

Konzeption zum Einsatz von Augmented Reality in der Leberchirurgie

TIM SUTHAU¹, MARCUS VETTER², PETER HASSENPFUG², HANS-PETER MEINZER²,
OLAF HELLWICH¹,

¹Technische Universität Berlin, Photogrammetrie und Kartographie
EB 9, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin

²Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. Med. und Biol. Informatik
Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg

Schlüsselwörter: Augmented Reality, Medizin, Nahbereichsphotogrammetrie, Visualisierung

Zusammenfassung: *Augmented Reality (AR) gewinnt zunehmende Bedeutung in der Forschung der virtuellen Realität. Bei einem Augmented Reality – System werden reale Bilder mit zusätzlichen Informationen ergänzt. Augmented Reality stellt somit die Verbindung zwischen realer und virtueller Welt her und ermöglicht die breite Anwendung in unterschiedlichen Bereichen. Diese Anwendungen werden mit Hilfe unterschiedlicher AR-Technologien realisiert. Wir haben unterschiedliche Technologien für die Augmented Reality Visualisierung verglichen. In dieser Arbeit werden verschiedene Technologien vorgestellt und hinsichtlich der technischen und klinischen Anforderungen untersucht. In einem weiteren Schritt analysieren wir den Stand der Forschung im Bereich der medizinischen Anwendungen. Darauf aufbauend entwickeln wir ein Konzept zur möglichen Anwendung von AR in der Leberchirurgie. Dieses Konzept basiert auf der Forschungsarbeit der Abt. Med. und Biol. Informatik des Deutschen Krebsforschungszentrums in Heidelberg. Neue Technologien und Methoden, welche im Heidelberger Softwaresystem integriert wurden, ermöglichen die Computer-Gestützte Leberchirurgie. Dabei wurden schon viele Werkzeuge und Methoden im klinischen Alltag getestet. Auf dieser Basis entwickeln das DKFZ in Heidelberg und die Technische Universität Berlin eine Strategie zur Anwendung von Augmented Reality. Es wird eine Technik entwickelt, die virtuelle Daten aus der Operationsplanung mit den realen Patientendaten verbindet und visualisiert.*

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung einer Konzeption zum Einsatz von Augmented Reality in der Leberchirurgie. Diese Arbeit basiert auf einer Kooperation zwischen der Photogrammetrie und Kartographie der Technischen Universität Berlin und der Abteilung Medizinische und Biologische Informatik am Deutschen Krebsforschungszentrum Heidelberg.

Augmented Reality gewinnt zunehmende Bedeutung in der Forschung der virtuellen Realität. Bei einem Augmented Reality – System werden reale Bilder mit zusätzlichen Informationen ergänzt. Augmented Reality stellt somit die Verbindung zwischen realer und virtueller Welt her. Dies ermöglicht die breite Anwendung in unterschiedlichen Bereichen, wie Medizin, Unterhaltung, Technisches Design, Produktion und Reparatur, Kundendesign, Militär und bei Informationssystemen. Diese Anwendungen werden mit Hilfe unterschiedlicher AR-Technologien realisiert. Wir haben unterschiedliche Technologien für die Augmented Reality Visualisierung (video see-through head-mounted display, optical see-through head-mounted display, virtual retinal display, slice display u.a.) verglichen.

In dieser Arbeit werden die verschiedenen Technologien vorgestellt und hinsichtlich der technischen und klinischen Anforderungen untersucht. In einem weiteren Schritt analysieren wir den Stand der Forschung im Bereich der medizinischen Anwendungen. Es ist festzustellen, dass bisherige medizinische Anwendungen für die Operationsplanung zum Einsatz, jedoch selten

während einer Operation zur Anwendung kamen. Daher stellt sich die Frage, welche AR-Systeme erfüllen weitgehend die medizinischen Besonderheiten und welche Probleme gilt es noch zu lösen. Darauf aufbauend entwickeln wir ein Konzept zur möglichen Anwendung von AR in der Leberchirurgie. Dieses Konzept basiert auf der Forschungsarbeit der Abt. Med. und Biol. Informatik des Deutschen Krebsforschungszentrums in Heidelberg:

Zur Planung chirurgischer Eingriffe bieten sich gerade für große innere Organe, wie die Leber, Computer-Gestützte Methoden an. Der komplexe anatomische Aufbau der Leber mit einem arteriellen und zwei venösen Gefäßbäumen und dem Gallengang ist ohne dreidimensionale Rekonstruktion nur schwer zu veranschaulichen. Zusätzlich sind während des Eingriffs anatomische Informationen wichtig, zum Beispiel die Lage der acht Lebersegmente und ihrer Grenzflächen. Weil die anatomischen Gegebenheiten je nach Patient variieren, bedarf es einer individuellen OP-Planung. Die Grundlage liefert dabei das Teleradiologie-System "CHILI", ein Software-System, das von der Segmentierung der wichtigen Bereiche über die Bearbeitung der Gefäßbäume bis hin zur Operationsplanung alles beinhaltet. Ein weiterer Schritt ist die Integration der Arbeitsschritte in den OP. Dabei werden die Daten visualisiert und es erfolgt eine Anbindung bzw. Navigation der chirurgischen Instrumente.

2. Navigation in der Leberchirurgie mit ARION™

Die Abteilung Medizinische und Biologische Informatik und die Chirurgische und Radiologische Klinik der Universität Heidelberg haben einen Prototyp eines bildgestützten Navigations-Systems (image-guided surgery system, IGSS) für die Anwendung in der onkologischen Leberchirurgie entwickelt. Dieses IGSS wird den Chirurgen in die Lage versetzen, sein Instrument in räumlicher Beziehung zu wichtigen Strukturen in der Leber zu sehen.

