild 3-1 dargestellten Diagnosetester VAS 5052 zur Verfügung stehenden ELSA<sup>18</sup>-Programm aufgerufen, (Bild 3-9) oder aber in Papierform ausgedruckt werden. Das Programm ELSA stellt fahrzeugspezifische Arbeits- und Ersatzteilpositionen zur Verfügung und hält darüber hinaus noch weitere wichtige Informationen bereit, die dem Anwender für die Abarbeitung seines Auftrages helfen. Dies sind z.B. Stromlaufpläne, Wartungstabellen, Instandhaltungsanweisungen und abnahmespezifische Einstell- und Prüfwerte für Motor- und Fahrwerkseinstellungen.

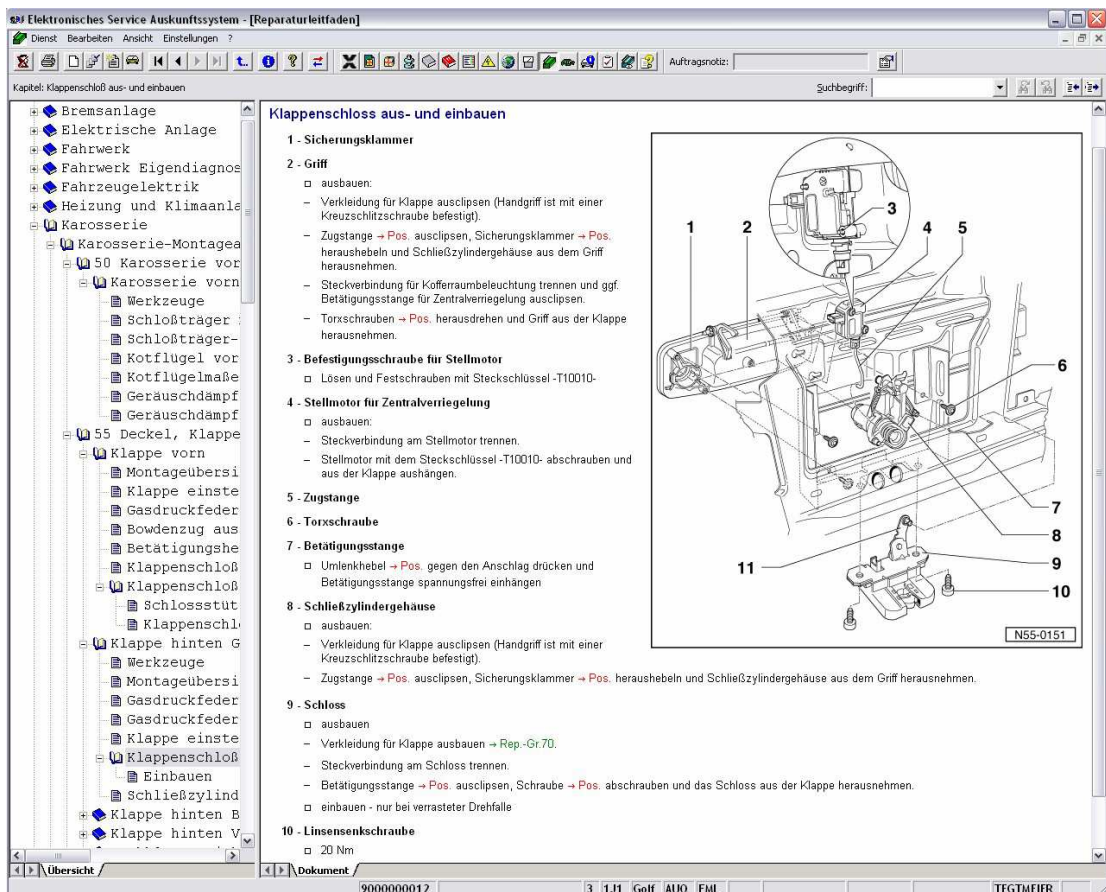


Bild 3-9: Auszug aus Reparaturleitfaden (Ausbau Klappenschloß hinten)

<sup>18</sup> ELSA – Elektronisches Service Auskunftssystem

Alle diese Daten werden dem Kundendienstprogramm ELSA durch das Redaktionssystem LIVAS 3, in Form von XML<sup>19</sup>-Dateien generiert, bereitgestellt. Die Beschreibungssprache XML ist sehr gut geeignet für die Kodierung von hierarchischen Informationen, wie z.B. einem RL. XML stellt durch die Vorteile einer flexiblen Adaptierbarkeit, der Trennung von Form, Inhalt und Layout sowie der unproblematischen Bearbeitung in jedem herkömmlichen Text-Editor eine gute Basis für Prozessleittechnik-Systeme dar.

In LIVAS 3 werden Reparaturleitfäden erstellt, verwaltet und gepflegt. Die Ablage dieser Daten geschieht in einer Unternehmensdatenbank im SGML<sup>20</sup>-Format. Dieses Dateiformat beinhaltet sämtliche Anweisungsschritte und Illustrationen für die Durchführung der Reparatur an einem bestimmten Produkt.

In Bild 3-10 wird der Prozeß für die Erstellung eines Reparaturleitfadens in LIVAS 3 schematisch dargestellt. Zuerst wird ein Auftrag erstellt, in dem alle Informationen eingepflegt werden, die für die Planung der Herstellung, der Übersetzung, dem Druck und der Distribution der Leitfäden benötigt werden. Ist dies erfolgt, wird der Auftrag vom „Betreuer Autor“ in das Verwaltungssystem übertragen. Sodann hat der „Publikationssteuerer“ dafür zu sorgen, daß zu dem zu erstellenden Leitfaden eine Struktur hinterlegt wird, damit die Autoren die notwendigen Informationen erarbeiten und einpflegen. Diese führen in einer werkstattähnlichen Umgebung die notwendigen Tätigkeiten durch, die zur Bewältigung des Auftrages notwendig sind. Dabei werden Notizen und Fotos zu bestimmten Handlungen getätigt, die später mit Hilfe eines SGML-Editors direkt in die Struktur des Leitfadensystems übertragen werden.

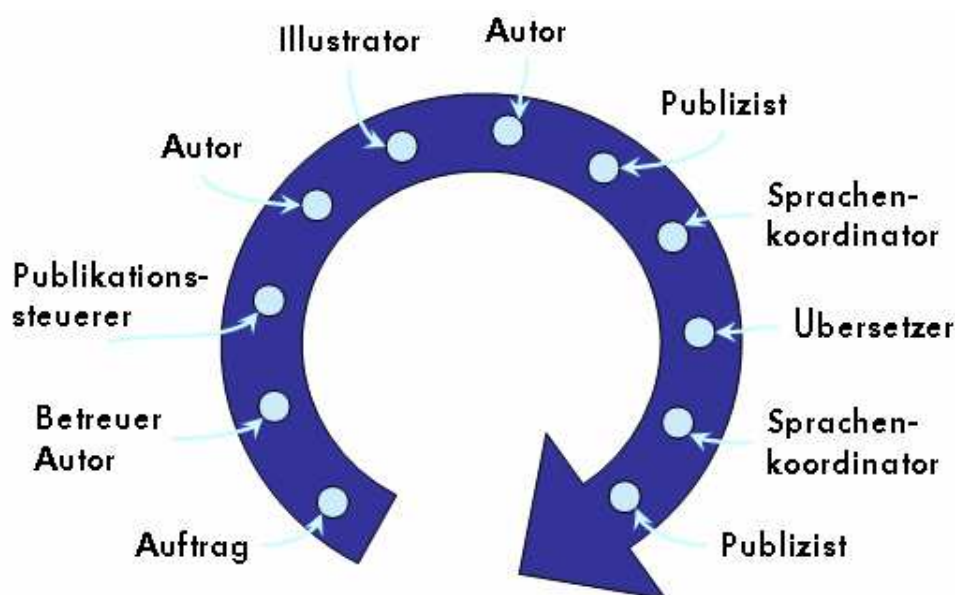


Bild 3-10: Prozeß der Reparaturleitfadenerstellung in LIVAS 3 [VOL05]

---

<sup>19</sup> XML – Extensible Markup Language

<sup>20</sup> SGML – Standard Generalized Markup Language

Der Editor unterstützt die Autoren durch farbliche Hervorhebungen und Wortvervollständigungen bei der Eingabe. Darüber hinaus können durch mehrere unterschiedliche Ansichten z.B. eine baumartige Strukturansicht, eine Vorschauansicht und eine Editieransicht erzeugt werden, die eine unterstützende Funktion dem Autor gegenüber darstellen. Der Autor hat in diesem Prozeß die Aufgabe den textuellen Umfang in den Editor einzuarbeiten. Ergänzend bestimmt dieser aber auch, welche Schritte durch Illustrationen ergänzt werden müssen. Illustratoren fertigen technische Skizzen (Bild 3-9) an und legen diese in dem Redaktionssystem ab. Nach der Fertigstellung überprüft der Autor diese und fügt sie in die Leitfadenstruktur ein. Wenn die Struktur von allen Autoren komplett gefüllt ist, können die Leitfäden zum ersten Mal durch den Publizisten veröffentlicht werden. Die Hauptaufgabe des Publizisten ist es, die Leitfäden dem Anwender in einem geeigneten Format zur Verfügung zu stellen. Zum Abschluß des gesamten Erstellungsprozesses gehört die Übersetzung der Leitfäden in unterschiedliche Sprachen. Diese Aufgabe der Übersetzung wird von den Sprachenkoordinatoren gesteuert und auf Richtigkeit überprüft.

Diese bereits vorhandenen und in Unternehmensdatenbanken auf Abruf vorbereiteten Informationen bilden die Grundlage für die Entwicklung eines Workflows mit AR-Unterstützung.

Die zusätzlichen zu beschaffenden und zu vereinigenden Informationen für die zu entwickelnde AR-Anwendung sind:

- AR-spezifische Daten für eine Einblendung bzw. Überlagerung
  - o Bauteile (spezifische Geometrien)
  - o Werkzeuge (Standard- und Spezialwerkzeuge)
  - o Hilfsgeometrien (Hinweispeile, Drehrichtungspfeile, etc.)
- eindeutige Verknüpfungszuweisung zwischen bestehenden RL und zusätzlichen AR-Informationen.

Diese Geometriedaten müssen in dem VRML<sup>21</sup> 2.0 Format vorliegen, damit die AR-Anwendung diese verarbeiten und anzeigen kann. Bauteil- und Werkzeuggeometrien können aus den Unternehmensdatenbanken generiert und über das Intranet zur Verfügung gestellt werden. Hilfsgeometrien sind noch nicht in diesen Systemen an- bzw. abgelegt worden, was auch für das in den folgenden Kapiteln beschriebene Konzept nicht notwendig ist. Unter Hilfsgeometrien sind statische oder dynamische dreidimensionale Objekte wie z.B. Hinweis-, Drehrichtungspfeile oder andere Symboliken zu verstehen. Diese haben die Aufgabe auf bestimmte Objekte hinzuweisen oder durch Animationen (z.B. Drehrichtungen) erleichternde und unterstützende Zusätze zu den textuellen Hinweisen zu geben. Da diese Geometrien einen geringfügigen Speicherplatz belegen, sollen diese auf der Rechneinheit des AR-Systems redundant gespeichert werden. Dies hat den späteren Vorteil, daß keine Datenverbindung notwendig ist, um dem Anwender entsprechend augmentierte Informationen zur Verfügung zu stellen. Es ist also festzuhalten, daß alle für eine AR-Unterstützung notwendigen Daten im Unternehmen vorhanden sind. Damit die für eine

---

<sup>21</sup> VRML – Virtual Reality Modelling Language

Umsetzung des mit AR-Technologie unterstützenden Montage-/Demontagesystems notwendige permanente Datenvorhaltung gewährleistet ist, muß lediglich eine konsequente Verbindung der entsprechenden Datenbanksysteme miteinander durch- und umgesetzt werden. Für eine Realisierung der Unterstützung sind die Informationen in ein für die Anwendung verarbeitbares Dateiformat umzuwandeln oder abzulegen und entsprechend zu optimieren.

Darüber hinaus muß eine Verbindung in den Workflows mit den Geometriedatenbanken geschaffen werden, damit das richtige Bauteil zu dem ausgewählten Workstep angezeigt und korrekt überlagert wird. Aus dieser Anforderung, der für ein AR-unterstützendes Montage-/Demontage-System notwendigen Grundlage für Reparaturleitfäden, ergibt sich die Frage der Datenbereitstellung und –kombination. Denn wie bereits erörtert wurde, existieren entsprechende RL mit den notwendigen textuellen Hinweisen und den technischen Prinzipskizzen. In den dafür verwendeten XML-Strukturen sind jedoch noch keinerlei AR-Informationen eingearbeitet und entsprechend verknüpft.

Die hardware- und softwaretechnische Gesamtumsetzung wird in dem folgenden Kapitel 3.3 eingehend und umfassend beschrieben. Dabei werden die in den vorangegangenen Kapiteln ausgearbeiteten Anforderungen und technischen Lösungsmöglichkeiten der AR-Anwendung für den Einsatz in dem vorgesehenen Umfeld näher erörtert.

## **3.3 Vorstellung des Entwicklungskonzeptes**

In diesem Kapitel werden alle Erkenntnisse, die in den vorangegangenen Ausführungen bezüglich der Verwendung eines mit AR-Technologie unterstützenden Montage-/Demontagesystem gesammelt, untersucht und bewertet wurden, zusammengetragen. Dabei werden alle software- und hardwaretechnischen Aspekte betrachtet und zu einem Gesamt-Entwicklungskonzept gefügt.

Die Grundlage des Entwicklungskonzeptes (Kapitel 3.3.1) bildet die Belange des Einsatzbereiches und seiner Anwender. Aufgrund immer komplexer und variantenreicher werdender Produkte wird es für den Anwender immer schwieriger, diese ohne eine Unterstützung durch Computertechnologie zu beherrschen. Weiterhin müssen die Bedingungen des Einsatzbereiches und der momentan am Arbeitsplatz vorhandenen Arbeitsmittel für die Durchführung der Tätigkeiten berücksichtigt werden. Alle Arbeitsmittel müssen trotz einer AR-Unterstützung weiterhin zugegen und uneingeschränkt zugänglich und bedienbar sein. In Kapitel 3.3.2 werden alle für das AR-System notwendigen Komponenten und Informationen auf eine Gesamtlösung hin fokussiert. Die Lösungskonzepte für Hard- und Software werden vorgestellt und schematisch beschrieben. Abschließend finden sich alle ausgearbeiteten Lösungen in Kapitel 3.3.3 zusammen, wo das Konzept in seiner Gesamtheit dargestellt wird.

### **3.3.1 Integration des AR-Systems**

Die in dem Einsatzbereich vorhandenen und nutzbaren Komponenten müssen mit in das Konzept für die Umsetzung eines mit Augmented Reality Technologie unterstützenden Systems für Montage- und Demontagetätigkeiten eingearbeitet werden. Betrachtet werden alle Komponenten, die zum einen die Unterbringung der notwendigen AR-System-Einheiten und zum anderen einer unentbehrlichen Anbindung

an Versorgungsleitungen (wie z.B. Strom, Daten, Druckluft) betreffen und den Betrieb sichern.

Um die Eignung überprüfen zu können, werden die in Kapitel 3.2.2 getroffenen grundlegenden Entscheidungen als Planungsgrundlage bezüglich der einzusetzenden Systemkomponenten verwendet. Hintergrund dieser Vorgehensweise ist, daß in den Einsatzbereich keine zusätzlichen Gerätschaften integriert werden sollen. Obendrein ist insbesondere der Grundgedanke ein mobiles, autarkes AR-System zu konzipieren, zu beachten. Denn wenn das System nur an einem Arbeitsplatz einsetzbar ist, ist ein Mehrgewinn an Einsatzmöglichkeiten sowie die Arbeitsplatzverlagerung schon im Vorfeld stark eingeschränkt bis ausgeschlossen. Aus diesem Grund werden die Integrationsmöglichkeiten für AR-Komponenten in vorhandene Arbeitsmittel betrachtet, die sowohl dem Einsatzbereich gerecht werden, als auch die Mobilität und Übertragbarkeit in weitere Einsatzbereiche ermöglichen. Die AR-System relevanten Einheiten müssen industriesicher verbaut, leicht austauschbar und sicher in der Bedienung sein. Sie dürfen ebenfalls keine zusätzliche Herausforderung für den Anwender in Form von Verständnis und Handhabung bedeuten.

Jeder Mitarbeiter in dem vorgesehenen Einsatzbereich hat einen eigenen Werkstattwagen, in welchem er seine Standardwerkzeuge aufbewahrt, für die er persönlich verantwortlich ist. Dieser ist rollbar und kann auf dem ebenen Boden des Einsatzbereiches problemlos bewegt werden. Darüber hinaus ist der Einsatzbereich mit Stromversorgungs- und Druckluftleitungen versehen. Datenleitungen sind ebenfalls in ausreichender Form vorhanden und können sogar über W-LAN<sup>22</sup> verwendet werden. Zusammenfassend sind folgende Komponenten in dem Einsatzbereich untergebracht:

- Werkstattwagen
- Handwerkzeuge
- Infrastruktur (Versorgungsleitungen im allgemeinen: Strom, Luft, Daten)

Der Werkstattwagen bietet demzufolge eine gute Ausgangsposition für die Integration der AR-Einheiten, denn die wichtigsten Faktoren wie Industrietauglichkeit, Mobilität, Verfügbarkeit (Standardkomponente) und zusätzlichen Aufbewahrungsplatz für die Standardwerkzeuge sind gewährleistet.

Grundsätzlich ist bei der Umsetzung zu beachten, ob die Möglichkeit besteht, anhand eines intelligenten Energiekonzepts eine befristete Verwendung des AR-Systems ohne direkte Versorgung durch das Stromnetz zu realisieren. Dies hätte den Vorteil einer zeitlich begrenzten Mobilität innerhalb des W-LAN-Erfassungsbereiches. Selbst ein Einsatz außerhalb des Einsatzbereiches ohne eine zwingende Datenleitungsverbindung wäre somit realisierbar. Die Verbindung des AR-Systems mit Versorgungsleitungen kann dem Konzept und der Aufgabe entsprechend angepaßt und verwendet werden.

Die in Tabelle 3-2 favorisierten AR-Einheiten (Rechner-, Tracking- und Visualisierung) für Einsatz- und Aufgabenbereich haben in dem vorhandenen Werkstattwagen ausreichend Platz. Die sich aufdrängende und zu lösende Frage, wie das AR-System

---

<sup>22</sup> W-LAN Wireless Local Area Network (Funknetzwerk)

hard- und softwaretechnisch integriert werden kann, wird in Kapitel 3.3.2 für jede Komponente geklärt und beschrieben.

#### **3.3.2 Lösung der Anforderungen**

Alle ausführlich betrachteten und untersuchten Komponenten sind im Hinblick auf die Anforderungen des Einsatzbereiches ausgewählt. Sie konkretisieren das Entwicklungskonzept im Ganzen, werden im folgenden spezifiziert und in Bezug auf die Verwendung hin festgelegt. Die wichtigsten Komponenten für das Gesamtsystem sind die Rechner-, Tracking-, Visualisierungseinheit und Interaktionsschnittstelle. Bezugnehmend auf die in Kapitel 3.2.2 ausgearbeiteten Kriterien für ein „großes und mobiles“ sowie ein „kleines und tragbares“ AR-System werden in diesem Kapitel unter dem Gesichtspunkt des modularen Gesamtaufbaus bezüglich der zu verwendenden Einzelkomponenten die entsprechenden Entscheidungen herbeigeführt.

##### **Rechnereinheit**

Die Rechereinheit, die im Wesentlichen das Herzstück darstellt, muß über eine gute Rechengeschwindigkeit und Grafikleistung verfügen. Bei der Einführung neuer Komponenten muß die Akzeptanz des Anwenders immer wieder neu gewonnen werden. Wenn die Verarbeitungsgeschwindigkeit für Informationsanfragen ein gutes bis sehr gutes Ergebnis liefert, ist dieser durch kurze Wartezeiten weniger strapaziert. Die Entwicklung von Prozessoren und damit verbundenen Berechnungsgeschwindigkeiten sowie Grafikverarbeitungen wird immer kürzer. Für eine optimale Nutzung neuer und besserer Komponenten ist es wichtig, auf eine unproblematische Austauschbarkeit selbiger zu achten. Daher soll eine Standard-Recheinheit verwendet werden, die diese Anforderungen erfüllt, und, preislich gesehen, günstig erwerbbar ist.

##### **Trackingeinheit**

Bei der konturengerechten Überlagerung von virtuellen Informationen ist ein AR-System nur so gut wie seine Trackingeinheit. Diese hat die Aufgabe, bei relativen Lageveränderungen, Positionsdaten so schnell wie möglich zu erfassen und ohne Verzögerung an die zu verarbeitende Einheit weiterzuleiten. Die Trackingeinheit muß aber entsprechend kalibriert sein, denn sonst kann keine konturengerechte Überlagerung gewährleistet werden. Aus diesem Grund ist eine einfache und vor allem schnelle Kalibrierung durch den Anwender ein Anforderungskriterium. Mechanische Tracking-systeme sind bekannt für ihre Echtzeitfähigkeit, Robustheit, Industrietauglichkeit, einfache Kalibrierung und Bedienung. Diese Vorteile sind maßgebliche Faktoren für die Entscheidung der Verwendung einer mechanischen Trackingeinheit.

##### **Visualisierungseinheit**

Für eine Bewältigung der Arbeitsaufgaben über den gesamten Arbeitstag, ist die Qualität der anzuzeigenden Informationen von einer nicht zu unterschätzenden Bedeutung. Diese wird zum einen durch eine entsprechend gute Grafikleistung der Rechereinheit und zum anderen durch eine hochwertige Visualisierungseinheit gestützt. Der Anwender wird sich nicht mit einem zu kleinen Bild mit einer mittelmäßigen Qualität zufrieden geben, wie sie mit Head-Mounted Displays projiziert werden. Aus diesem Grund sollen Standard-Monitorssysteme für die Visualisierung

eingesetzt werden. Diese können in entsprechender Größe und Auflösung erworben werden. Darüber hinaus können diese Systeme als Interaktionsschnittstelle eingesetzt werden, so daß der Anwender intuitiv durch Berührung der Monitoroberfläche die Anwendung bedienen kann.

#### **Datenbereitstellung**

Die Grundlage für die situationsgerechte Visualisierung von Informationen bilden die Daten, welche dem System in der dafür notwendigen Form abrufbereit zur Verfügung stehen. Eine Überlagerung von produktspezifischen Bauteilen an dem Produkt selbst, gibt Aufschluß darüber, wo sich der Verbauort befindet und wie die Einbaulage bezüglich des Gesamtproduktes ist. Hinweise für die Handhabung des Bauteils und der Vorgehensweise müssen durch zusätzliche Daten beschrieben werden. Dies muß erweiternd über z.B. fachgemäße Texthinweise und entsprechende dynamische oder statische Geometrien dem Anwender mitgeteilt werden. Ein Datenkonzept, das diesen Anforderungen gerecht wird, hat die Bereitstellung der notwendigen Informationen abzusichern. Das System muß bei nicht abrufbereiten Geometriedaten aus der Unternehmensdatenbank in der Lage sein, den Anwender durch die Verwendung der lokal abgespeicherten virtuellen Hilfsgeometrien in Ausübung seiner Tätigkeit zu unterstützen. Ein Konzept für die Datenbereitstellung wird in Bild 3-11 dargestellt. Die Hauptaufgabe der Leitfadenbibliothek besteht darin, die verschiedenen Datenquellen zusammenzuführen und den Zielanwendungen zur Verfügung zu stellen. Dabei werden in dem Prozeß die beiden Leitfäden aus der Leitfaden- und der AR-Zusatz-Datenbank in dem Combiner zusammengeführt. Das Resultat ist ein für die Anwendung AR-fähiges Dokument. Die Grundvoraussetzung hierfür ist die Ergänzung der Original-Leitfäden mit einer eindeutigen ID. Durch diese Kennzeichnung besteht die Möglichkeit, die Kundendienstleitfäden mit den AR-Inhalten zu ergänzen, die genau für die Leitfaden-ID erstellt wurde.

Die Einführung einer ID-Vergabe in den Original-RL ist unter der Betrachtung von Datenhaltungsaspekten nicht ganz unproblematisch. Eine Konvertierung führt zwangsläufig zu redundanten Daten, die sowohl im Original- als auch im konvertierten System vorhanden sind. Ergänzend muß hinzugefügt werden, daß die RL teilweise für die Arbeitssicherheit relevante Informationen enthalten. Die Korrektheit dieser Daten müßte nach der Konvertierung gewährleistet werden. Ein weiteres Problem von doppelt vorhandenen Datensätzen ist das Auftreten von Inkonsistenzen und der übermäßig beanspruchte Speicherplatz, welcher unnötige zusätzliche Kosten erzeugt. Der Abgleich zwischen den Datensätzen kann somit nicht mehr gewährleistet werden. Somit sollte auf die Konvertierung der Original-RL gänzlich verzichtet werden. Die alternative Möglichkeit, wie in Bild 3-11 aufgezeigt, besteht in der Verwendung der Original-RL und einer Verknüpfung dieser RL durch den Combiner mit durch AR-Inhalte erweiterte RL. Durch die getrennte Verwahrung von Original und AR-Ergänzungen wird nur lesender Zugriff auf die Original-RL benötigt, und die langfristige Verwendung der Ergänzungsdatenbank wäre so auch sichergestellt.

Eine weitere Aufgabe der Leitfadenbibliothek ist die Bereitstellung aller weiteren für die Visualisierung benötigten Komponenten, so daß die Zielanwendung alle ausgabe-relevanten Daten über die Schnittstelle bezieht. Die Schnittstelle der Leitfadenbibliothek erlaubt der Zielanwendung innerhalb des Leitfadens zu navigieren, um so auch auf andere Datenteile zuzugreifen, wie z.B. Verweise auf andere Leitfäden.

Der Vorteil, den dieses Schema mit sich bringt, ist die getrennte Verwahrung von Original und AR-Ergänzung. Diese Vorgehensweise bedarf nur lesenden Zugriffs auf die Original-Kundendienstleitfäden, wodurch garantiert werden kann, daß die Struktur unverändert bleibt. Fernerhin ist somit die langfristige Verwendung der Ergänzungsdatenbank gewährleistet, unabhängig davon, wer für die Erstellung der Leitfäden verantwortlich ist. Bei diesem Ansatz ist einzig und allein zu beachten, wie die Ergänzungen mit den Originalleitfäden verknüpft sind, damit es bei Änderungen an der Originalstruktur nicht zu Dateninkonsistenzen kommt.

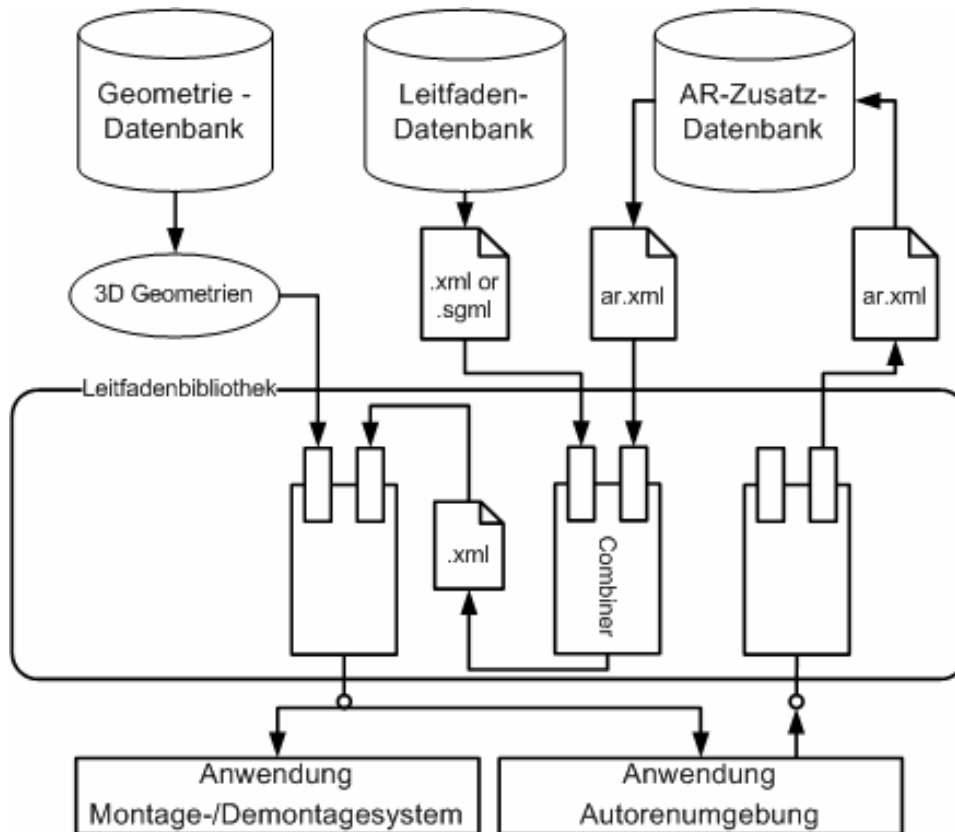


Bild 3-11: Datenschema für die Bereitstellung der Reparaturleitfäden

Um eine vielseitige Einsetzbarkeit der Anwendung zu gewährleisten empfiehlt es sich, die Datenverarbeitung von der eigentlichen Oberflächendarstellung zu trennen. Daher sollen die Funktionen zur Verarbeitung der Leitfäden in einer eigenständigen Bibliothek verwaltet werden. Diese soll so ausgelegt werden, daß sie sowohl von der Anwendung Montage- / Demontagesystem als auch von der Anwendung Autorenumgebung genutzt werden kann. Einerseits spart die Verwendung einer eigenständigen Bibliothek Entwicklungsaufwand, andererseits besteht durch die Trennung von Benutzerschnittstelle und Datenverwaltung prinzipiell die Möglichkeit, die Anwendungen für unterschiedliche Einsatzgebiete zu verwenden. Durch die Trennung erhält die Leitfadenbibliothek in dem kompletten Anwendungsumfeld eine zentrale Rolle. Die Tatsache, daß in den Unternehmensdatenbanken bisher noch keine RL mit AR-Erweiterungen angelegt oder um dergleichen ergänzt wurden, läßt die Frage offen wie dies für zukünftige RL geschehen soll. Innerhalb des Erstellungsprozesses der Reparaturleitfäden von LIVAS 3 (Bild 3-10) hat sich gezeigt, daß zwischen der Tätigkeit



in der Werkstatt und des Büros ein Medienbruch stattfindet, durch den evtl. Verständnisprobleme in der Erstellung oder Flüchtigkeitsfehler entstehen können.

Darüber hinaus werden die technischen Skizzen von Zeichnern mit Anweisungen des Autors erstellt. Durch diese getrennte Bearbeitung von zwei Personen sind die technischen Skizzen unter Umständen für den Anwender mißverständlich, da diese eventuell aus einem ungünstigen und nur schwer zu deutenden Blickwinkel gezeichnet wurden und nur einen Teilausschnitt des Verbauortes darstellen. Deswegen muß eine Autorenumgebung geschaffen werden, die dem Anwender ermöglicht, schnell, einfach und intuitiv die bestehenden RL zu ergänzen und Neue auf dem bereits vorgegebenen RL-Format aufzubauen. Aus diesem Grund besitzt die Leitfadenbibliothek die Funktionalität, Ergänzungen in die AR-Zusatzdatenbank einzupflegen. Dies ermöglicht beispielsweise der Zielanwendung Autorenumgebung über eine separate Schnittstelle zu einem Original-Leitfaden mit eindeutiger ID eine AR-Ergänzung zu erstellen und abzuspeichern. Die Trennung von Lese- und Schreiboptionen in unterschiedliche Schnittstellen ist sinnvoll, da so Zugriffsberechtigungen der Zielanwendung eindeutig geregelt werden können. Eine Zielanwendung, wie beispielsweise das Montage-/Demontagesystem, die nur lesenden Zugriff benötigt, braucht die Schnittstelle zum Schreiben der Leitfäden nicht zu implementieren.

