

# MEDIZINISCHE INFORMATIK

LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN



Hausarbeit

Aufgabensteller: Prof. Dr. med. Jürgen Stausberg

Abgabedatum: 15.1.2009

## **Nutzung von Head Mounted Displays in der Medizin: Bericht über den aktuellen Stand**

Sascha Schreier

# Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	3
2. Einleitung.....	4
3. Material & Methoden .....	5
4. Ergebnisse .....	5
4.1. Überblick verschiedener Geräte und Technologien.....	6
4.1.1. Monochrome HMDs.....	6
4.1.2. Monokulare HMDs .....	7
4.1.3. Biokulare HMDs.....	7
4.1.4. Binokulare HMDs.....	7
4.1.5. Lichtundurchlässige HMDs .....	7
4.1.6. See-through HMDs .....	8
4.2. Aktuelle Entwicklungen .....	10
4.2.1. Pixelgenaue Ausblendung des realen Hintergrundes .....	11
4.2.2. Projection HMDs .....	12
4.3. Anwendungen in der Medizin .....	12
4.3.1. Simulation der Lunge .....	13
4.3.2. Ophthalmologie (Augenheilkunde).....	14
4.3.3. Endoskopie .....	15
4.3.4. Neurochirurgie .....	16
4.3.5. Biopsie .....	16
4.3.6. Gynäkologie.....	17
4.3.7. Orthopädie .....	18
4.3.8. Anästhesiologie .....	19
5. Diskussion.....	20
6. Literatur.....	21
7. Danksagung .....	29

## 1. Zusammenfassung

In der Medizin können Head Mounted Displays zu einer Unterstützung und Verbesserung der Abläufe führen. Sie werden dabei in Forschungsprojekten und Studien der computergestützten Chirurgie, der Gynäkologie, der medizinischen Schulung und der Rehabilitation benutzt.

Dennoch werden sie im medizinischen Alltag aktuell nicht eingesetzt. Die Gründe dafür sind die mangelnde Ergonomie der Geräte, Integrationsschwierigkeiten, Fehlen von klaren Indikationen, und hohe Kosten.

Die vorliegende Arbeit stellt die zur Verfügung stehenden Geräte und Technologien dar, beschreibt deren Hauptdefizite im Einsatz, und geht dann auf einige Anwendungsszenarien ein.

## 2. Einleitung

Head Mounted Displays (HMDs) sind am Kopf getragene Anzeigeelemente mit einer Optik, die meist in einer Art Helm oder einer Brille integriert sind. (siehe **Abbildung 1**) Dadurch präsentieren sie ihren Benutzer eine virtuelle oder eine erweiterte Realität, in der dieser in eine künstliche Welt vollständig eintauchen und interagieren kann („Virtual Reality“, VR) bzw. in der die reale Welt durch Zusatzinformationen ergänzt wird („Augmented Reality“, AR). [35]

In der Medizin ermöglichen diese HMDs den Ärzten und dem medizinischen Personal einen Mehrwert durch Überlagerung verschiedener Bilder, dreidimensionale Interaktionen und Visualisierungen, eine verbesserte Hand-Augen-Koordination, und eine Minimierung benötigter Interaktionssysteme im chirurgischen Ablauf. [51] So wird dem Arzt zum Beispiel eine dreidimensionale Darstellung der inneren Organe eines Patienten eingeblendet, die mit dem Bild des realen Menschen überlappt. (siehe **Abbildung 2**)



Abbildung 1: Beispiel eines Head Mounted Displays von Viking Systems. [62]

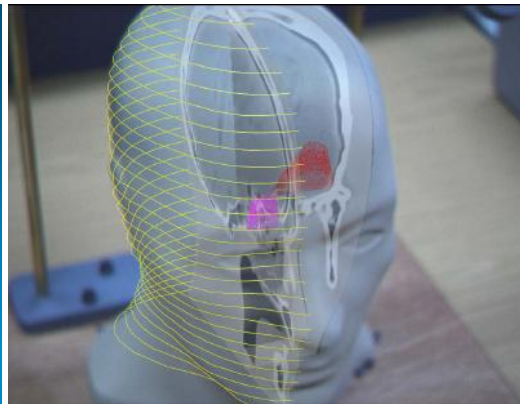


Abbildung 2: Ein Phantom, das mit Bilddaten aus einem CT-Scan überlagert wird. [65]

Den Patienten kommen zusätzlich durch die Nutzung von HMDs noch weitere Möglichkeiten der Rehabilitation zu Gute, zum Beispiel in der Augenheilkunde.

Doch werden diese Möglichkeiten im medizinischen und klinischen Alltag genutzt, und wenn ja wie? Welche aktuellen Geräte stehen dafür zur Verfügung?

Diese Frage nach dem aktuellen Stand der Nutzung von HMDs in der Medizin wird in der vorliegenden Arbeit beantwortet. Nach einem Überblick über die Fortschritte in der Technologie wird auf deren Anwendung in der Medizin eingegangen.

### **3. Material & Methoden**

Um aktuelle, relevante und konkrete Informationen aus Kliniken und Universitäten im In- und Ausland zu erhalten, basiert die Recherche auf mehreren elektronischen und persönlichen Gesprächen und der Suche nach Fachartikeln in diversen Datenbanken und Veröffentlichungen.

### **4. Ergebnisse**

Seit Entwicklung der ersten Prototypen und Geräte durch Ivan Sutherland, [58] sind große Fortschritte in der Anzeige- und Kameratechnik bzgl. der Farbdarstellung, Auflösung, Bildwiederholrate, Größe und Handlichkeit, erzielt worden. Weiterhin machen sinkende Preise der eingesetzten Technologien und höhere Rechenleistung den Einsatz von HMDs in der Medizin praktikabler. [22] [51]

Die oftmals notwendige Technik der „Bild-Registrierung“, also der Überlagerung und Skalierung von entsprechenden medizinischen (Bild-)Daten, wird von bekannten Firmen wie Brainlab, Medtronic und Siemens Healthcare heutzutage bereits eingesetzt.

Auch das Tracking der am Kopf getragenen Geräte durch vorwiegend optische oder magnetische Verfahren wird erfolgreich eingesetzt, wobei sich keine der beiden Lösungen gegenüber der anderen durchsetzt. Ein Grund sind die unterschiedlichen Vor- und Nachteile, denn die optischen Tracker benötigen eine Sichtverbindung, wohingegen die magnetischen Tracker sind störanfälliger gegenüber Einflüsse der Umgebung sind (z.B. metallische Flächen und elektrische Geräte). [50] [20] [65] [6] Zusätzlich kann ein „eye tracking“ vorgenommen werden, um bei einem Verrutschen des HMDs, die Projektion anzupassen, Projektionsfehler (Tiefe und Winkel) zu minimieren, [44] und um weitere Interaktionsmöglichkeiten durch Augenbewegungen zu ermöglichen. [3]

Eine Übersicht aktueller und älterer Head Mounted Displays und Tracking-Systeme ist auf den Internetseiten [18] und [11] zu finden. Allerdings fehlen in den Auflistungen noch die Produkte von Northern Digital Inc. und Life Optics. Geräte von Viking Systems stammen ursprünglich von Rockwell Collins, und werden unter diesem Namen dort vertrieben.

