



Vesna Nikolic (Autor)

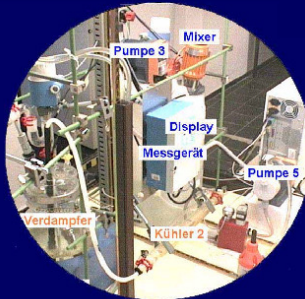
# **Einsatz der Computer Augmented Reality in der Instandhaltung: eine alternative gebrauchstaugliche und kostengünstige Systemlösung**

Vesna Nikolić

---

**Einsatz der Computer Augmented Reality  
in der Instandhaltung:  
eine alternative gebrauchstaugliche  
und kostengünstige Systemlösung**

---



 Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2058>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# 1 Einleitung

Vor 15 Jahren kamen zwei Forschungsingenieure der Firma Boeing in einem Gespräch mit dem Leiter der Produktion auf die Idee, den Facharbeitern die komplizierte Kabelbaummontage bei Passagierflugzeugen durch ein Rechnerunterstützungssystem zu erleichtern. Dieses System sollte es dem Arbeiter ermöglichen, sich für die Tätigkeit relevante rechnergenerierte Informationen ins Sichtfeld einblenden zu lassen [Cau92]. Damit sollten die üblichen, schwer handhabbaren Papierpläne durch virtuelle, leicht zugängliche und schnell verständliche Informationen ersetzt werden. Neben einer Arbeitserleichterung zielte man gleichzeitig auf eine Verkürzung der Montagezeiten ab. Dieses Vorhaben resultierte später in dem ersten prototypischen Computer Augmented Reality-System zur industriellen Anwendung, dessen Bestandteile ein optisches inneres (Engl.: inside-out), markerbasiertes Positions- und Orientierungserkennungssystem (Engl.: tracking system) und ein optisch durchsichtiges, kopfgebundenes Anzeigegerät (Engl.: optical see through head mounted display) waren [Miz01].

Nachfolgende Untersuchungen führten schnell zu der Erkenntnis, dass es sich bei der Computer Augmented Reality (CAR) um eine viel versprechende Technik mit breit gefächerten Anwendungsgebieten handelte, was auch in Deutschland nicht unerkannt blieb. Das Institut für Prozess- und Produktionsleittechnik (IPP) der Technischen Universität Clausthal (TUC) war eine der ersten Institutionen, die sich mit der CAR-Thematik befasste. Hier wurde im Jahre 1994 das Projekt „Private Eye“ initiiert. Die erste öffentliche Demonstration eines CAR-Prototyps erfolgte auf der Messe „Interkama“ im Jahre 1999. Seitdem wurden am Institut bis heute eine Reihe von Projekten zum Thema „Einsatz von CAR in der Instandhaltung“ realisiert, die in der Entwicklung mehrerer Prototypen und in diversen Veröffentlichungen zu diesem Thema resultierten (u.a. [Elz99/3], [Elz00/1]).

Die Forschung auf diesem Gebiet warf eine Menge von Fragen auf. Bisher betreffen diese vor allem die sehr hohen Beschaffungs- und Authoring-Kosten, aber auch die beteiligten kognitiven Prozesse beim Umgang mit einem CAR-System sowie den Nutzen des Einsatzes in der industriellen Instandhaltung (IH). Die gewonnenen Untersuchungsergebnisse, zusammen mit den Anwendungserfahrungen anderer Forschungsarbeiten, zeigen, dass die Umsetzung der Labor-Prototypen in kommerziell verfügbare CAR-Systeme noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird. Die benötigte Hardware, nämlich Tracking-Systeme, Head Mounted-Displays (HMDs) und tragbare Rechner, erfüllen im Moment nicht die ergonomischen und technischen Mindestanforderungen für einen industriellen Einsatz. Hinzu kommt der nicht unbedeutende psychologische Abneigungseffekt, eine Ausrüstung auf dem Kopf tragen zu müssen, die zudem noch mit einem Rechner verkabelt ist. Gerade aus dieser Erkenntnis heraus sind inzwischen auch alternative CAR-Techniken in die Entwicklungen einbezogen worden, die es dem Menschen ermöglichen, die durchzuführenden IH-Arbeiten ohne eine solche Ausrüstung verrichten zu können.