#### **Betriebssystem und Entwicklungsumgebung**

Ein weiterer wichtiger Betrachtungspunkt für die Entwicklung ist die Wahl des Betriebssystems, der Entwicklungsumgebung, der Programmiersprache und bereits vorhandener und zu verwendender Schnittstellen. Besonders wichtig ist dies für die Entwicklung der Anwendungen und einer damit verbundenen problemlosen Integration in die bestehende Systemlandschaft. Der Einsatzbereich verwendet ausschließlich das von Microsoft vertriebene Windows Betriebssystem und hat seine gesamte Belegschaft für die Verwendung dieser Oberfläche qualifiziert. Aus diesem Grund wird für die Entwicklung der Anwendungen das ebenfalls von Microsoft vertriebene Visual Studio .NET ausgewählt.

Abschließend muß darauf hingewiesen werden, daß bei der gesamten Entwicklung des Systems auf einen modularen Aufbau geachtet wird, um kurzfristig und schnell auf Veränderungen in einzelnen Systembereichen zu reagieren und diese entsprechend anpassen zu können. Um eine entsprechende Robustheit und Alltagstauglichkeit zu erreichen, wird ein gesteigerter Wert auf die Möglichkeit des Einsatzes im Industriebereich gelegt. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Einhaltung der Schnittstellenkonformität, um somit die Einhaltung der bereits im Unternehmen umgesetzten, bewährten Schnittstellen für einen problemlosen Austausch und Einbindung in die Systemlandschaft zu gewährleisten.

#### **3.3.3 Konzept Werkstattwagen**

In diesem Unterkapitel wird der Werkstattwagen beschrieben. Er stellt das Konzept, um die Einführung von Augmented Reality Technologie zu gewährleisten dar. In ihm fließen die Erkenntnisse der Anwendungen und Untersuchungen ein, und es wird ein Ausblick der möglichen Anwendungen und Szenarien beschrieben.

Aus den kritischen Betrachtungen der jeweiligen Komponenten, des Einsatzbereiches und des Datenschemas ergibt sich das Konzept, die gesamte Technik in die bereits vorhandenen Werkstattwagen zu integrieren. Er stellt die perfekte Ausgangsbasis für

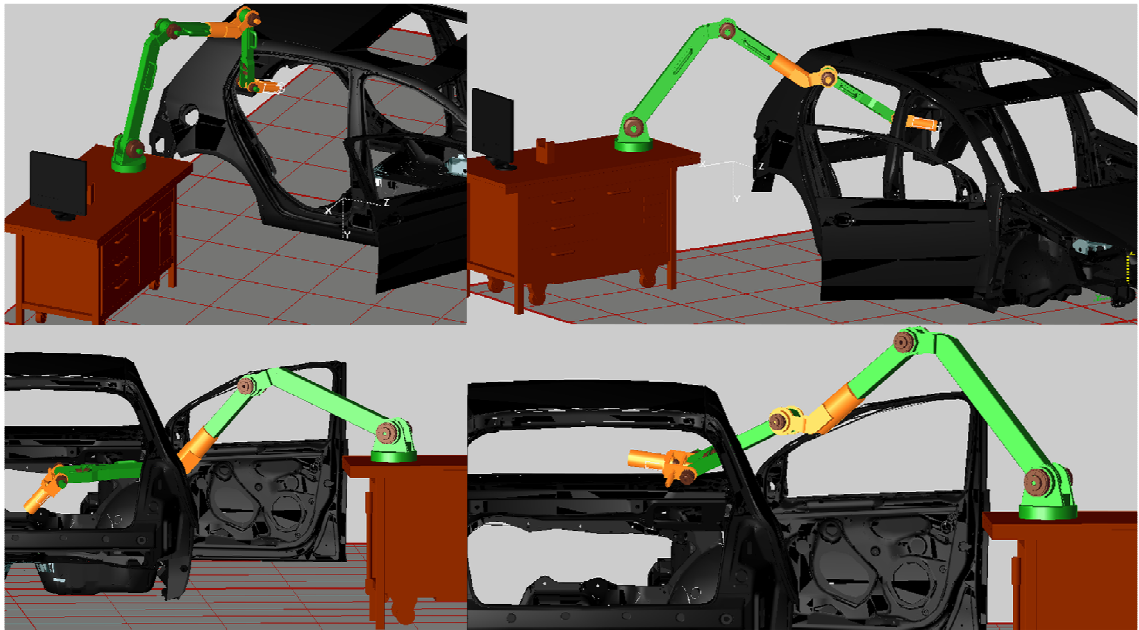
die Verbindung der Komponenten dar. Rechner-, Tracking- und Visualisierungseinheit, sowie eine Stromversorgungseinheit finden in dem Werkstattwagen ihren Platz. Standardwerkzeuge (Schraubendreher, Stecknußkästen, Ring- und Maulschlüssel, etc.) haben ebenso Platz, bleiben in ihrem gewohnten Umfeld und sind jederzeit direkt am Arbeitsplatz verfügbar.

Die folgenden Entwurfsskizzen in Bild 3-12 zeigen das Konzept eines AR-Systems für Montage-/Demontagetätigkeiten. Für diesen Zweck ist eine mechanische Trackingeinheit auf dem Wagen montiert. Ein unter dem Werkstattwagen befindliches Kniehebelwerk macht ihn für Arbeiten mit der Trackingeinheit fest auf dem Boden absenkbar. Dies ist notwendig, um das System in eine stabile Lage versetzen zu können. Für die relative Positionsrechnung zwischen Trackingarm-Ursprung und dem Nullpunkt des Produktes dürfen keinerlei beeinflussende Bewegungen in x-, y- oder z-Richtung auftreten.

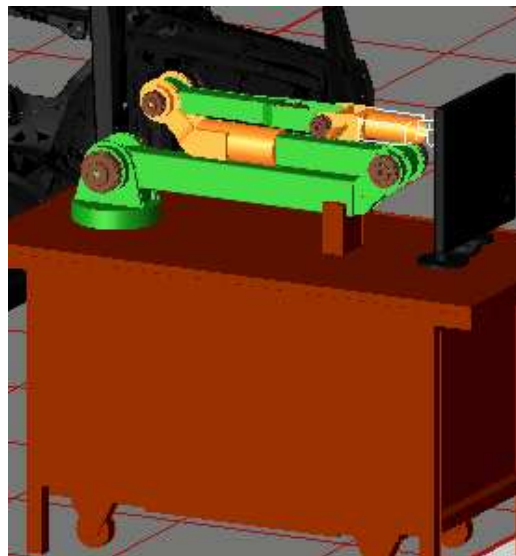
Diese mechanische Trackingeinheit ist ein 8-Achsen Gelenkarm, der von dem Anwender in die von ihm gewünschte Position versetzt werden kann und diese dann dort selbstständig hält. Die Auslegung auf insgesamt 8-Achsen soll dem Anwender die größtmögliche Freiheit bei der Arbeit mit dem Gelenkarm geben und jegliche Behinderung durch diesen vermeiden. Das Ende des Gelenkarmes beinhaltet eine Industriekamera, die die Umgebung aufnimmt und das Bild gemeinsam mit den von Drehwinkelgebern erfaßten Werten kontinuierlich an die Rechneinheit im Inneren des Werkstattwagens sendet. Anhand dieser Daten wird kontinuierlich die korrekte Position des anzuzeigenden, dreidimensionalen virtuellen Objektes in dieses Videobild berechnet.

Für die Visualisierung des Videobildes ist ein berührungssensitiver Monitor vorgesehen. Der Vorteil des sogenannten „Touch-Screens“ ist, daß die Oberfläche für die Bedienung eine gehärtete entspiegelte Glasplatte besitzt, wodurch der Anwender für die Interaktion mit dem System keine Tastatur und/oder Maus bedienen muß. Dies erleichtert seine Arbeit bei beispielsweise verschmutzten Händen. Ergänzend ist die AR-Einheit durch eine Spracherkennung mittels Spracheingabe steuerbar. Durch Sprachausgabe ist das AR-System in der Lage, auch die textuellen Hinweise über ein Head-Set oder Lautsprecher dem Anwender vorzulesen.

Die Verwendung eines fahrbaren Werkstattwagens erfüllt den Anspruch an ein mobiles AR-System. Der gesamte Aufbau ist in der Weise konzipiert, daß er durch wenige Handgriffe in einen transportfähigen Zustand (Bild 3-13) versetzt werden kann. Ein mechanischer Trackingarm ist in der Art und Weise sowie der Funktionalität nicht käuflich erwerbbar. Er wurde eigens für dieses AR-System erfunden, konstruiert und gebaut. Die Konzeption und Auslegung bezüglich Reichweite, Armlängen, Freigängigkeit der Gelenke, etc., wurde mit Hilfe eines prototypischen Modells aus Papprollen und durch 3D-Simulationen überprüft und entsprechend festgelegt.



*Bild 3-12: 3D-Simulation des Trackingarmes*



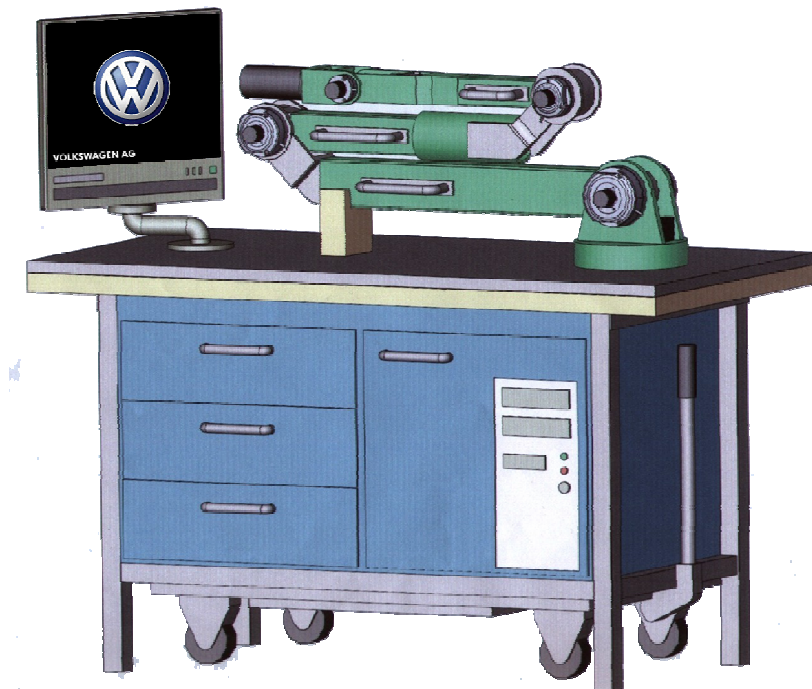
*Bild 3-13: Transportstellung Trackingarm*

Im Laufe des Entwicklungskonzeptes hat sich herausgestellt, daß dieses AR-System nicht nur allein in dem Einsatzbereich verwendbar ist. Es ist durchaus denkbar, diesen Werkstattwagen den LIVAS 3-Autoren mitsamt der enthaltenen Funktionalität für die Bewältigung ihrer Aufgaben zur Verfügung zu stellen. Die Umgebungsbedingungen sind mit dem Einsatzbereich nahezu identisch. Der einzige Unterschied in den beiden Aufgabenbereichen ist der entgegengesetzte Informationsfluß. Aus dieser Erkenntnis hat sich eine weitere Anwendung entwickelt, die bereits in Bild 3-11 als Autorenumgebung vorgestellt wurde.

Die weitere Vorgehensweise und entstandenen Entwicklungsstufen der Anwendungen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Die Umsetzung des mechanischen Trackingarmes inklusive des Werkstattwagen Bild 3-14 erfolgt nach dem in Kapitel 4 beschriebenen Konstruktionsprozeß. Dabei wurde vor allem großen Wert gelegt auf:

- kompromißlose einfache Bedienung
- geringes Gewicht
- Gebrauchssicherheit
- Erreichung jeder denkbaren Position mit der sich am Ende befindlichen Kamera
- problemlose Adaptierbarkeit durch die Verwendung von Standardschnittstellen.



*Bild 3-14: Entwurfsskizze AR-Komplettsystem*

## 4 Umsetzung der Anwendungen

Die Umsetzung des zu entwickelnden AR-Systems muß sorgfältig mit den in den vorangegangenen Kapiteln herausgearbeiteten Eigenschaften durchgeführt werden. Für dieses Vorgehen werden hardware- und softwaretechnisch entsprechende Vorgehensweisen angewandt, die sich in der Vergangenheit bewährt haben. Die ausgewählten Methoden und Modelle werden im Weiteren als bekannt vorausgesetzt und werden aus diesem Grund in Kapitel 4.1.1 und 4.1.2 nur in ihrem Grundprinzip und der Vorgehensweise kurz erläutert. Angewandt werden diese Modelle und Prozesse auf die AR-Anwendungen ARMON in Kapitel 4.2 und AR-AUTOR in Kapitel 4.3.

### 4.1 Prozesse und Methoden

Für die Realisierung und nachhaltige Verwendbarkeit von Projekten werden bewährte Planungs- und Überwachungstools eingesetzt, die helfen sollen, folgende Anforderungen einzuhalten:

- termingerechte Fertigstellung und Auslieferung
- Budgeteinhaltung
- Funktionalität (Benutzerfreundlichkeit Zuverlässigkeit, Stabilität)
- Fehlerfreiheit
- einfache und günstige Wartung
- zukünftige Erweiterbarkeit.

Die gewählten Prozesse für die Konstruktion des Trackingarmes und der Systementwicklung sollen kurz angesprochen werden.

#### 4.1.1 Der Konstruktionsprozeß

Seit den frühen sechziger Jahren steht das systematische Konstruieren und Entwickeln bedingt durch stetig wachsende Kundenanforderungen im Mittelpunkt der Ingenieurwissenschaften. Kürzere Produktentwicklungszeiten, höhere Qualitätsanforderungen, bessere Konfigurierbarkeit von Produkten, Sonderwünsche von Kunden und eine Vielzahl von zu beachtenden Vorschriften, insbesondere in der Sicherheitstechnik und Produkthaftung, sind nur wenige Anforderungen, die heutige Produkte erfüllen müssen, um auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig zu sein.

Ein entscheidendes Kriterium für einen Entwicklungs- oder Konstruktionsprozeß ist der Neuheitsgrad des Produktes. Neuentwicklungen, Weiterentwicklungen und Anpassungskonstruktionen erfordern andere Werkzeuge und Prozesse, um ein optimales Ergebnis zu erreichen. Ein zweites Kriterium ist die geplante Fertigungsart. Serien- und Massenfertigung bedingen andere Entwicklungsprozesse, als dies für die Einzelfertigung der Fall ist. Die Vorgehensweisen in den meisten Entwicklungstätigkeiten sind sich sehr ähnlich. Dabei stehen je nach Disziplin diverse

Aspekte verschieden stark im Vordergrund. Die grundlegenden Prinzipien der Systemtheorie, wie z.B. Strukturierung, Modularisierung und Entwurf von definierten Schnittstellen finden sich jedoch immer wieder. Innerhalb der Lebensphase der Konstruktion gliedert die VDI 2221 das in Bild 4-1 generelle Vorgehen beim Konstruieren in sieben Arbeitsschritte.

In Arbeitsschritt 1 wird die Aufgabenstellung geklärt und präzisiert. Ergebnis dieser Phase ist eine Anforderungsliste. Wichtig ist, daß bei der Erstellung der Anforderungsliste nicht festgelegt wird, wie ein Problem zu lösen ist, sondern welches Problem gelöst werden soll und welche Randbedingungen einzuhalten sind. Die Anforderungsliste muß dabei auch die anderen Lebensphasen wie die Fertigung, Vertrieb, Betrieb, Service und Recycling berücksichtigen. Basierend auf den Anforderungen werden in Arbeitsschritt 2 die Gesamtfunktion und die wesentlichen Teilfunktionen sowie deren Strukturen definiert. Ziel des Arbeitsschrittes 2 ist die Gliederung und Modularisierung des Problems mit Hilfe einer lösungsneutralen Beschreibung. Beispielsweise wird in der Verfahrenstechnik die Grobstruktur im Grundfließbild festgehalten und in der Softwaretechnik in einem Grobentwurf der Programmmodule und ihrer Schnittstellen. In Arbeitsschritt 3 werden die prinzipiellen Lösungen erarbeitet, die die Wirkstruktur zum Erfüllen einzelner Funktionen bereitstellen. Die gefundenen Prinzipillösungen werden in Arbeitsschritt 4 in realisierbare Module gegliedert, die in Arbeitsschritt 5 konkretisiert und realisiert werden. Die Integration der Teillösungen findet in Arbeitsschritt 6 statt. Die Dokumentation des Produktes und die Erstellung der Fertigungsunterlagen werden in Arbeitsschritt 7 durchgeführt. Der sequentielle Ablauf der Arbeitsschritte 1 bis 7 ist nur eine Vereinfachung zur Modellbildung. Alle sieben Arbeitsschritte können in beliebiger Reihenfolge und beliebig oft ausgeführt werden. Genaue Aussagen über sinnvolle Abfolgen und das parallele Ablaufen von Entwicklungstätigkeiten im Sinne des Concurrent Engineering werden nicht gemacht. Die Produktdokumentation ist zum Beispiel eine entwicklungsbegleitende Tätigkeit, die ihren Schwerpunkt in Arbeitsschritt 7 hat.

Die sieben Arbeitsschritte werden ein- oder mehrmals in Abhängigkeit der Komplexität und Art des Produktes durchlaufen. Typische Zwischenergebnisse einer kompletten Konstruktionsphase sind Labormuster und Prototypen.

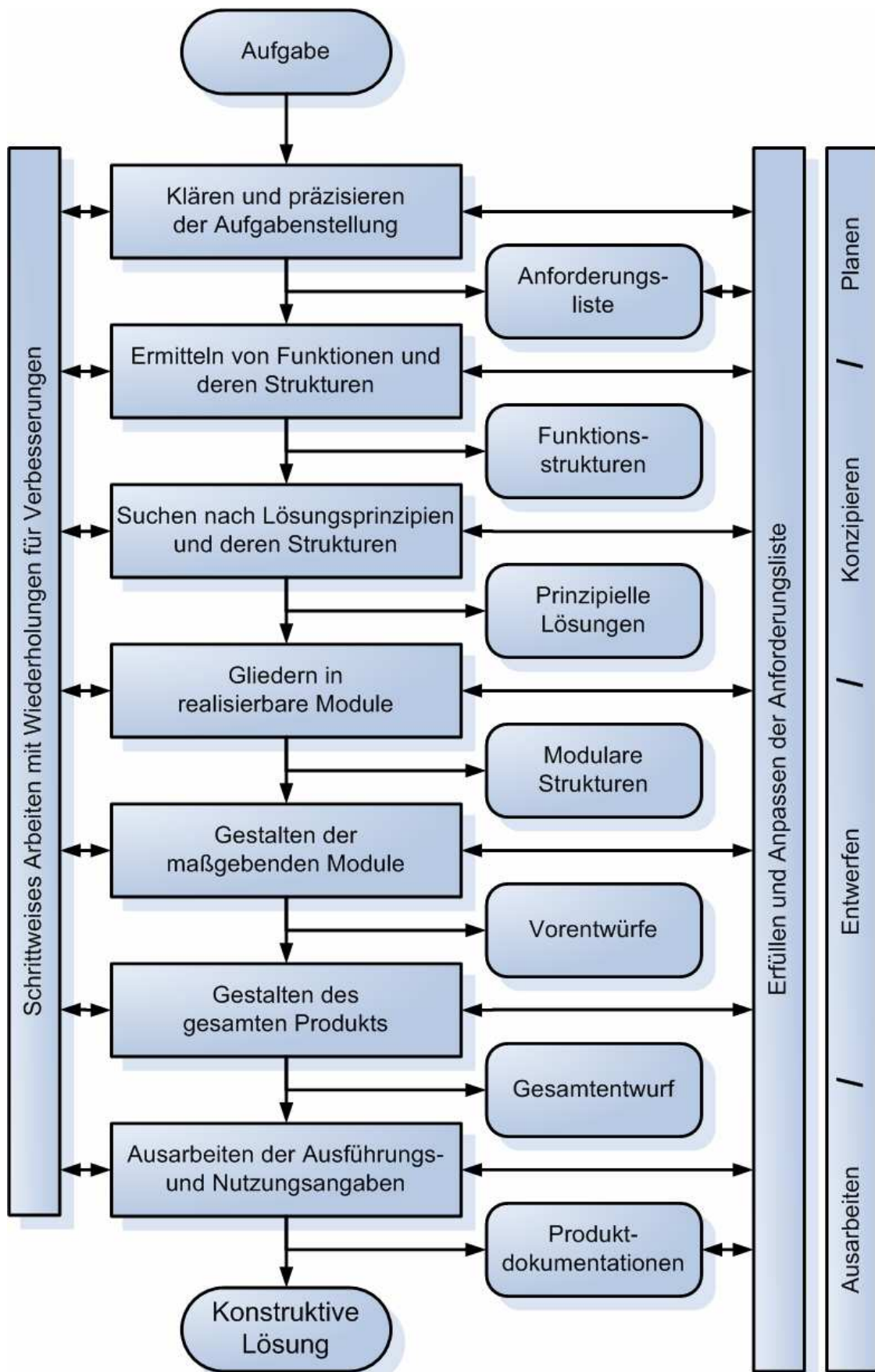


Bild 4-1: Konstruktionsprozess nach [VDI 2221]

### 4.1.2 SEP – Der System-Entwicklungs-Prozeß

Der Systementwicklungsprozeß ist ein bedeutender Informationssystem (IS)-Geschäftsprozeß im Volkswagen Konzern und steht allen IS-Entwicklern als Standardplattform für den Entwicklungsprozeß zur Verfügung.

Innerhalb der Projektarbeit unterstützt SEP die Kommunikation und ermöglicht eine höhere Flexibilität beim Einsatz der Mitarbeiter. Darüber hinaus werden neben den Hauptaktivitäten der Entwicklung im Phasenmodell die unterstützenden Aktivitäten des Projektmanagements und der Qualitätssicherung bereitgestellt. SEP ermöglicht durch die Standardplattform eine Synchronisation von Projekten und achtet auf eine Wiederverwendung bei der Entwicklung von Modulen. Mit SEP wird das Ziel verfolgt, den Geschäftsprozeß Systementwicklung im Volkswagen Konzern zu beherrschen. SEP wurde im Rahmen von Zertifizierungsaudits gemäß DIN EN ISO 9000-2000 vom TÜV als herausragendes Konzept bewertet.

#### Modellbeschreibung

Das SEP-Modell nach [SEP04] ist für die verschiedenen Entwicklungsrichtungen von SEP schematisch gleich. Dabei wird einerseits eine Unterteilung in Phasen und andererseits in Handlungsfelder vorgenommen. Die Phasen des SEP-Modells variieren bei den verschiedenen Entwicklungsrichtungen. Im Wesentlichen sind es aber die in Bild 4-2 dargestellten fünf Phasen Auftragsklärung, Fachkonzeption, Systemdesign, Systemrealisierung und Systemeinführung.

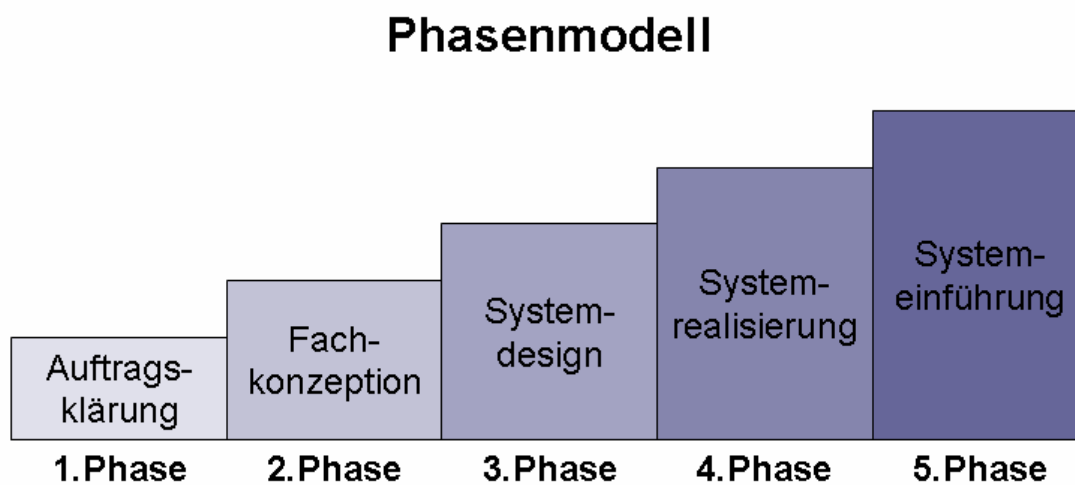


Bild 4-2: Phasenmodell SEP [SEP04]

**Phase 1:** In der Auftragsklärung werden die Ziele beschrieben und eine erste grobe Analyse gemacht. Auf der Basis dieser ersten Ergebnisse wird ein Angebot erstellt, wie die Folgephasen durchgeführt werden sollen. Die Phase Auftragsklärung endet mit dem Phasenergebnis „Angebot“.

**Phase 2:** In der Fachkonzeption werden grundlegende Ergebnisse analysiert und beschrieben, wie z.B. das Datenmodell, das Funktionsmodell, die Benutzeroberfläche oder die Geschäftsprozesse. Die Phase Fachkonzeption endet mit dem Phasenergebnis „Lastenheft“.



**Phase 3:** Auf Basis der Modelle aus der Fachkonzeption wird das Systemdesign durchgeführt, z.B. in Form des Modulentwurfs. Die Phase Systemdesign endet mit dem Phasenergebnis „Pflichtenheft“.

**Phase 4:** In der Realisierungsphase wird das System fertiggestellt und gründlich getestet. Die Phase Systemrealisierung endet mit dem Phasenergebnis „betriebsbereites Anwendungssystem“.

**Phase 5:** Das vollständig realisierte System wird in der produktiven Umgebung zum Einsatz gebracht. Diese Phase wird für jeden Einsatzort durchlaufen. Die Phase Systemeinführung endet mit dem Phasenergebnis „Betrieb des Systems“.

Die Handlungsfelder sind im Einzelnen:

- **Phasenmodell** (Führendes Handlungsfeld; enthält die wesentlichen Entwicklungsaktivitäten)
- **Projektmanagement** (Bestandteil sind alle Aktivitäten der Projektkoordination, wie z.B. Projektplanung und Berichtswesen)
- **Qualitätssicherung** (Aufzeigen von Vorgehensweisen zum Erreichen einer hohen Qualität in der Projektarbeit) und
- **Synchronisation/Wiederverwendung** (Absprachen zwischen Projekten und Wiederverwendung bereits erstellter Ergebnisse)

Auf der **Übersichtsseite** jeder Entwicklungsrichtung sind in Matrixform alle Ergebnisse je Handlungsfeld und Phase auf einen Blick dargestellt. Damit in weiteren Phasen wieder zu erstellende bzw. fortzuschreibende Ergebnisse nicht wiederholt werden müssen, sind diese mittels eines durchgezogenen blauen Balkens kenntlich gemacht.

Neben den einzelnen Ergebnissen gibt es Phasenergebnisse. Die Phasenergebnisse stellen eine Art Sammelergebnis der betreffenden Phase über alle Handlungsfelder dar. Das Lastenheft enthält z.B. alle Ergebnisse der Phase Fachkonzeption. Das Phasenergebnis ist zum Abschluß der Phase abzunehmen.

Einen detaillierteren Einblick liefert die **Aktivitätenliste**. Je Handlungsfeld und Phase gibt es eine Darstellung mit einer näheren Beschreibung aller zu erstellenden Ergebnisse. Dort ist festgehalten, welche Aktivitäten man durchführen muß, um mit bestehenden Voraussetzungen und unter Berücksichtigung der Phasenziele die Einzelergebnisse zu erreichen. Zu den einzelnen Aktivitäten werden Methoden- und Tool-Empfehlungen gegeben. Außerdem wird auf Hilfsmittel verwiesen, die eine konkrete Unterstützung bzgl. der einzelnen Aktivitäten darstellen.

Die **Hilfsmittel** liegen in Form von Checklisten, Formularen, Beispielen und Verfahrensbeschreibungen vor, die spezifisch für die Aktivitäten bzw. für die Erstellung von Ergebnissen sind. Es handelt sich um Dokumente überwiegend in Form von Word- und Excel-Dateien. Sie werden aus der Aktivitätenliste heraus über ihren Dateinamen referenziert. Die Hilfsmittel haben Vorschlagscharakter und sind somit optional. Statt der angebotenen Dokumente können alternativ auch bestehende eigene oder unternehmensspezifische Formulare verwendet werden. Wenn Verbesserungsvorschläge für bestehende Hilfsmittel vorliegen, werden diese in die Dokumente eingearbeitet, um zukünftig eine verbesserte Version des Formulars zentral anbieten

zu können. Daher müssen die Hilfsmittel immer aktuell aus dem Intranet geladen werden, um automatisch von den Verbesserungen profitieren zu können.

Durch die Verwendung des SEP entstehen folgende Vorteile:

- Qualifizierung der Projektmitarbeiter 'on the job' durch die Zusammenarbeit mit mehreren Projektteams (breitere Know-how-Basis)
- Leichtere Durchsetzung einheitlicher Tools, Standards, Vorgehensweisen (integrierte Systemlandschaften)
- Technik- und Verfahrensdisziplin (IS-Plattformstrategie bedeutet klar definierte Projektinhalte und bessere Prozeßunterstützung)
- Früheres Ausschöpfen von Nutzenpotential durch kürzere Projektlaufzeiten (geringeres Projektrisiko)
- Zeitersparnis durch parallele Entwicklung unterschiedlicher Funktionen (verbesserte Kosten-/Termintreue)
- Schnellere Senkung der Fehlerquote durch Mehrfacheinsatz (Qualitätssteigerung der Systeme)

### **4.2 ARMON – Augmented Reality unterstützte Montage/ Demontage**

Ziel und Aufgabe ist es, den Anwender in dem betrachteten Einsatzbereich durch die Verwendung von AR-Technologie zu unterstützen. Diese soll anhand einer situationsbedingten Visualisierung von Anweisungen und dem Produkt kongruent überlagerten Bauteilen bei der Orientierung und Tätigkeitsdurchführung helfen. Die von dem Kunden geforderten und individuell für ihn gefertigten Produkte sind trotz der damit verbundenen stetig wachsenden Variantenvielfalt und daraus entstehenden Komplexität zu beherrschen. Der Anwender kann eine korrekte Abarbeitung von Aufgaben an diesen Produkten nur noch durch den Einsatz von Computertechnologie, die bei der Datenverwaltung und –bereitstellung hilft, gewährleisten.

#### **4.2.1 Aufbau (1.Phase)**

Damit eine dem Einsatzbereich entsprechende Anwendung aufgebaut werden kann, muß die zu unterstützende Tätigkeit vorab genauestens betrachtet werden. Dies ist zum einen wichtig, um die damit verbundenen Anforderungen zu erkennen und zum anderen, um Fehlentwicklungen zu vermeiden. Die Aufnahme der Anforderungen ist durch Befragung der zukünftigen Anwender durchzuführen und soll anhand einer aktiven Abarbeitung von Aufgaben innerhalb des Einsatzbereiches durch die Entwickler selbst verifiziert werden. Ergänzend sind Tätigkeiten und Vorgehensweisen herauszuarbeiten, die durch die Datenbereitstellung mit AR-Technologie Erleichterungen oder zeitliche Einsparungen innerhalb des Prozeßablaufes erreichen können.

Die für die Abarbeitung verwendeten Informationen müssen bestimmt werden. Dabei sind die Verwaltungssysteme und Besitzer zu lokalisieren und das vorliegende

Dateiformat ist auf AR-Tauglichkeit hin zu testen. Alle vorhandenen und möglicherweise auftretenden Einflußfaktoren innerhalb des Einsatzbereiches sind aufzunehmen und in Bezug auf ihre Intensität hin zu erfassen.

Parallel verlaufend ist durch einen Laboraufbau die Dauer für die Durchführung einer Tätigkeit zu messen und zu vergleichen. Diese Aufgabe wird von den Testpersonen einmal mit der herkömmlichen Vorgehensweise anhand eines Papierleitfadens und einmal mit einer AR-Unterstützung durchgeführt. Um eine für beide Versuche gleiche Ausgangsbasis zu schaffen, sind die Versuche durch eine Pause von 6 Wochen voneinander getrennt durchzuführen.

Nach Prüfung aller vorliegenden Ergebnisse und Anforderungen wird eine dem Anforderungsprofil entsprechende Anwendung soft- und hardwaretechnisch aufgebaut. Dieser erste Prototyp wird mit Hilfe der zukünftigen Anwender evaluiert. Ein durch AR-Technologie unterstützender RL mit zusätzlichen virtuellen Informationen soll bei einer zu bewältigenden Aufgabe verwendet werden. Die Funktionalität des Prototyps und die Zufriedenheit der Anwender sind mit einem Fragebogen direkt nach dem Test aufzunehmen und auszuwerten.