Zusätzlich entwickelt sich ein Markt u.a. im Bereich „Total Immersion“ für das (Home-) Entertainment und die Freizeitparkgestaltung, welches die Entwicklung neuer HMDS fördern könnte.

Trotz dieser Vielzahl an angebotenen Geräte, und die in der Einleitung genannten Vorteile, ist der Einzug von HMDs in den medizinischen und klinischen Alltag noch nicht erfolgt. Allgemeine Gründe dafür sind:

- Ergonomische Einschränkungen durch Größe, Gewicht und ungewohnte Bedienung der Geräte
- Integrationsschwierigkeiten der Technologie in den klinischen Arbeitsablauf einer hochgradig organisierten Umgebung (z.B. steriler Operationsraum)
- Mangel an klaren klinischen Indikationen für den Einsatz der Geräte
- Hohe Kosten

Allerdings wird aktiv geforscht, um diese Punkte zu verbessern. (siehe 4.2)

Bis dahin wird der Einsatz verschiedener vielversprechender Typen in Forschungsprojekten und Studien an Universitäten und Kliniken getestet. Diese besitzen unterschiedliche Vor- und Nachteile, die den Einsatz in der Medizin betreffen.

## **4.1. Überblick verschiedener Geräte und Technologien**

### **4.1.1. Monochrome HMDs**

Zu Zeiten der ersten HMDs waren diese noch monochrom und damit hauptsächlich für Text- und Symbolinformationen geeignet. Der Vorteil lag in dem hohen Kontrast der Displays, [41] was heute aber auch durch „video see-

through displays“ und „Virtual Retinal Displays“ für farbige Displays erreicht wird.

#### **4.1.2. Monokulare HMDs**

Um ein großes peripheres Sehfeld auf die reale Welt und die Interaktion mit ihr zu ermöglichen, und trotzdem die Vorteile zusätzlich eingeblendeter Informationen zu nutzen, wird nur ein Display vor das stärkere Auge gesetzt, das Zweite bleibt frei. Damit ist ein reines monoskopisches Betrachten der Einblendungen möglich.

Firmen die diese Geräte heutzutage vertreiben sind zum Beispiel MicroOptical und MicroVision.

Jedoch gibt es auch einige Studien, die zeigen, dass die getrennte Betrachtung der Realität auf dem einen Auge und des Displays auf dem anderen Auge, zu Desorientierung, Ermüdung, Kopfschmerzen und Augentränen führen kann. [38][28]

#### **4.1.3. Biokulare HMDs**

Geräte, bei denen vor jedem Auge das gleiche Bild projiziert wird, [40] werden heute nur noch wenig eingesetzt. Ein Grund ist das Fehlen der stereoskopischen Darstellung, die dem Benutzer eine dreidimensionale Darstellung der Bildinhalte erlauben würde.

#### **4.1.4. Binokulare HMDs**

Diese stereoskopische Darstellung bieten binokulare HMDs, die den Augen zeitgleich getrennte Stereobilder zeigen, und damit zu einer Tiefenwahrnehmung führen. [30]

#### **4.1.5. Lichtundurchlässige HMDs**

Durch die vollständige Ausblendung des Hintergrundes bei lichtundurchlässigen (opaken) Displays, erreicht man einen sehr guten Kontrast, [2] und eine

Konzentration des Benutzers auf die angezeigten Daten bzw. der virtuellen Welt (bei geschlossenen Geräten). [9]

Ein Problem dieser geschlossenen Geräte ist laut [22] aber das „Präsenz-Problem“: Durch die undurchsichtigen Anzeigedisplays wird der Chirurg, als Träger des HMDs, vom Patienten separiert. Dadurch fehlt ihm der oft nötige Blick auf den gesamten, realen Patienten und ist auf die Unterstützung eines fähigen Teams angewiesen.

Dieses Problem tritt allerdings nicht in Anwendungsgebieten wie die der virtuellen Trainingsoperation auf, in der die Präsentation einer virtuellen Welt, und damit eine Separierung von der realen Welt, beabsichtigt ist.

#### **4.1.6. See-through HMDs**

Dahingegen erlauben es „see-through HMDs“ den Benutzer seine gewohnte Umgebung erscheinen zu lassen, die durch zusätzliche computergenerierte Daten ergänzt werden, und damit eine „Augmented Reality“ erzeugen.

Die beiden wichtigen Vertreter sind „Video see-through HMDs“ und „Optical see-through HMDs“. Deren genaue Technik wird zum Beispiel in [41] erklärt, wobei der Vollständigkeit halber, folgend zwei Überblicksbilder gegeben werden.

##### **4.1.6.1. Video see-through HMDs**

Abbildung 3 zeigt deren schematischen Aufbau.

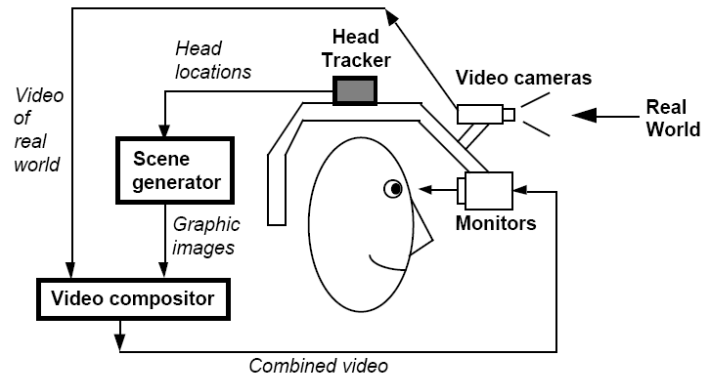


Abbildung 3: Schematischer Aufbau eines VST-HMDs, [41]

Kameras (meistens zwei für ein stereoskopisches Bild), nehmen das Bild der realen Welt auf und leiten es zu einem Computer, wo dieses in Abhängigkeit der vom Tracking-System gelieferten Daten der Kopfposition, mit virtuellen Objekten überlagert wird. Das überlagerte Bild wird anschließend dem Benutzer auf einem Anzeigeelement präsentiert.