Die aufgeführten Probleme machen letztlich den Bedarf deutlich, konzeptuell einfachere und kostengünstigere CAR-Lösungen zu entwerfen. Die vorliegende Arbeit widmet sich daher der Entwicklung eines gebrauchstauglichen monitorbasierten CAR-Systems als Hilfsmittel für die IH und seiner Erprobung unter ergonomischen Gesichtspunkten. Der Prototyp wurde CARIHBA, als eine Abkürzung von **C**omputer **A**ugmented **R**eality für **I**nstand**H**altungs- und **B**edienungs**A**nleitungen, ge-

nannt. Die Benutzung von CARIHBA soll die Arbeitssicherheit erhöhen, die Aufgabenausführungszeiten verkürzen und zu einer niedrigeren Fehlerrate beitragen, indem es einem Instandhalter bei seinen Arbeitsaufgaben fach- und situationsgerechte, räumlich abgegliche Informationen anbietet.

Im Unterschied zu anderen heutigen CAR-Prototypen ist CARIHBA sofort in der Industrie anwendbar: seine Hardwarekomponenten sind handelsüblich, und die Beschaffungskosten sind im Vergleich mit den Marktpreisen der Komponenten für ein herkömmliches CAR-System sehr niedrig. Darüber hinaus hat es keine ergonomischen Nachteile für den Benutzer.

Der Grund dafür ist, dass CARIHBA kein Tracking-System und kein HMD besitzt. Es besteht aus einem herkömmlichen Rechner, einer steuerbaren Kamera und einem Monitor. Mit der Kamera wird die Realität aufgenommen und auf dem Monitor präsentiert. Zusätzlich erscheinen auf dem Video-Bild auch virtuelle Objekte, die mit den realen Objekten räumlich übereinstimmen und diese weiter beschreiben. Die Kamera des Systems ist in einem vorgeplanten Punkt im Raum zu befestigen. Damit ist eine gewisse Vorbereitung des Umfeldes notwendig, und die Anwendung von CARIHBA setzt eine sorgfältige Auswahl der mit dem System auszuführenden IH-Aufgaben voraus.

Durch eine Reihe von Benutzertests mit Studenten technischer Studiengänge wurde an Hand simulierter IH-Tätigkeiten überprüft, ob die IH-Arbeit mit CARIHBA überhaupt möglich ist. Außerdem wurden den Probanden drei weitere Arten von Instruktionen angeboten, um die gleichen Aufgaben zu lösen. Aus Interviews, Beobachtungsprotokollen, Messungen der Aufgabenausführungszeiten und der Fehlerraten war es möglich, subjektive und objektive Vor- und Nachteile von CARIHBA zu ermitteln.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut:

- In Kapitel 2 wird nach einer kurzen Erläuterung der IH als Arbeitstätigkeit und der CAR-Technik beschrieben, welches Potential Augmented Reality-Anwendungen gerade für die IH bieten. Weiterhin wird verdeutlicht, welche Anforderungen CAR-Systeme erfüllen sollen, um in der IH eingesetzt zu werden, und welche Probleme dabei bis heute bekannt sind.
- In Kapitel 3 werden CARIHBA sowie die einzelnen Phasen der Entwicklung dieses Prototyps vorgestellt, wobei der Fokus auf der Erhöhung des Situationsbewusstseins durch die Gestaltung der Benutzungsoberflächen liegt.
- Kapitel 4 enthält die Beschreibung der Planung, Durchführung und Auswertung der Versuche zur Erprobung der Einsatztauglichkeit des Systems. Daran schließen sich eine Diskussion der Ergebnisse und eine Vergleichsanalyse mit den herkömmlichen, HMD-basierten CAR-Systemen an.
- Auf Grund der bisherigen Erkenntnisse auf diesem Forschungsgebiet, den Beobachtungen und Messungen in den Versuchen und der Diskussion der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 5 eine allgemeine Nutzen-Kosten-Analyse der CAR-Systeme in der IH.
- Kapitel 6 bietet ein Fazit der gesamten Arbeit und erläutert mögliche Weiterentwicklungen des CARIHBA-Systems.

## 2 Computer Augmented Reality in der Instandhaltung

### 2.1 Umfeld Instandhaltung

Instandhaltung ist nach DIN 31 051 [Norm1] als „Gesamtheit der Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes von technischen Arbeitsmitteln, Anlagen und Gebäuden“ definiert und gilt somit als Oberbegriff für Inspektion, Wartung und Instandsetzung.<sup>1</sup>

Eine effiziente IH gewährleistet dauerhaft die Zuverlässigkeit der technischen Anlagen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten, in dem sie Sach- und insbesondere Personenschäden verhindert, die Nutzungsdauer von Maschinen, Apparaten bzw. Anlagen erhöht und die Betriebsmittelmengen minimiert [Röt01].