Für eine erfolgreiche Resektion eines Lebertumors (R0 Resektion) ist die Kenntnis der genauen Lage des tumorösen Gewebes und des einzuhaltenden, umgebenden Sicherheitsabstandes erforderlich [HASSEPLUG, 2001; HASSENPFLUG, 2001b; VETTER, 2001]. Die Chirurgen interessiert die möglichst exakte Übertragung der präoperativ am Computermodell geplanten Resektionsflächen auf den Operationssitus. Die komplexe Struktur der intrahepatischen Gefäßbäume wie der Lebervenen und der Portalvenen hilft den Chirurgen bei der Orientierung innerhalb der Leber. Die Verletzung eines zentralen Gefäßes, beispielsweise im Bereich des Lebervenenhauptstamms, stellt ein wesentliches intraoperatives Risiko für den Patienten dar. Durch die Verletzung von Sicherheitsabständen kann es zu einer Aussaat von Tumorzellen kommen. Der Transfer der präoperativen virtuellen Modelle und Planungsergebnisse auf den intraoperativen Situs umfasst intraoperative Bilddatenakquisition, Registrierung mit den präoperativen Daten, Deformationserfassung und -Modellierung, sowie eine adäquate Presentation der aktuellen Situation für den Chirurgen (s. Abb. 1).

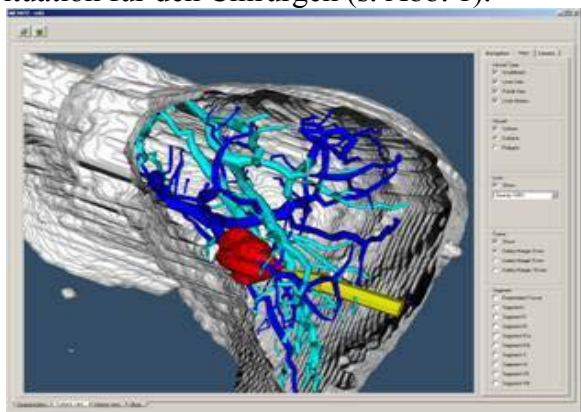


Abb. 1. Bildschirmauszug von ARION mit Sicht auf eine Oberflächenvisualisierung einer aufgeschnittenen Leber mit intrahepatischen Gefäßen, Tumor und Darstellung des virtuellen Instruments.

Die Abteilung Medizinische und Biologische Informatik des DKFZ realisiert einen Prototypen namens ARION™ (Augmented Reality for Intra-Operative Navigation), um in einem Schlüsselexperiment die Machbarkeit der bildgestützten Leberchirurgie nachzuweisen [MEINZER, 2002]. ARION beinhaltet die folgenden fünf Module, um die zuvor beschriebenen Visionen zu realisieren:

Modul 1:

Präoperativ werden routinemäßig Computertomographien (CT-Aufnahmen) der Leber angefertigt, so dass ein dreidimensionales anatomisches Abbild des Organs vorliegt, bei dem die Gefäße und der Tumor durch ein Kontrastmittel hervorgehoben sind. Nach dem Versand CT-Aufnahmen mittels des Teleradiologie-Systems CHILI® an eine Workstation im DKFZ werden die Aufnahmen mittels LENA, dem in Heidelberg bereits klinisch etablierten computergestützten Operationsplanungssystem des DKFZ, weiterverarbeitet. Dieses Modul stellt als Ergebnis mathematische Graphen-Modelle des portalen und venösen Gefäßbaumes, das tumorösen Gewebes mit umgebendem Sicherheitsabstand und berechnetem Resektionsvorschlag zur Verfügung.

Modul 2:

Intraoperativ werden die intrahepatischen Gefäßbäume aus dreidimensionalen Freihand-Doppler Ultraschall-Aufnahmen rekonstruiert und als mathematischer Graph modelliert. Die Gefäßgraphen beinhalten die zur Registrierung erforderlichen Merkmale wie Bifurkationen und Gefäßdurchmesser. Während der Ausführung der Module 2 bis 4 wird die bereits mobilisierte Leber in ihrer Lage fixiert [GLOMBITZA, 2001].

Modul 3:

Die räumliche Beziehung zwischen den prä- und intraoperativen Gefäßbäumen wird über eine rigide Grob- und eine sich anschließende elastische Feinregistrierung ermittelt. Aus dem resultierenden Verschiebungsvektorfeld kann auf die Deformation des Parenchyms zurückgeschlossen werden. Nach erfolgter Registrierung lassen sich die virtuell geplanten Strukturen über das Weltkoordinatensystems des verwendeten magnetischen Tracking-Systems im Operationssitus lokalisieren [VETTER, 2001b].

Modul 4:

Lokalisierbare Navigationshilfen, die aus einer Nadel, einer an der Spitze eingebauten Mikrospule und einem Weichteilanker bestehen, werden im registrierten Zustand an zuvor geplanten Stellen in der Nähe der interessierenden Zielstruktur in die Leber eingebracht. Ein Verschiebungsvektorfeld der aktuellen Deformation bezüglich dem initial registrierten Zustand kann durch ein Verformungsmodell ermittelt werden, das durch die Messwerte der Navigationshilfen parametrisiert wird. Dadurch kann der registrierte Zustand während der Resektion aufrecht erhalten werden [VETTER2002].

Modul 5:

Die ebenfalls mit dem magnetischen Tracking-System räumlich erfassten chirurgischen Instrumente werden in Beziehung zu den transparenten intrahepatischen Strukturen auf einem auto-stereoskopischen Flachbildschirm angezeigt, um eine adäquate Tiefenwahrnehmung zu ermöglichen [VETTER, 2002a, 2002b, 2002c].