#### 4.1.6.2. Optical see-through HMDs

Abbildung 4 zeigt deren schematischen Aufbau.

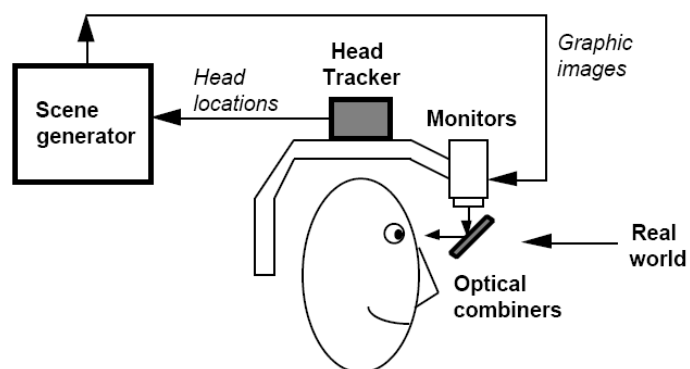


Abbildung 4: Schematischer Aufbau eines OST-HMDs, [41]

Vor dem Träger des Head Mounted Displays befindet sich ein halbdurchlässiger Spiegel, durch den er eine (leicht-verdunkelte) reale Welt sieht. Zusätzlich werden in Abhängigkeit von der Kopf-Position, computergenerierte Daten auf diesem Spiegel eingeblendet, wodurch es zur Überlagerung der virtuellen Objekte und realen Bilder kommt.

#### 4.1.7. Virtual Retinal Display / Retinal Scanning Display

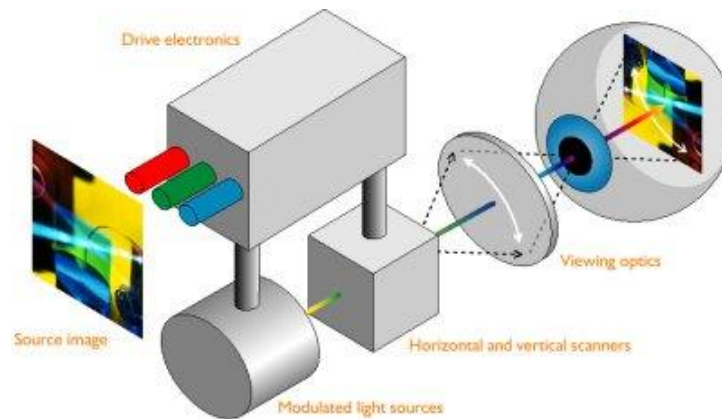


Abbildung 5: Grobschema des VRDs/RSDs, [63]

Bei dieser Technologie (siehe Abbildung 5) wird das Bild mit einem schwachen Laser direkt auf die Netzhaut des Betrachters projiziert und so die wahrgenommene, reale Umgebung ergänzt. Dadurch sind diese Geräte sehr lichtstark.[43]

#### 4.2. Aktuelle Entwicklungen

Die binokularen HMDs der Video See-Through-Technologie haben einen großen Stellenwert in aktuellen Forschungen, aufgrund der genaueren und schnelleren Synchronisation zur Überlagerung von realen und computergenerierten Objekten, dem stärkeren Kontrast und die Möglichkeit die Sicht auf die reale Welt auszublenden. [22] [51] [45] [45]

Da die Videokamera(s) in diesen Systemen meistens oberhalb des Kopfes befestigt sind, ist der Blickwinkel der Kameras leicht anders als die der Augen. Interessant sind deshalb Geräte, die parallaxefrei sind, [21] und auch im Nahbereich ein stereoskopisches Bild ermöglichen. [54]

Die Nachteile von Video see-through HMDs liegen allerdings in der schlechteren Auflösung der realen Welt und einer leicht verzögerten Bildanpassung bei Bewegung des HMDs. Letzteres entsteht u.a. durch die Synchronisation von realen und virtuellen Objekten, bei der die Kamerabilder verzögert werden. Dazu ist auch eine höhere Rechenleistung notwendig.

Außerdem ergibt sich eine schwerere und kompliziertere Konstruktion, bedingt durch Kameras und Spiegel.[22] [45] [51]

In Tabelle 1 sind die wichtigsten der genannten Vergleichsmerkmale dargestellt.

Tabelle 1: Hauptunterschiede VST und OST

	<b>Video see-through HMDs</b>	<b>Optical see-through HMDs</b>
<b>Wahrnehmung der realen Welt</b>	Bildqualität abhängig von Kamera und Display; Verzögert	Reale Bildqualität
<b>Wahrnehmung der virtuellen Welt</b>	Lichtundurchlässig	lichtdurchlässig
<b>Registrierung von virtuellen und realen Objekten</b>	Genau und synchronisiert	Verzögert

Der Einsatz von binokularen Virtual Retinal Displays / Retinal Scanning Displays mit stereoskopischen Bildern ist bis jetzt nicht erfolgt. Allerdings wäre dies nach [34] möglich.

Auch an kompakteren und leichteren Designs wird geforscht: Eyewear“ / „Eyeglass based displays“- von HMDs, werden, nach Aussage der Firma Microvision, die Akzeptanz der Geräte erhöhen. Mikrofabrizierungs-Techniken [67] und diffraktive Optiken [8] erlauben die Entwicklung kleinerer und leichter Geräte.

#### **4.2.1. Pixelgenaue Ausblendung des realen Hintergrundes**

Trotzdem gibt es auch Ansätze, die Eigenschaften von optischen und Video see-through HMDs zu kombinieren. In diesen werden „Optical see-through HMDs“ durch weitere LCD-Panels, oder digitale „Micromirrors“ in der Art erweitert, dass diese eine pixelgenaue Ein- und Ausblendung des realen Hintergrundes erlauben. [25] [26] Dadurch ist dem Benutzer eine detailgetreue Sicht der realen Welt gegeben, erlaubt es aber auch computergenerierte Daten wie z.B. Röntgenbilder, oder dreidimensionale Organdarstellungen, kontrastreich einzublenden.

Leider sind diese Geräte sehr sperrig, besitzen einen komplexen Aufbau, erlauben nicht das stereoskopische Betrachten von Bildern und damit einer Tiefenwahrnehmung, [7] und werden in medizinischen Anwendungen bis jetzt nicht eingesetzt.

#### **4.2.2. Projection HMDs**

Ein anderer aktueller Ansatz ist die Projektion von am HMD befestigten Miniprojektoren auf eine Oberfläche in der realen Umgebung.