Die aus dieser Evaluierung gewonnenen Erkenntnisse fließen in einen erweiterten prototypischen Aufbau ein und wird durch eine AR-gestützte Anwendung im Vergleich zu der herkömmlichen Vorgehensweise hin untersucht. Das für einen produktiven Einsatz zu erarbeitende Datensystem ist zu erfassen, auf praktische Verwendbarkeit hin zu testen und aufzubauen. Die durch die Einflußfaktoren entsprechende hardwaretechnische Bereitstellung ist im gesamten Aufbau sicherzustellen und auf Prozeß- und Gebrauchssicherheit hin auszulegen.

### **4.2.2 Anforderungen Funktionalität (2. Phase)**

Der Anwender benötigt für die Abarbeitung eine Fülle von Informationen, die er sich selbständig beschaffen muß. Nach Klärung der Ursachen und der durchzuführenden Aufgaben beginnt dieser mit seiner Arbeit. Dabei stehen die Leitfäden auf dem Diagnosetester (Bild 3-1: Diagnosetester VAS5052) zur Verfügung. Diese beinhalten:

- Sicherheitshinweise
- Vorgehensweisen (in Textform und technischen Prinzipskizzen)
- zu verwendende Werkzeuge (Zeichnung).

Innerhalb dieser Beschreibungen werden Verweise auf weiterführende RL gegeben. Bei sehr lang andauernden und umfangreichen Aufgaben ist eine Orientierung innerhalb der verknüpften RL schwierig. Die Anwendung ARMON hat die Aufgabe, dies zu unterstützen und den Anwender von Anfang bis zum Ende durch seine Tätigkeiten zu führen. Durch diese Funktionalität soll sichergestellt werden, daß eine Übergabe einer solchen komplexen und von der Montagetiefe anspruchsvollen Aufgabe an die nachfolgende Schicht problemlos durchführbar ist.

Teilweise sind in den herkömmlichen RL schwer zu erkennende Prinzipskizzen mit unbekannter Betrachtungsrichtung des Zeichners dargestellt. Der Anwender kann durch Fehlinterpretation diese Informationen falsch oder gar nicht verstehen. Dies kann zur Folge haben, daß möglicherweise unnötige Arbeiten getätigt werden, die Folgeaufgaben entstehen lassen können. Die zu entwickelnde Anwendung für eine

Unterstützung von Montage- / Demontagetätigkeiten soll aus den genannten Gründen eben diese Informationen direkt an dem Ort durch kongruente und lagerichtige Einblendung zur Verfügung stellen, wo sie durchzuführen sind. Das heißt die zusätzliche Bereitstellung folgender Angaben:

- Bauteilinformationen
- Lagerbestand mit Bestellfunktion
- Produktinformationen
- Werkzeuge (Standard- und Spezialwerkzeuge in 3 dimensionaler Form).

Die Anforderungen an das Konzept einer mit AR-Technologie unterstützten Montage-/Demontage-Anwendung ist im Überblick in Bild 4-3 dargestellt.

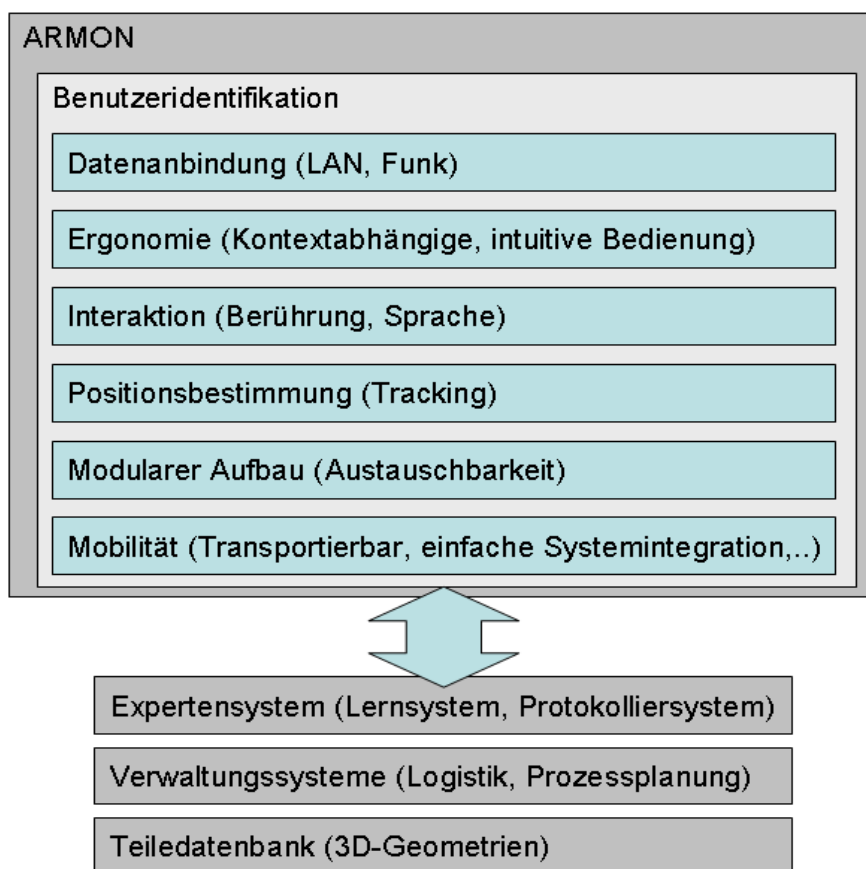


Bild 4-3: Übersicht des Anforderungskonzeptes ARMON

Alle notwendigen Bedienelemente sind in einer verständlichen, leicht zu navigierenden und übersichtlichen Arbeitsoberfläche unterzubringen. Die Interaktion ist über Tastatur und Maus zu gewährleisten. Eine Interaktion des Systems durch Berührung der Monitoroberfläche und/oder Spracheingabe ist entsprechend zu prüfen und möglichenfalls umzusetzen. Aufgrund der Arbeitsbedingungen vor Ort ist dies als eine Erleichterung anzusehen. Das gesamte System ist im generellen auf eine hohe Performance auszulegen, um schnelle, kurze Ladezeiten und eine Bildwiederholrate von mind. 25 fps zu erreichen. Alle notwendigen abzuleistenden Aufgaben für die

Sicherstellung der Betriebsbereitschaft des AR-Systems müssen nach kurzer Einweisung des Anwenders unproblematisch durchführbar und leicht verständlich sein.

Das Gesamtsystem ro über Standardschnittstellen des Unternehmens auf Datenbanken und Verwaltungssysteme zugreifen können. Für eine Abarbeitung von protokollierpflichtigen, sicherheitsrelevanten Tätigkeiten muß eine Nutzeridentifikation, Produktidentifikation und Protokollierfunktion integriert werden. Ein Expertensystem soll Abfolgen in den Produktionschargen mit bereits verwendeten RL und den Ursachen in Verbindung bringen. Eine Verkürzung der Zeitdauer der Rückmeldung innerhalb des Qualitätsregelkreises ist vermutlich dadurch erreichbar.

### 4.2.3 Systemoberfläche/Design (3. Phase)

AR-Anwendungen führen die Anwender zu einem Großteil durch die Bereitstellung von wenigen grafischen Geometrien, die kontextabhängig oder –unabhängig visualisiert werden. Die Aufmerksamkeit ist nachweislich um ein

Vielfaches höher, wenn der Anwender durch verständnisunterstützende Hilfestellungen (z.B. animierte Drehrichtungspfeile, die das Lösen von Schrauben beschreiben) unterstützt wird. Aus diesen Gründen muß das Videobild, in dem diese Überlagerungen angezeigt werden, den Großteil der zur Verfügung stehenden Oberfläche einnehmen. Alle anderen zusätzlichen Informationsleisten (Navigation, Info, Werkzeug und Lager) werden, wie in Bild 4-5, dargestellt an die Randbereiche gelegt. Weiterhin soll diese Anwendung den Anwender, seinem Qualifizierungsgrad entsprechend, in die Lage versetzen, einzelne Leisten wegschalten zu können. Gleichzeitig soll das Videobild um den dadurch freiwerdenden Platz größer werden, ohne dabei das Seitenverhältnis zu verändern.



Bild 4-4: ARMON – Infoleiste

Bild 4-5: ARMON – Entwurf Anwendungsoberfläche

Anhand der Informationsleiste (Bild 4-4) soll bei lang andauernden Tätigkeiten über mehrere Schichten hinweg die Möglichkeit zur Verfügung gestellt werden, schnell und kompakt eine Übersicht der in dem Produkt verbauten Hauptkomponenten zu erhalten. Diese Leiste soll darüber hinaus ermöglichen, daß wichtige Informationen in einer Arbeitsschicht, wie z.B. Sperrungen oder andere Hinweise, durch den Schichtleiter oder einer autorisierten Person eingestellt werden können.

Die Navigationsleiste (Bild 4-6) muß alle notwendigen Funktionen durch entsprechend große Bedienflächen anbieten. Textuelle Hinweise sollen mittig unter dem Videobild angezeigt werden. Über eine Fortschrittsanzeige wird der Abarbeitungsstand des Gesamtumfangs dargestellt.

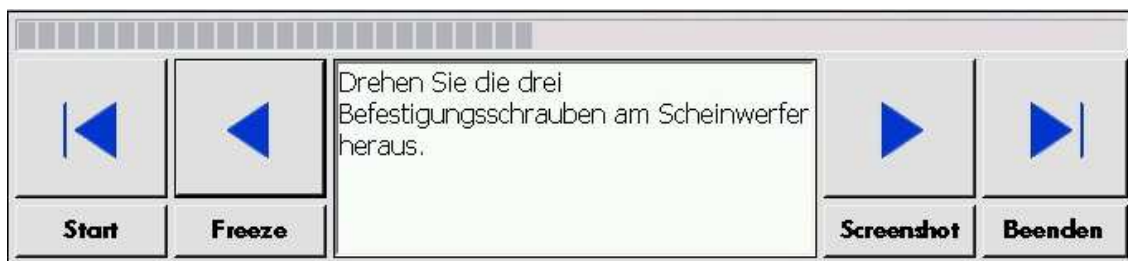


Bild 4-6: Navigationsleiste ARMON

In der Werkzeugleiste (Bild 4-7) werden alle die für den jeweils visualisierten Tätigkeitsschritt notwendigen und zu verwendenden Werkzeuge durch ein Bild dargestellt und angezeigt. Die Lager- und Bestelleiste (Bild 4-8) gibt Auskunft über die Verfügbarkeit der im Videobild angezeigten Produktbauteile.



Bild 4-7: ARMON – Werkzeugleiste

Sollte festgestellt werden, daß dieses Bauteil ersetzt werden muß, kann über einen Bedienknopf ein Bestellvorgang ausgelöst werden. Das Ersatzteil wird im Lager herausgesucht und in kürzester Zeit an den Arbeitsplatz geliefert. Währenddessen kann der Anwender weitere Aufgaben abarbeiten oder bereits den nächsten Auftrag beginnen.



Bild 4-8: ARMON – Lager- und Bestelleiste

### **4.3 AR-AUTOR – Autorenumgebung für die Erstellung von Prozeßabläufen mit Augmented Reality-Inhalten**

Die oben beschriebene Anwendung ARMON in Kapitel 4.2 demonstriert in Einzelschritten die Durchführung einer Reparatur. Bei jedem Schritt werden dem Anwender die durchzuführenden Tätigkeiten und dazugehörigen Informationen wie Werkzeuge, virtuelle Bauteile, Drehrichtungen von Verschraubungen, etc., angezeigt. Die Tätigkeitsbeschreibung besteht neben einer kurzen schriftlichen Handlungsanweisung aus einem Videobild des zu reparierenden Bereiches, in den virtuelle Objekte eingeblendet werden. Die Informationen, die dem Benutzer in den einzelnen Schritten angezeigt werden, bezieht das System aus einem RL. Dort sind sowohl die Handlungsanweisungen als auch Informationen über virtuelle Geometrien und Werkzeuge gespeichert. Herausgearbeitet wurde, daß RL in Unternehmensdatenbanken existieren, diese aber noch nicht mit AR-fähigen Zusatzinformationen angereichert bzw. verknüpft sind. Um bereits bestehende und zukünftige RL zu ergänzen und aufzubauen, ist die Überlegung getroffen worden, den Autoren eine Anwendung zur Verfügung zu stellen, die entsprechend bei dem Aufbau solcher RL unterstützt. Hierfür müssen entsprechende Anpassungen vorgenommen werden, um eine Datenredundanz und –inkonsistenz zu vermeiden.

#### **4.3.1 Aufbau (1.Phase)**

Die Zielgruppe der Anwendung sind Autoren aus dem Kundendienstbereich von Volkswagen. Sie haben die Verantwortung für die Erstellung der Kundendienstleitfäden und besitzen berufsbedingt fundiertes Fachwissen über die Montage und Demontage von Kraftfahrzeugen. Der Großteil ihrer Aufgabe besteht aus der Formulierung der richtigen Vorgehensweise innerhalb der RL und der Vergabe von Aufträgen für die Erstellung von technischen Skizzen, wie im Prozeß der RL-Erstellung (Bild 3-10) dargestellt und beschrieben wurde.

Wie bereits in Kapitel 3.2.4 erläutert, können grundsätzlich die RL mit Hilfe der Beschreibungssprache XML leicht erstellt werden. Neben kommerziellen Editoren, die aufgrund der Document Type Definition (DTD) mögliche Tags vorgeben, ist die Erstellung von XML-Dokumenten in jedem beliebigem Text-Editor möglich.

Das Problem bei der Bearbeitung von XML-Dokumenten in einem Text-Editor ist, daß die Struktur des XML-Dokumentes durch eine DTD (Document Type Definition) genau eingehalten werden muß. Durch eine nicht eingehaltene Vorgabe der DTD oder einen Schreibfehler innerhalb eines in der DTD vorgegebenen Tags, kann das XML-Dokument nicht mehr verarbeitet werden. Der Suchaufwand für den Fehler kann dann je nach Länge des XML-Dokumentes ein langwieriger und aufwendiger Vorgang sein. Dies kann durch die Verwendung eines XML-Editors, der dem Autor die Vorgaben entsprechend der definierten DTD stellt, vermieden werden.

Durch die Verwendung von XML-Editoren, die durch die DTD entsprechende Strukturvorgaben erhalten, fällt diese mögliche Fehlerquelle weg. Neben dem eben beschriebenen Nachteil durch die Verwendung von herkömmlichen Text-Editoren, fehlt dem Anwender jegliche Art von Rückkopplungen anhand der visuellen AR-Informationen. Der Autor kann nur anhand der schriftlichen Beschreibung auf das Ergebnis in der AR-Umgebung schließen, denn das XML-Dokument mit AR-Inhalten

wird von der AR-Umgebung getrennt bearbeitet. Die einzige zur Verfügung stehende Kontrolle ist das Laden des Leitfadens in die AR-Anwendung. Festgestellte Fehler oder durchzuführende Änderungen können wiederum nur „offline“, d.h. außerhalb der eigentlichen Visualisierungsumgebung durchgeführt werden.

Für eine bessere visuelle Rückkopplung des Autors soll ein System entwickelt werden, welches eine Erstellung und Anpassung von Leitfäden innerhalb der AR-Umgebung, also „online“ ermöglicht. Eine solche Autorenumgebung stellt dem Autor alle oben genannten „Bausteine“ zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Autorenumgebung soll er in die Lage versetzt werden, sich ausschließlich auf die Erstellung des RL konzentrieren zu können, in dem er einfach, schnell und intuitiv die Vorgehensweise dokumentieren und festhalten kann. Zugleich können visuelle Anpassungen direkt umgesetzt und vom Anwender betrachtet werden. Die Verarbeitung der XML-Struktur im Hintergrund muß automatisch geschehen, so daß der Anwender selbst mit dieser nicht konfrontiert wird und sich voll und ganz auf die angebotenen Funktionen der Anwendungsoberfläche für die Erstellung der RL konzentriert.

Um diese Grundbasis schaffen zu können, muß sich diese Anwendung nahtlos in den alltäglichen Arbeitsprozeß einpassen und den Anwender qualitativ unterstützen.

### 4.3.2 Anforderungen Funktionalität (2. Phase)

Die Autorenumgebung kann im Prinzip als Hilfswerkzeug für die AR-Anwendung ARMON betrachtet werden. Aus diesem Grund, und um dem Anwender ein vertrautes Bild zu geben, wird die Benutzeroberfläche eng in Anlehnung an die Anwendung ARMON aufgebaut. Die zentrale Komponente der Anwendung ist das AR-Vorschaufenster, das für die Visualisierung zuständig ist. Im Vorschaufenster findet die Überlagerung der virtuellen Bauteile mit dem realen Videobild statt. Unterhalb des Vorschaufensters befindet sich die Navigationsleiste. Diese beinhaltet Schaltflächen zur Navigation im Leitfaden, eine Textzeile für die Orientierung und dem schnellen Wechseln in miteinander verlinkten RL-Ebenen sowie ein großes Feld für die Anzeige der Handlungsanweisungen. Die rechte Seite der Anwendung gibt anhand einer Registerleiste Zugriff auf verschiedene Ansichten von:

- Reparaturleitfäden,
- Bauteilen,
- Werkzeugen,
- Hilfsgeometrien und
- Informationen.

Um dem Anwender eine bestmögliche Orientierung in der RL-Struktur zu bieten, soll eine baumartige Ansicht die XML-Struktur übersichtlich und verständlich darstellen.

Neben den Leitfadenelementen wie Kapiteln, Handlungsschritten und Hinweisen sind die in die Szene geladenen Bauteile, Werkzeuge und Hilfsgeometrien anzuzeigen. Der Anwender muß die Möglichkeit haben, in der Leitfadenansicht komfortabel zu navigieren. Durch direkte Selektion von verschiedenen Knoten soll schnell zwischen den Arbeitsschritten hin und her gesprungen werden können.



Die für die Autorenumgebung wichtigste Komponente ist die Auswahl und Platzierung von virtuellen Objekten. Dem Autor muß eine Möglichkeit geboten werden, Objekte aus einer Liste auszuwählen, diese zu beschreiben und dem Leitfaden hinzuzufügen. Nach dem Platzieren der Objekte sollen diese sofort im AR-Vorschaufenster angezeigt werden.

Die Positionierung von Hilfsgeometrien ist zu vereinfachen. Sie sollen getrennt von den Bauteilen aufbewahrt und dynamisch eingefügt werden, damit bei nicht vorhandenen Bauteilen immer noch die Hilfsgeometrien visualisiert werden. Für diese Vorgehensweise ist ein Interaktionsmedium zu entwerfen, das dem Anwender ermöglicht schnell und intuitiv eine Geometrie oder ein Werkzeug in dem zu erstellenden RL zu positionieren. Weiterführend ist zu beachten, daß durch das Anlegen einer Hilfsgeometriedatenbank einerseits unnötig Speicherplatz beansprucht wird und andererseits wie bei den RL Datenredundanzen und –inkonsistenzen die Folge sein können. Um dies zu vermeiden und Hilfsgeometrien ihrer Aufgabe entsprechend in Größe, Form, Farbe und Animation anpassen zu können, ist die Benutzeroberfläche zu erweitern. Die Geometrieerstellung soll durch ein Auswahlmenü entsprechende Parameter zur Auswahl stellen. Mit diesem Medium ist ebenfalls das Ziel zu verfolgen, sogenannte Leitwege zu erstellen, die dem Anwender später die richtige Handhabungsweise eines Bauteils beim Ausbau veranschaulichen.

Die direkte Eingabe der textuellen Anweisungen innerhalb der RL durch Sprache ist zu prüfen. Durch diese Funktion kann der Autor das gesamte System einzig und allein steuern und bedienen. Das gesprochene Wort könnte somit direkt während des Erstellens in der Arbeitsumgebung eingearbeitet werden und es würde zu keinem Medienbruch innerhalb der Prozeßkette kommen.

Die Benutzeroberfläche muß dem Anwender im allgemeinen direkten Zugriff auf die notwendigen Bausteine ermöglichen, die für den Aufbau und die Beschreibung des RL notwendig sind. Da der Einsatzbereich von den Randbedingungen her dieselben Einflüsse aufweist, wie bei ARMON, muß die Benutzeroberfläche so ausgelegt werden, daß eine problemlose Bedienung durch einen Touch-Screen Monitor möglich ist.

### **4.3.3 Systemoberfläche/Design (3. Phase)**

Die Anwendung AR-AUTOR soll eng in Anlehnung an die Benutzeroberfläche von ARMON aufgebaut werden. Die Begründung hierfür ist, daß AR-AUTOR die RL für die Montage-/Demontageanwendung erstellt. Der Autor soll sich durch eine ähnlich aufgebaute Oberfläche in die Sichtweise des ARMON-Anwenders versetzen können. Ähnlich wie ARMON teilt sich die Oberfläche in vier Bedienelemente (Bild 4-9) auf. Die Aufgabenstellung erfordert in dieser Anwendung wesentlich mehr Interaktionsmenüs für den Aufbau von RL und die Bereitstellung aller Geometrien. Diese müssen den Autor in dem Erstellungsprozeß für RL arbeitserleichternd unterstützen. Das Videofenster hat den Großteil der zur Verfügung stehenden Oberfläche einzunehmen, damit in den RL eingefügte virtuelle Objekte entsprechend gut zu erkennen und durch den Autor schnell und sicher auf richtige Endlage überprüfbar sind. Anhand der Registerkartenansicht rechts neben dem Videofenster soll der Autor den Überblick während der Bearbeitung von RL behalten. Für die Darstellung der RL eignet sich die Baumstruktur. In dieser Struktur werden neben den reinen Leitfadenelementen, wie Kapitel und Arbeitsschritte, auch alle anderen für eine AR-Darstellung notwendigen und eingearbeiteten Objekte, wie Bauteile, Werkzeuge und Hilfsgeometrien, angezeigt (Bild 4-10). Der RL-Strukturbaum kann durch den Anwender beliebig individualisiert

werden, indem er Verästelungen selbständig ein- oder ausblendet. Für eine schnellere Identifikation und Übersicht der Elemente hat jedes sein eigenes Symbol.

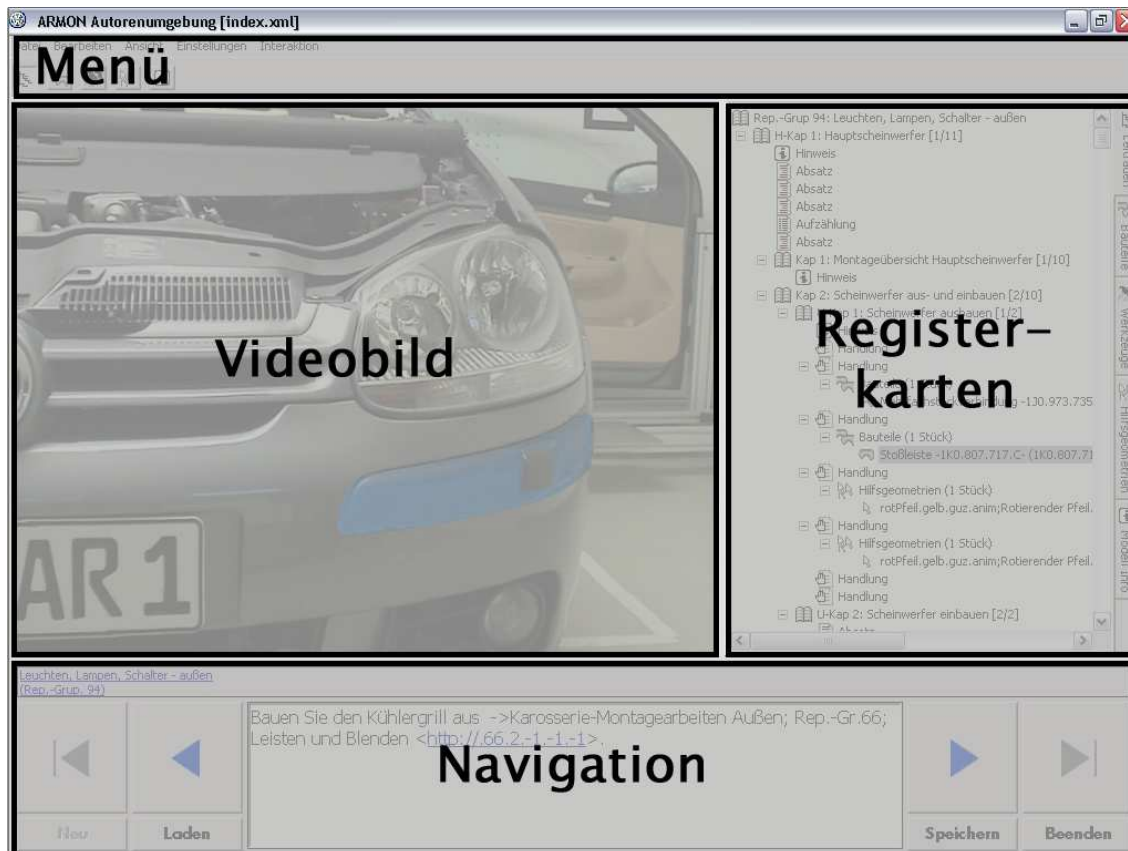


Bild 4-9: AR-AUTOR – Entwurf Anwendungsoberfläche

Solche Symbole sind z.B. ein Buch für Kapitel oder ein Kotflügel für Bauteile wie in Bild 4-10 dargestellt. Am Kopf der Baumstruktur ist die Beschreibung des angezeigten RL zu finden. Diese Bezeichnung wird ebenfalls in der Navigationsleiste eingeblendet und dient bei der Verlinkung von mehreren RL dem Anwender zur Übersicht und schnellen Wechselmöglichkeit.

Anhand der Navigationsleiste (Bild 4-11) kann der Autor innerhalb des RL in Einzelschritten oder –kapiteln hin und her wechseln, wie der ARMON-Anwender. In das Textfeld kann die Handlungsanweisung direkt eingegeben werden. Diese wird automatisch in die Struktur übernommen und bleibt erhalten.

## 4 Umsetzung der Anwendungen

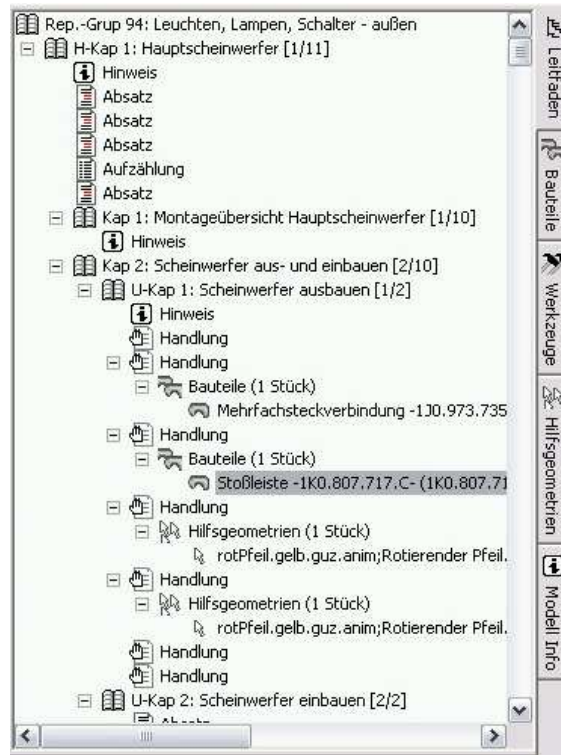


Bild 4-10: AR-AUTOR – Registerkartenfeld



Bild 4-11: AR-AUTOR – Navigationsleiste

## 5 Realisierung der Anwendungen

Dieses Kapitel wird den Entwicklungsweg des AR-Systems und seinen Anwendungen anhand der im Vorfeld durchgeführten prototypische Aufbauten und Versuche beschreiben.

Die in Kapitel 5.1 gezeigten Darstellungen der Anwendung ARMON haben sich durch Änderungen der Soft- und Hardware immer wieder entsprechend angepaßt und verwandelt. Diese Veränderungen haben die gesamten Entwicklungen fortlaufend beeinflußt und konnten somit die Schwachstellen und Stärken der AR-Technologie und der jeweiligen Anwendungen forcieren. Die durch den Einsatzbereich abverlangten Anforderungen und die auf das System einwirkende Einflüsse konnten so im Gesamten erkannt und aufgenommen werden. Sie sind vollständig in die Entwicklung eingeflossen und befinden sich im Abschluß. Um einen Eindruck der bisher getätigten Aufbauten und umgesetzten Anwendungen zu geben, sollen diese hier dargestellt und kurz beschrieben werden.

### 5.1 ARMON

Eine Unterstützung von Montage-/Demontagetätigkeiten in einer werkstattähnlichen Umgebung ist durch Einsatz von AR-Technologie zu entwickeln und aufzubauen. Mit diesem Ziel sind die folgenden Szenarien ausgearbeitet, erstellt und aufgebaut worden. Dabei wurden in regelmäßigen Abständen immer wieder zukünftige Anwender zum Ausprobieren der überarbeiteten Systeme involviert worden. Kommentare bzgl. verbesserungswürdigen Aspekte, aber auch begeisterte Anmerkungen wurden immer wieder kritisch betrachtet und halfen das Gesamtsystem anzupassen.

#### 5.1.1 Erster Aufbau (Phaeton Szenario)

Der erste Aufbau (Bild 5-1) erfolgte mit einem sehr komplexen und hochwertigen Produkt. Für die Visualisierung wurde ein sogenanntes WebPad (Bild 5-2 links) verwendet. Die Bedienung dieses Rechners erfolgte anhand eines Stiftes, mit dem direkt auf der Monitoroberfläche, wie mit einer Maus, die Befehle ausgeführt werden konnten. An diesem WebPad war eine USB-Kamera montiert, die das Videobild der realen Umgebung aufnahm. Über eine W-LAN-Verbindung war das WebPad in Kontakt zu einem weiteren Rechner, der die Trackingdaten übermittelte.

Die Trackingeinheit war ein optisches System der Fa. ART. Dieses System arbeitet mit Spezialkameras, die besonders empfindlich auf Infrarotlicht reagieren. Zu diesem Zweck sind die Kameras mit einem Infrarotlicht (IR)-LED-Ring ausgestattet. Dieser blitzt in regelmäßigen Abständen in den Raum, wodurch sogenannte Targets des ART-Systems erkannt und deren 6 Freiheitsgrade ermittelt werden. Diese Targets bestehen aus Kugeln, die mit retro-reflektierender Folie ummantelt sind und so den IR-Blitz direkt zurückwerfen. Anhand der Anordnung der Kugeln sind die Targets untereinander einwandfrei unterscheidbar. Ein solches Target war an dem WebPad (Bild 5-3) angebracht. Darüber hinaus haben vier ART-Kameras den Tätigkeitsbereich des Anwenders eingesehen, so daß jederzeit alle 6 Freiheitsgrade des WebPad's und des Produktes bekannt waren.



Bild 5-1: Aufbau Erstes Szenario



Bild 5-2: Trackingrechner und WebPad (links); Montiertes Target für Tracking (rechts)



Bild 5-3: WebPad mit angebaute USB-Kamera

Dieses Szenario mitsamt Aufbau wurde anhand eines Fragebogens (siehe Kapitel 5.1.3 und Anhang A) evaluiert. Die Befragung hat ergeben, daß die Bedienung des

WebPad's die größten Schwierigkeiten bereitet hat, da es zum einen nach kurzer Zeit zu schwer wurde und zum anderen nirgendwo richtig abgelegt werden konnte aus Sorge, das es zu Boden fällt. Des Weiteren wurde bemängelt, daß die in das Videobild überlagerten virtuellen Objekte bei Bewegungen mit dem WebPad leicht verzögert hinterher „schwimmen“, bevor sie wieder ihre Endposition einnehmen.

In Bild 5-4 wird die erste umgesetzte Anwendung für ein mit AR-Technologie unterstütztem Montage-/Demontagesystem dargestellt. Die gesamte Anwendung wurde mithilfe von HTML und einem Active-X-PlugIn der Fa. Augmented Solutions realisiert. Das AR-Videofenster ist im Vergleich zu der zur Verfügung stehenden Oberfläche relativ klein gehalten worden. Die Begründung hierfür liegt in der verwendeten USB-Kamera, mit der keine sehr gute Auflösung erreichbar war.