Jährlich werden in Deutschland beträchtliche Geldsummen für die IH vorhandener Anlagen ausgegeben. Aber der Kostenaufwand für eine genaue Einhaltung der vorgeschriebenen Wartungs- und Austauschintervalle und/oder für eine zustandsorientierte IH ist als nicht nennenswert zu bezeichnen, verglichen mit dem Verlust, der durch den Ausfall der Produktionseinheit z.B. auf Grund von Maschinenverschleiß oder nicht rechtzeitig ausgetauschter Ersatzteile entstehen kann. Denn die Ausfallkosten einer Anlage können durchaus das Hundert- oder Tausendfache der Instandsetzungskosten ausmachen und somit den anhaltenden Kostendruck auf den Betrieb verstärken.

Eine wirtschaftliche Führung von Industrieanlagen ist gewährleistet, wenn der zu erzielende Erzeugnispreis dem Markt angepasst und durch die Vermeidung oder Verringerung von Anlagenstillständen möglichst abgesichert ist. Dementsprechend kommt der IH der Gesamtproduktionsstätte eine zentrale Rolle zu, da sie die Verfügbarkeit der Anlagen und somit das Ergebnis des Unternehmens beeinflusst. Das Kostensenkungspotential in Bezug auf die Ausfallfolgen wird demnach einerseits durch den Hersteller der Ausrüstung/der Anlage und andererseits durch den Wissensstand und die Erfahrung des Personals für die Anlagenbedienung bzw. IH bestimmt.

Die IH-Arbeiten sollten also fachgerecht durch dafür geschultes Personal und in einem möglichst kurzen Zeitraum durchgeführt werden. Das IH-Personal kann wie folgt eingestuft werden [Röt01]:

- Anweisungsbedürftige (ohne fachliche Ausbildung),
- Sachkundige (angelernte Mitarbeiter mit langjähriger Erfahrung auf einem bestimmten Gebiet),
- Fachkundige (Mitarbeiter mit theoretischen und praktischen Fertigkeiten auf dem zutreffenden Fachgebiet),
- Kundige (Mitarbeiter mit umfangreichen übergreifenden Wissen und Erfahrung auf dem bestimmten Fachgebiet).

Das IH-Personal muss fähig sein, Arbeiten auf Grund von schriftlichen Anweisungen, Skizzen und Zeichnungen auszuführen, und zwar im Einklang mit der fortschreitenden Entwicklung der Produktionseinrichtungen. Eine herkömmliche Qualifikation reicht kaum mehr aus, und eine stetige Fortbildung des eingesetzten Personals ist unumgänglich, um dem ständig wachsenden Bedarf an hoch

---

<sup>1</sup> Weitere Definitionen der Inspektion, Wartung und Instandsetzung sind in [Norm1] zu finden.

qualifizierten und erfahrenen Instandhaltern zu begegnen. Bild 2.1 zeigt, dass in allen Industriezweigen mehr als 50% der IH-Aktivitäten von Spezialisten (Kundigen) durchgeführt werden.

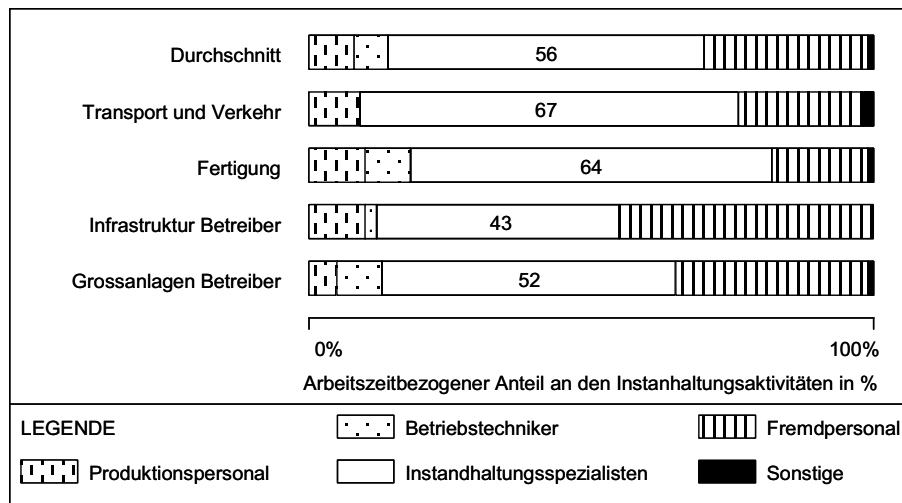


Bild 2.1: Personalressourcen in der Instandhaltung nach [Bri01]