Die Oberfläche kann diffus [15] sein, und es damit auch Personen in der Nähe ohne eine HMD ermöglichen, diese Projektion zu sehen. Die Haut eines Patienten oder der in OP-Sälen eingesetzte Stoff, ist allerdings dafür nicht geeignet, da sie das Licht zerstreut und absorbiert. [22]

Oder die Oberfläche ist retro-reflexiv und erlaubt es jeden Träger eines HMDs, unabhängig voneinander Bilder auf der gemeinsamen Projektionsfläche anzuzeigen, die nur für die projizierende Person sichtbar sind. [42]

Eine Weiterentwicklung dieser Technik integriert das retro-reflexive Material im HMD und erzeugt damit eine neue Art der „Optical see-through“-Geräte. [33]

### **4.3. Anwendungen in der Medizin**

Auch wenn die Nutzung von HMDs bis jetzt nicht im klinischen und medizinischen Alltag erfolgt ist, so gibt es in vielen Forschungen, Studien und Projekten Anwendungsszenarien.

Diese betreffen die computergestützte Chirurgie, die Gynäkologie, die medizinischen Schulungen und die Rehabilitation.

Die computergestützte Chirurgie ist dabei ein Hauptanwendungsgebiet, für die Nutzung von HMDs in der

- präoperativen Diagnose, Planung und Simulation
- intraoperativem Navigation
- postoperativen Kontrolle

Dabei wird eine erweiterte Realität (AR) visualisiert, um den Patienten „in-situ“, mit Zusatzinformationen und medizinischen Bilddaten zu überlagern. [4] Dessen tiefliegende Anatomie wird bei geschlossenem Körper sichtbar, und der Einsatz von chirurgischen Instrumenten bei minimal-invasiven Maßnahmen wird dargestellt. **Abbildung 6** und **Abbildung 7** zeigen zwei Beispiele dieser Visualisierung durch ein video see-through HMD. Meistens werden für dafür Daten aus CT-, MRT-, und Ultraschallaufnahmen benutzt die in virtuelle Modelle transformiert werden, oder direkt am Patienten angezeigt werden.



Abbildung 6: In-vivo Visualisierung am Kopf, [4]

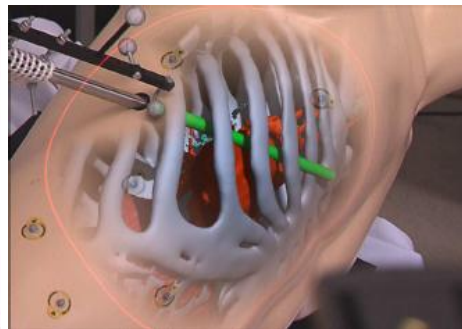


Abbildung 7: Visualisierung eines chirurgischen Eingriffs (hier: am Phantom, ursprüngliche Anatomie virtuell erweitert), [4]

Zusätzlich benutzt man Möglichkeiten der virtuellen Realität (VR), für die Planung, die Simulation und die robotergestützte Navigation. [30]

Im Folgenden werden einige Anwendungsbeispiele, vorgestellt.

#### 4.3.1. Simulation der Lunge

Mit projektiven HMDs ist die Überlagerung eines dreidimensionalen und verformbaren Lungen-Modells mit dem echten Körper des Patienten gelungen.

Dies eignet sich für Zwecke der medizinischen Schulung, also auch für Operationsplanungen. Entfernte Beobachter können die Lunge des Patienten anhand des Modells visualisieren (**Abbildung 8**), während am Patienten die Veränderungen der Lunge bei der Atmung und den medizinischen Eingriffen sichtbar wird (**Abbildung 9**). [13]



Abbildung 8: Externe Beobachter des Lungen-Modells, [12]



Abbildung 9: Erweiterte Sicht auf den Patientensimulator, [12]

### 4.3.2. Ophthalmologie (Augenheilkunde)

Peli E, Luo G, Bowers A, und Rensing N [10] setzten optical see-through HMDs ein, um bei Patienten mit einem Tunnelblick, deren Sichtfeld zu vergrößern, und gleichzeitig die volle Auflösung der realen Umwelt beizubehalten. Dabei wird die Umgebung mit einer weitwinkligen Kamera aufgenommen und dem Benutzer durch Verstärkung der Objektkonturen Cartoon-artig und minimiert in sein Sichtfeld projiziert. Damit sieht dieser einerseits seine peripher-eingeschränkte reale Welt in voller Auflösung, andererseits die eingeblendete, erweiterte Umgebung, und kann so eventuellen Hindernissen ausweichen.

Ein weiteres Projekt beschäftigt sich mit der Unterstützung von Patienten, die an Makuladegeneration leiden. [39] Auch hier nimmt eine am HMD befestigte Kamera die Umgebung auf, und blendet diese dem Benutzer angepasst ein. Die Anpassung basiert dabei auf der individuellen Charakteristik des Auges eines Patienten. Nach [61] eignen sich besonders die lichtstarken Virtual Retinal Displays für diese Anwendung und bei Patienten mit Hornhautverkrümmung.

Auch bei der Behandlung der corticalen Blindheit, können lichtundurchlässige HMDs eingesetzt werden. [37] [17] Sie erlauben dem Patienten eine intensivere Stimulation der Sehzentren als es bisher möglich war, und ohne dafür regelmäßig in die Klinik fahren zu müssen.

### 4.3.3. Endoskopie

Bei der Endoskopie hat der Arzt die Schwierigkeit, den Blick zwischen den Bildschirmen, den Instrumenten seiner Hand am Patienten und seinen Kollegen zu wechseln (siehe **Abbildung 10**), und die Notwendigkeit die Monitore entsprechend zu verschieben, wenn er seine Position verändert.

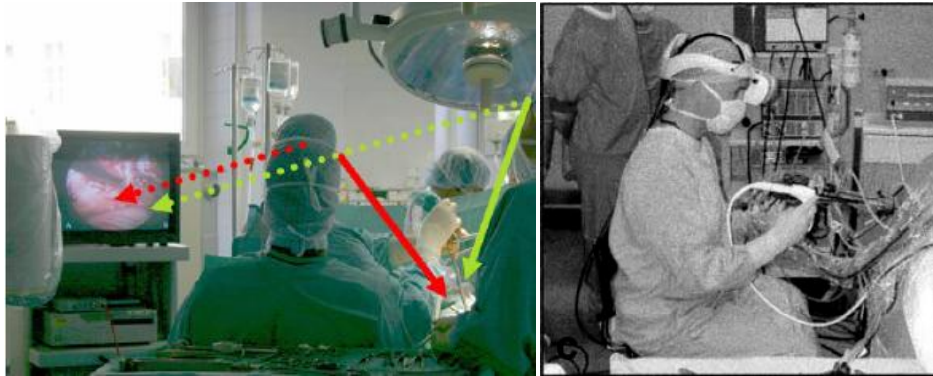


Abbildung 10: Wechsel des Blickfeldes nötig, [51]      Abbildung 11: TEM unter Benutzung eines HMDs, [27]