3. Augmented-Reality

Augmented Reality (dt.: vergrößerte oder erweiterte Realität) bietet die Möglichkeit, reale Bilder mit zusätzlichen Informationen zu ergänzen und so eine Erweiterung sowohl der virtuellen als auch der realen Umwelt zu erreichen.

3.1 Displaytypen

Die Kombination von realer und virtueller Welt in einem gemeinsamen Bild erfolgt mit Hilfe unterschiedlicher Display-Technologien. Grundsätzlich lassen sich die Displaytypen in zwei Klassen unterteilen: in die der stationären Geräte und die der tragbaren, direkt vor dem Auge positionierten, Systeme:

Den stationären Systemen werden beispielsweise zugerechnet:

- Image Overlay Systeme
- Monitor-AR-Systeme
- Direkte Projektion

Zu den tragbaren Systemen gehören:

- Head-Mounted Display
 - Optical-See-Trough
 - Video-See-Trough
 - Mikroskopanwendungen
- Virtual Retinal Systeme
- Mikrodisplay

3.1.1 Stationäre Systeme

Stationäre Systeme besitzen meist einen halbdurchlässigen Spiegel, der sich im Blickfeld des Anwenders, z.B. eines Operators, befindet. Der Operator kann dann durch den halbdurchlässigen Spiegel den Patienten sehen und gleichzeitig sind für ihn in dem Spiegel die zusätzlichen Bilder, z.B. aus CT- oder MRT Aufnahmen, sichtbar (Abbildung 3).

Prinzipiell ist es auch möglich, stereoskopische Bilder mit diesem System zu verwenden, was eine bessere Anpassung der „zusätzlichen Informationen“ an die Realität, den Patienten, erlaubt. Dies lässt sich jedoch nur mit Hilfe von Shutterbrillen o.ä. erreichen. Dies würde jedoch den Vorteil zunichte machen, dass der Operateur nicht durch Brillen und Kabel in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt wird.

Genauso lässt sich die Verwendung der direkten Projektion denken. Hier wird ähnlich, wie bei einem Diaprojektor oder Beamer, die zusätzliche Information direkt auf das Objekt / Patienten projiziert. Diese Systeme sind jedoch kaum für den Operationsaal geeignet, da die Projektion schnell durch die anwesenden Personen verdeckt wird. Auch eine Stereoprojektion ist nicht möglich.

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von (Stereo)-Monitoren. Dafür kommen beispielsweise Systeme mit Shutterbrillen zum Einsatz. Am DKFZ wurden erfolgreiche Tests (VETTER, 2002c) zur Verwendung des Systems Dresden 3D, ein auto-stereoskopisches Display ohne Shutterbrille, durchgeführt.

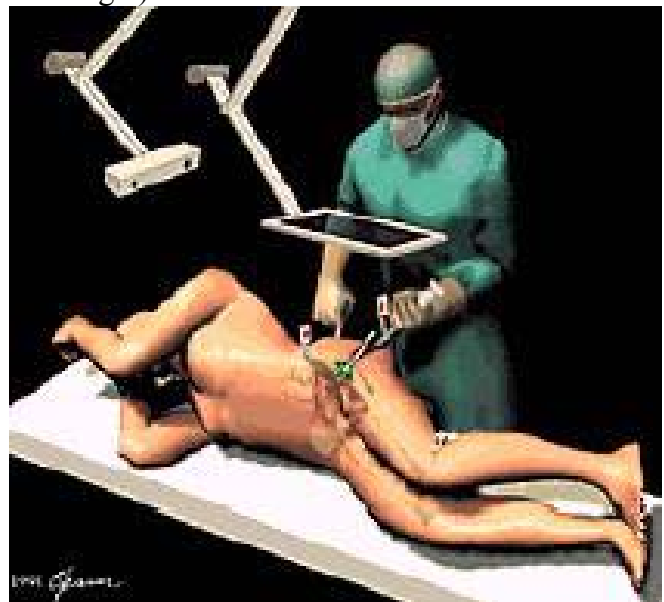


Abbildung 2: Verwendung eines halbdurchlässigen Spiegels (MEDARPA)

3.1.2 Tragbare Systeme

Bei den tragbaren Displaysystemen kommen meist die sogenannten Head-Mounted Displays (HMD) zum Einsatz. Das sind Displays, die, ähnlich wie Brillen, vor den Augen getragen werden. Head-Mounted Displays werden häufig im Bereich der virtuellen Realität eingesetzt. Sie wurden dafür entwickelt, den Benutzer in eine virtuelle Welt eintauchen zu lassen. Für Augmented Reality sind dabei allerdings nur die Systeme von Interesse, die zusätzlich einen Blick auf die „Außenwelt“, die Realität, ermöglichen. Dazu gibt es zwei Verfahrenswege: die Optical-See-Through- (OST-HMDs) und die Video-See-Through-Systeme (VST-HMDs). Bei den Video-See-Through Systemen geschieht dieses mit Hilfe von Videokameras, die in Augenhöhe montiert sind und den Bereich aufnehmen, den die Augen normalerweise sehen könnten, befände sich nicht die undurchsichtige „Brille“ vor ihnen. Diese Bilder werden nun im Rechner mit den zusätzlichen Bildern, die die Realität „erweitern“ sollen, verschmolzen und den Augen des Betrachters zugeführt (Abbildung 4 und 5).