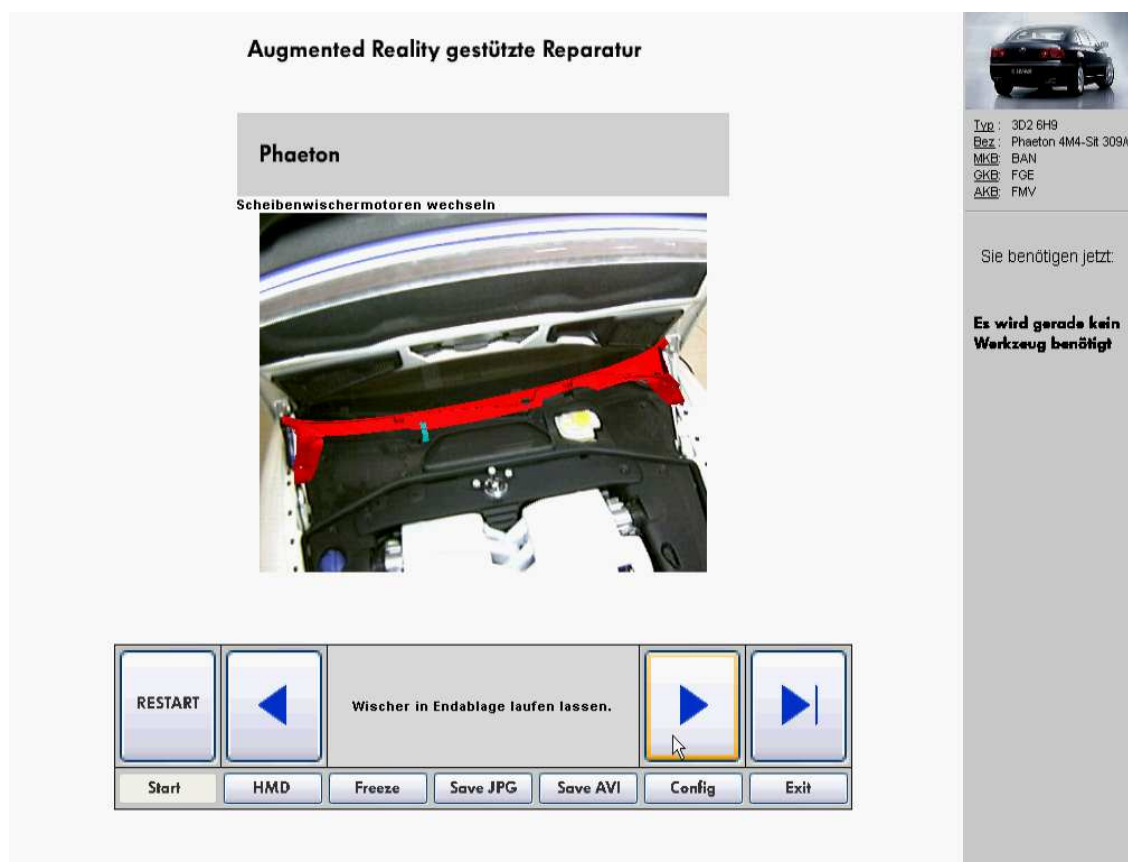


Bild 5-4: Erster Aufbau Anwendungsoberfläche (HTML)

Die Navigationsleiste beinhaltet in diesem Aufbau noch weitere Bedienknöpfe, wie z.B. die Möglichkeit in einen HMD-Modus zu schalten (HMD), die zuletzt erhaltenen Trackingwerte fest im System zu halten (FREEZE) und Monitorschnappschüsse in Form von Bilder oder Videosequenzen zu speichern (SAVE JPG) (SAVE AVI). Anhand der (CONFIG) Schaltfläche konnte der Anwender bei der Verwendung des in dem System integrierten Marker-Tackingverfahrens mit Papiermarkern die Einstellung des Schwellwertes (Threshold) manuell nachkorrigieren. Dies ist bei sich ändernden Lichtverhältnissen und dadurch schlechter werdender Markererkennung notwendig. Dieses Trackingverfahren binarisiert das Videobild (schwarz/weiß) und sucht in diesem Bild die in den Systemdateien festgelegten Markercodierungen (3x3-Matrix). Anhand des Schwellwertes wird festgelegt, wann ein Bildpixelpunkt in dem zu binarisierenden Videobild schwarz oder weiß angezeigt wird. In Bild 5-5 wird ein solcher modifizierter

Papiermarker gezeigt, der aufgrund einer retroreflektierenden Folie einen sehr hohen Schwellwert unterstützt. Dadurch wird die Erkennung wesentlich besser und stabiler. Die Begründung ist, daß durch einen hohen Schwellwert große Bildbereiche des Hintergrundes schwarz erscheinen und somit für die Markererkennung nicht mehr relevant sind.

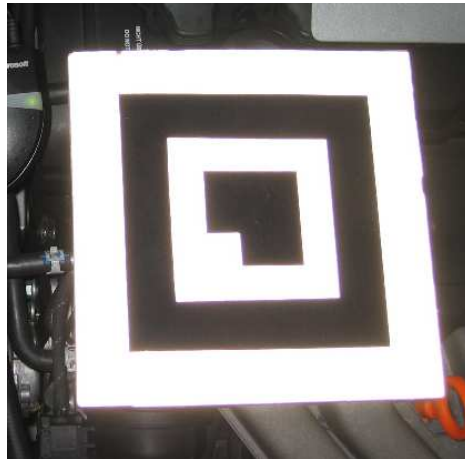


Bild 5-5: Modifizierter Marker (Retroreflektierende Folie /schwarzer Fließ)

Dies Verfahren ist störanfällig bei sich ändernden Lichtverhältnissen. Aus diesem Grund wurden die „normalen“ Papiermarker modifiziert, um die Markererkennung zu verbessern. Die weißen Elemente innerhalb des Markers sind mit retroreflektierender Folie und die schwarzen Elemente mit einem lichtabsorbierenden Fließ versehen worden. Das Ergebnis (Bild 5-6) dieser Modifizierung ist eine robustere Erfassung und Erkennung des Markers, was zu einem stabileren Tracking führt.

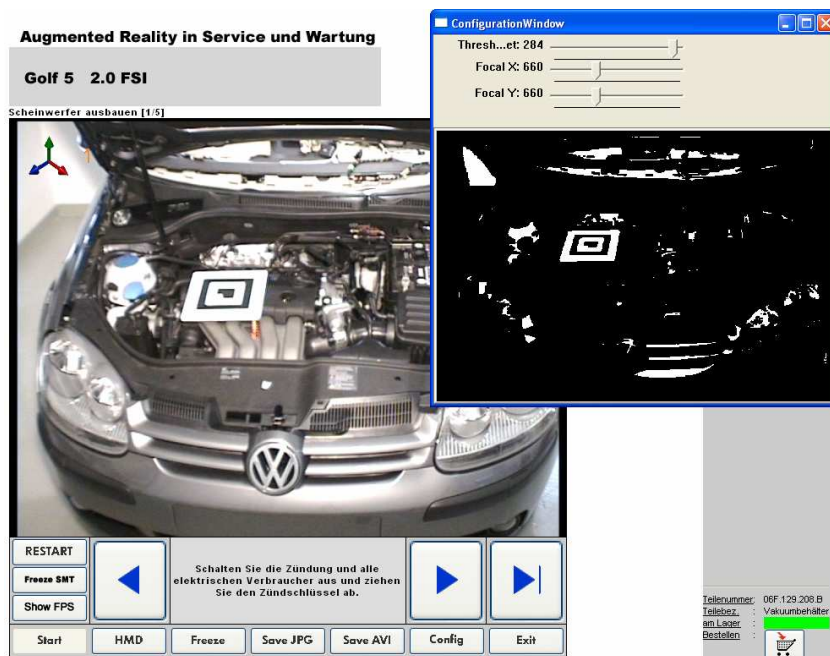


Bild 5-6: Markererkennung mit modifizierten Markern

### 5.1.2 Zweiter Aufbau (Golf Szenario)

Dieses Szenario wurde mit einem weiteren Produkt aus der Angebotspalette umgesetzt. Der Aufbau erfolgte wie im ersten Szenario mit der Trackingeinheit der Fa. ART. Die Rechereinheit, die für die Überlagerung der virtuellen Objekte in dem Videobild zuständig ist, ist in diesem Fall ein stationärer Rechner mit einem berührungssensitiven Monitor. Darüber hinaus wurde ein Sprachinteraktionsmodul (Bild 5-7) integriert, mit dem der Anwender die Oberfläche des Montage-/Demontagesystems bedienen kann. Dieses Modul versteht die normal ausgesprochenen Befehle gut. In einer werkstattähnlichen Laborraumumgebung (Bild 5-8) wurde das Szenario aufgebaut und umgesetzt. Die Trackingkameras sind unter der Decke des Raumes fest montiert. Anstelle einer USB-Kamera wird ein hochwertiger Digital-Camcorder auf einem Stativ verwendet, der über FireWire an die Rechereinheit angeschlossen wurde. Die Anwendungsoberfläche ist mit der Entwicklungsumgebung Visual Studio .NET in der Programmiersprache C# komplett neu erstellt und überarbeitet worden (Bild 5-9). Jede Leiste (Werkzeug, Navigation, Info, Lager und Bestellung) kann durch den Anwender selbstständig zu- oder weggeschaltet werden. Das Videofenster paßt sich den Veränderungen innerhalb der Oberfläche automatisch an und behält dabei das Seitenverhältnis bei, damit die virtuellen Objekte weiterhin korrekt angezeigt werden.

Wenn der Anwender rein das Sprachinteraktionsmodul zur Interaktion verwendet, kann die Anwendung auf einen Vollbildmodus geschaltet werden. Dadurch wird ausschließlich das Videobild auf dem gesamten Monitor dargestellt.



*Bild 5-7: Sprachinteraktionsmodul Sidewinder GameVoice der Fa. Microsoft*



## 5 Realisierung der Anwendungen

Durch diesen Modus ist der Anwender nicht mehr in der Lage die textuellen Hinweise selbst zu lesen. In diesem Fall werden diese über ein Sprachausgabemodul vorgelesen. Die Ausgabe erfolgt über das HeadSet des Sprachinteraktionsmoduls oder aber über an die Rechnereinheit angeschlossene Lautsprecher.



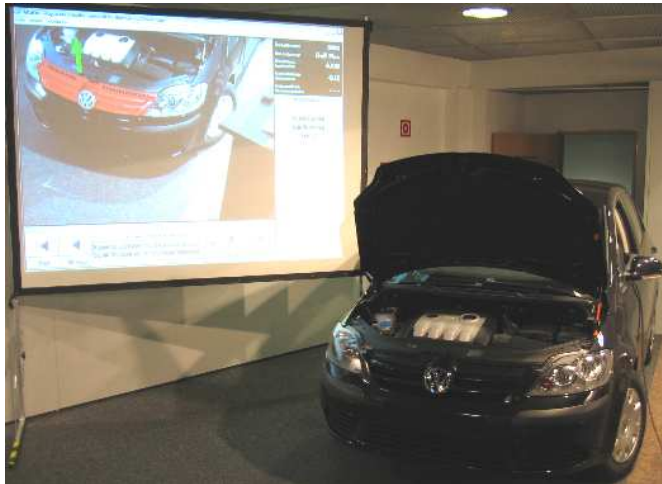
Bild 5-8: Aufbau zweites Szenario (Kellerraum)



Bild 5-9: ARMON – Neue Anwendungsoberfläche

Während der gesamten Entwicklungszeit wurden fortwährend diverse Aufbauten getätigt und Szenarien vorgestellt. Es sollen im folgenden zwei weitere vorgestellt werden, da sie besondere Spezifikationen aufweisen.

In Bild 5-10 ist ein Szenario anhand des Freeze-Tracking erstellt worden. Die räumlichen Gegebenheiten ließen kein Stativ zu und aus Demonstrationszwecken sollte kein Marker an dem Fahrzeug angebracht werden. Des Weiteren wäre der Marker durch den Mechaniker bei seiner Tätigkeit verdeckt und nicht mehr erkannt worden, da die Videokamera fest unter der Decke vor dem Produkt montiert worden.



Um trotz dem ein stabiles Tracking und eine gute Überlagerung zu gewährleisten, ist ein Marker vor dem Fahrzeug ausgelegt worden. Das Trackingmodul konnte den Marker erkennen und somit einen stabilen 6DOF-Wert an die Rechereinheit senden. Voraussetzung für eine solche Umsetzung einer AR-Unterstützung ist, daß bei der Verwendung von Freeze-Tracking weder die Kamera noch das zu überlagernde Produkt bewegt werden.

*Bild 5-10: Szenario mit Freeze-Tracking*

Ein weiteres Szenario zeigt das Bild 5-11. Auf einem frei drehbaren Aluminiumstativ ist eine Produktbaugruppe montiert. Der sehr komplexe Aufbau dieser Baugruppe erfordert von dem Anwender ein häufigeres Wechseln seiner Arbeitsposition. Aufgrund der Anordnung der Trackingkameras um den gesamten Arbeitsraum herum, erfassen sie diesen komplett können so jederzeit das an dem drehbaren Aluminiumstativ befestigten Trackingtarget erkennen und seine Position bestimmen.



*Bild 5-11: Produktszenario mit 360° Bewegungsraum*

### 5.1.3 ARMON betreffende Untersuchungen

Im Rahmen der Entwicklung eines mit AR-Technologie unterstützten Montage-/Demontagesystems sind diverse Untersuchungen durchgeführt worden. Diese Untersuchungen sollten Aufschluß geben über Unterschiede in Entwicklungsstadien, Vorgehensweisen und Empfindungen von Anwendern bei der Durchführung von AR-unterstützten Tätigkeiten, sowie Eignungen diverser Hardware für den Einsatz.

#### Fragebogen

Der Fragebogen (siehe Anhang A), der nach der Evaluierung des ersten ARMON-Aufbau's von den 14 Anwendern als Feedback ausgefüllt wurde, hat ergeben, daß die Anwendung bezüglich der Akzeptanz mit der gewählten Zusammenstellung von Hardware- und Softwarekomponenten nicht besonders gut für die alltägliche Verwendung in dem vorgesehenen Einsatzbereich geeignet ist.

Der durch die Anwendung zur Verfügung gestellte Informationsgehalt war laut den Anwendern genau richtig (64%), allerdings war die Darstellung der virtuellen Objekte nicht den Erwartungen entsprechend. Die Begründung hierfür liegt in der minimalen Auflösung der verwendeten USB-Kamera von 640x480 pixel. Die Arbeitanweisungen waren verständlich (31% völligzutreffend, 46% zutreffend) und stellten keinerlei Probleme dar. Einige Hinweise bezüglich des Informationsgehaltes, wie z.B. der Wunsch nach einer Darstellung der Zeitangabe über die Dauer der Reparatur sind in die weiteren Entwicklungen aufgenommen worden. Weiterhin konnte die Auswertung des Fragebogens eine Gewichtung über Informationsgebiete geben, die in der Anwendung verwendet werden. Anhand dieses Ergebnisses: Animation (34%), Werkzeughandhabung (31%) vor den Sicherheitshinweisen (19%) und der Arbeitsschrittanweisung (16%) ist ablesbar, daß die Anwender durch eine Überlagerung von Animationen schneller und besser angesprochen werden, anstatt von textuellen Hinweisen, die erst noch selbstständig gelesen und verstanden werden müssen. „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“, diese Umschreibung trifft sehr gut auf diese Erkenntnis zu.

Die Bewertung der Handhabung des Systems hat ergeben, daß nur gut ein Drittel der Probanden (29%) anhand der Symbolik ohne Probleme das System nach einer kurzen Einweisung klar und unkompliziert bedienen konnten. Demgegenüber befanden 35% die Symbolik als zutreffend und 36% als eingeschränkt zutreffend, um das System intuitiv durch die gewählten Symbole zu bedienen. Diese Aussage ist wichtig und muß in die weiteren Entwicklungsschritte für die Systemoberfläche mit eingearbeitet werden. Die Anordnung der Hinweise ist innerhalb der Bedienoberfläche von 23% als völlig zutreffend und von 69% als zutreffend bewertet worden. Nur knapp 8% befanden diese als eingeschränkt zutreffend. Die Aufteilung der Oberfläche in die jeweiligen Bedien- und Informationsleisten ist bei den Probanden im Ganzen gut angenommen worden. Eine Bewertung der verwendeten Anzeigengröße bezüglich Lesbar- und Übersichtlichkeit ist von nur 7% der Anwender als unzutreffend bewertet worden. Jeweils 36% befanden diese als zutreffend und eingeschränkt zutreffend und ganze 21% der Probanden waren völlig zufrieden mit der in der Oberfläche gewählten Anzeigengrößen von Werkzeug-, Informations- und Navigationsleisten. Wichtig war auch zu erfahren, wie die in die Arbeitsschritte eingearbeiteten Animationen von den Probanden verstanden wurden und ob sie wesentlich für die Durchführung der Arbeitsschritte beigetragen haben. Die Bewertung der Animationen zeigt, daß nur 21% die verwendeten Animationen zu den Arbeitsschritten als völlig zutreffend und

zielführend einstufen. 36% bewerteten diese zutreffend, 29% als eingeschränkt zutreffend und 14% waren der Meinung, daß die Animationen unzutreffend und somit nicht eindeutig verständlich und deutbar waren. Dies kann an dem zu klein gewählten Videobild in der Anwendungsoberfläche liegen, wodurch die Erkennung und Deutung der Animation und Überlagerung erschwert war. Die abschließenden Fragen bezüglich der Handhabung des Gesamtsystems zeigen, daß der Großteil der Probanden keine Schwierigkeiten mit der Bedienung des Systems hatten (31% völlig zutreffend, 31% zutreffend, 23% eingeschränkt zutreffend). Nur lediglich 15% bewerteten die intuitive verständliche und einprägsame Bedienung als unzutreffend. Um einen Eindruck für die WebPad-Verwendung zu erhalten, sollten die Probanden die Hardware in bezug auf die angenehme und zielführende Haptik der Oberfläche bewerten. Mehr als die Hälfte befanden diese als eingeschränkt zutreffend bis völlig unzutreffend. 25% und 17% waren der Meinung, daß diese völlig zutreffend und zutreffend wäre. Diese Bewertung ist zurückzuführen auf die Unhandlichkeit des verwendeten WebPads hinsichtlich des Gewichtes und der umständlichen Haltweise. Diese Vermutung wird bestätigt durch die Beantwortung der Frage nach der Hinderlichkeit durch das WebPad-Gewicht. 18% bewerten das Gewicht als nicht hinderlich (zutreffend). 37%, 27% und 18% beurteilen die Frage als eingeschränkt zutreffend bis hin zu völlig unzutreffend. Eine abschließende Beantwortung der Frage nach Verbesserungsbedarf beantworteten die Probanden mit Hinweisen auf eine Verringerung des Gewichtes, eines stabileren Trackings und einem geringerem Aufbauaufwand des gleichen, sowie in der Vergrößerung des Kamerabildes und der handfreien Verwendung des Gesamtsystems. Alle diese Hinweise werden in die weitere Entwicklung des Systems mit aufgenommen und eingearbeitet.

Der Zweck des AR-Systems ist es, die Montage-/Demontagetätigkeiten zielgerichtet zu unterstützen. Dabei soll vor allem eine Einhaltung der Montagereihenfolge durch die Bereitstellung fahrzeugspezifischer Reparaturleitfäden, eine Verbesserung der Produktqualität und eine kontinuierliche Weiterbildung durch „Learning by Doing“ erreicht werden. Eine Befragung der Probanden bezüglich der Zweckmäßigkeit zeigt, daß 21% und 37% der Meinung waren das durch die Verwendung des AR-Systems eine sehr gute bis gute Verbesserung der Produktqualität erreicht werden kann. 14% bewerteten dieses mit befriedigend. 21% und 7% beurteilten diese These mit ausreichend bis mangelhaft.

Die Einhaltung der Montagereihenfolge hingegen wurde zu je 50% von den Probanden mit sehr gut und gut eingestuft. Durch eine Einhaltung der Vorgehensweise läßt sich die Produktqualität erheblich verbessern, denn die meisten Fehler entstehen bei komplexen Produkten durch nicht korrekt durchgeführte Montagen. Diese Aussage widerspricht der negativen Bewertung über eine Verbesserung der Produktqualität deutlich.

Weiterhin sollten die Probanden die Bereitstellung fahrzeugspezifischer Reparaturleitfäden einstufen. 29% und 50% befanden dies mit sehr gut und gut. Demgegenüber stehen 7% und 14% mit befriedigend und mangelhaft. Aufgrund der etwas umständlichen Navigation in dem Strukturbaum der Reparaturleitfäden kann die Beurteilung in diesem Punkt der Befragung zu negativ eingestuft worden sein. Für die weitere Entwicklung der Informationsbereitstellung soll die Navigation für den Anwender im wesentlichen vereinfacht werden.

Durch die permanente Überlagerung der durchzuführenden Tätigkeiten an dem Produkt selbst können ungeübte Anwender ihre Kenntnisse erweitern und sich neue

Fähigkeiten aneignen. 29% und 43% der Probanden sind dieser Meinung und bewerten dies mit sehr gut und gut. 14% befinden diese These als befriedigend zutreffend. Jeweils 7% entfallen auf ausreichend und mangelhaft. Diese Einschätzung kann durch die nicht ganz einfache gewichtbedingte Handhabung des WebPads beeinflusst worden sein.

Die letzten Fragen zu der Zweckdienlichkeit des AR-Systems sollen Aufschluß darüber geben, wie die folgenden Ziele erreicht wurden. Die Sicherstellung eines einheitlichen Informationsstandes stufen 29% als sehr gut, 50% als gut und die restlichen 21% als befriedigend ein. Ein weiteres Ziel des AR-Systems ist die Sicherstellung der Arbeitsplatzsicherheit durch situationsgerechte Hinweise, die den Anwender auf Gefahren und sicherheitsrelevante Tätigkeiten hinweisen soll. Durch die für diesen Aufbau verwendete Hardware sind die Probanden vermutlich von dem eigentlichen Sinn der Fragestellung abgelenkt worden. 14% und 44% sind trotz alledem der Meinung, daß die Sicherstellung der Arbeitssicherheit sehr gut und gut erreicht wurde. 21% bewerten die Frage mit befriedigend. 14% und 7% sind ausreichend und mangelhaft zufrieden mit der Erfüllung des Anspruches.

In der schnellen und einfachen elektronischen Erreichbarkeit ist die Mehrheit der Probanden sich einig, daß diese mit 36% sehr gut, 43% gut und 14% befriedigend bewirkt wird. Dies beinhaltet die schnelle Verteilung neuer Reparaturleitfäden mit sich geänderten Anweisungen. Nur 7% sind der Meinung, daß dies nur mangelhaft möglich ist.

Die abschließende Gesamtbewertung über alle abgefragten Bereiche wie Akzeptanz, Informationsgehalt, Handhabung und Zweckdienlichkeit zeigt folgendes Ergebnisbild. Die Befragung bezüglich der Akzeptanz zeigt, daß 21% sehr zufrieden, 58% zufrieden und 14% neutral dem vorgestellten AR-System gegenüber stehen. Lediglich 7% zeigten sich unzufrieden.

Der durch das AR-System zur Verfügung gestellte Informationsgehalt wurde von der Mehrheit mit 43% und 50% als sehr zufrieden und zufrieden bewertet. Nur 7% der Probanden äußerten sich mit einer neutralen Haltung.

In der Bewertung der Handhabung haben die Probanden das umständlich zu haltende WebPad als größten Störfaktor empfunden. Nur 7% sind sehr zufrieden, 14% zufrieden und 51% äußern sich neutral zu der Handhabung. 21% und 7% der Befragten sind unzufrieden bis sehr unzufrieden mit dem AR-System. Dies kann in dem Gewicht, der zu kleinen Videodarstellung und leicht verzögerten und dadurch unscharfen Überlagerung von virtuellem zu realen Objekten liegen.

Abschließend sollte die Wichtigkeit der einzelnen Bereiche von den Probanden gewichtet werden, um eine spätere Gegenbewertung durchzuführen. 50% und 43% der Probanden bewerten die Akzeptanz mit sehr wichtig und wichtig. Lediglich 7% ist die Akzeptanz egal. Dies zeigt sehr deutlich, daß bei der Entwicklung des AR-Systems definitiv die Hardware und „Beladung“ des Anwenders nicht vernachlässigt werden darf. Weiterhin zeigt die Gewichtung des Informationsgehaltes eine eindeutige Tendenz mit 71% und 29% zu sehr wichtig und wichtig. Diese Gesamtbewertung und Einzelbewertungen zu den unter Informationsgehalt erhaltenen Antworten zeigen eine gute Übereinstimmung. Die Auslegung des Informationsgehaltes scheint in dem AR-System genügend berücksichtigt und eingearbeitet worden zu sein. Trotz alle dem soll das weitere AR-System dem Anwender die Möglichkeit geben, selbst über die angezeigte Informationsmenge zu bestimmen.

Mit 64% und 36% stuften die Probanden die Handhabung des AR-Systems als sehr wichtig und wichtig ein. Ein Abgleich mit den gegebenen Antworten zeigt, daß bei der weiteren Entwicklung mehr Einfluß auf die Gesamthandhabung des Systems genommen werden muß. Dabei müssen Funktion, Handhabung und Preis des AR-Systems ein harmonisches Gleichgewicht erreichen.

Der letzte zu bewertende Bereich ist die Zweckdienlichkeit des AR-Systems für die Probanden. Der Großteil von ihnen zeigt mit 71% und 29%, daß dies sehr wichtig bis wichtig ist. Die Einzelbewertungen der Probanden zu diesem abgefragten Bereich zeigt hier eine ebenfalls gute Tendenz in der Gesamtentwicklung des AR-Systems auf. Eine Verbesserung der einzelnen Teilumfänge soll durch eine Verbesserung des bereitgestellten Videofensters, ein stabileres Tracking, einer besseren Überlagerung und einfacheren Anpassung des AR-Systems an die jeweilige Mitarbeiter-Qualifikation und dem Einsatzbereich erreicht werden.

Abschließend sollten die Probanden ihre persönliche Meinung zu dem Entwicklungspotential der AR-Technologie in naher und ferner Zukunft mitteilen. Die dabei angesprochenen Zeithorizonte waren auf die nächsten 5 und 10 Jahre bezogen. Dabei differenzierten die Aussagen von „nicht einsatztauglich in den nächsten 5 Jahren“ bis hin zu „wenn alles so wie vorgeführt realisiert wird, vergehen einige Jahre“. Andere Probanden konnten sich einen Einsatz für:

- Schulungen und Weiterbildungen
- Schnelles Reagieren bei Problemen auch bei Nicht-Fachpersonal
- Fernwartung durch Remote-Experte und
- Beherrschung der Variantenvielfalt

vorstellen.

Die Visionen der Probanden für einen Einsatz der AR-Technologie in ferner Zukunft hingegen wagten eine:

- AR-Integration in das Bauteil selber
- Bereitstellung der AR-Informationen in ein alltagtaugliches HMD
- Zusammenführung der AR-Technologie in den Arbeitsalltag bei Werkstätten, Produktionsfertigungen wie Serienfertigung, Prototypenbau und der Logistik.

Die demographische Auswertung der Probanden zeigt folgende Aufteilung der unterschiedlichen Altersgruppen. 29% waren in dem Alter von 20-30 Jahren, 43% von 31-40 Jahren und jeweils 14% in der Gruppe der 41-50 Jahre und 51-60 Jahre alten Probanden (Bild 5-12).

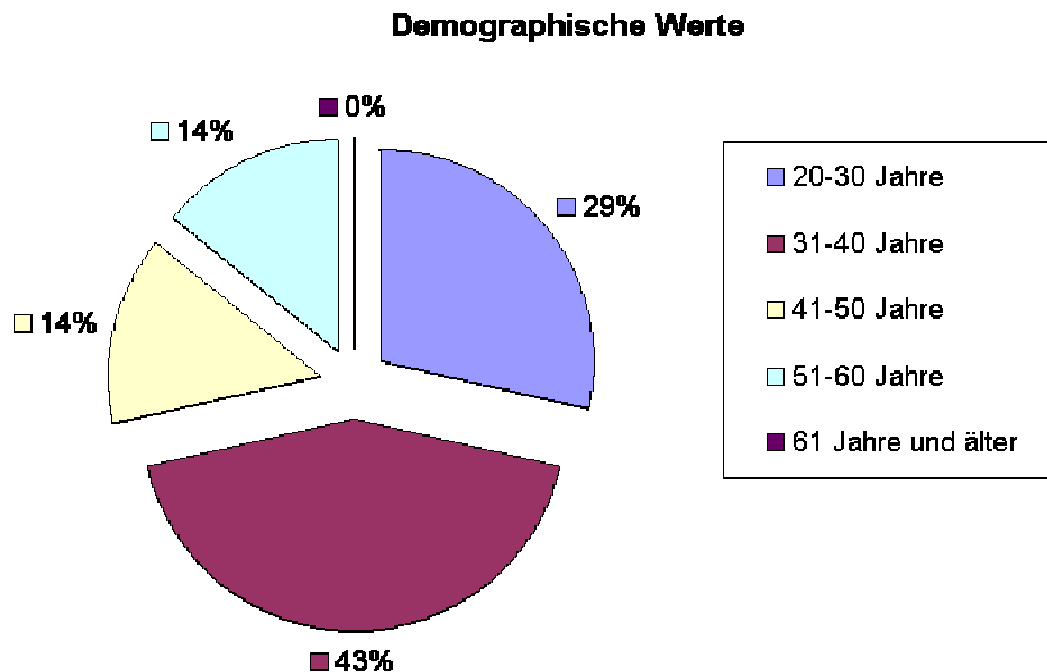


Bild 5-12: Demographische Darstellung Probanden

### LEGO-Test

Die Probanden hatten die Aufgabe ein komplexes Modul, das aus fünf Bauteilgruppen und zwei Verbindungssteinen bestand, innerhalb kürzester Zeit zusammenzusetzen. Als Hilfsmittel standen eine herkömmliche Papieranleitung zur Verfügung und ein mit AR-Technologie unterstützende Baubeschreibung zur Verfügung. In einer Box mit Aufbewahrungsfächern waren alle dafür notwendigen Steine nach Farbe und Größe bereits einsortiert. Um die Aufmerksamkeit des Anwenders entsprechend zu prüfen, waren in der Box ein paar mehr Bausteine als nötig. In diesem Papierleitfaden wurden dem Proband vier verschiedene Ansichten seiner Aufgabe gezeigt. Der in jedem Tätigkeitsschritt zu verwendende Baustein wurde in seiner Form und Farbe oben rechts auf den Papierblättern (Bild 5-13) der Anleitung dargestellt.

Für die Durchführung mußten die Bausteine selbstständig herausgesucht und die Papieranleitung Schritt für Schritt durchgearbeitet werden. Insgesamt umfaßte die Anleitung 46 Seiten und es mußten 43 Bausteine korrekt zusammengebaut werden. Das Ergebnis der ersten Versuchsreihe zeigte, daß alle insgesamt 23 Probanden (Durchschnittsalter 36 Jahre) eine durchschnittliche Zeit von 7:01 min benötigten, um das komplexe Gebilde zu fertigen. Die dabei verbauten Fehler sind vernachlässigbar klein, sie liegen unter einem Schnitt von 0,09 Fehlern/Proband. Keiner der Probanden hatte Probleme bei der Durchführung dieser Aufgabe (Anhang B).