Um die notwendige Hand-Augen-Koordination zu verbessern und die Bilder des Endoskops direkt in Blickrichtung auf die Hände an der Operationsstelle einzublenden, kann ein HMD benutzt werden. In [27] wird dies in Verbindung mit einem stereoskopischen Endoskop benutzt, um den Arzt in einer transanal endoskopischen Mikrochirurgie zu unterstützen. Dabei bieten ihm die binokularen HMDs eine dreidimensionale Sicht durch das Endoskop, während er die Eingriffsstelle immer im Blickfeld hat. Zugleich kann der Chirurg in einer aufrechten Position am Patienten sitzen. (siehe **Abbildung 11**)

[57] beschreibt einen möglichen Einsatz von Virtual Retinal Displays in der Leberchirurgie. Dabei werden präoperativ gewonnene Daten über die reale, komplex aufgebaute Leber des Patienten eingeblendet, um die Navigation des Arztes zu erleichtern, und dadurch bei minimal-invasiven Eingriffen der laparoskopischen Leberchirurgie eine genauere Operation zu ermöglichen.

#### **4.3.4. Neurochirurgie**

Head mounted Displays eignen sich auch für den Einsatz bei neurochirurgischen Operationen. [48] beschreibt ein Verfahren, um dem Mediziner die iMRT-Bilder direkt in sein Sichtfeld auf dem Patienten zu projizieren, und so das ständige, manuelle Zuordnen von neuen Bildern zu automatisieren. Dadurch kann der Chirurg während einer Operation das restliche Tumorgewebe direkt am Patienten sehen, um dieses exakt zu entfernen.

Auch das Varioscope AR [5] erlaubt diese Anwendung durch ein optical see-through HMD, das den in der Neurochirurgie eingesetzten Operationsmikroskopen ähnelt.

Nach [24] werden in der Neurochirurgischen Klinik und Poliklinik der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, HMDs während der Operation benutzt, um Bilder des Endoskops, des Operations-Mikroskops sowie Aufnahmen von CT, MRT und der digitalen Angiographie, anzuzeigen. Dies konnte aber durch eigene Recherche nicht bestätigt werden. Allerdings erwähnt ein Teilprojekt der RWTH Aachen eine Zusammenarbeit mit dieser Klinik. Dort wurde eine „Robotische Mikroskopplattform“ entwickelt, in der HMDs zur Bildwiedergabe verwendet werden. [29]

#### **4.3.5. Biopsie**

Um die richtige Stelle für die Punktion und die Entnahme des Gewebes zu bestimmen, werden bildgebende Verfahren wie CT, MRT und Ultraschall eingesetzt.

In [56] werden Ultraschallbilder in einem video see-through HMD eingeblendet, und in [66] MRT-Bilder, um so die reale Sicht auf ein Übungsphantom bzw. ein Schwein zu erweitern und der ausführenden Person die Punktion zu visualisieren.

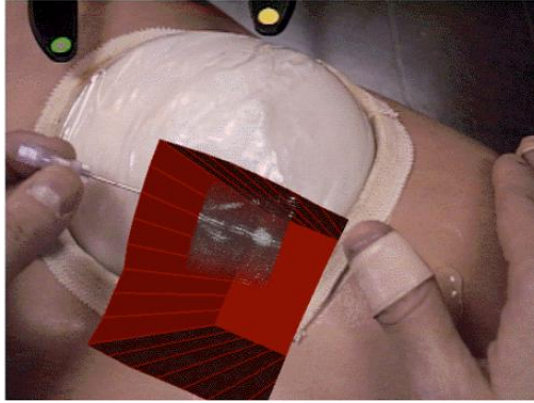


Abbildung 12: Erweiterte Sicht während der Punktion auf die Brust des Phantoms, mit Ultraschallbild, [56]

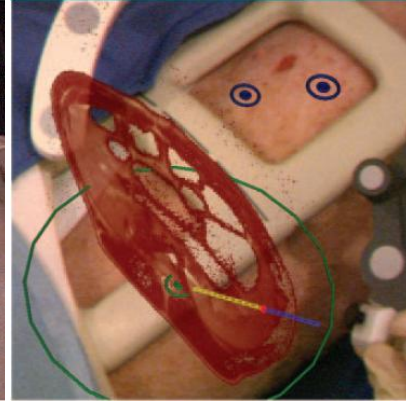


Abbildung 13: Erweiterte Sicht während der Punktion auf ein Schwein, mit MRT-Bild, [66]

[46] und [66] zeigen, dass video see-through HMDs eine signifikantere Genauigkeit bei der Punktion ermöglichen. Allerdings ist eine aufwendige Kalibrierung nötig, und bei dem zweiten System eine Immobilisation des Tieres.

Das System in [49] erlaubt es zudem, Ultraschall Bilder zeitlich zu fixieren und auffällige Regionen dreidimensional zu markieren.

#### 4.3.6. Gynäkologie

Ultraschallbilder sind auch in der Gynäkologie ein wichtiges Hilfsmittel. Der Einsatz von HMDs kann hier sinnvoll sein, um einen dauernden Wechsel der Aufmerksamkeit zwischen dem Bildschirm des Ultraschallgerätes und dem Patienten zu vermeiden, und ein genaueres Bild der Untersuchung zu liefern.

In [19] benutzen Hebammen ein video see-through HMD (Sony Glasstron) und ein monokulares HMD (Micro-Optical SV-6), um eine Ultraschalluntersuchung durchzuführen (siehe **Abbildung 14**). Die Ergebnisse zeigen, dass die Nutzung akzeptiert wurde, aber den genannten Vorteilen auch Nachteile entgegengehalten werden sollen: Der lockere Sitz des Gerätes, die Einschränkung des peripheren Sichtfeldes bei dem video see-through HMD und damit die Schwierigkeit mit dem Patienten zu kommunizieren, das zu kleine Anzeigefeld beim monokularen HMD, und visuelle Probleme durch die monokulare Darstellung.



Abbildung 14: Ultraschalluntersuchung mit einem monokularen HMD, [19]



Abbildung 15: Durch ein HMD erweiterter Geburtssimulator, [53]

In einer älteren Studie [55] wurde der Fötus einer schwangeren Frau mit einem video see-through System visualisiert. Damals litt das System unter starken Verzögerungen durch mangelnde Rechenleistung. Weitere Fortschritte dieser Anwendung sind nicht bekannt.