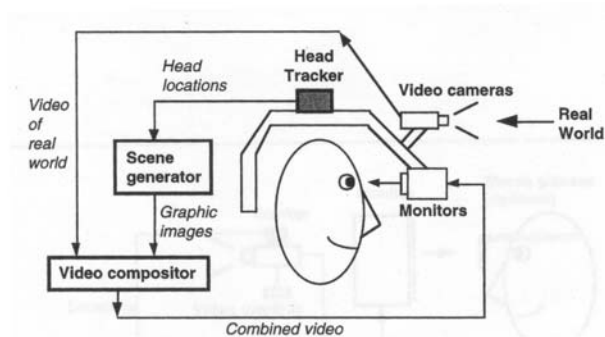


Abbildung 4: Aufbauschema eines VST-HMD [AZUMA, 2001]

Abbildung 5: VST-HMD: 5DT HMD 800

Im Gegensatz dazu gewähren die Optical-See-Through-Systeme direkt Sicht auf die „Außenwelt“. Dieses geschieht z.B. mit Hilfe halbdurchlässiger Spiegel, die sich vor den Augen befinden. In diesen spiegeln sich, im HMD montierte, Displays, die die zusätzlichen Bilder anzeigen (Abbildung 6 und 7).

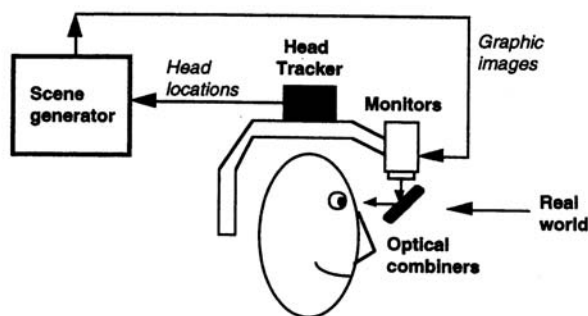


Abbildung 6: Aufbauschema eines OST-HMD [AZUMA, 2001]

Abbildung 7: OST-HMD: ProView XL40/50 STm Kaiser Electro-Optics Inc.

Eine Sonderstellung nimmt das Retina-Display (Virtual Retinal Display, VRD) ein, das von der Firma Microvision hergestellt wird [VIIRRE, 1998]. Bei diesem wird mit Hilfe von schwachen

Laserstrahlen das entsprechende Bild direkt auf die Netzhaut des Benutzers gezeichnet. Auch hierbei kann zusätzlich die „reale“ Welt gesehen werden. Von diesem System existieren aber zurzeit nur geringauflösende Varianten oder Prototypen (Abbildung 8 und 9).

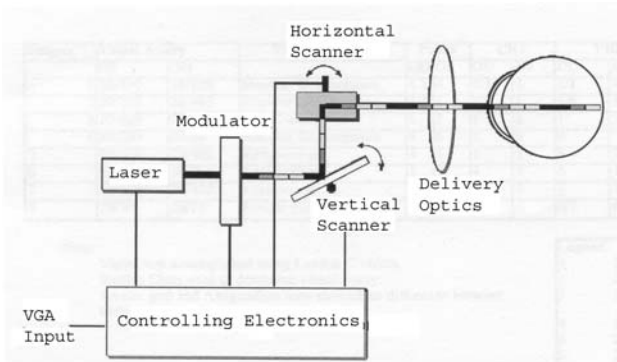


Abbildung 8: Aufbauschema eines VRD



Abbildung 9: VRD: Nomad Personal Display (MICROVISION)

Wenn die „zusätzlichen Informationen“ displaytechnisch von relativ anspruchsloser Natur sind, wie z.B. die Einblendung von Text oder Zahlen, bei denen eine geringe Displayauflösung ausreicht und keine stereoskopische Darstellung benötigt wird, können auch die so genannten Mikrodisplays zum Einsatz kommen. Als Beispiel dafür sei hier der M1 und dessen Nachfolgemodell M2 der kanadischen Firma Tek Gear genannt (Abbildung 10). Diese Firma hat sich auf den professionellen Einsatz von Mikrodisplays spezialisiert. Als Anwendung wird auch hierbei an die Arbeit von Chirurgen gedacht, die während einer Operation permanent die Körperfunktionen des Patienten überwachen müssen. Mikrooptical bietet ein Mikrodisplay an, das entweder vollständig in ein Brillenglas integriert oder als so genanntes Clip-On-Display an einer gewöhnlichen Brille befestigt werden kann. Das Besondere an diesem Display ist, dass das Bild von einem LCD zunächst in einen Lichtleiter gespeist und dann über ein Mikroprisma ins Auge projiziert wird (Abbildung 11).



Abbildung 10: Mikrodisplay (TEK GEAR)



Abbildung 11: Mikrodisplay (MIKROOPTICAL)