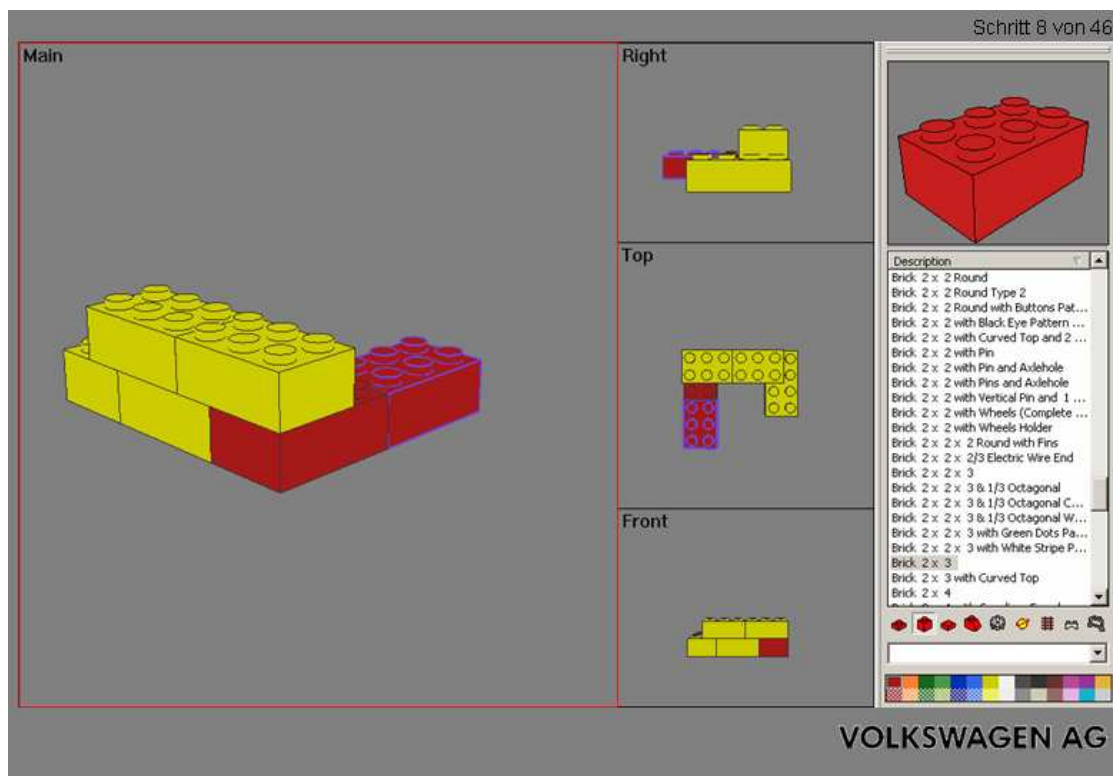


Bild 5-13: Auszug aus Papieranleitung

Der zweite Durchgang mit den Probanden wurde nach einem Zeitraum von mehreren Wochen durchgeführt. Durch diese Pause sollte sichergestellt werden, daß diese sich nicht mehr an den Bauplan und der Vorgehensweise mit den Modulen erinnern. Dieser Aufbau sollte anhand einer mit AR unterstützten Anleitung durchgeführt werden. Dabei wurden die Bausteine dem Anwender in der Werkzeugleiste der Oberfläche eingeblendet. Innerhalb des Anweisungsfeldes in der Navigationsleiste konnte der Anwender folgenden Text lesen oder vorsprechen lassen: „Nehmen Sie den angezeigten Stein (2x3, rot) und bringen ihn an die angezeigte Position“. Die Position ist in dem Videofenster durch Überlagerung des zu setzenden Bausteines an seinem Verbauort und einem zusätzlichen animierten Pfeil angezeigt worden (Bild 5-15).

Der Versuchsaufbau und –umfang ist bezüglich der ersten Versuchsreihe identisch. Die für die AR-Unterstützung notwendige Videokamera war unter der Zimmerdecke angebracht. Als Trackingsystem wurde das Markertracking durch Papiermarker verwendet. Dafür sind auf einer Bauplatte Marker fest montiert und in bezug auf den Mittelpunkt der Bauplatte genau vermessen worden (Bild 5-14), um ein stabiles Tracking und saubere Überlagerung der virtuellen Objekte zu gewährleisten.



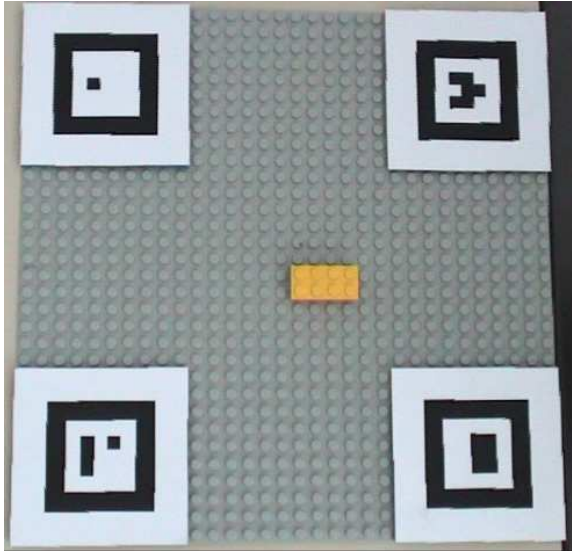


Bild 5-14: LEGO-Test – Bauplatte mit Markern

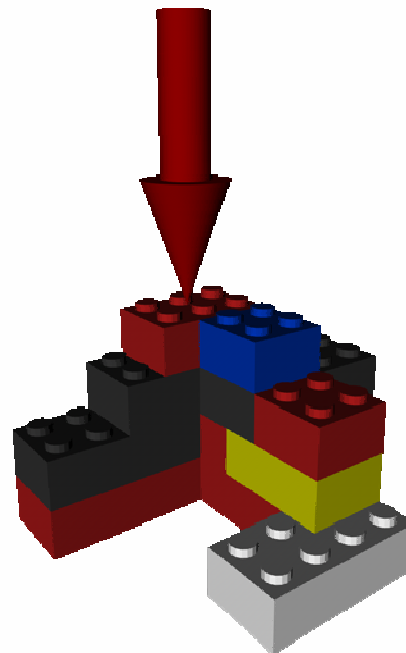


Bild 5-15: LEGO-Test – Tätigkeitsschritt aus AR-Anleitung

Die Probanden benötigten für diesen Versuch mit AR-Unterstützung eine durchschnittliche Zeit von 7:08 min. Die benötigte Zeit liegt somit um 7 s höher als mit Papieranleitung. Allerdings sind bei dieser Art von Unterstützung keinerlei Fehler aufgetreten. Bei einer Gegenüberstellung der jeweiligen Zeiten pro Proband zeigt sich ein interessantes Bild. Eine Hälfte der Probanden konnten Ihre Zeit verbessern, die andere nicht. Vergleicht man die Zeitunterschiede bezüglich der Verbesserungen und der Verschlechterungen, so ist feststellbar, daß eine Verbesserung der Probanden um ca. 1:00 min und eine Verschlechterung um ca. 1:19 s vorliegt.

Das zeitlich gesehen schlechtere Abschneiden der AR-unterstützten Anwendung ist durch die Zeit zum Laden der Modelle und dem Wechsel zwischen den einzelnen Arbeitsschritten sowie der bedingt problematischen Ausleuchtung für ein stabiles Tracking erklärbar. Durch nicht permanent stabile Tracking-Werte war die Position der anzubauenden Steine nicht immer eindeutig erkennbar. Desweiteren mußten einige Probanden sich an die Bedienung des Systems durch Berührung der Monitoroberfläche gewöhnen.

Die weiteren geplanten Versuche in dem Übersichtsblatt wurden nicht durchgeführt, da zu erwarten ist, daß diese keine Steigerung der Zeiten für das Zusammenbauen der Module und des Gesamtmoduls erreicht werden.

### MTM-Analyse

MTM-Analyseverfahren sind Verfahren, um manuelle Arbeitsabläufe oder einfach geistige Tätigkeiten in Bewegungselemente oder mentale Funktionen aufzugliedern. Jedem Bewegungselement sind Normwerte zugeordnet, die in ihrer Höhe durch die erfaßten Einflußgrößen vorbestimmt sind. MTM-Analysen können zur Gestaltung von Arbeitsmethoden, zur Plan- und Sollzeitbestimmung für Arbeitsabläufe dienen, ferner zur Arbeitsunterweisung, Kostenkalkulation oder Kapazitätsplanung eingesetzt werden.

Auf Grundlage dieses Analyseverfahrens wurde ein Demontageszenario mit AR-Technologie aufgebaut. Die Aufgabe der Monteure war dabei die Fensterhebereinheit an der Fahrtür eines handelsüblichen Golfs 5 einmal auf die herkömmliche Art und Weise und einmal durch AR-Unterstützung mit ARMON auszubauen. Während der gesamten Zeit wurden die Tätigkeiten der Monteure per Video aufgezeichnet, um später eine problemlose Auswertung und Einteilung in Bewegungselemente sowie der Umrechnung in Zeiteinheiten nach MTM durchzuführen.

Für die herkömmliche Ausführung standen dem Monteur ein Diagnosetester VAS 5052 mit dem Reparaturleitfadenprogramm ELSA-WIN und alle notwendigen Werkzeuge zur Verfügung. Der Monteur hatte sich eigenständig durch die bei ELSA-WIN bereitgestellten Reparaturleitfaden zu navigieren, an der Türeinheit zu orientieren und den Anweisungen zu folgen.

Die Unterstützung durch AR erfolgte durch die Bereitstellung eines zum VAS 5052 größenidentischen Touchscreenmonitors. Bei der AR-Unterstützung wurden dem Monteur die Arbeitsschritte einzeln in der richtigen Reihenfolge Arbeitskapitel für Arbeitskapitel und Schritt für Schritt vorgegeben und angezeigt.

Der gesamte Arbeitsumfang wurde für die Analyse in 6 Umfänge aufgeteilt. Diese sind in der Reihenfolge:

- Türschloß ausbauen
- Türgriff ausbauen
- Türaußenhaut abbauen
- Aufprallschutz abbauen
- Fensterscheibe ausbauen
- Steckverbindung lösen und Fensterhebereinheit ausbauen.

In Tabelle 5-1 ist die Gegenüberstellung der beiden unterschiedlichen Durchführungsweisen zu sehen. Das Ergebnis zeigt sehr deutlich, daß eine Unterstützung mit Hilfe von AR eine wesentliche Verkürzung der benötigten Zeit, eine bessere Führung des Monteurs und eine Abarbeitung von jedem notwendigen Tätigkeitsschritt erreicht wird. Der Ausbau der Fensterhebereinheit konnte so um 4:10 min schneller abgearbeitet werden, als auf herkömmliche Art und Weise.

In der Auswertung Tabelle 5-1 ist vor allem zu erkennen, daß der Monteur für die konventionelle Vorgehensweise wesentlich mehr Zeiteinheiten für das Lesen und Verstehen des Reparaturleitfadens benötigt. AR-Technologie kann das Verständnis durch die Überlagerung am realen Objekt beschleunigen und wesentlich unterstützen,

was sich in der kürzeren Durchführungszeit widerspiegelt (gesamte MTM-Analyse in Anhang C).

Tabelle 5-1: Auszug aus der MTM-Auswertung

MTM Analysebogen		Ausbau der Fahrer­tür Golf 5		Fensterhebereinheit an der			
Nr.	Beschreibung	Kode	TMU	Häufigkeit	Gesamt TMU	Zeit mit AR	
1. Türschloß ausbauen	Reparaturleitfaden lesen		2100		2100	600	
	Weg zur Tür	KA	25	2	50	50	
	Abdeckleiste lösen	AA1	20		20	20	
	Clipse lösen	ZD	20	5	100	100	
	Abdeckleiste am Werkzeugwagen ablegen	PA3	25		25	25	
	Weg von Tür zu Werkzeugwagen	KA	25	1	25	25	
	Knarre aufnehmen und Verlängerung aufstecken	AB2	45		45	45	
	Torx auf Verlängerung aufstecken	AB2	45		45	45	
	Weg zur Tür	KA	25	1	25	25	
	Knarre ansetzen	PC1	30		30	30	
	Schrauben lösen	ZB1	10	13	130	130	
	Türgriff vorpositionieren	AA2	35		35	35	
	Prozeß entnehmen und auf dem Werkzeugwagen ablegen	AA1	20		20	20	
	Weg zum Werkzeugwagen	KA	25	1	25	25	
	Werkzeug ablegen	PA2	20		20	20	
	Weg zum Monitor	KA	25	4	100	100	

### 5.1.4 Auswertung/Fazit nach Aufbauten und Untersuchungen

Anhand der Erstellung diverser Aufbauten, sowie der Durchführung von Untersuchungen und Auswertungen konnten wichtige Erkenntnisse erzielt werden, die sukzessive weiterentwickelt wurden und somit das Gesamtkonzept vorangetrieben haben. Durch die Verwendung unterschiedlicher Trackingsysteme und –technologien konnten Vor- und Nachteile der einzelnen erhältlichen Systeme nachvollzogen werden. Die Verwendung des A.R.T.-Tracking Systems führt zu guten Ergebnissen, denn dieses System ist sehr genau und in der Bereitstellung der Positionswerte schnell. Die Bedienung und Handhabung des Systems der Firma A.R.T. ist nach kurzer aber intensiver Einarbeitungszeit gut zu bewerkstelligen. Das verwendete marker-basierte Trackingverfahren der Firma metaio kann hingegen nur als schlechtere Zweitlösung angesehen werden. Trotz der verbesserten retroreflektierenden Marker läßt die Erkennung bei größer werdender Entfernung aufgrund von Lichtverhältnissen und des jeweiligen verwendeten Objektivs zu schnell und zu stark nach.

Das größte zu verzeichnende Problem ist die line-of-sight Bedingung bei allen optischen Trackingverfahren. Ein Einsatz der AR-Technologie in dem gewählten Einsatzbereich muß stabil, robust und verläßlich funktionieren. Für die wissenschaftliche und industrielle Erprobung und Weiterentwicklung der AR-Technologie eignen sich optische Trackingsysteme aufgrund ihres einfachen Aufbaus sehr gut. Die alltägliche Verwendung kann aufgrund der Einflußfaktoren in dem Einsatzbereich nicht empfohlen werden.

## 5.2 AR-AUTOR

Dieses Kapitel beschreibt die Erstellung von Reparaturleitfäden Mithilfe von AR-Technologie. Die zu bewältigende Arbeitsaufgabe wurde in Kapitel 4.3.1 bereits beschrieben. Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung der Autorenumgebung für die vorgesehenen Zielgruppen und die schrittweise Anpassung für den vorgesehenen Einsatzbereich. Dabei wird die herkömmliche Vorgehensweise für die Erstellung von Reparaturleitfäden aufgezeigt, um die Anpassungen und Veränderungen an der Benutzeroberfläche deutlich machen zu können. Im Speziellen wird auf die für die Interaktion implementierten Schnittstellen und den im Weiteren entwickelten Eingabegeräten eingegangen. Durchgeführte Untersuchungen werden beschrieben und deren Ergebnisse dargestellt.

### 5.2.1 Erstellung Reparaturleitfäden

Die Anwendung ARMON benötigt für die Visualisierung Informationen über die anzuzeigenden Daten. Für die Durchführung einer Reparatur sind dies Informationen, wie z.B. die durchzuführende Tätigkeitsbeschreibung mit den notwendigen Informationen (Werkzeuge, virtuelle Bauteile, Drehrichtungen von Verschraubungen) und für die korrekte Überlagerung der virtuellen Geometrien die Koordinaten in bezug zu dem betrachteten realen Objekt.

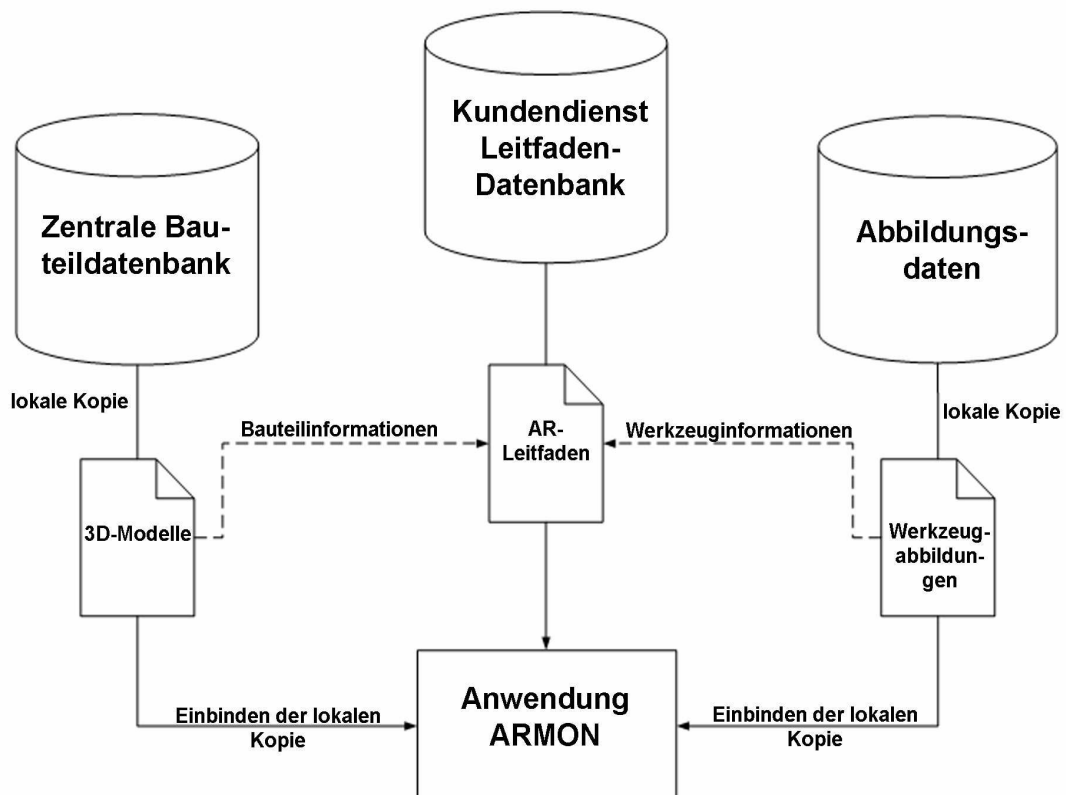


Bild 5-16: Übersicht des Funktionsschema der Reparaturleitfadenerstellung [OPE05]

Diese Informationen werden der Anwendung über einen RL in Form eines XML-Dokumentes zur Verfügung gestellt. Um alle benötigten Informationen für die einzelnen

Tätigkeitsschritte dem Anwender zur Verfügung stellen zu können, müssen diese aus verschiedenen Datenbanksystemen händisch zu einem AR-fähigen Reparaturleitfaden zusammengefügt werden (Bild 5-16).

### Herkömmliche Vorgehensweise (Grundsätzliche Probleme)

Die Erstellung eines Reparaturleitfadens für das AR-System ARMON ist aufgrund der zu verwendenden virtuellen Bauteile und des Aufbaus von XML-Dokumenten nicht ganz unproblematisch. Zum einen ist sicherzustellen, daß die in der zentralen Bauteiledatenbank vorhandenen Modelle verwendet werden können, nachdem diese in ein AR-fähiges Format umgewandelt sind. Entsprechende Versuche und Untersuchungen haben ergeben, daß die Modelle in entsprechender Qualität automatisiert bezogen und verwendet werden können. Zusätzlich zu integrierende Informationen, wie beispielsweise Drehrichtungs- oder Hinweispfeile, müssen allerdings mit in das Bauteil integriert werden, da es keine Möglichkeiten innerhalb der XML-Struktur des Reparaturleitfadens für die separate Einbindung von Hilfsgeometrien gibt.

Das für die RL verwendete XML-Datenformat eignet sich sehr gut für die Kodierung von hierarchisch aufgebauten Strukturen und Informationen. Laut besitzen XML-Dokumente große Vorteile aufgrund ihrer flexiblen Adaptierbarkeit, der Trennung von Form, Inhalt und Layout, sowie der Möglichkeit in jedem beliebigen Text-Editor bearbeitet werden zu können (Bild 5-17).

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-16" ?>
- <leitfaden>
- <kapitel name="Scheinwerfer ausbauen" id="1">
+ <arbeitsschritt stepId="w0">
+ <arbeitsschritt stepId="w1">
- <arbeitsschritt stepId="w2">
  <cosID>1</cosID>
  <text>Bauen Sie den Kühlergrill aus.</text>
  <data />
- <bauteile>
  <bauteil id="0" name="Kühlerschutzgitter"
    nummer="5M0.853.651.A.1"
    file="SC8W15M0.853.651.A.1_KUEHLERSCHUTZGITTER.wrl" />
  <bauteil id="1" name="Firmenzeichen" nummer="5M0.853.601.1"
    file="SC1W15M0.853.601.1_FIRMENZEICHEN.wrl" />
  </bauteile>
</arbeitsschritt>
</kapitel>
- <kapitel name="Kühlergrill ausbauen" id="1">
- <arbeitsschritt stepId="w3">
  <cosID>1</cosID>
  <text>Drehen Sie die Schrauben -Pfeile- heraus.</text>
  <data />
  + <bauteile>
  </arbeitsschritt>
+ <arbeitsschritt stepId="w4">
</kapitel>
+ <kapitel name="Stoßfängerabdeckung ausbauen" id="2">
+ <kapitel name="Scheinwerfer ausbauen" id="3">
+ <kapitel name="Scheinwerfer einbauen" id="4">
+ <kapitel name="Stoßfängerabdeckung einbauen" id="5">
+ <kapitel name="Kühlergrill einbauen" id="6">
+ <kapitel name="Scheinwerfer einbauen" id="7">
</leitfaden>

```

Bild 5-17: XML-Quelltext eines Reparaturleitfadens für ARMON [OPE05]

Das Problem im Allgemeinen ergibt sich aus der systemtechnischen Trennung des Erstellen bzw. Bearbeiten eines AR-XML-Dokumentes und dessen Kontrolle, dem Laden in das AR-System ARMON. Der Autor eines AR-XML-Dokumentes muß sich die Auswirkungen seiner Änderungen bzw. diese in der AR-Umgebung anhand der schriftlichen Beschreibung in dem XML-Editor vorstellen.

Aus diesem Grund bietet sich ein System an, welches eine Erstellung und Anpassung von AR-Reparaturleitfäden innerhalb einer AR-Benutzeroberfläche ermöglicht. Durch die Kombination dieser technischen Systeme werden dem Autor Mittel zur Verfügung gestellt, die Leitfäden mit AR-Umfängen zu füllen ohne mit der XML-Struktur direkt konfrontiert zu sein. Visuelle Veränderungen können direkt umgesetzt und betrachtet werden.

### **Weitere Vorgehensweise und Entwicklungen**

Die Autorenumgebung soll zum einen die Entwickler der Anwendung ARMON und zum anderen die Autoren von RL im Kundendienst unterstützen. Die Implementation einer neuen Technologie in einen bestehenden Arbeitsprozeß darf diesen im Wesentlichen nicht unterbrechen, muß sich nahtlos integrieren und fehlerfrei und intuitiv bedienbar sein. Nur unter der Voraussetzung vorab genannter Bedingungen ist zu gewährleisten, daß ein Einsatz innerhalb als auch außerhalb des Volkswagen-Konzerns sichergestellt werden kann.

Die genannten Zielgruppen stehen im generellen neuen Technologien offen und interessiert gegenüber. Dadurch können bei der Entwicklung der Benutzeroberfläche wichtige Informationen bezüglich des Arbeitsumfeldes von Autoren und AR-Entwicklern gemeinsam erarbeitet und erestet werden. Ideen, Anregungen und Wünsche wurden erfaßt und entsprechend berücksichtigt. Die Autorenumgebung AR-AUTOR ist als Hilfswerkzeug für die AR-Anwendung ARMON zu betrachten und soll daher in Form und Funktionalität der Benutzerschnittstelle ARMON stark angelehnt werden, wie bereits in Kapitel 4.3.3 beschrieben wurde.

Die wichtigste Komponente der Autorenumgebung ist die Auswahl und Platzierung von virtuellen Objekten. Besonders diese Funktion ist für die Aufarbeitung beziehungsweise Ergänzung älterer bereits bestehender RL sehr wichtig. Dem Autor muß aus diesem Grund eine Auswahlmöglichkeit geboten werden, die korrekten Teile auszuwählen, diese zu beschreiben und in einen bestehenden oder neuen RL zu ergänzen. Nach der Platzierung dieser Objekte müssen diese unmittelbar in dem Vorschauenfenster angezeigt werden.

Für eine einfache und schnelle Platzierung wurde in der ersten Entwicklungsphase der Autorenumgebung AR-AUTOR ein 6-DOF Positionierungsstift (Bild 5-18) implementiert. Mit dessen Hilfe ist der Autor nach Auswahl einer Hilfsgeometrie in der Lage, diese direkt in dem Vorschauenfenster zu bewegen, korrekt zu platzieren und über einen Mausklick in den RL abzuspeichern (Bild 5-18). Bei diesem Vorgang werden die Koordinaten des Positionierungsstiftes über das Trackingsystem ausgelesen und in den Reparaturleitfaden eingeschrieben. Das gleichzeitige Platzieren und Bestätigen der korrekten Position über einen Mausklick erwies sich durch die Handhabung der Maus als nur bedingt durchführbar. Aus diesem Grund wurde die Sprachsteuerung über das Sprachinteraktionsmodul (Bild 5-7) um den Befehl „Platzieren“ in der Szene erweitert.

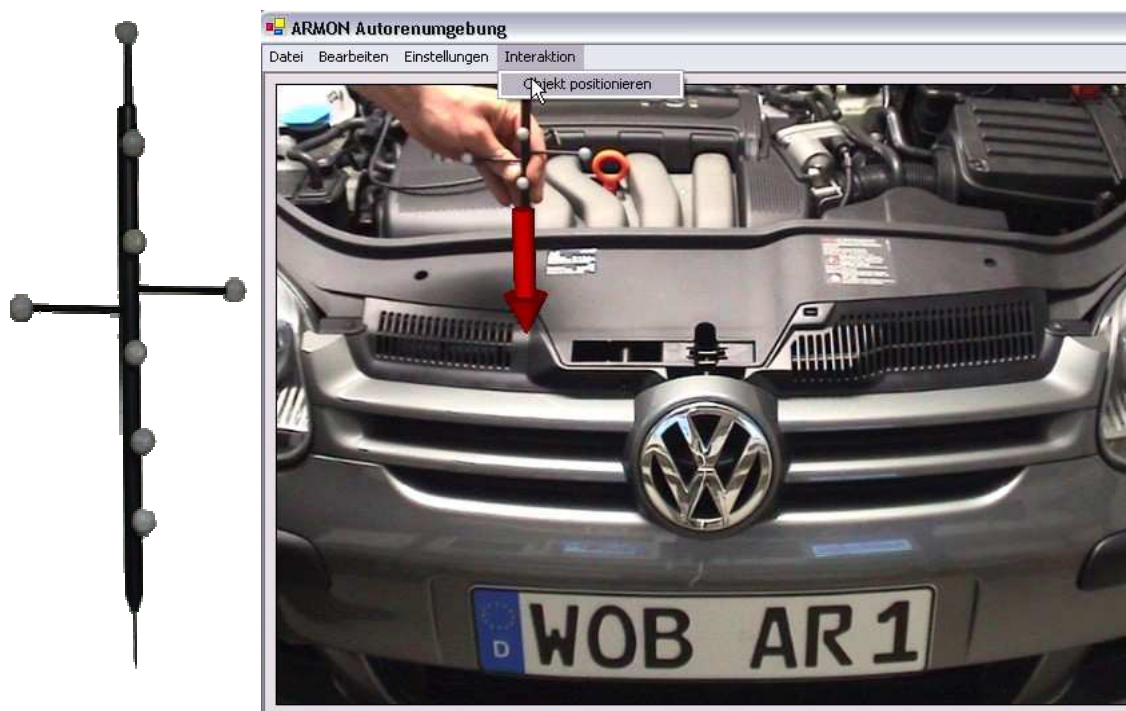


Bild 5-18: 6-DOF-Positionierungsstift (links) und Platzierung einer Hilfsgeometrie in AR-AUTOR (rechts)

Dieser Positionierungsstift war für eine erste prototypische Überprüfung und Ertestung sehr gut geeignet. Aufgrund seiner baulichen Eigenschaften konnte dieser jedoch nicht weiter in der Entwicklung verfolgt werden. Die Ursachen waren zum einen die retro-reflektierenden Kugel-Marker des Stiftes, die aufgrund ihrer Oberflächeneigenschaften schnell verschmutzen und dann ihre Funktionalität einbüßen. Zum anderen waren die Ausmaße des Stiftes für den vorgesehenen Einsatzbereich ungeeignet. Aufgrund dieser Erkenntnisse sind Überlegungen angestellt worden, einen Interaktionsstift zu entwickeln, der sowohl zum interaktiven Platzieren der Hilfsgeometrie in der Szene, als auch zur Interaktion über ein integriertes Funkmodul mit dem Rechner genutzt werden kann. Darüber hinaus sollte dieser Interaktionsstift baulich dem Einsatzbereich und dessen Anforderungen entsprechend konzipiert werden.

Das Ergebnis ist ein Funkmodul, das in einer robusten und gegen Verschmutzungen geschützten Plexiglasröhre eingebaut wurde (Bild 5-19). Dieses Funkmodul ermöglicht multiuserfähige Interaktionen innerhalb von Reichweiten bis zu 20 m. In dieser Plexiglasröhre ist aufgrund der Anforderung an eine kompakte Bauform ein Target eingelassen, welches eine Gerade von Reflektoren darstellt. Die drei Bauteile des Interaktionsstiftes können schnell und einfach zusammengebaut werden. Das Funkmodul mit der Positionierungsspitze wird in die Plexiglasröhre eingeschraubt. Das Target hingegen wird einfach in die andere Öffnung geschoben und anhand des Deckels in der Plexiglasröhre arretiert (Bild 5-19).





Bild 5-19: Interaktionsstift – Bauteile [SCH05]

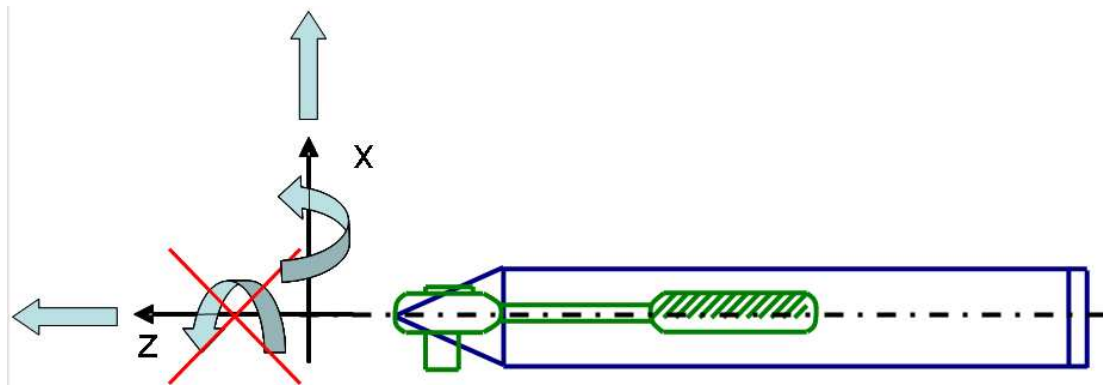


Bild 5-20: Symmetrische Ausrichtung einer Hilfsgeometrie am Interaktionsstift [SCH05]

Durch diese gewählte Anordnung der Reflektoren besitzt der Interaktionsstift nur 5 DOF. Dies hat zur Folge, daß auf dem Stift platzierte Hilfsgeometrien immer symmetrisch ausgerichtet werden und das bedeutet, daß bspw. der Kopf einer Werkzeugnarre (Bild 5-20) nicht durch den Positionierungsstift in eine vom Autor gewünschte Position gebracht werden kann. Erst eine manuelle Editierung oder eine Achsenänderung innerhalb der Werkzeug-Geometrie kann eine Modifikation bewirken.

Weiterhin soll der Interaktionsstift als Instrument zum Aufzeichnen von sogenannten Leitwegen genutzt werden. Leitwege sind virtuell in den Raum gelegte Pfade, mit deren Hilfe Hilfsgeometrien durch Animation dem Anwender des ARMON-Systems helfen. Diese Hilfe unterstützt durch die Simulation bei dem Ausbau eines Bauteiles. Dies ist für den Anwender hilfreich, denn die Anforderungen für den Ausbau diverser Fahrzeugteile steigen aufgrund immer komplexer und kompakter werdender Fahrzeuge. Anhand der Verwendung von solchen Leitwegen können dem Anwender komplizierte Vorgehensweisen und richtige Handhabungen klar verständlich veranschaulicht werden. Die anhand des Interaktionsstiftes aufgezeichneten Leitwege können entweder geradlinig oder kurvenförmig dargestellt werden. Um diese Art von dreidimensionalen Animationspfaden zu erstellen, werden keine 6 DOF benötigt, wodurch der Interaktionsstift für diesen Anwendungsfall ausreichend ist.

Ferner wurde die Überlegung angestellt, den für die Hilfsgeometrie-Datenbank benötigten Speicherplatz in dem Maße zu verkleinern, daß der Anwender eine Hilfsgeometrie in dem Moment generieren läßt, wenn er diese benötigt. Dafür teilt er über eine Registerkarte dem System mit welche Art von Hilfsgeometrie benötigt wird. Der Vorteil liegt darin, daß der Anwender in Form, Farbe, Transparenz, Drehrichtung und Skalierung auswählen kann. Die von ihm gewählten Eigenschaften werden dann in das