Auch in medizinische Schulungen der Gynäkologie können Head Mounted Displays eingesetzt werden. So wird in [52] ein Geburtssimulator vorgestellt, der durch ein Augmented Reality-System erweitert wird. Dabei wird ein video see-through HMD benutzt, um eine Visualisierung der Austreibungsphase und weiterer Geburtseingriffe direkt am Simulator zu ermöglichen (siehe **Abbildung 15**).

#### 4.3.7. Orthopädie

In [59] wird die Kombination einer konventionellen zweidimensionalen Anzeige von CT-Bildern und der in-situ Visualisierung am Patienten für die Orthopädie und Unfallchirurgie vorgeschlagen. Durch diese hybride Navigationsschnittstelle werden die Vorteile der hochgenauen Schnittbilder mit denen einer intuitiven, dreidimensionalen Darstellung ergänzt. Die Einblendung der erweiterten Realität erfolgt dabei durch ein stereoskopisches video see-through Gerät.

Eine weitere Anwendung ist in der Überlagerung eines virtuellen Kniegelenks mit dem eines Patienten, zur Veranschaulichung der Anatomie in Ruhe und in Bewegung. [1] Dies ist besonders für medizinische Fortbildungen interessant.

Ein Themengebiet der medizinischen Weiterbildungen ist die Radiologie, für die in [68] eine Nutzung von Head Mounted Displays vorgeschlagen wird. Dort wird

ein Ellbogengelenk eines Patienten mit einem computergenerierten Modell überblendet, um die Auswirkungen von Beugung, Streckung, der Pronation und Supination zu demonstrieren.

#### **4.3.8. Anästhesiologie**

In [36] unterstützt ein Virtual Retinal Display und in [60] ein optical see-through HMD den Anästhesisten durch eine permanente Einblendung der Vitalparameter des Patienten, um bei unerwarteten klinischen Ereignissen schneller reagieren zu können. Durch die Nutzung der HMDs wird die Anzahl der Wechsel von Blickkontakten zwischen Patient und Monitoren minimiert, und damit die Zeit für Konzentration auf den Patienten erhöht.

Neue Studien in [32] und [47] zeigen indessen, dass dies nicht der Fall im normalen Betrieb eines Operationsraumes ist. Die Vorteile einer schnelleren Entdeckung kritischer Ereignisse treten nur dann auf, wenn der Arzt eine Aufgabe ausführt, die ihn vollständig auslastet, und seine Bewegungsfreiheit einschränkt ist. [31]

## 5. Diskussion

Diese Arbeit zeigt, dass Head Mounted Displays in der Medizin für ein breitgefächertes Anwendungsgebiet eingesetzt werden können, und dort zu einer Unterstützung und Verbesserung der vorhandenen Arbeitsabläufe führen. Allerdings ist die dafür notwendige Integration in die bestehenden Systeme und Prozesse eine große Herausforderung. Erst wenn der Mehraufwand auf ein Minimum reduziert wird um Tracking- und Softwaremodule in Betrieb zu nehmen, das Tragen der Geräte den Benutzer nicht in seinen Handlungen einschränkt, und Fallstudien mit einer großen Anzahl von Teilnehmern durchgeführt wurden, kann ein Einsatz im klinischen und medizinischen Alltag erfolgen. Einige ältere, wissenschaftliche Arbeiten, vermitteln hier den Eindruck einer Umsetzung in wenigen Jahren. Dies scheint hingegen nicht der Fall zu sein.

Auch ist bei Erarbeitung dieses Berichts die Frage nach der Mehrbenutzerfähigkeit der Systeme aufgekommen. Wie ist es in einem Operationssaal, mit Medizinerinnen aus unterschiedlichen Fachbereichen möglich, dass diese über die gleichen Aspekte eines vorliegenden medizinischen Sachverhaltes sprechen? Benötigen alle ein HMD? Ein von allen sichtbarer Bildschirm macht dies nicht erforderlich.

Neue Fabrikationsmöglichkeiten und eine erhöhte Nachfrage in anderen Bereichen wie zum Beispiel im Home-Entertainment-Bereich, können die Akzeptanz der Geräte erhöhen. Dabei sollten die anderen Technologien der erweiterten und virtuellen Realität nicht vergessen werden, [16] denn diese bieten vergleichbare und weitere interessante Nutzen in der Medizin, für den medizinischen Fortschritt.

## 6. Literatur

1. Argotti Y, Davis L, Outters V, Rolland J. Dynamic superimposition of synthetic objects on rigid and simple-deformable real objects. *Computers & Graphics*. 2002; 26(6): p. 919-930.
2. Baird K, Barfield W. Evaluating the effectiveness of augmented reality displays for a manual assembly task. *Virtual Reality*. 1999; 4(4): p. 250--259.
3. Beach G, Cohen C, Braun J, Moody G. Eye tracker system for use with head mounted displays. In *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics; 1998; San Diego, CA, USA*. p. 4348-4352.
4. Bichlmeier C, Wimmer F, Heining S, Navab N. Contextual Anatomic Mimesis Hybrid In-Situ Visualization Method for Improving Multi-Sensory Depth Perception in Medical Augmented Reality. In *6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007).*; 2007. p. 1-10.
5. Birkfellner W, Figl M, Matula C, Hummel J, Hanel R, Imhof H, et al. Computer-enhanced stereoscopic vision in a head-mounted operating binocular. *PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY*. 2003; 48(3): p. 49-57.
6. Bishop G, Welch G, Allen B. *Tracking: Beyond 15 Minutes of Thought*. SIGGRAPH Course Pack. 2001.
7. Cakmakci O, Ha Y, Rolland JP. A Compact Optical See-through Head-Worn Display with Occlusion. *ISMAR '04: Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. 2004;: p. 16-25.
8. Cakmakci O, Rolland J. Design and fabrication of a dual-element off-axis. *Optics Letters*. 2007 June 1; 32(11): p. 1363-1365.
9. Chung J, Harris M, Brooks F, Fuchs H, Kelley M, SCIENCE NCUACHDOC. *Exploring Virtual Worlds with Head-Mounted Displays*: Defense Technical Information Center; 1989.