Teilweise wird das Problem des Bedarfs an detailliertem Wissen durch eine präzise, vollständige und gut ausgestattete IH-Dokumentation gelöst.<sup>2</sup> Zu diesen Unterlagen gehören u.a. auch die IH-Anleitungen. Dies sind schriftliche Unterlagen, die befähigen sollen, alle notwendigen und erforderlichen Handlungen und Aktivitäten in ausreichender Qualität vorzubereiten, durchzuführen und auszuwerten. Sie stellen das externalisierte Wissen des Instandhalters dar.<sup>3</sup>

Die Dokumentation muss darüber hinaus aber auch das bisher gesammelte Erfahrungspotential um das Verhalten der Maschinen und Anlagen festhalten. Sie darf also nicht eine bloße Sammlung von technischen Daten darstellen, sondern soll nach der Logik der Instandhalter strukturiert werden [Jun92]. Allgemein gilt, dass fehlende Informationen im entscheidenden Moment Verzögerungen und somit Verlust (Kosten) bedeuten. Im umgekehrten Fall, d.h. bei zu vielen, nicht erwartungs- und erfahrungsgemäß systematisierten Daten, geht zu viel Zeit damit verloren, die richtige Information zu finden.

Die IH-Arbeit lässt sich als eine Form des menschlichen Handelns nach dem Rasmussen-Dreieck<sup>4</sup> analysieren [Ras86]. Wie bei jedem Vorhaben sind auch in der IH drei Stufen von menschlichen Reaktionen auf sensorische Eingänge erkennbar und nach steigender Komplexität und Reaktionszeit geordnet. Rasmussen spricht hierbei von fertigkeitbasiertem, regelbasiertem und wissensbasiertem Verhalten. Eine IH-Anleitung ist so zu gestalten, dass der Benutzer so viel wie möglich der zu erfüllenden Aufgaben regelbasiert, und nicht wissensbasiert, erledigen kann. Denn die IH-Arbeit kann nicht als effizient betrachtet werden, falls die IH-Dokumentation nur deklaratives Wissen, also Fakten über eine Anlage vermittelt, und damit wissensbasiertes Verhalten erfordert. In diesem Fall muss der Ausführende vor Ort die Anleitung durchblättern und den Ablauf seiner Arbeit (die ein-

<sup>2</sup> Die Anforderungen an Herstellerunterlagen nach [War92] sind im Anhang A, S. 110 aufgelistet.

<sup>3</sup> „Externalisiertes (...) Wissen – egal ob niedergeschriebenes, aufgemaltes, ausgedrucktes, digital kodiertes oder übertragenes Wissen, (...), haben sie doch einen gemeinsamen, einen materiellen Aggregatzustand“ [Voß01].

<sup>4</sup> Anhang B, S. 110

zelen Arbeitsschritte) selbst definieren. Die Hauptrolle einer IH-Anleitung ist das zum Handeln auffordernde prozedurale Wissen bereitzustellen [Kös92] und damit regelbasiertes Verhalten zu unterstützen. Sie muss ermöglichen, das Gerät/die Anlage gründlich zu verstehen und genau zu wissen, was zu tun oder was nicht zu tun ist, wie es zu tun ist, wann oder bis wann es zu tun ist und wie lange es dauern kann [Wer87].

Die Ermittlung der Arbeitsschritte bei einer IH-Aktivität soll durch die auftragsunabhängige Funktion der IH-Arbeitsplanung (IAP) [Hac87]<sup>5</sup>, die unter anderem auch die Arbeitsablaufplanung enthält, erfolgen.<sup>6</sup> Die Arbeitsablaufplanung liefert als Ergebnis die Prozeduren, die bei der IH-Aktivität einzuhalten sind, um die IH-Aufgaben durchzuführen (Bild 2.2). Diese Prozeduren werden, wie in der Literatur üblich [Fri03], auch in der vorliegenden Arbeit als Szenarien (Schritt-für-Schritt Anweisungen oder Engl.: step-by-step instructions) bezeichnet. Das Ziel dieser Planung ist, die Zeitdauer und den mentalen Aufwand bei der Durchführung der Aufgaben zu verkürzen.