```
<hg>
  <pfad>Pfadangabe</pfad>
  <trans>x;y;z</trans>
  <rot>a;x;y;z</rot>
  <color>r g b</color>
  <transparency>t</transparency >
  <scale>x;y;z</scale>
</hg>
```

Hilfsgeometrie-Tag des XML-Reparaturleitfadens automatisch eingefügt und ergänzt (Bild 5-21). Durch diese Vorgehensweise müssen die Hilfsgeometrien nicht in jeder möglichen Kombinatorik als Dateiform vorgehalten werden.

*Bild 5-21: Anpassung Quelltext Hilfsgeometrie in XML-Reparaturleitfaden [OPE05]*

### 5.2.2 AR-AUTOR betreffende Untersuchungen

Im Rahmen der Entwicklung einer mit AR-Technologie unterstützten Autorenumgebung sind diverse Untersuchungen durchgeführt worden. Diese Untersuchungen sollten Aufschluß geben über Unterschiede in Vorgehensweisen und Empfindungen von Anwendern bei der Erstellung und Bearbeitung von Reparaturleitfäden, sowie die Eignung der selbst entwickelten Hardware für den Einsatz.

#### Erprobung Autorenumgebung mit Autoren des Kundendienstes

Die entwickelte Benutzeroberfläche der Autorenumgebung AR-AUTOR sollte dahingehend untersucht werden, in wie weit diese den Anforderungen der Zielgruppe gerecht wird. Aus diesem Grund wurden für die Durchführung der Untersuchung mehrere Autoren aus dem Kundendienstbereich eingeladen, eine kleine Aufgabe anhand der Autorenumgebung durchzuführen.

Den Autoren wurden anfangs durch eine kurze Demonstration der Anwendung ARMON ein Einblick in die Möglichkeiten einer mit AR-Technologie unterstützten Montage-/Demontage gegeben. Durch diese Präsentation sollten einerseits die Möglichkeiten und Vorteile der AR-Technologie und andererseits die Verbindung zum Kundendienst aufgezeigt werden, denn als Grundlage dienen die bereits vorhandenen Reparaturleitfäden des Kundendienstsystems LIVAS3. Bei der Demonstration wurde daher besonders auf die Leitfadenproblematik und die Lösungsmöglichkeiten eingegangen, die sich durch eine Kooperation der Kundendienst- mit den AR-Leitfäden ergeben.

Nach der Demonstration von ARMON folgte die Vorstellung der Autorenumgebung. Den Autoren wurden mit einer kurzen Erläuterung der einzelnen Funktionen die Benutzeroberfläche und deren Bedienung näher gebracht. Vertiefend wurde die Erstellung des ersten Schrittes eines Reparaturleitfadens durchgeführt. Dazu war das Eingeben der textuellen Beschreibung der durchzuführenden Tätigkeit, das Setzen eines Bauteils und einer Hilfsgeometrie notwendig.

Im Anschluß an diese Vorführung wurden die Autoren aufgefordert, sich mit der Oberfläche vertraut zu machen und selbstständig einige nachfolgende Schritte zu ergänzen. Bei Problemen und Unsicherheiten wurden Hilfestellungen gegeben. Durch gezielte Fragen wurde versucht einzuschätzen, wie die Erwartungen der Testpersonen bezüglich bestimmter Funktionen der Benutzeroberfläche und der Hardware im Allgemeinen waren [OPE05].

### Interaktionsstift

Mittels des Interaktionsstiftes können Leitwege in Form von einzelnen Punkten aufgezeichnet werden. Diese Punkte liegen vereinzelt im dreidimensionalen Raum, sodaß sich der Anwender den realen Kurven- oder Linienverlauf nur schwer vorstellen kann. Daher ist es notwendig aus den aufgezeichneten Punkten eine aussagekräftige Gerade oder Kurve zu erstellen. Für diese Erstellung können unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten angewendet werden. Drei verschiedenen Verfahren können angewendet werden, um eine möglichst glatte Kurve mit minimaler Krümmung bzw. eine gerade Linie durch diese Punkte laufen zu lassen. Diese Verfahren lauten lineare und kubische Interpolation und kubische Approximation. In Bild 5-22 werden schematisch die verschiedenen Kurvenverläufe der verschiedenen Möglichkeiten zur Kurvenbeschreibung dargestellt. Bild 5-23 zeigt den Verlauf einer kubischen Interpolation eines zuvor aufgezeichneten Leitweges [SCH05].

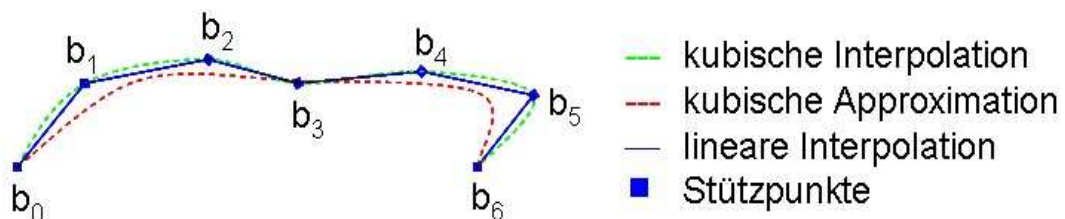


Bild 5-22: Darstellung verschiedener möglicher Kurvenverläufe [SCH05]

Der Anwender kann in der Benutzeroberfläche der Autorenumgebung AR-AUTOR nach dem Aufzeichnen des Leitweges anhand eines Auswahlmenüs zwischen den drei Verfahren zur Kurvenberechnung entscheiden.

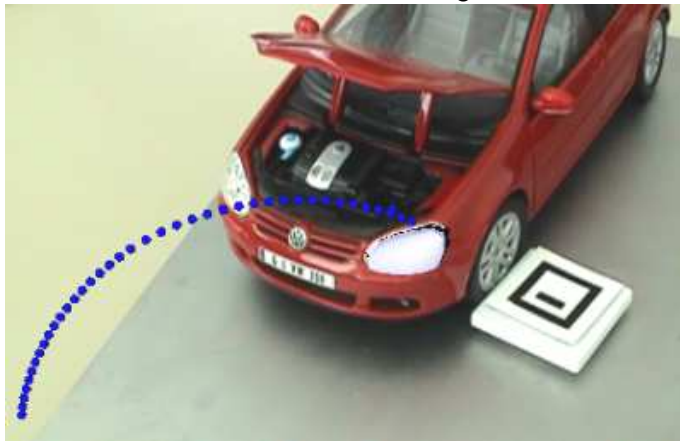


Bild 5-23: Kurvenapproximation (kubische Interpolation) [SCH05]

### 5.2.3 Auswertung/Fazit nach Untersuchungen

Die Untersuchungen im Rahmen der Autorenumgebung AR-AUTOR sollten Aufschluß über die Entwicklungen und geänderten Benutzeroberflächen geben. Entscheidend waren hierfür die Empfindungen und die Resonanz der zukünftigen Zielgruppe von Anwendern.

#### Autorenumgebung

Die Resonanz der Zielgruppe bezüglich der Autorenumgebung ist durchaus als positiv zu bewerten. Die Zielgruppe akzeptierte das gesamte vorgestellte Konzept der Datenverarbeitung, dem Trennen zwischen Originalleitfaden und AR-Inhalten als auch die Anwendung zur Ergänzung der notwendigen Inhalte für eine AR-Unterstützung bei Montage-/Demontage-Tätigkeiten. Dennoch zeigten sich einige Schwächen in der Bedienung, beispielsweise in den Ansichten zur Positionierung von AR-Objekten oder der Navigation anhand der Registerkarten. Unsicherheiten in den ersten anfänglichen Bedienungen konnten durch kurze Hilfestellungen beseitigt werden. Die Anwender waren durch den Selbstlernereffekt schnell in der Lage, die an sie gestellte Aufgabe zu bewältigen und erfolgreich zu beenden. Die nach dem Test geführten Einzelgespräche mit den Anwendern ergaben förderliche Hinweise und Äußerungen.

Das Navigieren mit Hilfe der Registerfenster innerhalb der Autorenumgebung wurde von den Anwendern als unübersichtlich und zweckmäßig beurteilt. Die Begründung hierfür liegt darin, daß die Leitfadenansicht während der Selektion einer Hilfsgeometrie nicht sichtbar ist. Ein separater Dialog in einem eigenen Fenster mit einer ähnlichen Funktionalität wäre nach Vorstellung der Anwender zweckdienlicher. Die Registerkarten-Übersicht an sich wurde als gut geeignet bewertet, denn sie bietet einen schnellen Überblick über bereits verwendete Objekte und hilft bei der Verwaltung und dem direkten Zugriff.

Die Anwender hatten keine Vorkenntnisse bezüglich der Verwendung und Platzierung dreidimensionaler Objekte bei der Erstellung von Reparaturleitfäden. Eingangs vorhandene Unsicherheiten bezüglich des am besten für die Beschreibung geeigneten Hilfsobjektes waren nach den ersten selbst erstellten Schritten des RL so gut wie nicht mehr vorhanden. Diese Erkenntnisse zeigen, daß durch ein Selbststudienprogramm und einer kurzen eigenständigen Einarbeitungszeit in die Autorenumgebung der Autor in der Lage ist RL selbstständig zu erweitern und neu anzulegen.

Die sprachgesteuerte Navigation (Bild 5-7) der gesamten Autorenumgebung wurde von den Anwendern lobend erwähnt, denn in einem Werkstattumfeld kommt es durch diverse Öle und anderer Mittel schnell zu Verschmutzungen. Die Ablösung der anhand von Papier aufgenommenen Arbeitsabläufen durch eine Erstellung dergleichen am Computer führte zwar von einem dann „papierlosen“ Büro über ölverschmierten Papier zu einer ölverschmierten Computerhardware. Durch die Verwendung der sprachgesteuerten Navigation kann eine Alternative angeboten werden, die bei den Anwendern großes Interesse auslöste.

#### Interaktionsstift

Der entwickelte 5 DOF Interaktionsstift eignet sich für die Positionierung von symmetrischen Hilfsgeometrien und dem Aufzeichnen von Leitwegen. Für eine Positionierung nicht-symmetrischer Hilfsgeometrien (Bauteile, Werkzeuge, etc.) oder

aber Drehbewegungen in Leitwegen muß der Stift entweder um den 6 Freiheitsgrad erweitert oder aber softwaretechnisch nachträglich abgefragt werden. Das in den Stift implementierte Funkmodul für eine Interaktion des Anwenders mit dem Computer zeigt in dem normalen Arbeitsbereich keinerlei Probleme und funktioniert einwandfrei.

Als eine weitere mögliche Erweiterung kann untersucht werden, ob sich mit Hilfe von interpolierten Punkten eines Leitweges Animationen erstellen lassen. Ein denkbare Anwendungsszenario für diesen Fall ist die dynamische Bewegung eines Bauteiles entlang eines zuvor aufgezeichneten Leitweges.

Darüber hinaus kann überlegt werden, ob der Interaktionsstift durch eine Verringerung der Markerabstände in seiner Länge noch verkürzt werden kann. Realisierbar wäre dies durch die Verringerung der Abstände zwischen den Reflektoren. Hierfür müßten allerdings Untersuchungen angestrebt werden, wie klein die Abstände sein dürfen, damit das Tracking noch funktioniert.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Kapitel wird zusammenfassend die gesamten Tätigkeiten für die Erstellung eines mit Augmented Reality Technologie unterstützenden Montage-/Demontage System beschreiben. Dabei werden kurz im allgemeinen und im speziellen die einzelnen Umsetzungsschritte und Ergebnisse wiedergegeben.

Im Ausblick werden die für die jeweiligen entwickelten Augmented Reality Anwendungen ARMON und AR-AUTOR weiter durchzuführenden Untersuchungen und umzusetzenden Entwicklungsschritte in den jeweiligen Aufgabenfeldern dargestellt. Weiterhin werden für die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Hardwarekomponenten weitere Anwendungsgebiete und -möglichkeiten aufgezeigt.

### 6.1.1 Allgemein

Schwerpunkt und Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Augmented Reality unterstützten Montage-/Demontage-Systems. Hintergrund ist die Problematik, der immer komplexer und variantenreicher werdenden Produkte, die den Anwendern die Durchführung von Reparaturen oder Wartungen erschweren. Darüber hinaus müssen diese eine Vielzahl an Modellen über viele Jahre hinweg beherrschen. Diese von den Anwendern zu beherrschende Komplexität und Variantenvielfalt bei den durchzuführenden Arbeitsschritten wird des Weiteren durch eine zunehmende Integration von elektrischen und elektronischen Bauteilen erweitert. Somit soll anhand des zu entwickelnden Systems der Umgang mit allen Produkten und deren entsprechenden Verbautiefe den Mechaniker Schritt für Schritt führen und zu Hilfe kommen.

Wesentliche Aufgabenschwerpunkte bei der Umsetzung waren:

- Entwicklung bzw. Aufbau eines AR-Systems für Montage-/Demontage-Tätigkeiten
- Finden der richtigen Hardware (Tracking, Visualisierung und Rechner)
- Entwicklung der entsprechenden Software sowie Benutzeroberflächen
- Verwendung von bereits im Unternehmen vorhandenen Informationen

Für die Verwendung eines solchen Systems müssen alle notwendigen Informationen in einem entsprechenden AR-tauglichen Format vorliegen und in die dafür vorgesehenen Leitfäden eingearbeitet sein. Solche Leitfäden sind aufgrund der neuen Technologie AR nicht in den Unternehmensdatenbanken vorhanden und müssen erst noch erarbeitet oder ergänzt werden. Aufgrund des aufwendigen Erstellungsprozesses ist eigens für die Montage-/Demontage-Anwendung ARMON ein weiteres System erstellt worden. Dieses Autorensystem AR-AUTOR hat die Aufgabe bei der Erstellung von AR-Leitfäden zu unterstützen. Den Autoren solcher Leitfäden werden entsprechende Hilfestellungen bei der Beschreibung der Tätigkeiten und der Platzierung von virtuellen Hilfsgeometrien (Hilfspfeile, Werkzeugen etc.) bereitgestellt.

Es ist zu bestätigen, daß anhand der durchgeführten Untersuchungen und Versuche funktionsfähige Software für Augmented Reality Unterstützungen der Montage/Demontage-Tätigkeiten und des Erstellungsprozesses entwickelt worden sind. Anhand der entwickelten Anwendungen ARMON und AR-AUTOR wurde herausgearbeitet welche:

- Anforderungen an AR für den betrachteten Einsatzbereich bestehen
- Probleme die am Markt erhältliche Hardware mit sich bringt
- Bedenken, Forderungen und Hinweise die MA für die Verwendung von AR im täglichen Arbeitsumfeld haben

Als Ergebnis dieser Arbeit existiert ein Prototyp für die Verwendung von Augmented Reality Technologie bei Montage-/Demontage-Tätigkeiten. Die Kombination von handelsüblichen erhältlichen Hardwarekomponenten (Rechner und Visualisierung) mit der eigens entwickelten Tracking-Komponente in einem für den Einsatzbereich notwendigen Arbeitsgegenstand (Werkzeugwagen) erweist sich als eine zweckmäßige Synergie. Diese Zusammensetzung zeigt die speziell für den Einsatzbereich ausgerichtete und notwendige Erfüllung der Anforderungen.

Die festgestellte Verwendbarkeit der preisgünstigen Komponenten gibt Anlaß zu der Annahme, daß mit der weiteren Entwicklung der Technik und der damit verbundenen Kostenreduzierung reale Möglichkeiten für den Serieneinsatz des Gesamtsystems bestehen. Das verwendete Entwicklungssystem kann bis dahin die Anforderungen des betrachteten Einsatzbereiches erfüllen und eingesetzt werden. Einer Erweiterung oder Veränderung der Benutzeroberfläche und der damit verbundenen universellen Einsetzbarkeit für andere Zwecke kann aufgrund des modularen Software-Aufbaus jederzeit kurzfristig umgesetzt werden.

### 6.1.2 Speziell

Im speziellen wurden eigene Hardware-Komponenten entwickelt, konstruiert und umgesetzt. Für die Anwendung ARMON ist diese Hardware-Komponente ein sich eigenständig haltender mechanischer Trackingarm. Dieser mechanische Trackingarm erfüllt die Anforderungen des Einsatzbereiches nach einer echtzeitfähigen, einfach zu bedienenden, sicheren und genauen Trackingeinheit. Mühelos zu verstellenden Segmente des Trackingarms ermöglichen dem Anwender diese in jede erdenkliche Position zu verbringen. Anhand der sich in der Spitze des Armes befindlichen Videokamera bestimmt der Anwender den Blickwinkel der Kamera, welcher ihm für die Durchführung seiner Arbeiten am geeignetesten erscheint. Durch die Trennung des Anwenders von jeglicher an seinem Körper zu befestigen Komponenten bleibt seine Bewegungsfreiheit uneingeschränkt, womit seine Akzeptanz schneller zu gewinnen ist.

Die weitere entwickelte Hardware-Komponente ist ein 5-DOF Interaktionsstift für die Autorenumgebung AR-AUTOR. Mithilfe des Interaktionsstiftes werden Hilfsgeometrien für die Beschreibung von Leitfäden direkt positioniert und plaziert. Eine weitere Funktionalität des Interaktionsstiftes ist das Aufzeichnen von Leitwegen für die interaktive Beschreibung von Aus- und Einbauweisen. Diese helfen dem Anwender schnell zu verstehen, wie beispielsweise ein Bauteil aus seiner Position heraus zu nehmen ist. Mit der Autorenumgebung lassen sich Arbeitsabläufe besser dokumentieren und durch zentrales Ablegen der Daten in einer Datenbank für mehr

Transparenz sorgen. Änderungen können schneller erfaßt werden, und stehen weiteren Mitarbeitern sofort zur Verfügung.

### 6.2 Ausblick

Abschließend wird ein Ausblick bezüglich der weiteren durchzuführenden Entwicklungsschritte gegeben. Diese werden nach den jeweiligen erstellten Anwendungen getrennt beschrieben.

#### 6.2.1 ARMON

Die Anwendung ARMON unterstützt eine sehr komplexe und stark in andere Bereiche verzweigte Tätigkeit. Diese Montage-/Demontage-Tätigkeit benötigt zum einen die entsprechenden Informationen für die Durchführung, aber auch beispielsweise ob die benötigten Ersatzteile in einem entfernten Lager vorhanden sind. Aus diesem Grund sind für die Verwendung des entwickelten Systems weitere Informationen aus Unternehmensdatenbanken bereit zu stellen und einzubinden, um eine bestmögliche Optimierung des zu unterstützenden Prozesses herbeiführen zu können.

Für weitere Verwendungsmöglichkeiten wie der Mitarbeiterschulung benötigt die Anwendung eine entsprechende Anpassung, um die Aufmerksamkeit des Anwenders nicht durch eine Überladung an Informationen zu verlieren. Darüber hinaus sollten für eine Wissensstandsangleichung, beziehungsweise dem Informationszwang und -kontrolle der Anwender entsprechende Strukturen eingerichtet werden, damit garantiert werden kann, daß jeder alle notwendigen Informationen für die Durchführung seiner Tätigkeiten erhält.

Durch die immer stärker werdende Integration elektrischer und elektronischer Bauteile ist es zwingend notwendig, daß die Anwendung ARMON eine Kommunikationsmöglichkeit mit diesen Bauteilen erhält. Dies kann über die Anbindung der Funktion „Auslesen von Steuergeräten“ unter der Verwendung von Bluetooth-Funkköpfen direkt über die Kommunikationsschnittstelle am Produkt umgesetzt werden. Durch eine eigene Fehlerdiagnose der in dem Produkt enthaltenen Steuergeräte ist zum einen eine erweiterte zusätzliche Unterstützung des Anwenders gegeben und zum anderen eine direkte Überprüfung aller Steuergeräte nach Abarbeitung des Tätigkeitsumfanges für eine beschleunigte Weitergabe der Produkte möglich.

Der entwickelte Arm für die Anwendung ARMON kann darüber hinaus für die Autoren-umgebung AR-AUTOR weitergenutzt werden. Ein mögliches Anwendungsszenario ist in Bild 6-1 dargestellt. An der Decke ist eine ellipsenförmige Schlittenbahn montiert. Der mechanische Trackingarm ist an diesem Schlitten fest montiert und kann mit diesem auf der vorgegebenen Bahn hin und her bewegt werden. Am Ende des Trackingarmes befindet sich ein Touchscreen-Monitor in dessen Gehäuse zwei Kameras eingebaut sind, die über das entsprechende optische Trackingverfahren in der Lage sind die Position des Interaktionsstiftes zu erfassen. Anhand dieser Konstellation kann der Anwender sich rund um das Produkt bewegen und entweder Montage-/Demontage-Tätigkeiten erledigen oder aber einen Leitfaden mit Hilfe des Interaktionsstiftes erstellen. Der Nachteil dieser Anordnung ist, daß dieser Aufbau ortsgebunden ist und nicht wie der Werkstattwagen überall eingesetzt werden kann.



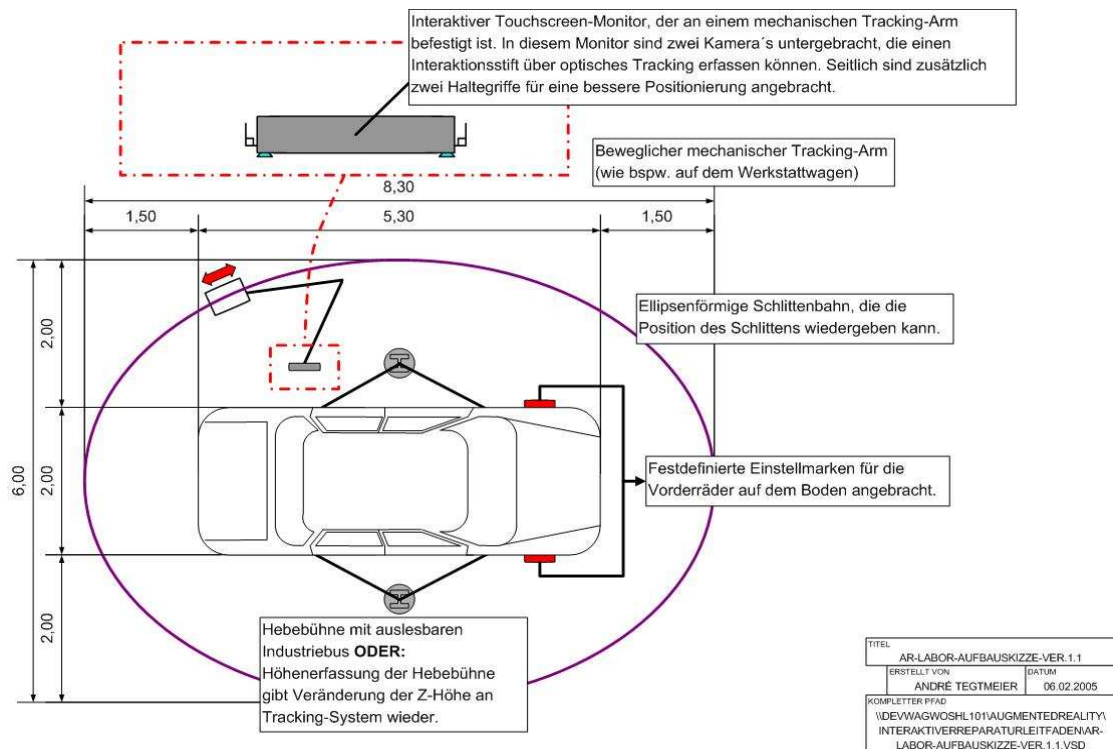


Bild 6-1: Mögliches Anwendungsszenario für den entwickelten mechanischen Trackingarm

### 6.2.2 AR-AUTOR

Die entwickelte Autorenumgebung AR-AUTOR stellt eine Möglichkeit der Leitfadenerstellung und -erweiterung dar. Die vorgestellten Annahmen einer Datenverwaltung für eine zukünftige Bereitstellung von Leitfäden für die Anwendung muß noch erestet werden. Dafür ist ein Verwaltungssystem für AR-Leitfäden einzurichten.

Um der Forderung nachzukommen, den Interaktionsstift auch zum Darstellen von Drehbewegungen mit virtuellen Werkzeugen oder zum Aufzeigen von Rotationsbewegungen innerhalb von Leitwegen nutzen zu können, muß der vorhandene Interaktionsstift um einen Freiheitsgrad von 5-DOF auf 6-DOF erweitert werden. Eine zusätzliche mögliche Erweiterung der Autorenumgebung ist die Überlegung, ob sich statische Bauteile mit Hilfe der vorgestellten Positionierungsfunktion animieren lassen.

Abschließend ist zu bemerken, daß mit dem Einsatz der AR-Technologie Bearbeitungszeiten in der Werkstatt durch bessere interaktive Dokumentation des Reparaturleitfadens deutlich gesenkt und dadurch Arbeitskosten für ein Unternehmen eingespart werden können. Da die Potentiale der AR-Technologie noch bei weitem nicht ausgeschöpft sind, ist es sinnvoll auf diesem Gebiet weiter zu forschen. AR läßt sich in wesentlich mehr Bereichen zur Unterstützung von industriellen Arbeitsprozessen sinnvoll einsetzen. Durch die sich mit AR ergebenden Vorteile können Industrieunternehmen Kosten und Qualität der Produkte verbessern. Auch auf Anforderungen des Absatzmarktes und der sich dadurch resultierenden

Produktänderungen und sich steigernden Produktvarianten können die Industrieunternehmen wesentlich effizienter und schneller reagieren.

## 7 Verzeichnisse

### 7.1 Abkürzungsverzeichnis

AFC	Augmented Furniture Client
AR	Augmented Reality
CAD	Computer Aided Design
CCD	Charge Coupled Device
DOF	Degrees of Freedom
DTD	Document Type Definition
ELSA	Elektronisches Service Auskunftssystem
fhs	Endung für Grafik-Format der Fraunhofer VR-data-exchange-Dateien
GPS	Global Positioning System
HMD	Head Mounted Display
HTML	Hypertext Markup Language
HUD	Head Up Display
HWD	Head Worn Display
KVS	Konstruktionsdaten Verwaltungs-Systeme
LED	Light Emitter Diode
LIVAS	Literatur-, Informations-, Verwaltungs- und Abwicklungssystem
MR	Mixed Reality
OLE	Object Link Embedding
Open-GL	Open Graphics Library
OST	Optical See Through
PDA	Personal Digital Assistant
PPS	Precise Positioning System
RL	Reparaturleitfaden
SDK	Software Development Kit
SGML	Standard Generalized Markup Language

SPS	Standard Positioning System
TMU	Time Measure Unit
TOF	Time Of Flight
USB	Universell Serial Bus
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VR	Virtual Reality
VRML	Virtuell Reality Modeling Language
VST	Video See Through
WBK	Wagen-Begleit-Karte
wrl	Endung für Grafik-Format der VRML-Dateien
XML	Extensible Markup Language

## 7.2 Quellenverzeichnis

- [ABA04 ET AL.] Abawi, D. F.; Bienwald, J.; Dörner, R.: „Accuracy in Optical Tracking with Fidutial Markers: An Accuracy Function for ARToolKit“ in Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '04). Arlington, VA, 2004
- [ALT01A ET AL.] Alt, T.; Nölle, S.: „Augmented Reality in der Automobilindustrie“. IX – Magazin für professionelle Datenverarbeitung Nr. 5 (2001); Hannover , Heise Verlag 2001
- [ALT01B ET AL.] Alt, T.; Schreiber, W.: „Qualitätssicherung mit AR-Technologien in der Automobilmontage“; CAD-CAM Report, Band 20 (2001), Heft 11, S. 86-93
- [ALT02] Alt, T.: Augmented Reality in der Produktion. Dissertation. Otto-von-Guerike-Universität Magdeburg, Fakultät für Maschinenbau, 2002
- [ARC03] N.N.: Internetseiten des Forschungsprojektes ARCHEOGUIDE (Augmented Reality based Cultural Heritage On-site Guide). Internet: <http://archeoguide.intranet.gr>, 05/2003
- [ARI03] N.N.: Internetseiten des Forschungsprojektes ARIS (Augmented Reality Image Synthesis). Internet: <http://aris-ist.intranet.gr>, 01/2003
- [ART04] N.N.: Internetseiten des Forschungsprojektes ARTESAS (Advanced Augmented Reality Technologies for Industrial Service Applications). Internet: <http://www.artesas.de>, 10/2004

- [ART06] N.N.: Internetseite der Fa. A.R.T. (advanced realtime tracking GmbH. Internet: <http://ar-tracking.de>, 04/2006
- [ARV02] N.N.: Internetseiten des Forschungsprojekts „ARVIKA“, Internet: <http://www.arvika.de>, 03/2002
- [ASC01] N.N.: Internetseiten der Fa. Ascension. Internet: <http://www.ascension.com/>, 11/2001
- [AUG05A] N.N.; Internetseite der Fa. Augmented Solution GmbH; Internet: <http://www.ar-solutions.de>, 02/2005
- [AUG05B] N.N.; Fa. Augmented Solutions GmbH; Whitepaper (BETA) Developing AR-Applications with the AR-Browser SDK 2005
- [AUK92 ET AL.] Aukstakalnis, S. and D. Blatner (1992). Silicon Mirage – The Art and Science of Virtual Reality. Berkeley, CA, Peachpit Press
- [AZU01 ET AL.] Azuma, R.; Recent Advances in Augmented Reality; Internet: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/cga2001.pdf>; Abruf: 03.08.2003
- [AZU93] Azuma, R.; Tracking Requirements for Augmented Reality. Communications of the ACM 36 (7): 50-51; 1993
- [AZU97] Azuma, R.: A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 6, Nr. 4 (1997), S. 355-385
- [AZU99] Azuma, R.; The Challenge of Making Augmented Reality Work Outdoors; In: „Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds“; Yuichi Ohta and Hideyuki Tamura (ed.); Springer-Verlag, 1999; Chp 21 pp. 379-390; ISBN 3-540-65623-5
- [BAT03] N.N.: Internetseite U.S. Navy Virtual Reality Lab: Battlefield AR System (BARS), Internet: <http://www.ait.nrl.navy.mil/vrlab/>, 01/2003