3.1.3 Optical vs. Video See Trough

Bei den herkömmlichen Optical-See-Through Systemen werden die Lichtstrahlen, die von der realen Außenwelt kommen, durch die halbdurchlässigen Spiegel stark abgeschwächt (Transmissionsgrad $< 50\%$), so dass diese wie durch eine Sonnenbrille wahrgenommen wird. Das eingeblendete Bild verliert durch den halbdurchlässigen Spiegel ebenfalls an Helligkeit. Beim Retina Display wird dieses Problem umgangen, da es dort keinen halbdurchlässigen Spiegel gibt. Die Laserstrahlen werden ebenfalls als sehr hell wahrgenommen, so dass insgesamt ein helles Bild entsteht. Die Anpassung des Displays an die Helligkeit der Umgebung bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen ist auch ein Problem, da das menschliche Auge logarithmisch arbeitet und einen extrem großen Helligkeitsbereich verarbeiten kann. Normale Displays decken nicht annähernd so große Bereiche ab. Beim Retina Display ist das möglicherweise anders. Einer der Vorteile aller Optical-See-Through Systeme (und auch des Retina-Displays) besteht darin, dass der Blick auf die reale Welt nicht durch die Auflösung des Displaysystems limitiert ist. Die zusätzlichen Informationen unterliegen zwar dieser Einschränkung, das ist jedoch weniger störend, als wenn das gesamte Bild davon betroffen wäre. Außerdem kann der Benutzer seine Bewegungen in der realen Welt ohne Zeitverzögerung und ohne Lageabweichungen, wie dies bei Video-See-Through Systemen auftreten kann, wahrnehmen. Dadurch findet sich dieser in der realen Welt besser zurecht. Dafür fällt es allerdings sehr schnell auf, wenn die Fehler zwischen realer Welt und den erweiternden Bildern zu groß werden. So kann es sein, dass das virtuelle (erweiternde) Bild der Realität etwas „hinterherhinkt“, was dann sofort bemerkt wird. Bei Video-See-Through-Systemen müssen beide Bilder (das reale und das virtuelle Bild) rechentechnisch verarbeitet werden, was gewisse Anforderungen an die Rechenleistung des Systems stellt. Da beide Bilder zu einem digitalen Bild, welches auf dem Display erscheint, verschmolzen werden, gibt es keinen Zeitversatz zwischen realem und erweiterndem Bild. Die Helligkeit der beiden Bilder kann ebenfalls leichter aufeinander abgestimmt werden. Die Video-See-Through Systeme sind sicherlich mehr für Simulationen geeignet, die ein Eintauchen in eine virtuelle Welt erlauben sollen, ohne dass Zeitverzögerungen zwischen realer und virtueller Welt diesen Eindruck stören sollen. Die Optical-See-Through Systeme bieten hingegen dort Vorteile, wo es um präzise Eingriffe in der realen Welt geht, bei denen es wichtiger ist, ein gutes, nicht zeitverzögertes Bild der realen Welt zu erhalten. Dabei haben die zusätzlichen Informationen dann ergänzenden Charakter.

In dieser Arbeit werden die Optical-See-Through Systeme weiter verfolgt, die gerade für medizinische Anwendungen, wo eine hohe Präzision der realen Bilder erforderlich ist, die geeignete Variante darstellen.

3.2 Anwendungen

Augmented Reality besitzt das Potential für vielfältige Anwendungen. Durch die vielfältigen bildgebenden Systeme der Medizin, bietet es sich gerade hier an, reale Patientenbilder mit virtuellen Daten, welche beispielsweise aus CT oder MRT Bildern gewonnen wurden zu verbinden. Somit können AR-Systeme für die Operationsplanung, die Operation selbst oder die medizinische Ausbildung genutzt werden. Im Bereich von Produktion und Reparatur eignen sich diese Systeme zum Darstellen komplexer Vorgänge.

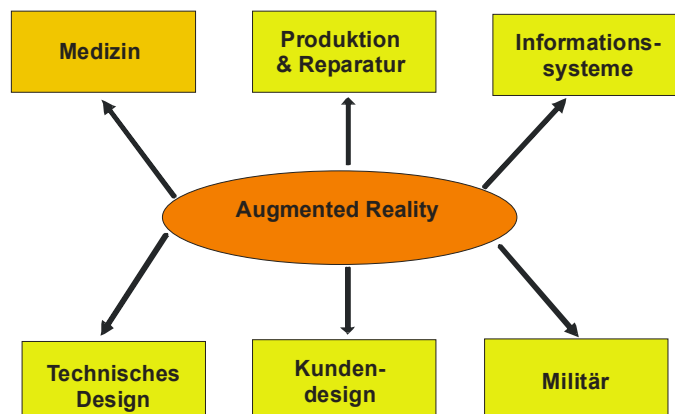


Abbildung 12: Augmented Reality Anwendungen

Des Weiteren werden AR-Technologien im Bereich des Kundendesign, z.B. zur Simulation von Innenarchitektur, und in der Unterhaltung (Wetterbericht) genutzt. Beim Militär können virtuelle Manöver bzw. Flugsimulationen durchgeführt werden. Bei den sogenannten Helmed Mounted Sights werden dem Piloten zusätzliche Informationen eingeblendet. Darüber hinaus sind noch vielfältige Anwendungen z.B. im Verkehr oder bei Informationssystemen allgemein (Stadtinformationssysteme, Museumsführungen) denkbar (Abbildung 12).

3.2.1 Medizinische Anwendungen

Bei den meisten medizinischen Anwendungen geht es um die Überlagerung präoperativ gewonnener virtueller Daten aus CT-, MRT- oder Ultraschallaufnahmen mit dem zu behandelnden Körperteil des Patienten. Somit können komplexe anatomische, z.T. sogar funktionelle Zusammenhänge, dargestellt werden.

Beispielsweise haben Forscher vom Department of Computer Science der Universität North Carolina, Chapel Hill, ein System entwickelt, welches dreidimensionale Bilder dem Körper des Patienten überlagert und somit innere anatomische Strukturen nichtinvasiv darstellt. Der Arzt nutzt ein tragbares HMD um eine Schwangere zu untersuchen. Mit Hilfe von Ultraschallbildern werden ihm dabei die dreidimensionalen Daten des Fötus eingeblendet und die Lagebeziehungen des Fötus zu den anderen Organen präsentiert.

In einer weiteren Anwendung verwendet GLEASON präoperative Daten zur Planung und Simulation neurochirurgischer Eingriffe. [BARFIELD, 2001]

Weitere Entwicklungen seien kurz angerissen:

- Eine Gruppe am TIMB in Grenoble, Frankreich entwickelten ein „Computer Assisted Medical Intervention“ Modul. [LAVALLEE,1990]
- Eine Gruppe der Universität Chicago entwickelten eine Methode „Interactive 3D Patient – Image Registration“. [PELIZZARI,1991]
- Eine Gruppe an der Stanford Universität entwickelten „Treatment Planning for a Radiosurgical System with General Kinematics“ [SCHWEIKARD,1994]
- Eine Gruppe an der Universität North Carolina entwickelten eine Methode „Merging Virtual Object with the Real World“ [BAJURA,1992]

Andere Arbeiten mit Augmented Reality auf dem Gebiet der computergestützten Chirurgie sind z.B. bei [BETTING,1995; GRIMSON, 1995; LORENSEN,1993; MELLOR , 1995 und UENOHARA, 1995] zu finden.