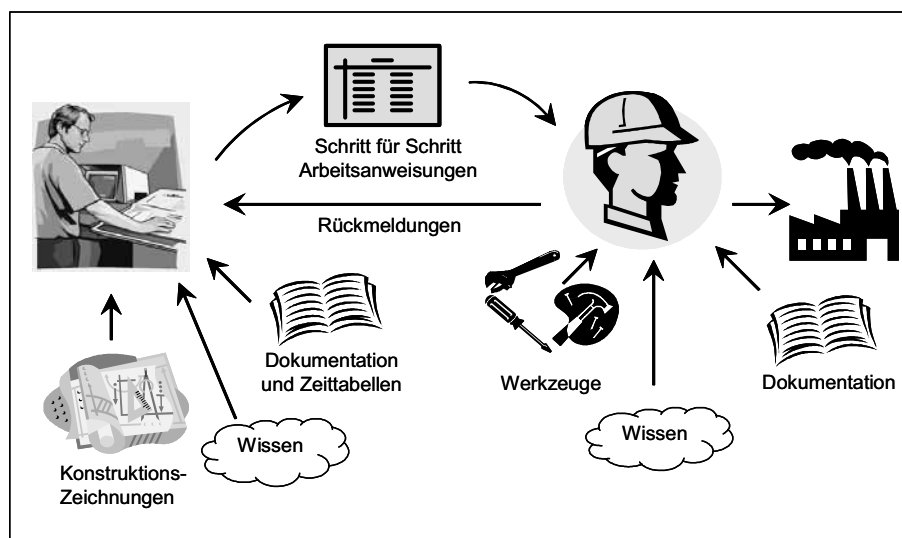


Bild 2.2: Arbeitsplanerstellung in der IH

Bei der Gestaltung von IH-Anleitungen, d.h. ihrer Struktur, Texte und Bilder, sollen die Erkenntnisse über die Eigenschaften der menschlichen Wahrnehmung berücksichtigt werden. Diese besagen, dass die Wahrnehmung [Wer87]:

- selektiv ist, also von Erfahrung und Erwartung abhängt;
- relativ ist, also z.B. durch Helligkeit oder Lautstärke der Umgebung beeinflusst wird;
- organisiert ist (z.B. unterliegt sie den Gestaltgesetzen) und
- individuell unterschiedlich ist (weil Faktoren wie z.B. Ausbildung und Intelligenz einen Einfluss ausüben).

<sup>5</sup> [Hac87]: Die Arbeitsvorbereitung ist gegliedert in IH-Arbeitsplanung (IAP), IH-Planung und -Steuerung (IPS) und IH-Analyse. IAP umfasst alle auftragsunabhängigen Funktionen zur Planung der IH. IPS beinhaltet alle auftragsabhängigen Funktionen zur Planung und Steuerung eines auszuführenden Auftrages. Die IH-Analyse beschäftigt sich mit auftragsabhängigen und auftragsübergreifenden Auswertungen von Auftragsmeldungen.

<sup>6</sup> Funktionen einer Arbeitsvorbereitung in der IH nach [War92] sind in Anhang C, S. 111 dargestellt.

Aus letztgenanntem Grund sollte eine IH-Anleitung für unterschiedliche Benutzer in verschiedenen Situationen auch entsprechende Inhalte und Informationsdarstellungsformen bereitstellen, die für ihr Erfahrungswissen geeignet sind. Die Informationen müssen in jedem Fall leicht verständlich und effektiv handhabbar sein [Jun92]. Für die grafischen Darstellungen sind auch einige Postulate des ökologischen Ansatzes der visuellen Wahrnehmung [Gib82] in Betracht zu ziehen (Invarianten, Blickwinkel usw.).

Diesen Forderungen wird leider nicht immer entsprochen. Oft sind die Instandsetzungsvorschriften, Schaltpläne, Funktionsdiagramme usw. mangelhaft. Nicht genormte, sondern herstellerspezifische Symbole werden verwendet, Änderungen und Ergänzungen nicht nachgetragen, so dass die Erkennung des Funktionsablaufes des zu wartenden Systems zeitaufwendig ist und ein hohes Konzentrationsvermögen verlangt. In der Praxis wird die Situation üblicherweise durch mehrere Faktoren zusätzlich verkompliziert [Beh05]:

- natürliche Vergessenskurve,
- Handhabung gedruckter Unterlagen,
- Interpretation technischer Unterlagen,
- optische Unzugänglichkeit,
- fehlende Bestandteile der Anlage und des Aggregats,
- Blickwechsel zwischen Dokumentation und dem zu betrachtenden Aggregat,
- Vertrautheit mit dem zu wartenden Aggregat.

Im Endeffekt führen alle genannten Faktoren zu einer Verringerung der Arbeitssicherheit, zur Verlängerung der Ausführungszeiten der IH-Aufgaben und/oder zu einer größeren Fehlerhäufigkeit bei der Arbeit, was die gesamten IH-Kosten erheblich erhöht. Die verlängerten Ausführungszeiten resultieren automatisch u.a. in höheren Personalkosten, welche den größten Anteil der IH-Kosten ausmachen (Bild 2.3).