- [BEH02 ET AL.] Behr, J. / Reiners, D. / Voß, G.: OpenSG: Basic Concepts; in: Proceedings of the First Symposium on OpenSG, Darmstadt, Deutschland, 2002
- [BEH98 ET AL.] Behringer, R.; Klinker, G.; Mizell, D. (1998): „International Workshop on Augmented Reality 1998 – Overview and Summary“. In: R. Behringer, G. Klinker, D. Mizell (Hrsg.): Augmented Reality, Placing Artificial Objects in Real Scenes. Natick: A K Peters, Ltd.
- [BER97 ET AL.] Berger, J.W.; Leventon, M.E.; Hata, N.; Wells, W.M.; Kikinis, R.: „Design Considerations for a Computer-Vision-Enabled Ophthalmic Augmented RealityEnvironment“; 1997; Internet: <http://www.ai.mit.edu/projects/medicalvision/surgery/Papers/9703-CVRMED-Eye/>

- [BEU01 ET AL.] Beu, A.; Hassenzahl, M.; Quar-Faslem, P.; Burmester, M.: „Benutzerzentrierte Gestaltung eines mobilen Service- und Wartungssystems unter Verwendung von AR-Technologie“. In: MMI-Interaktiv, Nr. 5, Juli/01, ISSN 1439-7854
- [BLÜ03 ET AL.] Blümel, E; Salem, W.; Schenk, M: Using Virtual Reality in In-Factory Training: Adding More Value to the Production System, In: 36<sup>th</sup> CIRP, International Seminar on Manufacturing Systems, (Saarbrücken 04. Juni 2003) – Tagungsband, S. 219-223
- [BOE04] N.N.; Internetseite der Firma Boeing; Internet: <http://www.boeing.com/defense-space/aerospace/training/instruct/augmented.htm>, 10/2004
- [BUR94] Burdea, G., Coiffet, P.; Virtual Reality Technology; John Wiley & Sons, Inc. 1994 – ISBN 0-471-08632-0
- [CAU92 ET AL.] Caudell, T. P.; Mizell, D.W. (1992): Augmented Reality: An Application of Head Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes. In: Proceedings of Hawaii International Conference on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society.
- [CHU99 ET AL.] Chung, K.; Shewchuk, J.; Williges, R.: An Application of Augmented Reality to Thickness Inspektion. In: Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 9 (4), S.331-342 (1999)
- [CUR98 ET AL.] Curtis, D.; Mizell, D.; Gruenbaum, P.; Janin, A.; Several devil in the Details: Making an AR Application work in the Airplan Factory. In: R. Behringer, G. Klinker, D. Mizell (Hrsg.): Augmented Reality, Placing Artificial Objects in Real Scenes. Natick: A K Peters, Ltd.
- [DOC05] N.N.: Internetseite für Ärzte und Apotheker. Internet: <http://flexicon.doccheck.com/Interventionell>, 04/2005
- [DUT01 ET AL.] Dutoit, A.H.; Creighton, O.; Klinker, G.; Kobylinski, R.; Vilsmeier, C.; Bruegge, B.: „Architectural Issues in Mobile Augmented Reality Systems“. In: Proc. 8<sup>th</sup> Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC), Macau, 2001. Internet: <http://www.bruegge.in.tum.de>
- [EBB98] Ebbesmeyer, P.; „Dynamische Strukturwände – Ein Verfahren zur echtzeitorientierten Bildgenerierung für Virtuelle Umgebungen technischer Objekte“; Dissertation Universität Paderborn, 1998; Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, 1998
- [ECH04 ET AL.] Echtler, F.; Sturm, F.; Kindermann, K.; Klinker, G.; Stilla, J.; Trilk, J.; Najafi, H.: „The Intelligent Welding Gun: Augmented Reality for Experimental Vehicle Construction“; In: Ong, S.K. (Hrsg.); Nee, A.Y.C. (Hrsg.): Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing. Springer Verlag, 2004, S. 333-360; ISBN: 1-8523-3796-6

- [ELZ00 ET AL.] Elzer, P; Behnke R.; Simon, A.: Mehr sehen als andere – Computer Augmented Reality in der □rozeßleittechnik. Z. Chemie Technik, 29/8 (2000), S. 22-23
- [ENC00 ET AL.] Encarnação, J.; Bimber, O.; Schmalstieg, D.; Barton, R.: Walk-Up VR: Virtual Reality beyond Projection Screens. In: IEEE ComputerGraphics and Applications, November 2000
- [EVE01 ET AL.] Eversheim, W.; Weck, M.; Jahn, D.; Koschig, M.; Fricker, I.: Einzel- und Kleinserienfertigung effizienter gestalten – Augmented Reality-Technologie unterstützt manuelle Montage. VDI-Z-Integrierte Produktion, 9/2001. Düsseldorf, Springer, 2001.
- [FAR05] N.N.; Fa. FARO: „FaroArm-Platinum.“. 2005. Internet: [http://www.faro.com/DE/Products/FaroArm\\_Platinum.asp#](http://www.faro.com/DE/Products/FaroArm_Platinum.asp#), 01/2005
- [FEI02] Feiner, S.: „Augmented Reality: A new way of seeing“. In: Scientific American, April 2002
- [FEI93 ET AL.] Feiner, S., MacIntyre, B., and Seligmann, D. Knowledge-based augmented reality. Communications of the ACM, 36(7), July 1993, 52-62
- [FER91] F. J. Ferrin. „Survey of helmet tracking technologies“. In SPIE Vol. 1456: Large-Screen Projection, Avionic and Helmet-Mounted Displays, pages 86{94, 1991
- [FIS86 ET AL.] Fisher, S.; McGreevy, M.; „Virtual Workstation: A multimodal, stereoscopic display environment“; In: Proceedings Advances In Intelligent Robotics Systems, 1986
- [FRÜ01A ET AL.] Fründ, J.; Geiger, C.; Grafe, M.; Kleinjohann, B.: The Augmented Reality Personal Digital Assistant. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Mixed Reality ISMR2000, The Virtual Reality Society of Japan, 2001
- [FRÜ01B ET AL.] Fründ, J.; Geiger, C.; Grafe, M.; Kleinjohann, B.: AR-PDA – Ein mobiles Produktinformationssystem für den Massenmarkt. ZWF Zeitschrift für den wirtschaftlichem Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, 2001
- [FUC98 ET AL.] Fuchs, H.; Livingston, M.; Raskar, R.; Colucci, D.; Keller, K.; State, A.; Crawford, J.; Rademacher, P.; Drake, S.; Meyer, A.: „Augmented Reality Visualization for Laparoscopic Surgery“; Internet: <http://www.cs.unc.edu/~us/laparo.html>, 10/1998
- [GAU00 ET AL.] Gausemeier, J.; Grafe, M. and Ebbesmeyer, P. „Nutzenpotenziale von Virtual Reality in der Fabrik- und Anlagenplanung.“ wt Werkstattstechnik, 2000, Heft 7/8(90), pp. 282-286

- [GAU02 ET AL.] Gausemeier, J.; Fründ, J., Matysczok, C.: Development of a process model for efficient content creation for mobile Augmented Reality applications. Proc. CAD 2002-Corporate Engineering Research. Dresden. 2002
- [GAU02] Gausemeier, J.: Intuitive und effektive Fertigungsplanung mittels AR-Technologie. Veröffentlichung Universität Paderborn. Internet: <http://wwhni.uni-paderborn.de/rip/>, 01/2002
- [GRÄ01 ET AL.] Gräser, A.; Nordbusch, S.; Tschirner, P.: „Augmented Reality zur Unterstützung des Menschen beim Schweißen“. In: Automatisierungstechnik im Spannungsfeld neuer Technologien. VDI Berichte 1608 (GMA Kongreß 2001). Düsseldorf: VDI-Verlag, 2001, S. 435-442, ISBN: 3-18-091608-7
- [GRE01] Grether, K.; Diplomarbeit an der Bauhaus Universität Weimar: „Konzeption und Entwurf eines technischen Systems zur entwurfbezogenen planerischen Bearbeitung von Bauwerken im Bestand“, Oktober 2001
- [GRI96 ET AL.] Grimson, W. E. L.; Ettinger, G. J.; Kapur, T.; Leventon, M. E.; Wells III, W. M.; Kikinis, R.: „Utilizing Segmented MRI Data in Image-Guided Surgery“. In: IJPRAI, 1996
- [HAL03] Haller, M.; Input Devices, Vorlesungsskript 2002 der FH Hagenberg, Internet: [http://webster.fhs-hagenberg.ac.at/staff/haller/mmp6\\_2003/05-InputDevices.pdf](http://webster.fhs-hagenberg.ac.at/staff/haller/mmp6_2003/05-InputDevices.pdf), Stand: 12/03
- [HIL04 ET AL.] Hillers, B.; Aiteanu, D.; Gräser, A.: „Augmented Reality – Helmet for the Manual Welding Process“. In: Ong, S.K. (Hrsg.); Nee, A.Y.C. (Hrsg.): Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing. Springer Verlag, 2004, S. 361-381; ISBN: 1-8523-3796-6
- [IIP03] N.N.: Internetseite Information in Place; Internet: <http://www.informationinplace.com>, 12/2003
- [IFE06] N.N.: Ife, Institut für Elektronik (ETH – Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Internetseite: [http://www.ife.ee.ethz.ch/~sedi/WS\\_01\\_02/wear/](http://www.ife.ee.ethz.ch/~sedi/WS_01_02/wear/), 12/2006
- [IMA01] N.N.: Image Guided Technologies Inc. Internet: <http://www.imageguided.com>; 11/2001
- [JUL03] Julier, S.: BARS – Battlefield Augmented Reality System; Internet: <http://www.ait.nrl.navy.mil/vrlab/projects/BARS/BARS.html>, 11/2003
- [KAL93] Kalawasky, R.S.; The Science of Virtual Reality and Virtual Environments.; Wokingham, England: Addison-Wesley, 1993
- [KAT02 ET AL.] Kato, H. / Billinghamurst, M. / Poupyrev, I.: Bedienungsanleitung für das ARToolKit Version 2.33; Internet: [http://www.hitl.washington.edu/research/shared\\_space/download](http://www.hitl.washington.edu/research/shared_space/download), 10/2003



- [KAT99] Kato, H.; Billinghurst, M.: "Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System". Proc. Second International Workshop on Augmented Reality, San Francisco, 1999, S. 85-94
- [KHM04A] N.N. Internetseiten der Kunsthochschule für Medien Köln; [www.khm.de/~vrmlkurs/historie/historie.html](http://www.khm.de/~vrmlkurs/historie/historie.html), 12/2004
- [KHM04B] N.N. Internetseiten der Kunsthochschule für Medien Köln; [www.khm.de/~vrmlkurs/index.html](http://www.khm.de/~vrmlkurs/index.html), 12/2004
- [KIP00] Kippels, D.: „Wartung: Computer Augmented Reality auf dem Vormarsch“. VDI-Nachrichten, Nr. 20 (2000)
- [KIR02 ET AL.] Kirkley, S. E., Kirkley, J.R., Borland, C.: „Embedded Training with Mobile Augmented Reality“, Army Science Conference 2002
- [KIY00 ET AL.] Kiyoshi, K.; Yoshinori, K.; Hiroyuki, O.: „An Optical See-through Display for Mutual Occlusion of Real and Virtual Environments“, IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2000); Internet: <http://www.augmented-reality.org/isar2000>, 05/2002
- [KLI01 ET AL.] Klinker, G.; Stricker, D.; Reiners, D.: „Augmented Reality for exterior construction applications“. In: Barfield, W.; Caudell, T. (Hrsg.): Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. Mahwah: Lawrence Earlbaum Associates, 2001, S. 379-427
- [KLI97 ET AL.] Klinker, G.; Ahlers, H.; Breen, E.; Chevalier, Y.; Crampton, C.; Greer, S.; Koller, D.; Kramer, A.; Rose, E.; Tuceryan, M.; Whitaker, T.: „Confluence of Computer Vision and Interactive Graphics for Augmented Reality“. In: Presence 6 (1997), Nr. 4, S. 433-451
- [KOC99] Koch, S.: JavaScript; dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2. Auflage, 1999
- [KOP99 ET AL.] Kopp, M. / Wilhelms, G.: Java Professionell; MITP-Verlag, Bonn, 1. Auflage, 1999
- [KRA00] Krause, F.-L., Neumann, J. and Rothenburg, U. „VR-unterstütztes Montage- und Demontageplanungssystem.“ wt Werkstattstechnik, 2000, H. 7/8(90), pp. 287-291
- [KRÖ02] Krömker, D.; Dörner, R.; „Virtual Reality und Augmented Reality“; Goethe-Universität, Frankfurt, Graphische Datenverarbeitung; Vorlesungsskript SS02
- [KUN02] Kunz, A.; „Der Einsatz der Augmented Reality zur Unterstützung von e-Commerce und e-Business“; FHS – Hochschule für Technik, Wirtschaft und soziale Arbeit St. Gallen / ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich; 2002

- [LEO04] N.N.; Online Wörterbuch der TU München; Internet: <http://www.dict.leo.org>, 05/2004
- [LIE01 ET AL.] Lievin, M.; Keeve, E.: „Stereoscopic Augmented Reality System for Computer Assisted Surgery“. Proc.: Computer Assisted Radiology and Surgery CARS'01, Berlin, Germany, June 27-30, 2001
- [LIT06] N.N.; Internetseite der Firma Liteye; Internetseite: <http://www.liteye.com>, 05/2006
- [LIV98] Livingston, M.: „Vision-based tracking with dynamic structured light for video see through Augmented Reality“. Dissertation, University of North Carolina at Chapel Hill, Department of computer Science, Chapel Hill, USA, 1998
- [MAL02 ET AL.] Malbezin, P.; Piekarski, W.; Thomas, B. H.: „Measuring ARToolkit Accuracy in Long Distance Tracking Experiments“ in The First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop (ART ,02). IEEE, Darmstadt, 2002
- [MED04] N.N.; Informationsflyer des Projektes MEDARPA; Internetseite: <http://www.medarpa.de>, 2004
- [MET06] N.N.; Internetseite der Firma metaio; Internet: [www.metaio.de](http://www.metaio.de); 05/2006
- [MEY99] Meyers Grosses Taschen Lexikon in 25 Bänden; B.I.-Taschenbuchverlag, Mannheim, 7. Auflage, 1999
- [MIC05] N.N.; Internetseite der Firma Microsoft; MSDN „Understanding XML“ Internet: <http://www.microsoft.de>; 09/2005
- [MIC06A] N.N.; Internetseite der Firma Microvision; Internet: <http://www.microvision.com>, 05/2006
- [MIC06B] N.N.; Internetseite der Firma Microoptical; Internet: <http://www.microoptical.net>, 05/2006
- [MIL94A ET AL.] Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A.; Kishino, F.: „Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum“. SPIE Proceedings volume 2351: Telemanipulator and Telepresence Technologies (Boston, MA, 31 October – 4 November 1994), 282-292
- [MIL94B ET AL.] Milgram, P.; Kishino, F.: „A Taxonomy of Mixed Reality Virtual Displays“. IEICE Transactions on Information and Systems E77-D, 9 (September 1994), 1321-1329
- [MIL99 ET AL.] Milgram, P.; Colquhoun, H.: “A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration“. In: Ohta, Y.; Tamura, H. (Hrsg.): Mixed Reality – Merging Real and Virtual Worlds, Berlin : Springer, 1999

- [MIZ01] Mizell, D.: „Boeing’s wire bundle assembly project“. In: Barfield, W. (Hrsg.); Caudell, T.(Hrsg.): Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2001, S. 447-467, ISBN: 0-8058-2901-6
- [MÜL00 ET AL.] Müller, S.; Lehmann, S.; Stricker, D.; Genc, Y.; Navab, N.: „Tracking Technologies and Roadmap for ARVIKA“. Fraunhofer Gesellschaft für grafische Datenverarbeitung, Darmstadt, 2000
- [MÜL01] Müller, S.: Augmented Reality: „Monteure mit Durchblick“. wt Werkstattstechnik 91 (2001) H. 8, S. 498-499
- [NAS97] Nash, J.: Wiring the Jet Set. Wired Magazine. Internet <http://www.wired.com/wired/archive/5.10/wiring.html>, Oktober 1997
- [NAV99 ET AL.] Navab, N.; Bascle, B.; Appel, M.; Cubillo, E.: „Scene augmentation via the fusion of industrial drawings and uncalibrated images with a view to marker-less calibration“. Proc. 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99), 1999; S.125-133. Internet: <http://www.scr.siemens.com>
- [NET05] N.N.: Internetseite zur Produktion und Vermittlung medienkultureller Werke und Inhalte. Internet: <http://netzspannung.org/cat/servlet/CatServlet?cmd=netzkollektor&subCommand=showEntry&entryId=129393>, 02/2005
- [NEU99 ET AL.] Neumann, U.; Majoros, A.: Cognitive, Performance, and Systems Issues for Augmented Reality Applications in Manufacturing and Maintenance. In: Proc.: IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, 1998, S. 4-11
- [OPE03] N.N. Internetseiten des OpenGL-Konsortiums: The Industry’s Foundation for High Performance Graphics: OpenGL-Overview; unter: <http://www.opengl.org>, 10/2004
- [OVR04] N.N.; Internetseite des National Instituts of Standards and Technology; Internet: [http://ovrt.nist.gov/projects/mfg/wie\\_cs\\_boeing.html](http://ovrt.nist.gov/projects/mfg/wie_cs_boeing.html), 09/2004
- [PAE04] Internetseite der Universität Hannover [http://www.ikg.uni-hannover.de/lehre/katalog/AugmentedReality/pdf\\_files/VL-AR-04-01-b.pdf](http://www.ikg.uni-hannover.de/lehre/katalog/AugmentedReality/pdf_files/VL-AR-04-01-b.pdf), 10/2003
- [PAT02] Patron, C.: Augmented Reality@iwb. In: Newsletter des Institutes für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München. Jahrgang 9, Nr. 4, München, 2002
- [PDA04] N.N.: Internetseiten des Forschungsprojekts „AR-PDA“, Internet: <http://www.ar-pda.de>, 10/2004

- [PIE03 ET AL.] Piekarski, W.; Thomas, B.: „ARQuake – Modifications and Hardware for Outdoor Augmented Reality Gaming“; Fourth Australian Linux Conference 2003
- [POL01] N.N.; Internetseiten der Fa. Polhemous. Internet: <http://www.polhemous.com/>, 11/2001
- [QUA01] Qualisys Inc. Internet: <http://www.qualisys.com>, 11/2001
- [REG01A ET AL.] Regenbrecht, H.; Reischl, M.: „Augmented Reality in der Entwicklung – Pilotensitz: Ergonomische Layoutgestaltung“. Internet: [http://www.arvika.de/www/pdf/flyer\\_3a.pdf](http://www.arvika.de/www/pdf/flyer_3a.pdf), 6/2001
- [REG01B] Regenbrecht, H.: „Augmented Reality in der Entwicklung – Passagiersitz: Strömungsvisualisierung“. Internetauftritt des Forschungsprojektes Arvika: [http://www.arvika.de/www/pdf/flyer\\_3a.pdf](http://www.arvika.de/www/pdf/flyer_3a.pdf), Juni 2001
- [REI02 ET AL.] Reinhart, G.; Patron, C.; Meier, P.: „Virtual Reality und Augmented Reality in der Montage“; In Werkstattstechnik. Band 92 (2002), Heft ½, S. 12-15
- [ROL01 ET AL.] Rolland, J. P.; Baillot, Y.; Goon, A. A.: „A Survey of Tracking Technology for Virtual Environments“. In Barfield, W.; Caudell, T. (Hrsg.): Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality S. 67-112; Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- [RUS01 ET AL.] Rusitschka, E.; Navab, N.: „Augmented Reality im Service – Navigation in industriellen Umgebungen“ Internetauftritt des Forschungsprojektes Arvika; Internet: [http://www.arvika.de/www/pdf/flyer\\_51a.pdf](http://www.arvika.de/www/pdf/flyer_51a.pdf), 09/2001
- [SAT99 ET AL.] Sato, K.; Ban, Y.; Chihara, K.: MR Aided Engineering – Inspection Support Systems Integrating Virtual Instruments and Process Control. In: Mixed Reality – Merging Real and Virtual Worlds (1999), S. 347-361
- [SCH02 ET AL.] Schumann, M.; Schenk, M.; Blümel, E.: “Distributed Virtual Worlds with HLA?” Paper 02F-SIW-021, 2002 Fall Simulation Interoperability Workshop, September 8-13, 2002, Orlando/FL, USA
- [SCH03] Schenk, M.: „Virtuelles Entwickeln und Trainieren für intelligente technische Systeme und Prozesse“. 6. Magdeburger Maschinenbautage » Intelligente technische Systeme und Prozesse – Grundlagen, Entwurf, Realisierung «, Magdeburg, 26. September 2003
- [SCH04] Schulzki-Haddouti, Chr.; „Neue Computerspiele für die reale Welt“; In: VDI nachrichten, Brüssel, 05.11.2004

- [SCH05] Schreiber, W.: „Augmented Reality – eine Schnittstelle zwischen der realen und virtuellen Fabrik“. 8. IFF Wissenschaftstage (22.-24. Juni 2005), Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und – Automatisierung Magdeburg, Stuttgart Fraunhofer IRB Verlag, 2005
- [SCH98] Internetseite der FHT Esslingen, VR-Vorlesungsseminar WS 98/99; Internet: <http://www.it.fht-esslingen.de/~schmidt/vorlesungen/vr/seminar/ws9899/tracking-verfahren.html>, 09/2003
- [SEL00] Selzle, H. (Hrsg.): Augmented Reality – Das dritte Auge. Z. Automobil-Entwicklung, Nr. 3 (2000), S.44.
- [SEP04] N.N.: - SEP IM Überblick – Der Systementwicklungsprozeß im Volkswagen Konzern, VW Intranet 2004
- [SIE02] Siebert, D.; Dissertation: „Ein Meßsystem zur präoperativen Planung und intraoperativen Kontrolle von Dysgnathieoperationen“, Freie Universität Berlin, 2002
- [STA01 ET AL.] Stadler, A.; Schuler, H.: Augmented Reality in der Produktion – Fehlerbehebung in der Elektrik. Internetauftritt des Forschungsprojektes Arvika [http://www.arvika.de/www/pdf/flyer\\_41a.pdf](http://www.arvika.de/www/pdf/flyer_41a.pdf), Juni 2001
- [STA96 ET AL.] State, A.; Livingston, M; Hirota, G; Garrett, W.; Whitton, M.; Fuchs, H.; Pisano, E.: „Technologies for Augmented-Reality Systems: realizing Ultrasound-Guided Needle Biopsies“. Proc.: Siggraph 96. In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series 1996, ACM SIGGRAPH, S. 439-446
- [SUN04] N.N.: Internetseite der Fa. Sun Microsystems; Internet: <http://www.sun.com/960710/feature3/alice.html>, 10/2004
- [SUT02 ET AL.] Suthau, T.; Vetter, M.; Hassenpflug, P.; Meinzer, H.-P.; Hellwich, O.: „Konzeption zum Einsatz von Augmented Reality in der Leberchirurgie“; DGPF 2002
- [SUT63] Sutherland, I.E.; „SKETCHPAD: A man-machine graphical communication system“; Ph.D. Thesis, 1963; <http://www.sun.com/960710/feature3/sketchpad.html>, 10/2004
- [SUT65] Sutherland, I.E.: The Ultimate Display. Proc. IFIP Congress. New York, 1965, S. 506-508
- [SUT68] Sutherland, I.E.; „A Head-Mounted Three-Dimensional Display“. Proc. AFIPS Fall Joint Computer Conference. Washington, D.C.: ThompsonBooks, 1968, S. 757-764
- [TAM99 ET AL.] Tamura, H.; Yamamoto, H.; Katayama, A.: „Steps Toward Seamless Mixed Reality“; In: Mixed Reality – Merging Real and Virtual Worlds (1999), Kapitel 4, S. 59-84

- [TAP01 ET AL.] Tappert, C.; Ruocco, A.; Langdorf, K.; Mabry, F.; Heineman, K.; Brick, T.; Cross, D.; Pellissier, S.: „Military applications of wearable computers and augmented reality“. In: Barfield, W.; Caudell, T. (Hrsg.): Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. Mahwah: Lawrence Earlbaum Associates, 2001, S. 625-647
- [TEG04 ET AL.] Tegtmeier, A.; Schenk, M.; Ritter, K.C.: „Augmented Reality – Anwendungstechnologie für Montage/Demontage-Prozesse in der Automobilindustrie“ in VDE 2004
- [UNC03] N.N.: UNC Ultrasound/ Medical Augmented Reality Research. Internet: <http://www.cs.unc.edu/~us/>, 01/2003
- [USC95] United States Coast Guard Navigation Center: GPS SPS signal specification. 2<sup>nd</sup> Edition, 6/1995
- [VAL02] Vallino, J.; „Introduction to Augmented Reality“; Rochester Institute of Technology; Internet: <http://www.se.rit.edu/~jrv/research/ar/introduction.html>, 08/2002
- [VAL99] J. Vallino; „Interactive Augmented Reality“; Ph.D. Thesis, Department of Computer Science, University of Rochester, Rochester, NY, Internet: <http://www.se.rit.edu/~jrv/publications/VallinoThesis.pdf>, April 1998
- [VIE03] Vienenkötter, A.: Diplomarbeit: „Entwicklung einer Versuchsplattform für den Einsatz der Technologie Augmented Reality (AR) in der Automobilvorentwicklung“; Heinz Nixdorf Institut Universität Paderborn und Volkswagen Nutzfahrzeuge, März 2003
- [VOL05] N.N.; Volkswagen Intranet
- [WAN89] Wanstall, B.: „HUD on the Head for Combat Pilots“. Interavia 44, 1989, S. 334-338
- [WAR93] Warnecke, J.J.; „Virtual Reality – Anwendungen und Trends“ in Virtual Reality – Anwendungen und Trends, IPA-/IAO-Forum 4./5. Februar 1993; S. 9-16; ISBN:3-540-56516-7
- [WEB96 ET AL.] Webster, A.; Feiner, S.; MacIntyre, B.; Massie, W.; Krueger, T.: „Augmented Reality in Architectural Construction, Inspection, and Renovation“; ASCE Computers in Civil Engineering Congress; Internet: <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/RESEARCH/PAPERS/papers.html>; 07/2003
- [WEC04 ET AL.] Weck, M.; Hamadou, M.; Hoymann, H.; Jahn, D.; Lescher, M.: „Mobile Service Application for Machine Tools“; In: Ong, S.K. (Hrsg.); Nee, A.Y.C. (Hrsg.): Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing. Springer Verlag, 2004, S. 237-255; ISBN: 1-8523-3796-6

- [WEC99 ET AL.] Weck, M.; Wenk, C.; Plapper, V.: „Augmented Reality unterstützt den Teleservice“. *Werkstattstechnik*. Band 89 (1999), Heft 6, S. 293-294
- [WEI02] Weidenhausen, J.: ARBrowser Dokumentation; 01/2002
- [WEI03] Weidenhausen, J.: Internetseiten des Instituts für Graphische Datenverarbeitung Darmstadt; Internet: <http://www.igd.fhg.de/~weidenh/geraete/TRACKER/tracker.html>, 06/2003
- [WES01] Westkämper, E.; Mersinger, M.; Stallkamp, J. and Klumpp, B. „Einsatz von Virtual Reality für industrienaher Anwendungen.“ *wt Werkstattstechnik*, 2001, Heft 4(91), S. 211-213
- [WHI94] Whitaker, R.: „Collaborative Interior Design“. In: ECRC Today - Applications and Demonstrators
- [WIK03] Wikipedia, Die freie Enzyklopädie; Suchwort: GPS; <http://www.wikipedia.de>, 08/2003
- [XFL03] N.N.: Internetseite von Xflight.de; Internet: [http://www.xflight.de/f16/pg\\_org\\_par\\_cec\\_hud.htm](http://www.xflight.de/f16/pg_org_par_cec_hud.htm), 10/2003