3.3 Anforderungen an AR-Systeme

Durch die vielfältigen Anwendungen und entsprechende Auswahl an Displaytypen leiten sich eine Vielzahl von Anforderungen an ein AR System ab. So kann man technische Anforderungen und Anforderungen die die Wahrnehmung des Nutzers betreffen unterscheiden. Jedoch sind die Anforderungen eng miteinander verknüpft und lassen sich oft nicht trennen. In Abbildung 13 sind die allgemeinen Anforderungen und ihre Beziehungen untereinander aufgelistet. Im Folgenden sollen die davon abgeleiteten klinischen und technischen Anforderungen an einem Einsatz in der Leberchirurgie erläutert werden.

3.3.1 Klinische und technische Anforderungen

Beim Einsatz von Augmented Reality in der Leberchirurgie ist der Schritt von der Operationsplanung zum Einsatz im Operationsaal geplant. Dies erhöht die Anforderungen an ein entsprechendes System. Alle Komponenten müssen der Unterstützung des Operators dienen und dürfen ihn keinesfalls behindern, um die entsprechende Akzeptanz zu erreichen. Die gelingt nur bei höchster Genauigkeit und stellt damit hohe Anforderungen an Tracking und Registrierung. Ebenso ist die Echtzeitfähigkeit und Sicherheit des Systems zu gewährleisten. Bei den Optical-See-Through Systemen wird das virtuelle Bild in einer gewissen Distanz vom Nutzer projiziert. Diese Distanz ist meist fix, sollte jedoch einstellbar, zumindest in der zum operierenden Objekt liegenden Entfernung sein.

Dem Operator soll mit Hilfe der aus der präoperativen Segmentierung gewonnenen Daten die Orientierung bei der Operation erleichtert werden. Dies erfordert nicht nur die Tiefennavigation der Instrumente. Auch sämtliche virtuelle Daten sollten räumlich projiziert werden.

Dagegen sollten monochrome Displays für unsere Anwendung ausreichend sein. Dabei sollte man beachten, dass monochrome Displays oftmals eine höhere Lichtdurchlässigkeit besitzen, da diese nur für eine Wellenlänge abgedunkelt sind. Weiterhin sollte die Auflösung der projizierten virtuellen Daten hoch genug sein, um hilfreich den Operationsverlauf zu beeinflussen. Bei der Nutzung eines Optical-See-Through HMD wird die reale Welt in voller Auflösung wahrgenommen. In Übereinstimmung mit diesen Anforderungen sollte das System nicht nur schnell, genau und hochauflösend sein, sondern auch leicht, robust und relativ preiswert sein um eine breite Akzeptanz zu finden.

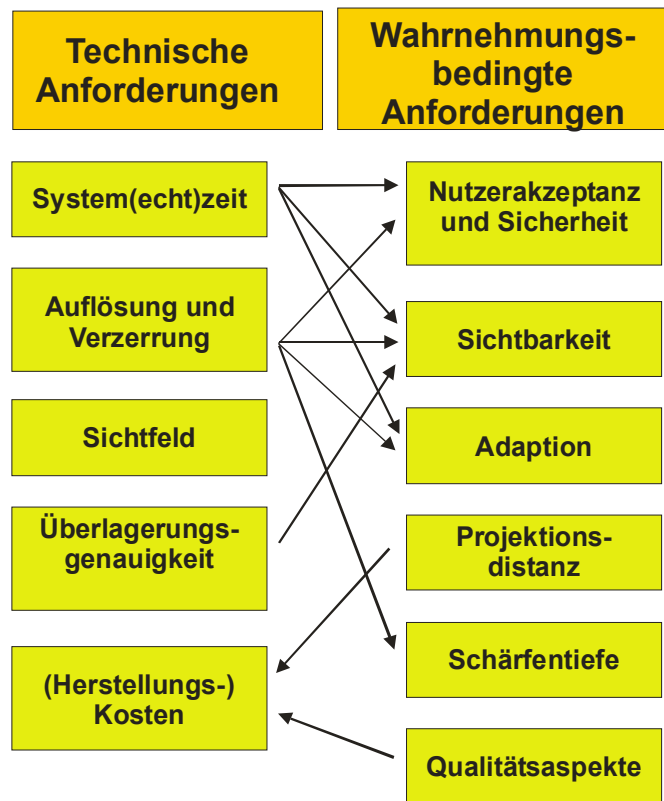


Abbildung 13: Allgemeine Anforderungen an AR Systeme und ihre Beziehungen zueinander nach ROLLAND, FUCHS (2001)

3.4 Konzept für Augmented Reality in der Leberchirurgie

Die Voraussetzungen für den Einsatz von Augmented Reality in der Leberchirurgie ist durch die im Abschnitt 2 behandelten Module 1-5 des ARION™-Systems gegeben. Die zukünftige Erweiterung soll die Anbindung an die See-Trough-Technologie gewährleisten. In Abbildung 15 ist das Aufbauschema eines solchen Systems dargestellt. Der Unterschied zwischen der heutigen und zukünftigen Arbeitsweise ist in Abbildung 14 illustriert.

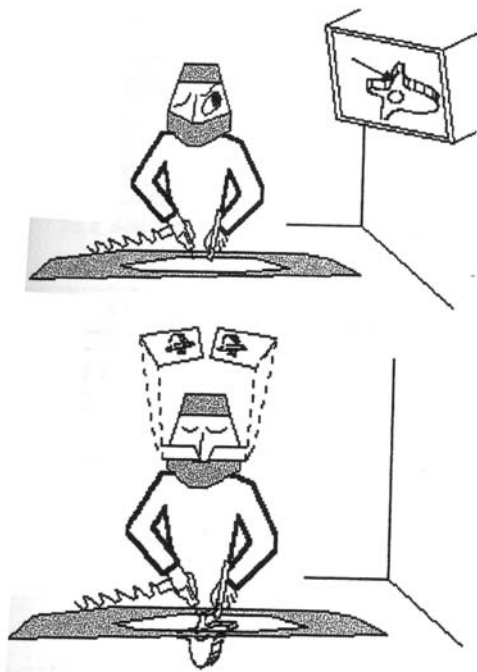


Abbildung 14: Heutige und zukünftige Arbeitsweise der computergestützten OP nach PEUCHOT (1993)

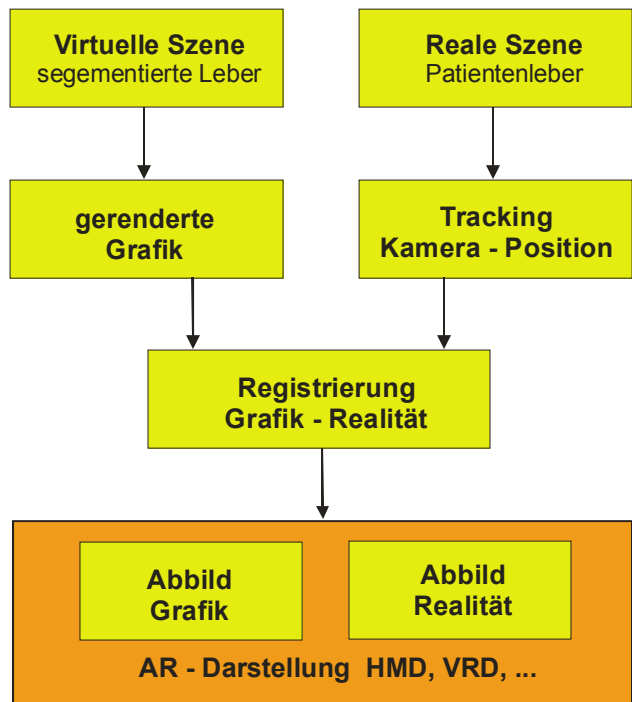


Abbildung 15: Aufbauschema eines AR-Systems für die Leberchirurgie

3.6 Ausblick

Neue Technologien und Methoden, welche im Heidelberger Softwaresystem integriert wurden, ermöglichen die Computer-Gestützte Leberchirurgie. Dabei wurden schon viele Werkzeuge und Methoden im klinischen Alltag getestet. Auf dieser Basis entwickeln das DKFZ in Heidelberg und die Technische Universität Berlin eine Strategie zur Anwendung von Augmented Reality. Es wird eine Technik entwickelt, die virtuelle Daten aus der Operationsplanung mit den realen Patientendaten verbindet und visualisiert.

4. Referenzen

- AZUMA, 2001: R.T. Azuma "Augmented Reality: Approaches and Technical Challenges", Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, W. Barfield, Th. Caudell (eds.), Mahwah, New Jersey, 2001, pp 27-63.
- BAJURA, 1992: M. Bajura, H. Fuchs, and R. Ohbuchi. "Merging virtual objects with the real world: Seeing ultrasound imagery within the patient" Computer Graphics, ACM SIGGRAPH, July 1992, pp. 203-210.
- BARFIELD, 2001: W. Barfield, Th. Caudell, "Basic Concepts in Wearable Computers and Augmented Reality", Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, W. Barfield, Th. Caudell (eds.), Mahwah, New Jersey, 2001, pp 3-26.
- BETTING, 1995: F. Betting, J. Feldmar, et al. "A New Framework for Fusing Stereo Images with Volumetric Medical Images. Proceedings of Computer Vision", Virtual Reality, and Robotics in Medicine '95 . Nice, France, Springer-Verlag, 1995, pp. 30-39.
- GLOMBITZA, 2001: G. Glombitza, M. Vetter, P. Hassenpflug, C. Cárdenas, I. Wolf, V. Braun, C. Gieß, H. Evers, W. Lamadé, H.P. Meinzer, "Verfahren und Vorrichtung zur Navigation bei medizinischen Eingriffen" Internationale Patentanmeldung PCT/DE010397223.101, München, 2001.
- GRIMSON, 1995 : W. E. L. Grimson, G. J. Ettinger, et al. "Evaluating and Validating an Automated Registration System for Enhanced Reality Visualization in Surgery", Proceedings of Computer Vision, Virtual Reality, and Robotics in Medicine '95 . Nice, France, Springer-Verlag, 1995, pp. 3-12.