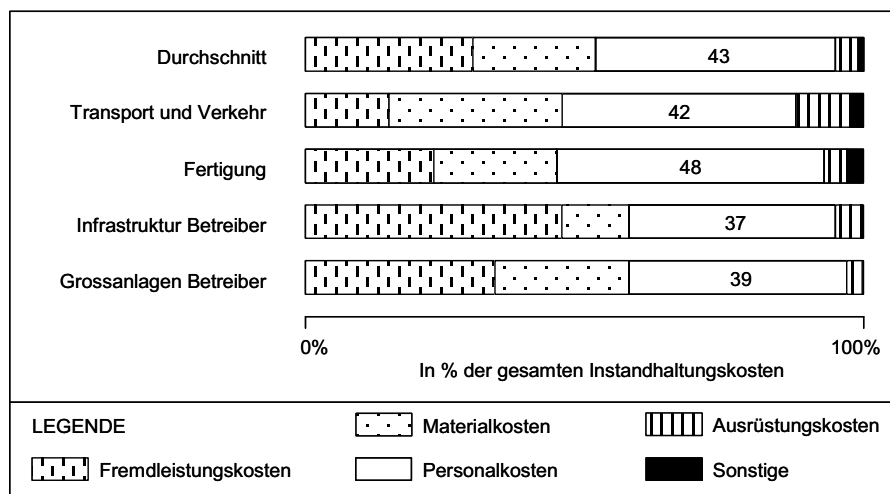


Bild 2.3: Kostenstruktur der Instandhaltung nach [Bri01]<sup>7</sup>

<sup>7</sup> „Unter Fremdleistungskosten werden hier die Kosten sowohl für Arbeitsleistung als auch das direkt gestellte Material verstanden.“ [Bri01, S. 202, Fußnote 782]

## 2.2 Computer Augmented Reality

### 2.2.1 Definition der CAR

CAR wird in folgenden Weisen definiert:

- eine Erweiterung der realen Welt mit rechnergenerierten Informationen [Mil94], [Kal00];
- eine Technik, die 3D-virtuelle Objekte in eine 3D-reale Umgebung integriert und diese Kombination in Echtzeit darstellt [Azu01];
- eine Technik, die einem Benutzer erlaubt, virtuelle, von einem Computer generierte Objekte gemeinsam mit der realen Umwelt wahrzunehmen [Beh05].

Im Unterschied zur Virtual Reality, die zum Ziel hat, den Benutzer so weit wie möglich in die rechnergenerierte Umgebung einzubeziehen und ihn dort wirken zu lassen, wirkt der Benutzer bei der Augmented Reality komplett in der realen Welt. Diese Abgrenzung ist am besten an Hand des in [Mil94] definierten „Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums“ (Bild 2.4) nachvollziehbar.

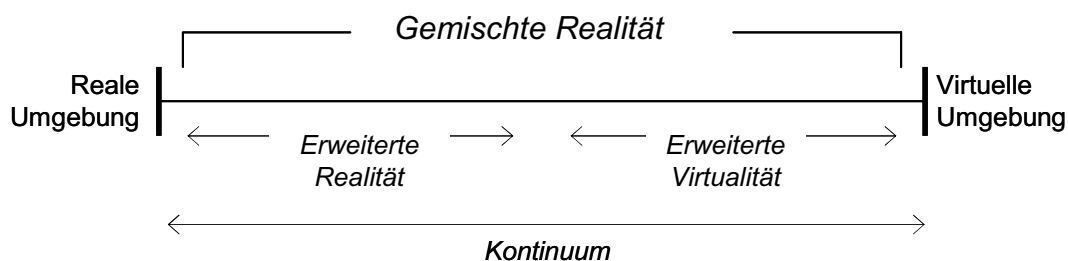


Bild 2.4: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum nach [Mil94]

Je mehr virtuelle Informationen eine Anwendung dem Benutzer zur Verfügung stellt, desto weiter rechts lässt sie sich auf dem Kontinuum einordnen. Die Augmented Reality-Anwendungen haben demnach einen starken Bezug zur Realität, die durch virtuelle Informationen bis zu einem gewissen Grad ergänzt wird.

Der Pionier dieser Technik ist Ivan E. Sutherland [Sut65], [Sut68]. Er konstruierte das erste kopfgebundene Anzeigegerät (Engl.: HMD) für Virtual und Augmented Reality-Anwendungen. Lange wurde CAR nur im Zusammenhang mit HMDs betrachtet. Wesentlich später wurde die Anwendung des Begriffes CAR von der Verwendung spezieller Geräte gelöst.