- [YAM88 ET AL.] Yamanaka, R.; Yamamoto, N.; Handa, N. and Yoshikura, H.: „A 3D Display with a Linearly Moving Mirror to Reflect a Series of 2D Cross Sections and Its Application to Noninvasive Angiography“ in *Transactions on Medical Imaging*, Vol. 7, No 3, pp. 193-197, September 1988
- [ZAC96 ET AL.] Zachow, S.: „Virtual Reality – Grundlagen und Medizinische Anwendungen“; <http://cg.cs.tu-berlin.de/~kai/vrmed/vrmed.html>, 01/1996
- [ZGD04] N.N.: Internetseite des Zentrum für Graphische Datenverarbeitung e.V. Internet: [http://www.zgdv.de/zgdv/departments/z2/Z2Projects/ARCHEOGUIDE/index\\_html\\_en](http://www.zgdv.de/zgdv/departments/z2/Z2Projects/ARCHEOGUIDE/index_html_en), 08/2004
- [ZUB01] Zuber, E.; Kress, M.; Wagner, W.: „Virtuelle Produktion – Partner der digitalen Produktentwicklung“. *Werkstattstechnik*. Band 91 (2001), Heft 6, S. 308-314

**Betreute Diplomarbeiten:**

- [DOI03] Doil, F.; „Untersuchung der Anwendbarkeit von Augmented Reality (A) in der Fabrikplanung“
- [HOE04] Höppner, R.: „Das Einsatzpotential der Augmented Reality im Servicebereich“. Volkswagen 05/2004
- [HUE04] Hünnerkopf, M.: „Untersuchung der Anwendbarkeit von Augmented Reality Technologie in der Automobilindustrie (-Schwerpunkt Montage/Demontage-)“. Volkswagen 03/2004
- [OPE05] Oppermann, A.: „Augmented Reality Autorenumgebung – Entwicklung und Systemanbindung einer Autorenumgebung zur Erstellung von Prozessleitfäden“. Volkswagen 03/2005
- [SCH05] Schwab, V.: „Erweiterung einer Augmented Reality Autorenumgebung um dynamische 3D-Objekte zur Verdeutlichung von Arbeitsabläufen“. Volkswagen 09/2005

**Eingereichte und Geschützte Patente:**

- DE 102004044718 A1 Augmented Reality Autoren System
- DE 102005011616 A1 Mobile Trackingeinheit
- WO 2005116785 A1 Mobile Trackingeinheit



## 7.3 Abbildungen

BILD 1-1:	ZUKÜNFTIGE PRODUKTSZENARIEN – RAHMENBEDINGUNGEN IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE [SCH05] .....	1
BILD 1-2:	GLIEDERUNG DER ARBEIT NACH EINLEITUNG, STAND, KONZEPT, UMSETZUNG, ANWENDUNG UND ZUSAMMENFASSUNG .....	4
BILD 2-1:	ERSTES "SEE-THROUGH" 3D HMD [SUT68] .....	7
BILD 2-2:	SUTHERLAND PRÄSENTIERT DAS ERSTE 3D-HEAD MOUNTED DISPLAY [SUT68] .....	7
BILD 2-3:	I <sup>3</sup> -DREIECK DER VIRTUAL REALITY [HAL03] [BUR94].....	8
BILD 2-4:	PROZENTUALE ANTEILE DER SINNE AN DER MENSCHLICHEN WAHRNEHMUNG [HAL03].....	9
BILD 2-5:	DR. DAVID MIZELL BEI DER KABELBAUM-VERLEGUNG MIT HILFE VON AUGMENTED REALITY [VAL99] .....	11
BILD 2-6:	REALITY – VIRTUALITY CONTINUUM NACH [MIL99 ET AL.]UND [KUN02] .....	13
BILD 2-7:	GRUNDSÄTZLICHER AUFBAU VON AUGMENTED REALITY SYSTEMEN .....	15
BILD 2-8:	ÜBERSICHT DER ANZEIGETECHNIKEN .....	16
BILD 2-9:	KONZEPTDIAGRAMM EINES MONITOR-BASIERTEN AR-SYSTEMS NACH [AZU97] .....	17
BILD 2-10:	VISUALISIERUNGSKLASSEN VON LOOK-THROUGH-GERÄTEN.....	18
BILD 2-11:	BAUFORMEN VON KOPFBASIERTEN ANZEIGEGERÄTEN NACH [ALT02].....	19
BILD 2-12:	KLASSIFIKATION VON VISUALISIERUNGSARTEN NACH [ALT02] .....	19
BILD 2-13:	BESTIMMUNG DER POSITION MIT TRACKINGVERFAHREN NACH [ALT02] .....	21
BILD 2-14:	DEFINITION DER TEXTDATEI UND DAZUGEHÖRIGER MARKER [DOI03] .....	23
BILD 2-15:	ANALYSE DE VIDEOBILDES: A)ERKENNEN EINER REGION B)KONVERTIERUNG; C)KOORDINATEN-TRANSFORMATION; D)SKALIERUNG BESTIMMEN .....	24
BILD 2-16:	KOORDINATENSYSTEM DES MARKERS A)EBENE; B)SENKRECHTE C)VIRTUELLES OBJEKT ...	24
BILD 2-17:	BESTIMMUNG DER KAMERAPOSITION NACH [KAT99] AUS [DOI03] .....	25
BILD 2-18:	PRINZIPIELLER AUFBAU OUTSIDE-IN TRACKING .....	26
BILD 2-19:	PRINZIPIELLER AUFBAU INSIDE-OUT TRACKING .....	26
BILD 2-20:	LAYER-ORGANISATION DER SYSTEMBAUSTEINE AR-BROWSER SDK [AUG05B] .....	34
BILD 2-21:	MILITÄRISCHE ANWENDUNGSBEREICHE NAVIAGTION MIT HILFE VON AUGMENTED REALITY [IIP03] .....	37
BILD 2-22:	MILITÄRISCHER ANWENDUNGSBEREICH TAKTIK MIT HILFE VON AUGMENTED REALITY [IIP03].....	37
BILD 2-23:	INTERAKTIVES, GRAPHISCHES ECHTZEITVIDEOSYSTEM ZUR KOOPERATIVEN INNENEINRICHTUNG [WHI94] .....	38
BILD 2-24:	PROGRAMMOBERFLÄCHE DES „AFC – AUGMENTED FURNITURE CLIENT“ [AUG05B].....	39
BILD 2-25:	BAUBESTANDSAUFNAHME MIT AUGMENTED REALITY UNTERSTÜTZUNG [GRE01] .....	39
BILD 2-26:	GEGENSEITIGE VERDECKUNG VON VIRTUELLEN UND REALEN OBJEKTEN [KIY00 ET AL.] ....	40

## 7 Verzeichnisse

---

BILD 2-27:	REKONSTRUIERTE HISTORISCHE BAUWERKE AN ORIGINALSTÄTTEN [ZGD04].....	43
BILD 2-28:	DESKTOP-SYSTEM ARIS (DARSTELLUNG VON STÜHLEN MIT LICHTSIMULATION) [ARI03] .	44
BILD 2-29:	VERSUCHSAUFBAU MEDARPA (LINKS); BLICK AUF UND DURCH DAS AR-DISPLAY (RECHTS) [MED04].....	45
BILD 2-30:	AR-PDA DEMONSTRATOR [PDA04] .....	46
BILD 3-1:	DIAGNOSETESTER VAS5052 .....	49
BILD 3-2:	ÜBERSICHT ARBEITSUMGEBUNG .....	50
BILD 3-3:	SYSTEMKOMPONENTEN AR-SYSTEM.....	55
BILD 3-4:	KRITERIENÜBERSICHT VISUALISIERUNGSEINHEIT .....	56
BILD 3-5:	KRITERIENÜBERSICHT RECHNEREINHEIT .....	57
BILD 3-6:	KRITERIENÜBERSICHT TRACKINGEINHEIT.....	59
BILD 3-7:	HMD DER FIRMA LITEYE [LIT06].....	62
BILD 3-8:	HMD`S DER FIRMA MICROVISION [MIC06A].....	63
BILD 3-9:	AUSZUG AUS REPARATURLEITFADEN (AUSBAU KLAPPENSCHLOß HINTEN).....	65
BILD 3-10:	PROZEß DER REPARATURLEITFADENERSTELLUNG IN LIVAS 3 [VOL05].....	66
BILD 3-11:	DATENSHEMA FÜR DIE BEREITSTELLUNG DER REPARATURLEITFÄDEN.....	72
BILD 3-12:	3D-SIMULATION DES TRACKINGARMES .....	75
BILD 3-13:	TRANSPORTSTELLUNG TRACKINGARM .....	75
BILD 3-14:	ENTWURFSKIZZE AR-KOMPLETTSYSTEM.....	76
BILD 4-1:	KONSTRUKTIONSPROZESS NACH [VDI 2221] .....	79
BILD 4-2:	PHASENMODELL SEP [SEP04] .....	80
BILD 4-3:	ÜBERSICHT DES ANFORDERUNGSKONZEPTE ARMON .....	84
BILD 4-4:	ARMON – INFOLEISTE .....	85
BILD 4-5:	ARMON – ENTWURF ANWENDUNGSOBERFLÄCHE.....	85
BILD 4-6:	NAVIGATIONSLEISTE ARMON.....	86
BILD 4-7:	ARMON – WERKZEUGLEISTE.....	86
BILD 4-8:	ARMON – LAGER- UND BESTELLEISTE .....	86
BILD 4-9:	AR-AUTOR – ENTWURF ANWENDUNGSOBERFLÄCHE .....	90
BILD 4-10:	AR-AUTOR – REGISTERKARTENFELD .....	91
BILD 4-11:	AR-AUTOR – NAVIGATIONSLEISTE.....	91
BILD 5-1:	AUFBAU ERSTES SZENARIO.....	93
BILD 5-2:	TRACKINGRECHNER UND WEBPAD (LINKS); MONTIERTES TARGET FÜR TRACKING (RECHTS).....	93
BILD 5-3:	WEBPAD MIT ANGEBAUTER USB-KAMERA .....	93
BILD 5-4:	ERSTER AUFBAU ANWENDUNGSOBERFLÄCHE (HTML).....	94
BILD 5-5:	MODIFIZIERTER MARKER (RETROREFLEKTIERENDE FOLIE /SCHWARZER FLIEß) .....	95

## 7 Verzeichnisse

---

BILD 5-6:	MARKERERKENNUNG MIT MODIFIZIERTEN MARKERN.....	95
BILD 5-7:	SPRACHINTERAKTIONSMODUL SIDEWINDER GAMEVOICE DER FA. MICROSOFT .....	96
BILD 5-8:	AUFBAU ZWEITES SZENARIO (KELLERRAUM).....	97
BILD 5-9:	ARMON – NEUE ANWENDUNGSOBERFLÄCHE .....	97
BILD 5-10:	SZENARIO MIT FREEZE-TACKING .....	98
BILD 5-11:	PRODUKTSZENARIO MIT 360° BEWEGUNGSRAUM.....	98
BILD 5-12:	DEMOGRAPHISCHE DARSTELLUNG PROBANDEN.....	103
BILD 5-13:	AUSZUG AUS PAPIERANLEITUNG .....	104
BILD 5-14:	LEGO-TEST – BAUPLATTE MIT MARKERN.....	105
BILD 5-15:	LEGO-TEST – TÄTIGKEITSSCHRITT AUS AR-ANLEITUNG.....	105
BILD 5-16:	ÜBERSICHT DES FUNKTIONSSCHEMA DER REPARATURLEITFADENERSTELLUNG [OPE05]...	109
BILD 5-17:	XML-QUELLTEXT EINES REPARATURLEITFADENS FÜR ARMON [OPE05] .....	110
BILD 5-18:	6-DOF-POSITIONIERUNGSSTIFT (LINKS) UND PLATZIERUNG EINER HILFSGEOMETRIE IN AR-AUTOR (RECHTS).....	112
BILD 5-19:	INTERAKTIONSSSTIFT – BAUTEILE [SCH05].....	113
BILD 5-20:	SYMMETRISCHE AUSRICHTUNG EINER HILFSGEOMETRIE AM INTERAKTIONSS- STIFT [SCH05].....	113
BILD 5-21:	ANPASSUNG QUELLTEXT HILFSGEOMETRIE IN XML-REPARATURLEITFADEN [OPE05] .....	114
BILD 5-22:	DARSTELLUNG VERSCHIEDENER MÖGLICHER KURVENVERLÄUFE [SCH05] .....	115
BILD 5-23:	KURVENAPPROXIMATION (KUBISCHE INTERPOLATION) [SCH05] .....	115
BILD 6-1:	MÖGLICHES ANWENDUNGSSZENARIO FÜR DEN ENTWICKELTEN MECHANISCHEN TRACKINGARM .....	121

## 8 Anhang

Anhang A: Fragebogen (Seiten 1 - 7)

### **Augmented Reality in der Automobilindustrie**

#### **– Erstellung und Evaluierung eines Prototypen mit Augmented Reality Technologie –**

Bitte füllen Sie den Fragebogen aus und beantworten Sie wenn möglich alle aufgeführten Fragen.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit und Ihr Engagement!

#### **I. Akzeptanz**

1. Was hat Ihnen weniger gut an dem Reparatur-Szenario gefallen?

---

---

---

2. Was hat Ihnen am Besten an dem Reparatur-Szenario gefallen?

---

---

---

3. Welche Erwartungen stellen Sie an Augmented Reality (z.B. Informationsbereitstellung, Kostenreduktion, Qualitätsoptimierung etc.) und welche davon wurden in dem Szenario erfüllt?

---

---

---

4. Welche persönlichen Empfindungen hatten Sie während des Testdurchlaufs?

---

---

Fragebogen  
Augmented Reality unterstützte Reparatur

**II. Informationsgehalt**

1. Wie beurteilen Sie die bereitgestellte Informationsmenge für eine fehlerfreie Durchführung der Arbeitsschritte?

- zu viele Informationen  
 genau richtig  
 zu wenige Informationen

2. Bitte nehmen Sie zu nachfolgenden Aussagen Stellung.

	völlig zutreffend	zutreffend	eingeschränkt zutreffend	unzutreffend	völlig unzutreffend
Die Arbeitsanweisungen sind eindeutig und verständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Dokumentation der Arbeitsreihenfolge ist übersichtlich und umfassend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die eingeblendeten Objekte heben sich von der realen Oberfläche deutlich ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Bitte ordnen Sie die nachfolgenden Informationsgebiete nach Ihrer Wichtigkeit.

- \_\_\_\_\_ Sicherheitshinweise  
 \_\_\_\_\_ Werkzeughandhabung  
 \_\_\_\_\_ Arbeitsschrittanweisung  
 \_\_\_\_\_ Animation  
 \_\_\_\_\_ Sonstiges: \_\_\_\_\_

4. Welche Informationen bzw. Informationsbereiche haben Sie gegebenenfalls vermisst?

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Fragebogen  
Augmented Reality unterstützte Reparatur

### III. Handhabung

1. Bitte nehmen Sie zu nachfolgenden Aussagen Stellung.

	völlig zutreffend	zutreffend	eingeschränkt zutreffend	unzutreffend	völlig unzutreffend
Die Symbolik ist klar und verständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Anordnung der Hinweise ist logisch und nachvollziehbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Anzeigengröße ist lesbar und übersichtlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Animation der Arbeitsschritte ist eindeutig und verständnisunterstützend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bedienbarkeit ist intuitiv verständlich und einprägsam.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Haptik der Oberfläche ist angenehm und zielführend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bedienelemente sind prozessorientiert und bequem erreichbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Gewicht des WebPad ist dem Arbeitsprozess nicht hinderlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges:					
_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
_____					
_____					

Fragebogen  
Augmented Reality unterstützte Reparatur

2. Wo sehen Sie eventuell Verbesserungsbedarf?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**IV. Zweckdienlichkeit**

1. In welchem Maße sind nach Ihrer Meinung die folgenden Ziele erreicht?

	sehr gut	gut	befriedigend	ausreichend	mangelhaft
..... Verbesserung der Produktqualität.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
..... Einhaltung der Montagereihenfolge.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
..... Bereitstellung fahrzeug-spezifischer Reparaturleitfäden trotz hoher Variantenvielzahl.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
..... Kontinuierliche Weiterbildung durch ‚Learning by Doing‘.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
..... Sicherstellung eines einheitlichen Informationsstandes über alle Mitarbeiter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
..... Gewährleistung der Arbeitsplatzsicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
..... Schnelle elektronische Erreichbarkeit des Mitarbeiters.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....					

Fragebogen  
Augmented Reality unterstützte Reparatur

2. Halten Sie den Einsatz von Augmented Reality Technologie für diese Anwendungsszenarien für passend? Bitte begründen Sie Ihre Antwort.

- Ja, weil \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Nein, weil \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Weiß nicht.

**V. Gesamt Bewertung**

1. Wie zufrieden sind Sie mit den folgenden Punkten?

	sehr zufrieden	zufrieden	neutral	unzufrieden	sehr unzufrieden
Akzeptanz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Informationsgehalt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Handhabung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zweckdienlichkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Punkte?

	sehr wichtig	wichtig	egal	unwichtig	sehr unwichtig
Akzeptanz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Informationsgehalt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Handhabung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zweckdienlichkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Fragebogen  
Augmented Reality unterstützte Reparatur

**VI. Entwicklungspotential**

1. Welche weiteren Einsatzbereiche von Augmented Reality in der Automobilindustrie sehen Sie in naher Zukunft (1-5 Jahre)?

---

---

---

2. Welche weiteren Einsatzbereiche von Augmented Reality in der Automobilindustrie sehen Sie in ferner Zukunft (6-10 Jahren)?

---

---

---

**VII. Fragen und Anregungen**

Wenn Sie noch Fragen oder Anregungen haben, können Sie mir diese gerne mitteilen.

---

---

---

**VIII. Demographische Angaben**

1. Bitte kreuzen Sie Zutreffendes an.

- Ich arbeite bei Volkswagen.  
 Ich arbeite nicht bei Volkswagen.

K-DOE-3  
André Tegtmeyer

6

Fragebogen  
Augmented Reality unterstützte Reparatur

2. Ich gehöre in die Altersgruppe von

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 20-30 Jahre          | <input type="checkbox"/> 31-40 Jahre |
| <input type="checkbox"/> 41-50 Jahre          | <input type="checkbox"/> 51-60 Jahre |
| <input type="checkbox"/> 61 Jahren und älter. |                                      |

3. Bitte geben Sie den Namen Ihrer Abteilung an.

---

---

4. Bitte geben Sie Ihre Berufsbezeichnung an.

---

---

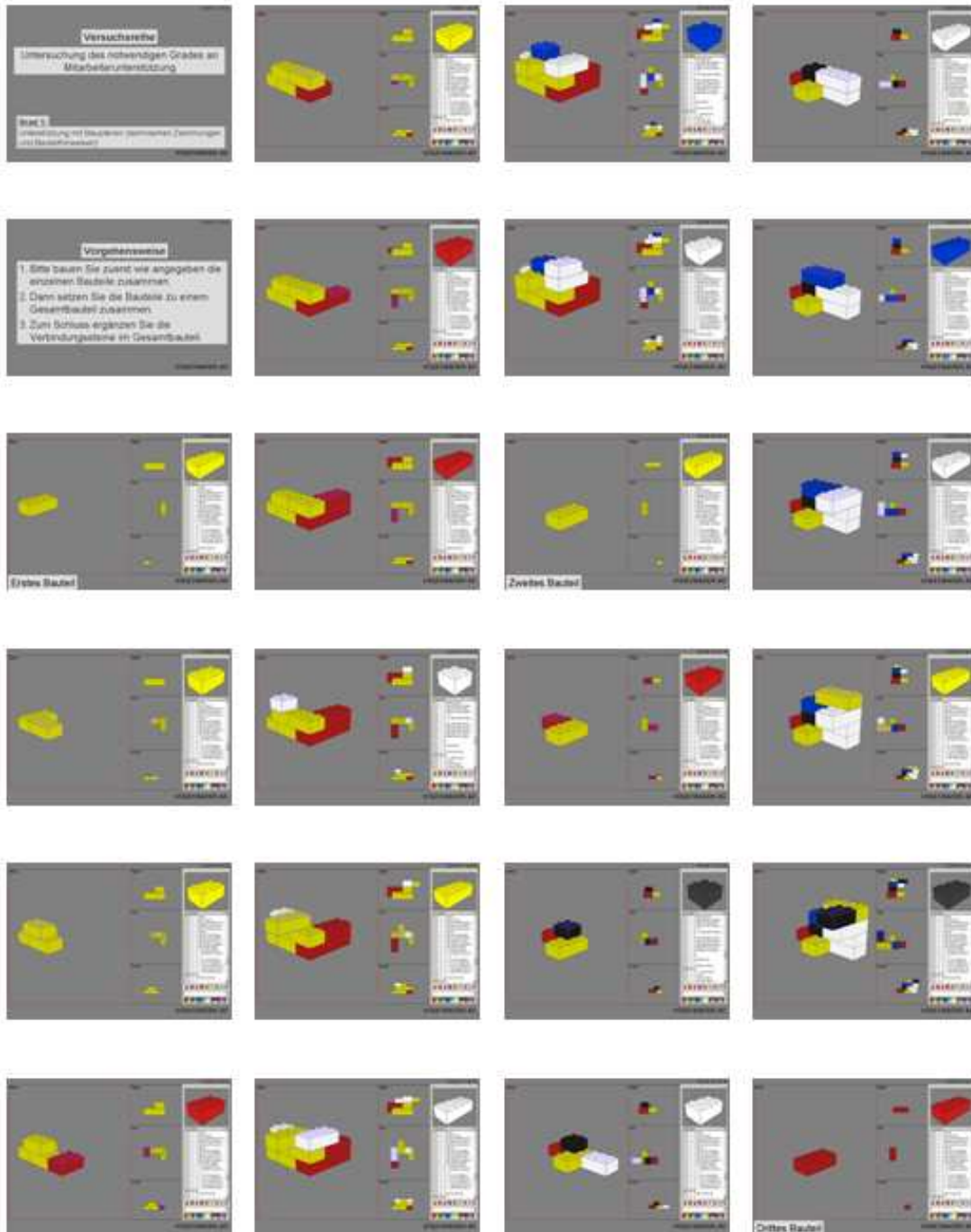
Ich bedanke mich für Ihre ehrliche Meinung und Anregungen.

## Anhang B: Versuchsübersicht, -unterlagen und -ergebnisse Lego-Test

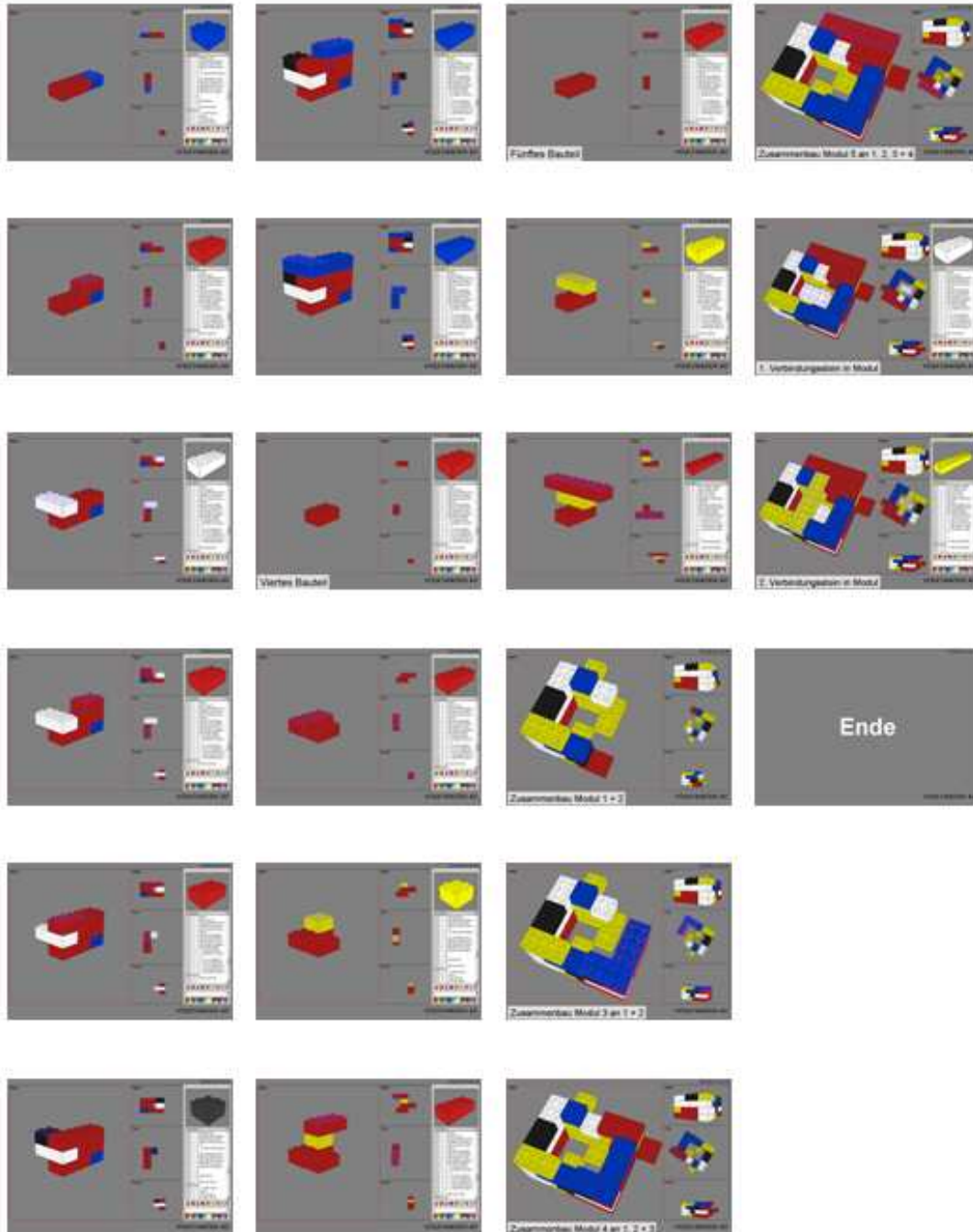
## Versuchsübersicht

Versuchsübersicht LEGO					
Medium	1	2	3	4	5
<b>Darstellung</b>	Papier 3D-Skizze Bauteilbild und -vorgabe	Monitor AR-Überlagerung (direkt)	Monitor Video-Sequenzen der Einzelschritte	Monitor 3D-Skizze Bauteilbild und -vorgabe	Monitor AR-Überlagerung (indirekt)
<b>Benutzertätigkeit</b>	Umbblättern Lesen und Sehen	Tastatur und/ oder Mausbedienung, Sprachsteuerung Lesen, Sehen und Hören	Tastatur und/ oder Mausbedienung, Sprachsteuerung Lesen, Sehen und Hören	Tastatur und/ oder Mausbedienung, Sprachsteuerung Lesen, Sehen und Hören	Tastatur und/ oder Mausbedienung, Sprachsteuerung Lesen, Sehen und Hören
<b>angesprochene Sinne für kognitives Erfassen der Aufgabe</b>					
Proband-Nr.	<b>Zeiten</b>				
1	03:46,00	03:11,04	00:34,96		
2	03:56,05	05:21,00		01:24,95	
3	07:30,19	08:19,86		00:49,67	
4	05:49,43	07:19,47		01:30,04	
5	04:16,06	04:44,69		00:28,63	
6	04:07,26	06:32,28		02:25,02	
7	08:54,95	07:25,38	01:29,57		
8	14:47,53	14:41,40	00:06,13		01:48,93
9	11:48,13	09:47,29	02:00,84		01:12,98
10	04:14,07	06:03,00			02:15,93
11	13:01,23	14:14,21			01:53,50
12	04:57,07	07:13,00			
13	06:22,79	08:16,29			
14	10:23,37	09:01,61	01:21,76		
15	06:52,97	05:48,69	01:04,28		
16	07:35,54	07:01,46	00:34,08		
17	05:26,18	05:39,42		00:13,24	
18	04:22,56	04:05,73	00:16,83		
19	04:24,57	04:01,89	00:22,68		
20	08:57,58	07:23,56	01:34,02		
21	04:39,36	05:10,51			00:31,15
22	07:39,12	05:59,48	01:39,64		
23	07:50,09	06:43,12	01:06,97		
Ø	<b>07:01,83</b>	<b>07:08,02</b>	<b>01:00,98</b>		<b>01:19,46</b>

# LEGO-Versuch (Papier-Test)



# LEGO-Versuch (Papier-Test)



## Anhang C: MTM-Analyse

## MTM Analysebogen

durchgeführt im Mai 2005

Ausbau der Fensterhebereinheit an der Fahrtür

Nr.	Beschreibung	Kode	TMU	Häufig- keit	Gesamt TMU	Zeit mit AR
1. Türschloß ausbauen	Reparaturleitfaden lesen		2100		2100	600
	Weg zur Tür	KA	25	2	50	50
	Abdeckleiste lösen	AA1	20		20	20
	Clipse lösen	ZD	20	5	100	100
	Abdeckleiste am Werkzeugwagen ablegen	PA3	25		25	25
	Weg von Tür zu Werkzeugwagen	KA	25	1	25	25
	Knarre aufnehmen und Verlängerung aufstecken	AB2	45		45	45
	Torx auf Verlängerung aufstecken	AB2	45		45	45
	Weg zur Tür	KA	25	1	25	25
	Knarre ansetzen	PC1	30		30	30
	Schrauben lösen	ZB1	10	13	130	130
	Türgriff vorpositionieren	AA2	35		35	35
	Schloss entnehmen und auf dem Werkzeugwagen ablegen	AA1	20		20	20
	Weg zum Werkzeugwagen	KA	25	1	25	25
	Werkzeug ablegen	PA2	20		20	20
	Weg zum Monitor	KA	25	4	100	100
	2. Türgriff ausbauen	Reparaturleitfaden lesen		400		400
Weg zum Werkzeugwagen		KA	25	4	100	100
Schraubendreher an Clip		AB1	30		30	30
Weg zur Tür		KA	25	1	25	25
Clip hebeln und lösen		ZB1	10		10	10
Türgriff entnehmen und		AA1	20		20	20
		ZB1	10	2	20	20
Weg zum Werkzeugwagen und zurück		KA	25	2	50	50
Schraube lösen:					0	0
- ansetzen		PB1	20		20	20
- lösen		ZD	20		20	20
Schraube von Hand rausdrehen (1. Drehung)		AA1	20		20	20
2.- 5. Drehung		ZB1	10	4	40	40
Schraube und Schraubendreher auf		PA1	10		10	10
Weg zum Werkstattwagen	KA	25	1	25	25	
Weg zum Monitor	KA	25	4	100	100	
	Reparaturleitfaden lesen		700		700	250
	Weg zum Werkzeugwagen	KA	25	4	100	100
	Knarre aufnehmen	AA1	20		20	20

3. Türaußenhaut abbauen	1. Torx abziehen und zurücklegen	AA2	35		35	35
	2. Torx aufnehmen und auf Knarre aufstecken	AB2	45		45	45
	Weg: zur Tür	KA	25	1	25	25
	Knarre ansetzen	PB1	20	19	380	380
	Schrauben lösen	ZD	20	19	380	380
	Schrauben losschrauben	ZB1	10	15 Umdr. à 19 Stck.	2850	2850
	Schrauben aufnehmen und ablegen	AA1	20	10	200	200
	Weg: zum Werkstattwagen und zurück	KA	25	2	50	50
	Schrauben aufnehmen und ablegen	AA1	20	9	180	180
	Knarre ablegen	PA1	10		10	10
	Weg: zum Werkstattwagen und zurück	KA	25	2	50	50
	Türaussenhaut lösen	ZB1	10	3	30	30
	Türaussenhaut abstellen	AL2	105		105	105
	Weg: zum Abstellplatz der Aussenhaut	KA	25	1	25	25
	Weg: zum Monitor	KA	25	4	100	100

4. Aufprallschutz abbauen	Reparaturleitfaden lesen		700		700	180
	Weg: zum Werkzeugwagen	KA	25	4	100	100
	Knarre aufnehmen	AA1	20		20	20
	Aufstecknuß (alt) von Knarre abziehen	AA2	35		35	35
	Innenvielzahn auf Knarre aufstecken	AB2	45		45	45
	Weg: zur Tür	KA	25	1	25	25
	Knarre ansetzen	PB1	20	4	80	80
	Schrauben lösen	ZD	20	4	80	80
	Schrauben losschrauben	ZB1	10	15 Umdr. à 4 Stück	600	600
	Schrauben aufnehmen und ablegen	AA1	20	4	80	80
	Weg: zum Werkzeugwagen	KA	25	1	25	25
	Aufstecknuß von Knarre abziehen	AA2	35		35	35
	Aufstecknuß auf Knarre aufstecken	AB2	45		45	45
	Weg: zur Tür	KA	25	1	25	25
	Knarre ansetzen	PB1	20	2	40	40
	Schrauben lösen	ZD	20	2	40	40
	Schrauben losschrauben	ZB1	10	15 Umdr. à 2 Stück	300	300
	Knarre und Schrauben aufnehmen und ablegen	AA1	20	2	40	40

	Aufprallschutz aufnehmen und ablegen	AL2	105		105	105
	Weg zum Monitor über Werkstattwagen	KA	25	5	125	125
5. Fensterscheibe ausbauen	Reparaturleitfaden lesen		3000		3000	380
	Weg zum Werkzeugwagen	KA	25	4	100	100
	Knarre aufnehmen	AA1	20		20	20
	Weg zur Tür	KA	25	1	25	25
	Knarre an 1. Schraube ansetzen	AB1	30		30	30
	Knarre an 2. Schraube ansetzen	PB3	35		35	35
	Schrauben lösen	ZD	20	2	40	40
	Schrauben losschrauben	ZB1	10	8 Umdr. à 2 Stück	160	160
	Knarre auf Werkzeugwagen ablegen	PA1	10		10	10
	Weg zum Werkzeugwagen	KA	25	1	25	25
	Weg zum Monitor	KA	25	4	100	100
	Reparaturleitfaden lesen		450		450	bereits in
	Weg zur Tür	KA	25	2	50	50
	Fensterscheibe aus der Halterung lösen	ZB1	10	3	30	30
	Fensterscheibe in Ausbaulage positionieren	PA2	20		20	20
	Fensterscheibe vor- und Fensterscheibe aus der Tür in Regal abstellen	PA2	20		20	20
	AL3	115			115	115
Weg zum Regal und zurück zum Monitor	KA	25	4	100	100	
lösen und Fensterhebeeinheit ausbauen	Reparaturleitfaden lesen		1500		1500	410
	Weg zum Werkstattwagen	KA	25	4	100	100
	Knarre aufnehmen	AA1	20		20	20
	Aufstecknuß entfernen	AA2	35		35	35
	Aufstecknuß aufstecken	AB2	45		45	45
	Weg zur Tür	KA	25	1	25	25
	Knarre ansetzen	PB1	20	9	180	180
	Schrauben lösen	ZD	20	9	180	180
	Schrauben losschrauben	ZB1	10	15 Umdr. à 9 Stck.	1350	1350
	Schrauben aufnehmen und mit Knarre ablegen	AA1	20	9	180	180
	Weg zum Werkstattwagen	KA	25	1	25	25
	Weg zum Monitor und zur Tür	KA	25	8	200	200
	Reparaturleitfaden lesen		500		500	300
Weg zum Werkstattwagen und zur Tür	KA	25	4	100	100	
Schraubendreher aufnehmen	AA1	20		20	20	



6. Steckverbindung abh	mit dem Schraubendreher die					
	1. Verriegelung lösen	AB1	30		30	30
	mit dem Schraubendreher die					
	2. Verriegelung lösen	PB1	20		20	20
	1. Verriegelung rausziehen	ZB1	10	2	20	20
	2. Verriegelung rausziehen	AA1	20	2	40	40
		ZB1	10	4	40	40
	Fensterheber mit Motor und					
	Steuergerät aus Tür ausbauen	AL3	115		115	115
	Fensterhebereinheit in Regal					
ablegen	ZB1	10	3	30	30	
Weg zum Regal	KA	25	4	100	100	
				<b>Gesamt TMU:</b>	20700	13745
				<b>in min:</b>	12,42	8,247

**Umrechnung**

TMU	sek	min	h
1	0,036	0	0,00001

## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name: André Tegtmeier  
Adresse: Dammstrasse 3  
38442 Wolfsburg  
Telefon: 01 72 / 99 31 09 9  
E-Mail-Adresse: andre.tegtmeier@web.de  
Familienstand: ledig  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Geburtsdaten: 30.07.1975



### Schulische Ausbildung

Aug. 1981 –Jul. 1985 Albert-Schweitzer-Schule Grundschule Lauenau  
Aug. 1985 –Jun. 1987 Stadtschule Rodenberg Haupt- und Realschule mit  
Orientierungsstufe  
Aug. 1987 –Mai 1995 Gymnasium Bad Nenndorf mit Abschluss Abitur (Note 2,8)  
im Mai 1995  
Okt. 1996 –Nov. 2001 Technische Universität Bergakademie Freiberg  
Studium der Verfahrenstechnik / Energieverfahrenstechnik  
mit Abschluss akademischen Grades Diplom-Ingenieur  
(Note 2,2) am 30. November 2001

### Wehrdienst

Okt. 1995 – Sept. 1996 Heeresflieger-Waffenschule Bückeburg

### Praktische Tätigkeiten

Jul. 2005 – Assistent der Bereichsleitung Qualitätssicherung der  
Produktklassen B-, C- und D-Klasse bei VW AG /  
Wolfsburg  
Mär. 2005 – Jul. 2005 Festeinstellung bei VW AG / Wolfsburg, Abteilung K-DOE  
Mär. 2002 – Mär. 2005 Doktorand bei VW AG / Wolfsburg

## Lebenslauf

---

Mai 2001 – Okt. 2001 Diplomarbeit bei AUDI AG Ingolstadt, Abteilung I/PG-64  
Jul. 2000 – Sep. 2000 Ingenieurpraktikum bei COSWORTH Technology in  
Worcester (UK)  
Apr. 2000 – Mai 2000 Teamleiter im Multiplex-Kino, Kinopolis Freiberg  
Dez. 1997 – Apr. 1999 Teamleiter im Multiplex-Kino, Kinopolis Freiberg  
Aug. 1997 – Okt. 1997 Werkstudent bei Wacker Siltronic AG / Freiberg  
Feb. 1997 – Mär. 1997 Packlinienbetreuer bei Polygram Hannover  
Jun. 1995 – Sep. 1995 Packlinienbetreuer bei Polygram Hannover

## Sprachkenntnisse

Englisch, fließend in Wort und Schrift

Französisch, Grundkenntnisse

Spanisch, Grundkenntnisse

## EDV-Kenntnisse

Kenntnisse von allen Standard-Softwareprogrammen:

Word, Excel, Powerpoint, Access, Outlook 9x-2003 etc.,

Windows 9x - XP

Apple Macintosh MacOS X

Wolfsburg, 05.12.2006