- HASSENPFUG, 2001: P. Hassenpflug, M. Vetter, M. Thorn, C. Cárdenas, G. Glombitza, W. Lamadé, G.M. Richter and H.-P. Meinzer, "Navigation in liver surgery – requirement analysis and possible solutions", Proceedings of the Fifth Korea-Germany Joint Workshop on Advanced Medical Image Processing, M.H. Kim and H.-P. Meinzer, Ewha Womans University, Seoul, Korea, May 15th/16th, 2001
- HASSENPFUG, 2001b: P. Hassenpflug, M. Vetter, C. Cárdenas, M. Thorn and H.-P. Meinzer, "Navigation in liver surgery - results of a requirement analysis". Computer Assisted Radiology and Surgery, CARS 2001 - Proceedings of the 15th International Congress and Exhibition, H. U. Lemke, M. W. Vannier, K. Inamura, A. G. Farman and K. Doi (eds), Berlin, June 27 - 30., Elsevier, Amsterdam, vol. ICS 1230 (2001) 1162.
- LAVALLEE, 1990: Lavallee and Cinquin, "Computer assisted medical interventions" 3D Imaging in Medicine, volume 60 of NATO ASI, F, K. H. Hohne et al., editor, Heidelberg, 1990, pp. 301–312.
- LORENSEN, 1993 : W. Lorensen, H. Cline, et al. (1993). "Enhancing Reality in the Operating Room." Proceedings of the 1993 IEEE Visualization Conference, 1993, pp.410-415.
- MEINZER, 2002: H.P. Meinzer, P. Hassenpflug, M. Vetter, G. da Silva Jr., M. Thorn, C. Cárdenas, G. M. Richter, W. Lamadé, M. Büchler, "Navigation in liver surgery: From Vision to Reality" Proceedings of the Sixth Korea-Germany Joint Workshop on Advanced Medical Image Processing, Meinzer HP, Kim MH (eds), Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg, May 2nd/3rd, 2002.
- MELLOR, 1995: J. P. Mellor, "Enhanced Reality Visualization in a Surgical Environment" AI Lab. Cambridge, MA, Massachusetts Institute of Technology, 1995, pp. 102.
- PELIZZARI, 1991: C. A. Pelizzari, K. K. Tan, D. N. Levin, G. T. Y. Chen, and J. Balter. "Interactive 3d patient-image registration", Information Processing in Medical Imaging, Wye, UK., July 1991, pp.132–141.
- PEUCHOT, 1993: B. Peuchot, "Camera virtual equivalent model: 0.01 pixel detectors", Special issue on 3D Advanced Image Processing in Medicine in Computerized Medical Imaging and Graphics, 1993, 17 (4/5), pp.289-294.
- ROLLAND, 2000: J.-P. Rolland, H. Fuchs, "Optical versus video-see-through head-mounted displays in medical visualisation", Presence, Vol. 9, No.3, June 2000, pp 287-309.
- SCHWEIKARD, 1994: A. Schweikard, R. Tombropoulos, L. Kavraki, J. R. Adler, and J.-C. Latombe. "Treatment planning for a radiosurgical system with general kinematics" Robotics and Automation, IEEE, San Diego, CA., May 1994, pp. 1720–1727.
- UENOHARA, 1995: M. Uenohara, T. Kanade "Vision-Based Object Registration for Real-Time Image Overlay" Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine: CVRMed '95 . N. Ayache., Berlin, Springer-Verlag, 1995, pp. 14-22
- VETTER, 2001: M. Vetter, P. Hassenpflug, M. Thorn, C. Cárdenas, G. Glombitza, W. Lamadé, G. M. Richter and H.-P. Meinzer, "Navigation in der Leberchirurgie - Anforderungen und Lösungsansatz.", Rechner- und sensorgestützte Chirurgie, SFB 414, Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings, Wörn H, Mühling J, Vahl C, Meinzer HP (eds) Gesellschaft für Informatik, Bonn, vol P-4 (2001) 92-102.
- VETTER, 2001b: M. Vetter, P. Hassenpflug, G. Glombitza, I. Wolf, H.P. Meinzer, "Verfahren, Vorrichtung und Navigationshilfe zur Navigation bei medizinischen Eingriffen", Internationale Patentanmeldung PCT/DE01/03971.101, München, 2001.
- VETTER, 2002: M. Vetter, P. Hassenpflug, I. Wolf, M. Thorn, C. Cárdenas, L. Grenacher, G.M. Richter, W. Lamadé, M.W. Büchler, H.P. Meinzer, "Intraoperative Navigation in der Leberchirurgie mittels Navigationshilfen und Verformungsmodellierung" Bildverarbeitung für die Medizin 2002, M. Meiler, D.Saupe, F. Kruggel, H. Handels, T. Lehmann (eds.), 2002, pp. 73-76.
- VETTER, 2002a: Vetter M, Hassenpflug P, Thorn M, Cárdenas C, Richter GM, Lamadé W, Herfarth C, Meinzer HP: Evaluation of Visualization Techniques for Image-Guided Navigation in Liver Surgery. In: Westwood JD, Hoffman HM, Robb RA, Stredney D: Proceedings Medicine Meets Virtual Reality (MMVR 02/10).pp. 536-541, IOS Press, Amsterdam, 2002.
- VETTER, 2002b: Vetter M, Hassenpflug P, Thorn M, Cárdenas C, Grenacher L, Richter GM, Lamadé W, Herfarth C, Meinzer HP: Superiority of autostereoscopic visualization for image-guided navigation in liver surgery. In: Mun SK (ed): Medical Imaging 2002 - Visualization, Image-Guided Procedures, and Display. Proceedings SPIE Conference Medical Imaging, Vol. 4681, 23-28 February 2002, San Diego, CA, USA, 2002.
- VETTER 2002c: Vetter M, Hassenpflug P, Thorn M, Cárdenas C, Grenacher L, Richter GM, Lamadé W, Büchler MW, Meinzer HP: Auto-Stereoscopic Visualization for Image-Guided Liver Surgery. Proceedings

of the Sixth Korea-Germany Joint Workshop on Advanced Medical Image Processing, Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg, Germany, May 2nd / 3rd, 2002.

VIIRRE, 1998: E. Viirre, H. Pryor, S. Nagata, T.A. Furness, "The Virtual Retinal Displa: A New Technology for Virtual Reality and Augmented Vision in Medicine", Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality, San Diego, California, USA, 1998, pp252-257, Amsterdam: IOS Press and Ohmsha