Für die Zwecke der vorliegenden Arbeit wird folgende Definition von Computer Augmented Reality festgelegt: CAR ist eine Technik, die dem Benutzer situationsgerechte (kontextabhängig und in Echtzeit), rechnergenerierte Informationen anbietet und ihm erlaubt, diese Informationen gemeinsam mit der realen Umgebung und der momentanen Situation wahrzunehmen, mit dem Ziel, das menschliche Wirken in der realen Welt zu verbessern. Die eingeblendeten virtuellen Objekte können, müssen aber nicht den Objekten in der Realität kongruent überlagert sein (Beispiel: eingeblendete Warnungen bei einem CAR-Einsatz in der IH).

### 2.2.2 CAR-Hardware

Aus diesen Definitionen kann der Hardwareaufbau von CAR-Systemen abgeleitet werden. Jedes CAR-System soll vier Komponenten beinhalten:



- ein Tracking-System,
- einen Rechner,
- ein Anzeigegerät und
- weitere Ein- und Ausgabegeräte (z.B. Headset).

Heutige kontinuierliche Positions- und Orientierungssysteme basieren auf unterschiedlichen Verfahren. Auf dem Markt sind elektromagnetische, trägheitsbasierte, ultraschallbasierte und andere Tracking-Systeme zu finden. Bei deren Auswahl für eine bestimmte Anwendung sind mehrere technische Eigenschaften dieses Systems (Auflösung, Genauigkeit, Datenrate, Aktualisierungsrate, Latenzzeit, Reichweite) zu beachten. Wichtig sind aber auch Eigenschaften wie Ergonomie und Akzeptanz durch den Anwender, Unempfindlichkeit gegenüber Umgebungseigenschaften, störungsfreies Wirken in der Umgebung, Eignung für kabellosen Betrieb und Wartbarkeit. Schließlich muss auch das Preis-Leistungs-Verhältnis stimmen. Ein ausführlicher Überblick über die Eigenschaften der Tracking-Systeme und deren Einsatz bei CAR in der IH ist in [Beh05] zu finden.

Für die meisten CAR-Anwendungen sind tragbare Rechner erforderlich. Eine Entwicklungsstufe über den tragbaren Rechnern befinden sich die so genannten Wearable Computers, welche am Körper getragen werden können. Die zwei Begriffe „Augmented Reality“ und „Wearable Computing“ sind von Anfang an gemeinsam betrachtet worden [Sta95]. Dem zugrunde liegt die Vorstellung, eines Tages solche Rechner zu haben, die fast unsichtbar sind und sich nahtlos in die Umgebung einpassen, wie etwa eine Sonnenbrille oder ein Teil der Kleidung. Sie sollten dabei u. a. ständig die Umgebungseigenschaften aufnehmen und dem Träger zusätzliche virtuelle, zu der Umgebung oder Situation passende Informationen bereitstellen.

Die Definitionen der CAR bieten eine ziemlich breite Auswahl an Anzeigegeräten. Herkömmlicherweise werden für CAR-Anwendungen HMDs verwendet. Sie besitzen den Vorteil, dass die Wahrnehmung der virtuellen Informationen zusammen mit der Realität direkt im Sichtfeld des Benutzers erfolgt. Zunehmend sind aber auch solche CAR-Anwendungen zu finden, die die Benutzung von PDAs, Tablet-PCs oder Projektoren voraussetzen. Die Auswahl eines Anzeigegerätes für die CAR-Anwendungen ist ebenso schwierig wie die Auswahl eines Tracking-Systems und muss für jede Anwendung überprüft werden. Dabei sollten Kriterien der ergonomischen Akzeptanz, Auflösung, Größe des Sichtfeldes, Anzeige-Auge-Abstand, Anzeigegröße, Aktualisierungsrate, Transparenz, Kontrast, Gewicht und andere berücksichtigt werden.

Auch die Auswahl und der Einsatz weiterer Ein- und Ausgabegeräte in den CAR-Systemen hängen von der Anwendung ab. Im Sinne der Idee von Wearable Computers werden aber solche Lösungen präferiert, die ein freihändiges Bedienen und die Mensch-CAR-Kommunikation überwiegend über Sprache ermöglichen.