10. E P, G L, A B, N R. 22.4: Invited Paper: Augmented Vision Head-Mounted Systems for Vision Impairments. SID Symposium Digest of Technical Papers. 2007; 38(1).
11. EST - Engineering Systems Technologies. [homepage on the internet]. [Access on 6. 1. 2009]. Available from: <http://www.est-kl.com>.
12. Hamza-Lup FG. A Distributed Augmented Reality System for Medical Training and Simulation. Energy, Simulation-Training, Ocean Engineering and Instrumentation: Research Papers of the Link Foundation Fellows. 2004; 4.
13. Hamza-Lup F, Santhanam A, Imielinska C, Meeks S, Rolland J. Distributed Augmented Reality With 3-D Lung Dynamics-A Planning Tool Concept. IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE. 2007; 11(1): p. 40.
14. Havukumpu J, Takatalo J, Nyman G, Häkkinen J. Midwives experiences of using HMD in ultrasound scan. In NordiCHI '06: Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction; 2006: ACM Press New York. p. 369-372.
15. Hua H, Ha Y, Rolland JP. Design of an ultralight and compact projection lens. Applied Optics. 2003; 42(1): p. 97-107.
16. IEEE/OSA Journal of Display Technology; Special Issue on Medical Displays. 2008 Dezember; 4(4).
17. Information Curavis Sehtherapie. [monograph on the internet]. [Access on 11. 1. 2009]. Available from: [http://www.teltra.org/cms/site/uploads/media/curavis\\_patinfo\\_v32.pdf](http://www.teltra.org/cms/site/uploads/media/curavis_patinfo_v32.pdf).
18. INITION | Products. [homepage on the internet]. [Access on 6. 1. 2009]. Available from: <http://www.inition.co.uk/inition/products.php>.
19. Juha H, Jari T, G N, Häkkinen J. Head-mounted displays in ultrasound scanning. Human-Computer Interaction, I-Tech Book. 2008.
20. Kania K. Virtual Reality Moves into the Medical Mainstream. Medical Device &

- Diagnostic Industry. 2000; 22(5): p. 66-79.
21. Keller K, Fuchs H. Simulation-Based Design and Rapid Prototyping of a Parallax-Free, Orthoscopic Video See-Through Head-Mounted Display. Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2005;: p. 28-31.
  22. Keller K, State A, Fuchs H. Head Mounted Displays for Medical Use. Journal of display technology. 2008 Dec; 4(4).
  23. Kijima R, Ojika T. Transition Between Virtual Environment and Workstation Environment with Projective Head Mounted Display. Virtual Reality Annual International Symposium. 1997.
  24. Kirchner M. Technische Realisierungen und medizinische Anwendungen von Head-Mounted-Displays. Seminararbeit. Karlsruhe: Universität Karlsruhe (TH); 2003.
  25. Kiyokawa K, Billinghurst M, Campbell B, Woods E. An Occlusion-Capable Optical See-through Head Mount Display for Supporting Co-located Collaboration. In Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality; 2003; Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.
  26. Kiyokawa K, Kurata Y, Ohno H. An optical see-through display for mutual occlusion with a real-time stereovision system. Computers & Graphics. 2001; 25(5): p. 765-779.
  27. Koesveld J, Tetteroo G, Graaf E. Use of head-mounted display in transanal endoscopic microsurgery. Surgical Endoscopy. ; 17(6): p. 943-946.
  28. Laramée R, Ware C. Rivalry and interference with a head-mounted display. In ACM Transactions on Computer-Human Interaction; 2002. p. 238-251.
  29. Lauer W, Serefoglou S. mediTEC: MINOP II. [homepage on the internet]. [Access on 12. 1. 2009]. Available from: <http://www.meditec.hia.rwth-aachen.de/forschung/abgeschlossene-proj/minop-ii.html?type=98>.
  30. Lehmann T. Computerunterstützte Chirurgie. In Hassenpflug P, Meinzer HP, Voigt Gv,

Tolxdorff T, Englmeier KH. Handbuch der medizinischen Informatik. München: Carl Hanser Verlag; 2005.

31. Liu D, Jenkins S, Kruys A, Sanderson P. Part-task trainer evaluation of a head-mounted display for. Society for Technology in Anesthesia (STA2008) Annual Meeting. 2009 Januar.
32. Liu D, Jenkins S, Sanderson P, Leane T, Watson M, Russell W. Simulator evaluation of head-mounted displays for patient monitoring. *Anesth Analg*. 2008; 106(Suppl. 2).
33. Martins RF, Rolland J, Ha Y, inventors; Head-mounted display by integration of phase-conjugate material. USA patent 6999239. 2005 Mai 2005.
34. McQuaide S. Three-dimensional virtual retinal display system using a deformable membrane mirror. Master's Thesis. University of Washington; 2002.
35. Milgraml P, Kishino F. A Taxonomy of mixed Reality. *IEICE Transactions on Information Systems*. 1994 September; E77-D(12).
36. Ormerod D, Ross B, Nalwai-Cecchini A. Use of an augmented reality display of patient monitoring data to enhance anesthesiologists' response to abnormal clinical events. *Stud Health Technol Inform*. 2003; 94: p. 248-50.
37. otcb Kurzinfo. [monograph on the internet]. [Access on 11. 1. 2009]. Available from: [http://www.teltra.org/cms/site/uploads/media/kurzinfo\\_otcb\\_v51.pdf](http://www.teltra.org/cms/site/uploads/media/kurzinfo_otcb_v51.pdf).
38. Peli E. Visual issues in the use of a head-mounted monocular display. In Proceedings of SPIE on Visual Communications and Image Processing IV Conference; 1990. p. 27–36.
39. ProjectMaculaDegeneration. [homepage on the internet]. [Access on 11. 1. 2009]. Available from: <http://campar.in.tum.de/Chair/ProjectMaculaDegeneration>.
40. Rogers PJ. Biocular magnifiers—A review. *Proc. International Lens Design Conference*. 1985; 0554.

41. Rolland JP, Baillot Y, Goon AA. A survey of tracking technology for virtual environments. In Barfield W, Caudell T, editors. *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*.: Lawrence Erlbaum Press; 2001. p. 67–112.
42. Rolland JP, Biocca F, Hamza-Lup F, Ha Y, Martins R. Development of head-mounted projection displays for distributed, collaborative, augmented reality applications. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 2005; 14(5): p. 528-549.
43. Rolland JP, Cakmakci O. The Past, Present, and Future of Head Mounted Display Designs. *Optical Design and Testing II - Proceedings of the SPIE.* 2005 Feb; 5638: p. 368-377.
44. Rolland J, Ha Y, Fidopiastis C. Vision and Color-Albertian errors in head-mounted displays: I. Choice of eye-point location for a near-or far-field task visualization. *Journal of the Optical Society of America-A-Optics Image Science and Vision.* 2004; 21(6): p. 901-912.
45. Rolland JP, Holloway RL, Fuchs H. A Comparison of optical and video see-through headmounted displays. In *Proceedings of SPIE, Vol. 2351, 293; 1994.*
46. Rosenthal M, State A, Lee J, Hirota G, Ackerman J, Keller K, et al. Augmented reality guidance for needle biopsies: An initial randomized, controlled trial in phantoms. *Medical Image Analysis.* 2002; 6(3): p. 313-320.
47. Sanderson P, Watson M, Russell W, Jenkins S, Liu D, Green N, et al. Advanced Auditory Displays and Head-Mounted Displays: Advantages and disadvantages for monitoring by the distracted anesthesiologist. *Anesth Analg.* 2008; 106(6): p. 1787-1797.
48. Sauer F, Khamene A, Bascle B, Rubino G. A Head-Mounted Display System for Augmented Reality Image Guidance: Towards Clinical Evaluation for iMRI-guided Neurosurgery. *Proceedings of the 4th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention.* 2001;; p. 707-716.
49. Sauer F, Khamene A, Bascle B, Schimmang L, Wenzel F, Vogt S. Augmented Reality

- Visualization of Ultrasound Images: System Description, Calibration, and Features. Augmented Reality, International Symposium on. 2001; 0: p. 30-44.
50. Sauer F, Khamene A, Vogt S. An Augmented Reality Navigation System with a Single-Camera Tracker: System Design and Needle Biopsy Phantom Trial. Lecture Notes in Computer Science. 2002; 2489: p. 116-124.
51. Sielhorst T, Feuerstein M, Navab N. Advanced Medical Displays: A Literature Review of Augmented Reality. IEEE/OSA Journal of Display Technology; Special Issue on Medical Displays. 2008 December; 4(4): p. 451-467.
52. Sielhorst T, Obst T, Burgkart R, Riener R, Navab N. An augmented reality delivery simulator for medical training. International Workshop on Augmented Environments for Medical Imaging-MICCAI Satellite Workshop. 2004;; p. 11-20.
53. Sielhorst T, Traub J, Navab N. The AR Apprenticeship, Replication and Omni-directional Viewing of Subtle Movements. [monograph on the internet].; 2004 [Access on 13. 1. 2009]. Available from: <http://www.navab.in.tum.de/pub/Sielhorst2004TheAR/Sielhorst2004TheAR.poster.pdf>.
54. State A, Ackerman J, Hirota G, Lee J, Fuchs H. Dynamic Virtual Convergence for Video See-through Head-mounted Displays: Maintaining Maximum Stereo Overlap throughout a Close-range Work Space. In IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR'01); 2001. p. 137.
55. State A, Chen DT, Tector C, Brandt A, Chen H, Ohbuchi R, et al. Case Study: Observing a Volume Rendered Fetus within a Pregnant Patient. Proc. IEEE Visualization. 1994 Oktober 17-21; 94: p. 364-368.
56. State A, Livingston MA, Garrett WF, Hirota G, Whitton MC, Pisano ED, et al. Technologies for Augmented Reality Systems: realizing Ultrasound-Guided Needle Biopsies. Proceed. of SIGGRAPH 96. 1996 August 4-9;; p. 439-446.
57. Suthau T. Augmented Reality Positionsgenaue Einblendung räumlicher Informationen in

einem See Through Head Mounted Display für die Medizin am Beispiel der Leberchirurgie. Dissertation. Berlin: Technische Universität; 2006.

58. Sutherland IE. A head-mounted three dimensional display. In Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, Vol. 33; 1968. p. 757–764.
59. Traub J, Stefan P, Heining SMM, Sielhorst T, Riquarts C, Euler E, et al. Hybrid navigation interface for orthopedic and trauma surgery. Proceedings of MICCAI 2006. 2006 Oktober;; p. 373-380.
60. Via DK, Kyle RR, Kaye RD, Shields CH, Dymond MJ, Damiano LA, et al. A Head Mounted Display of Anesthesia Monitoring Data Improves Time to Recognition of Critical Events in Simulated Crisis Scenarios. Proceedings of the Society for Technology in Anesthesia. 2003.
61. Viirre E, Pryor H, Nagata S, Furness 3rd T. The virtual retinal display: a new technology for virtual reality and augmented vision in medicine. Stud Health Technol Inform. 1998; 50: p. 252-257.
62. Viking Systems - Informatix. [homepage on the internet].; 2009 [Access on 4. 1. 2009]. Available from: <http://www.vikingsystems.com/overview/products/infomatix/default.html>.
63. Virtual Retinal Display (VRD). [homepage on the internet]. [Access on 8. 1. 2009]. Available from: [http://www.cs.nps.navy.mil/people/faculty/capps/4473/projects/fiambolis/vrd/vrd\\_full.html](http://www.cs.nps.navy.mil/people/faculty/capps/4473/projects/fiambolis/vrd/vrd_full.html).
64. Virtual Retinal Display (VRD). [homepage on the internet].; 2007 [Access on 3. 1. 2009]. Available from: <http://display-magazin.net/thema/display/artikel--126--virtual-retinal-display>.
65. Vogt S, Khamene A, Sauer F, Keil A, Niemann H. A High Performance AR System for Medical Applications. In Proceedings of the Second IEEE and ACM International

Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '03); 2003.

66. Wacker F, Vogt S, Khamene A, Jesberger J, Nour S, Elgort D, et al. An Augmented Reality System for MR Image-guided Needle Biopsy: Initial Results in a Swine Model. *Radiology*. 2006; 238(2): p. 497-504.
67. Wei-ChihWang. The International Society for Optical Engineering. [monograph on the internet].; 2006 [Access on 4. 1. 2009]. Available from: <http://spie.org/documents/Newsroom/Imported/217/2006040217.pdf>.
68. Wright D, Rolland J, Kancherla A. Using virtual reality to teach radiographic positioning. *Radiologic Technology*. 1995; 66(4): p. 233-8.

## 7. Danksagung

Ich möchte mich beim CAMP-Lehrstuhl der TUM für die nette und informative Kommunikation bedanken, namentlich Prof. Dr. Nassir Navab, Christoph Bichlmaier, Thomas Wendler und Gudrun Klinker.

Weiterhin bei den Professoren an den Universitäten und Ärzten der Kliniken die mich über ihren Einsatz von HMDs an ihrer Klinik informiert haben: Dr. Michael Winklmaier, Prof. Dr. Jürgen Kampmeier, Dr. Wolfgang Birkfellner, Prof. Dr. Erwin Keeve, Dr. Theo Roelofs, PhD Penelope Sanderson, Prof. Dr. Michael Weber und Prof. Dr. Hubertus Riedmiller.

Sowie bei den Ansprechpartnern der unterschiedlichen Firmen: Ben Averch, Frank Sauer, Ron Azuma und Patrick Daly.

Auch den Kommilitonen, die mich bei technischen Herausforderungen der Recherche unterstützt oder medizinische Ansprechpartner vermittelt haben, möchte ich einen Dank aussprechen: Wolfgang Gebauer, Wolfgang Bremer, Dominik Höchter, Dominik Renner, Uschi Raulf und Annika Frank.