### **2.2.3 CAR-Software**

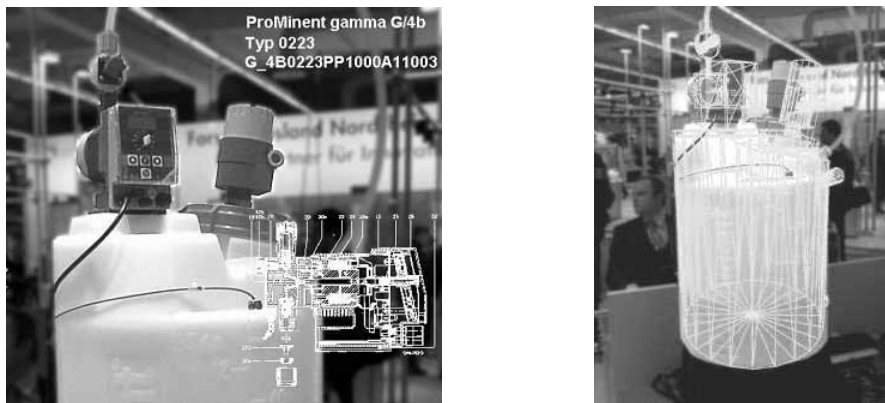
Softwaretechnisch betrachtet enthalten alle CAR-Systeme mindestens folgende vier Komponenten:

- Steuerung des gesamten CAR-System;
- Speicherung der Informationen, die die Realität überlagern sollen;
- Koordination aller benutzten Ein- und Ausgabegeräte und
- Verwaltung aller Daten.

Nähere Erklärungen zu diesen Systemkomponenten sind in Kapitel 2.4 und 3.2.1.2 zu finden.

#### 2.2.4 Anwendungsgebiete

Die CAR-Technik besitzt sehr viele Anwendungsgebiete. Eines davon ist der militärische Bereich, in dem sie bereits seit langem Einsatz findet. So werden z.B. den Piloten von Kampf- oder Zivilflugzeugen virtuelle Informationen in einem Head Up-Display präsentiert. Ein weiteres viel versprechendes Anwendungsgebiet ist die Medizin. Hier wird speziell in der Chirurgie oder bei Ultraschalluntersuchungen mit CAR-Unterstützung gearbeitet (u.a. [Sta96]). Darüber hinaus sind zahlreiche Prototypen auch für die Bereiche Kultur (z.B. Museen, u.a. [Lia04]), Sport (u.a. [Cav97]) und die Unterhaltungsindustrie (u.a. [Ohs99]) entwickelt worden. In der Industrie forscht man am Einsatz der CAR in der Architektur und Bauindustrie (u.a. [Kli01]), Montage (u.a. [Miz01]), Produktion (u.a. [Cau92]), Produktentwicklung (u.a. [Alt03]) sowie in der IH industrieller Anlagen (u.a. [Fri03]). Letztgenannter Bereich wird in der vorliegenden Arbeit untersucht, womit die bisherige Entwicklung am IPP (Bild 2.5) fortgesetzt wird.



*Bild 2.5: Beispiele für nicht kongruente und kongruente Überlagerung der Realität mit virtuellen Informationen nach [Elz01/2]*

#### 2.3 Einsatz der CAR in der Instandhaltung

Bei der Gestaltung oder der Analyse von Mensch-Maschine-Systemen und ihren Schnittstellen (z.B. für die Anwendung in der IH) müssen die Erkenntnisse verschiedener Wissenschaftsdisziplinen berücksichtigt und umgesetzt werden. Aus anwendungsbezogener Sicht sind u.a. das Fachwissen des Maschinenbaus, der Informatik und der Elektrotechnik relevant. Methodenorientiert betrachtet sind die Postulate der kognitiven Psychologie, Ergonomie sowie der System- und Softwaretechnik von Bedeutung [Joh93]. Schließlich dürfen die Aspekte der Arbeitspsychologie, Kultur und Politik nicht vergessen werden [She00], [Tri00].

Durch den Einsatz von Techniken wie Multi-Media (eine Kombination mehrerer Medien, wobei unter Medien Mittel zur Verbreitung von Informationen zu verstehen sind [Cha94]), Virtual Reality (eine dreidimensionale rechnergenerierte Umgebung, mit der ein Anwender in Echtzeit interagieren kann [Alt03]) oder CAR haben sich in den letzten Jahren die herkömmlichen Mensch-Maschine-Schnittstellen in Industrie und IH verändert.

Gemäß einer Taxonomie von Mensch-Maschine-Schnittstellen für Produktions- bzw. Fertigungsanlagen [Elz99/1], [Elz01/3] gibt es fünf Klassen von Arbeitsvorgängen: