

Ludwig-Maximilians-Universität München
LFE Medieninformatik
Hauptseminar „Virtual and Augmented Reality“
Sommersemester 2004
Prof. Dr. Heinrich Hußmann
Betreuung: Dipl.-Inf. Arnd Vitzthum

VR und AR in der Medizin

Von Bernhard Engstler

Abstract

Die Medizin ist neben der Spielindustrie und dem Militär eines der Hauptanwendungsgebiete von Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR).

Durch immense Forschungsgelder ist eine ständige Weiterentwicklung der Technik auf höchstem Niveau möglich, so dass immer neue Anwendungsgebiete innerhalb der Medizin erschlossen werden können.

Wurde von VR und AR anfangs hauptsächlich zum räumlichen Visualisieren von komplexen medizinischen Daten z.B. in der Lehre und der Forschung Gebrauch gemacht, so reichen die Anwendungsgebiete heute vom Einsatz in Ausbildung, Training und Operationsplanung über den Einsatz in Psychiatrie und Psychologie bis hin zum Einsatz in der praktischen Chirurgie. Diese Arbeit wird einen Überblick über die wichtigsten Anwendungsbereiche von VR und AR im medizinischen Bereich geben und diese, soweit wie möglich, an in der Praxis angewandten Projekten erläutern. Dabei wird auch auf die damit verbundenen Risiken und Gefahren eingegangen werden, die der Einsatz von Hightech in der Medizin mit sich bringt.

1. Einführung

Die Medizin ist eines der führenden Gebiete, wenn es um den Einsatz von VR und AR geht. Durch die hohe Subventionierung lässt sich gerade in der Medizin der Einsatz von Hightech-Computersystemen realisieren, die durch die hohen Anforderungen an Hardware, wie z.B. Prozessoren oder haptische Systeme, sehr teuer sind.

Welcher Nutzen ergibt sich durch den Einsatz von VR und AR für die Medizin?

Betrachtet man die zwei grundlegenden Techniken der VR so sind diese zum einen die überschaubare Darstellung von 3D Objekten im Raum und zum anderen die Interaktion mit diesen Objekten mittels Eingabegeräten. Die Aufgabe der AR ist es, diese Objekte schließlich in eine reale Umgebung zu integrieren.

In der Medizin kann dies zum genauen volumenartigen Darstellen der Organe eines Patienten genutzt werden. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom „gläsernen Patienten“. Eine andere Möglichkeit ist es, mittels VR eine „Virtuelle Reise“ in den Patienten vorzunehmen. Dies kann unter anderem bei der Operationsplanung von Nutzen sein. Es kann auch über diverse Eingabegeräte an einem „virtuellen Patienten“ operiert werden und so mit den 3D Objekten interagiert werden.

Wie man also sieht, kann der Einsatz von VR und AR in der Medizin dem Arzt in verschiedensten Situationen eine große Hilfe sein. Davon profitiert natürlich auch der Patient. Denn oberstes Ziel ist es, die medizinische Versorgung der Menschen mittels Einsatz von Computertechniken zu verbessern.

2. Anwendungsbereiche der VR und AR in der Medizin

Im Folgenden werden diverse Möglichkeiten, wie VR und AR in der Medizin genutzt werden können, vorgestellt. Dabei werden die technischen Aspekte eher im Hintergrund gehalten, da diese den Rahmen der Arbeit sprengen würde. Viel mehr soll ein Überblick über die vielfältigen Einsatzbereiche gegeben werden.

2.1. Lehre

Für die Lehre werden mittels VR medizinische Daten, sowie Organe, das Nerven- oder das Kreislaufsystem eines Patienten visualisiert. Dabei handelt es sich um „Pseudo-VR“. Es besteht also nur ein geringer bis mittlerer Grad an Interaktion und keine Immersion.

In der Praxis verbreitet ist die Software *VOXEL-MAN* [1] (siehe Abb.1), die an der Universität Hamburg entwickelt wurde.

Ursprünglich wurde die Software zur 3D-Visualisierung des menschlichen Schädels konzipiert. Mittlerweile aber wurde sie weiterentwickelt und beinhaltet nun auch weitere Komponenten, die es u.a. erlauben, operative Eingriffe zu simulieren, Röntgenbestrahlungen vorzunehmen oder auch das Anatomiemodell des Menschen interaktiv zu explorieren.

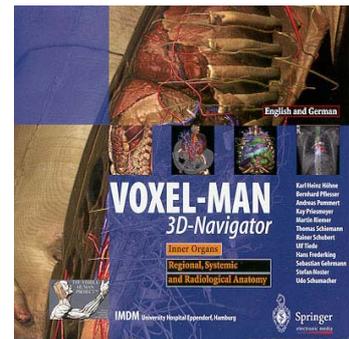


Abbildung 1 „VOXEL-MAN“ [1]

Möglich gemacht wird dies durch eine genaue computergestützte Umsetzung des *Visible Human*¹ Projektes, durch welches der menschliche Körper in seiner anatomischen Gesamtheit detailliert und dreidimensional dargestellt werden kann.

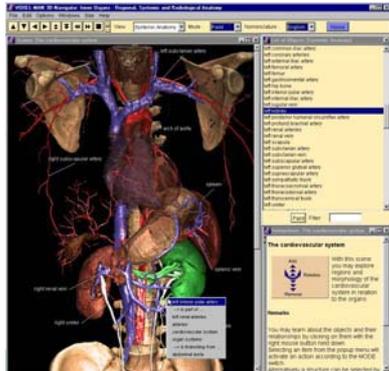


Abbildung 2 „VOXEL-MAN“ [1]

Der Nutzen einer derartigen Lehr- bzw. Lernsoftware liegt darin, dass „die Vorteile des Umgangs mit echter Anatomie (die Ähnlichkeit mit einer echten Sektion) und die Vorteile des Lernens aus Büchern (damit zusammenhängendes Wissen)“ vereint werden. (nach [2])

Es werden also zu den textbasierten Informationen immer auch visuelle Daten geliefert, an denen der Lernende das Wissen vertiefen kann und einen Bezug zur Praxis herstellen kann. (siehe Abb.2)

2.2. Forschung

Der Einsatz von VR in der Forschung kommt vor allem in zwei Teilbereichen zum tragen.

Zum einen ist dies das Operationsdesign. In diesem Bereich können mittels VR z.B. Designstudien bzw. Ergonomiestudien durchgeführt werden, bevor der Operationssaal dann erbaut wird. (siehe dazu Abb.3 – geplanter Operationssaal visualisiert - und Abb.4 – Operationssaal nach der Erbauung)



Abbildung 3 „OP-Design“



Abbildung 4 „OP-Design“

¹ weitere Informationen unter http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html

Zum anderen ist es die Prothesenanfertigung bzw. die Instrumentenentwicklung. Prothesen können auf die genaue Passform am Körper an einem virtuellen Patienten getestet werden. Somit erspart man dem Patienten längere Testphasen mit der Prothese und kann unabhängig vom Patienten die Prothese passgenau anfertigen. Die eingesetzten Verfahren sind dabei selbe wie in der Architektur zur Wohnraumgestaltung (vergleiche Operationsdesign) bzw. die in der Industrie eingesetzten Verfahren zur Konstruktion von Maschinenteilen (vergleiche Instrumenten- bzw. Prothesenanfertigung). Da diese Themen bereits in anderen Arbeiten ausgearbeitet werden, wird in dieser Arbeit nicht weiter darauf eingegangen.

2.3. Ausbildung & Training

Ausbildung und Training durch Unterstützung von Virtueller Realität stellt einen der interessantesten Bereiche dar.

Bisher wurde Anatomie überwiegend an Plastikmodellen und totem (Tier)-Gewebe gelehrt. Ein Nachteil dabei ist, dass solche Plastiknachbauten bzw. totes Gewebe natürlich nur bedingt realistisch im Bezug auf die Anatomie und Physiologie eines Menschen bzw. Tieres sind. Eigenschaften von lebendem Gewebe, wie z.B. pulsierende Arterien oder fließendes Blut gehen hierbei verloren. Man wird auch keine Auswirkungen beobachten können, wenn man einen Schnitt an einer falschen Stelle setzt bzw. zu tief schneidet. Ein Training an lebenden Tieren würde starke ethische Probleme hervorrufen. Zum anderen würden bei einer großen Anzahl von Studenten auch die zur Verfügung stehenden Ressourcen knapp.

Die Motivation, gerade in diesem Bereich VR z.B. mittels Trainingssimulatoren einzusetzen, liegt also auf der Hand.

Eingriffe ließen sich beliebig oft wiederholen und anschließend ausgiebig analysieren. Wenn man den menschlichen Körper mittels 3D abbildet, kann man letztendlich interaktiv über Eingabegeräte an dem generierten virtuellen Patienten das Training durchführen.

Die Ausbildung würde dabei praxisorientierter, anschaulicher und vor allem unter realistischeren Bedingungen durchgeführt werden. Davon profitieren die Auszubildenden insofern, dass Hemmungen vor realen Operationen abgebaut werden und praktische Erfahrung gesammelt wird, wodurch Sicherheit gewonnen wird.

Wie gleich auch an einem Beispiel verdeutlicht wird, lassen sich solche VR-Simulatoren auch an verschiedene Begebenheiten anpassen, so dass verschiedene Fälle, wie z.B. verschiedene Krankheiten, am selben Modell dargestellt und behandelt werden können.

Das Bundesministerium für Forschung und Bildung hat u.a in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München an einem Projekt namens *Virtuelle Orthopädische Realität* [3] – oder kurz VOR - gearbeitet.

Im Rahmen dieses Projektes wurde der *Münchener Kniesimulator* [4] entwickelt (siehe Abb.5). Es handelt sich hierbei um „eine Simulationsumgebung, die das Erlernen und Trainieren der klinischen Funktionsprüfung zur Diagnose von Gelenkverletzungen und -erkrankungen am Beispiel des Knies unterstützt und gleichzeitig durch eine entsprechende graphische Oberfläche einen Einblick in die Anatomie ermöglicht.“ (nach [5])

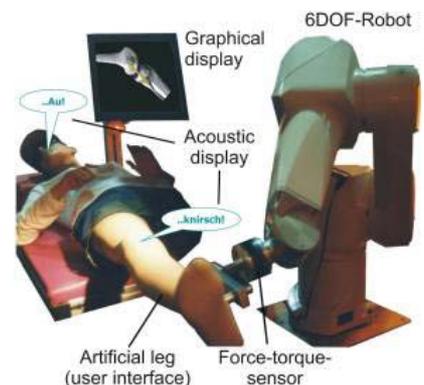


Abbildung 5 „Münchener Kniesimulator“ [4]

Über den Computer lassen sich an diesem Simulator verschiedene Gelenkserkrankungen simulieren. Der auszubildende Arzt hat hierbei die Möglichkeit, an einem sehr realitätsnahen Knie die verschiedenen Griffe und Funktionstests, die zur Diagnose der Erkrankung nötig sind, durchzuführen. Gleichzeitig werden ihm auf einem Monitor die anatomischen Zusammenhänge und die Reaktion des Gewebes dargestellt.

Zusätzlich reagiert der simulierte Patient durch Laute auf für ihn schmerzhaft Bewegungen bzw. schmerzhaften Druck am Knie.

Durch ein solches System lässt sich zum einen die Diagnosesicherheit und Diagnosequalität verbessern, wodurch in einigen Fällen auf Röntgenverfahren verzichtet werden könnte, zum anderen auch ein eventueller operativer Eingriff verhindern.

2.4. Operationsplanung

Auch bei der Planung von Operationen können Computer und die VR eine große Hilfe für den Patienten und den behandelnden Arzt sein.

Bei schwer durchführbaren Operationen z.B. kann die geplante Vorgehensweise an einem Modell bzw. Simulator durchgegangen werden. Wie im obigen Bsp. des *Münchener Kniesimulators* [3] bereits erwähnt wurde, können über die steuernde Software verschiedene Krankheitsfälle und Komplikationen simuliert werden. So ist der Arzt auf eventuell auftretende Probleme während der Operation vorbereitet, da er sie bereits am Modell erlebt hat und kann so mit der nötigen Ruhe vorgehen. Auch dem Patienten kann die Angst vor der Operation genommen werden, wenn sie der Arzt im Voraus mit ihm durchspricht und ihm so ein sicheres Gefühl vermittelt.

Ein Beispiel für den Einsatz von VR in der Operationsplanung ist *EXOMIO* [6], ein 3D-Simulator für die Planung einer Strahlentherapie.

Die konventionelle Planung einer Bestrahlung war für den Patienten sehr unangenehm und umständlich. Der Patient musste auf einem Bestrahlungstisch exakt positioniert werden, um anschließend die Bestrahlung mit leichten Strahlen simulieren zu können. Dieser Vorgang dauerte bis zu einer Stunde, in der der Patient in einer Position verharren muss.

Mittels der Software *EXOMIO* [6] ist es dem Arzt nun, nach Erfassung sämtlicher Daten des Patienten z.B. mittels einer CT, möglich, die Behandlung wirklichkeitsnah und präzise im Computer zu simulieren, ohne dass der Patient hierbei anwesend sein muss.

Der Arzt kann also den Patienten auf dem Behandlungstisch nach seinen Vorstellungen positionieren, den zu bestrahlenden Bereich am Patienten bestimmen und somit mehrere Möglichkeiten durchspielen, bis er ein optimales Ergebnis erzielt hat. (siehe Abb.6)

Erst dann schickt der Arzt den Bestrahlungsplan an den Bestrahlungsphysiker.

Der Patient muss bei dieser Prozedur nun nicht mehr anwesend sein, sondern muss erst bei der endgültigen Bestrahlung vor Ort sein.

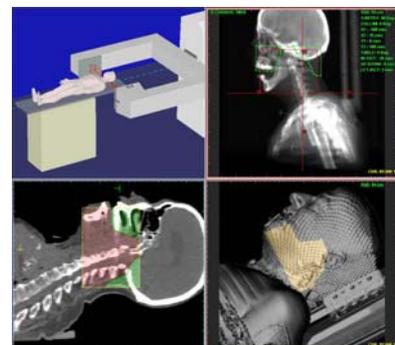


Abbildung 6 „EXOMIO“ [6]

Dem Patienten bleibt also eine Menge an Unannehmlichkeiten erspart und der Arzt kann in Ruhe mehrere Möglichkeiten der Therapie testen, ohne seinen Patienten auf eine Geduldsprobe zu stellen.

2.5. Minimal-Invasive Chirurgie

Unter Minimal-Invasiver Chirurgie versteht man chirurgische Eingriffe, bei denen keine großen Schnitte gemacht werden, sondern durch eben minimale Schnitte ein Katheder-ähnliches Operationsinstrument in den Patienten eingeführt wird, mit dem schließlich operiert wird.

Der Nachteil bei der konventionellen Methode ist, dass die Sicht auf den Patienten und den zu operierenden Teil nur sehr eingeschränkt ist (siehe Abb. 7). Somit ist vor jeder Operation eine sehr genaue Planung nötig, was aber wiederum mit Problemen verbunden ist. Denn es fehlt der räumliche Bezug zwischen den vor der OP gewonnenen Daten und der Lage des Patienten während des Eingriffs.



Abbildung 7 „Minimal-Invasive Chirurgie“

Ein Projekt, das u.a. dieses Problem durch den Einsatz von Virtueller und Erweiterter Realität umgehen will, ist *MEDARPA – MEDical Augmented Reality for PATients* [7].

„Die Zielsetzung von MEDARPA besteht darin, die Durchführung konventioneller Methoden durch den Einsatz innovativer AR-Technologie zu unterstützen. Die fehlende visuelle Information, soll mithilfe von MEDARPA räumlich registriert geliefert werden, ohne dabei den Arzt durch komplizierte technische Geräte oder Aufbauten zu behindern. (...) Die Bereitstellung dieser Zusatzinformation erfolgt auf einem frei-positionierbaren, halbtransparenten Display und kann von dem Arzt je nach Behandlungssituation optional verwendet werden.“ (nach [8], siehe Abb.8)

Der Arzt muss während der OP nun den Blick nicht mehr weg vom Patienten hin auf einen Monitor wenden, sondern hat stets den Patienten im Blickfeld. Das multifunktionelle AR-Display kann verwendet werden, um verschiedene Informationen zusätzlich einzublenden. Dies können visualisierte Patientendaten wie Ultraschall oder CT sein, oder aber auch eine Unterstützung bei der Führung der Operationsinstrumente.



Abbildung 8 „MEDARPA“ [7]

Die exakte Überlagerung der Zusatzinformationen auf dem AR-Display mit dem Patienten wird durch Tracking möglich gemacht. Auf diese Technik wird in dieser Arbeit jedoch nicht eingegangen, da sie den Rahmen sprengen würde.²

² weitere Informationen unter

http://www.medien.informatik.uni-muenchen.de/fileadmin/mimuc/hs_2004/vortrag_pattis.pdf

http://www.medien.informatik.uni-muenchen.de/fileadmin/mimuc/hs_2004/vortrag_zeitler.pdf

2.6. Tele-Chirurgie

Die Tele-Chirurgie, auch Fernchirurgie genannt, ist ebenfalls ein Einsatzbereich von VR in der Medizin.

Die Funktionsweise ist einfach. Es gibt zwei so genannte „Module“. Ein *Worksite Module* (WM) (siehe Abb.9) und ein *Operator Module* (OM). (siehe Abb.10)

Wie auf den Bildern zu erkennen ist, befindet sich das WM auf Seiten des Patienten, das OM ist auf Seiten des Arztes im Einsatz.

Die Bilder des WM werden dem operierenden Arzt nun z.B. mittels eines Head-Mounted-Displays 3-dimensional visualisiert, so dass er den Eindruck bekommt, unmittelbar beim Patienten zu sein und an ihm zu operieren.

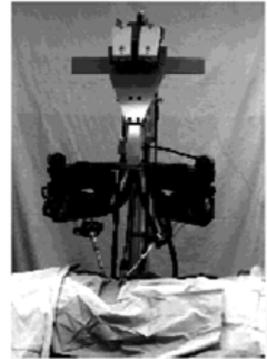


Abbildung 9 „Worksite Module“

Gleichzeitig werden die Bewegungen, welche der Arzt nun am OM durchführt, direkt an das WM weitergeleitet und von einem Operationsroboter ausgeführt.

Die Anforderungen an die Hardware sind dabei sehr hoch. So müssen die Bewegungen vom OM zum WM sehr genau und fein übertragen werden und der Arzt muss über exakte Force-Feedback-Geräte ein realistisches Gefühl dafür bekommen, wie intensiv seine Bewegungen übertragen werden.



Abbildung 10 „Operator Module“

Ein Vorteil dieser Methode ist, dass ein hoher Präzisionsstandard über lange Zeit gehalten werden kann. Man kann durch den Einsatz von entsprechender Software eventuelles Zittern bzw. kleinere Ungenauigkeiten ausmerzen, so dass die Schnitte immer fein und exakt durchgeführt werden.

Bei einer entsprechend ausgereiften Technik können auch komplizierte Krankentransporte vermieden werden. Z.B. müsste ein Unfallopfer nicht in eine u.U. weit entfernte Spezialklinik transportiert werden, sondern könnte an einem WM von einem räumlich weit entfernten Spezialisten operiert werden.

2.7. Psychiatrie & Psychologie

Auch in der Psychiatrie und der Psychologie hat die Virtuelle Realität Einzug erhalten. So werden z.B. bei der Schmerzkontrolle („Pain Control“) oder auch bei der Behandlung von Phobien VR-Techniken eingesetzt [11]

Bei der *Pain Control* geht es darum, den Patienten von seinen Schmerzen abzulenken und sie dadurch zu lindern. Erreichen will man dies, indem man den Patienten in eine virtuelle Welt eintauchen lässt und ihn in dieser beschäftigt, während der Arzt schmerzhaft Behandlungen durchführt.

Realisiert wird dies z.B. bei Brandopfern. Dem Patienten wird in diesem Falle über ein Head-Mounted-Display eine Schneewelt visualisiert, in die er auch interaktiv eingreifen kann.

Abbildung 11 zeigt einen Patienten während einer solchen Behandlung. Durch diese Verlagerung der Aufmerksamkeit auf diese kühlende und spielerische virtuelle Welt werden die Schmerzen gelindert und der Arzt kann den Patienten besser und leichter behandeln.



Abbildung 11 „Pain Control“ [11]

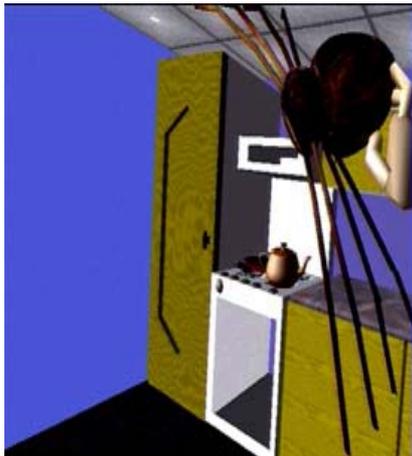


Abbildung 12 „Spinnenphobie“ [11]

Bei der Behandlung von Phobien wird ähnlich vorgegangen. Schlüsselerlebnisse werden dabei in der virtuellen Realität für den Patienten wiederholt. Dies geschieht wiederum z.B. über ein Head-Mounted-Display. Durch diese Art Schocktherapie soll dem Patienten dann die Angst genommen werden. Abbildung 12 zeigt ein mögliches Szenario bei einer Spinnenphobie. Der Patient bewegt sich frei in einem virtuellen Raum wie einer Küche und kann z.B. durch das Öffnen von Schubladen mit der Umwelt interagieren. Öffnet er nun eine Schublade, so kommt ihm eine Spinne entgegen und der Patient ist unmittelbar mit der Situation konfrontiert. Die Erfolgsquote bei derartigen Verfahren sind angeblich sehr hoch. Ein weiteres Einsatzgebiet ist z.B. Höhenangst.

2.8. Diagnose

Auch in der Diagnose bietet sich der Einsatz von VR an. Ein Beispiel hierfür ist die Diagnose eines Schleudertraumas [9]. Gerade wenn es um Schmerzensgeldforderungen geht, ist ein genauer Befund der Verletzung von Nöten.

Da nur weniger als 5% aller Schäden durch bildgebende Verfahren erkannt werden können, ist die Diagnose zum größten Teil von der individuellen Schmerzschilderung des Patienten und dem Tastsinn des behandelnden Arztes abhängig.

Daher wurde von Unfallchirurgen der Universität Ulm in Zusammenarbeit mit Computerspezialisten ein VR-System entwickelt, das eine objektivere Beurteilung des Schadens zulässt.

Der Patient bekommt hierzu ein Head-Mounted-Display aufgesetzt, über das er beispielsweise einem Lichtstrahl oder dem Flug eines Schmetterlings folgen muss. (siehe Abb.13)

Gleichzeitig wird über Sensoren bei Bewegungen des Kopfes die Anspannung der Nackenmuskulatur gemessen.

Am Computer können nun diese Daten analysiert werden. Somit werden schmerzhafte Bewegungen erkannt und es kann eine genaue Diagnose gestellt werden.



Abbildung 13 „Schleudertrauma“

2.9. Rehabilitation

In der Rehabilitation werden VR-Techniken eingesetzt, um dem Patienten einen schnelleren Heilungsverlauf zu ermöglichen.

Ein in der Praxis bereits eingesetztes System ist *IREX – Interactive Rehabilitation & Exercise Systems* [10].



Abbildung 14 „IREX“ [10]

Die Idee hinter diesem Projekt ist es, durch den Einsatz von VR Techniken mit einem hohen Grad an Interaktion Übungsumgebungen zu schaffen, in denen der Patient wieder seine gewohnten Bewegungsabläufe trainieren kann.

Die Anwendungsbereiche sind dabei recht breit gefächert. So wird das System in der Beschäftigungstherapie, in der Sportmedizin, in der Kinderheilkunde, in der Orthopädie, in der Physiotherapie und auch im Wellnessbereich eingesetzt.

Die Funktionsweise von *IREX* soll an Hand von Abbildung 15 erklärt werden.

Der Benutzer bzw. der Patient befindet sich vor einer grünen Wand. Eine Kamera, die sich über dem Monitor befindet, dient dabei als Tracking-System und registriert die Bewegungen des Nutzers. Der Benutzer ist zusätzlich noch mit einem Datenhandschuh ausgestattet, der die Bewegungen der Hand genau registriert. Der Benutzer und seine Bewegungen werden dann über den Monitor in einer virtuellen Übungsumgebung ausgegeben.

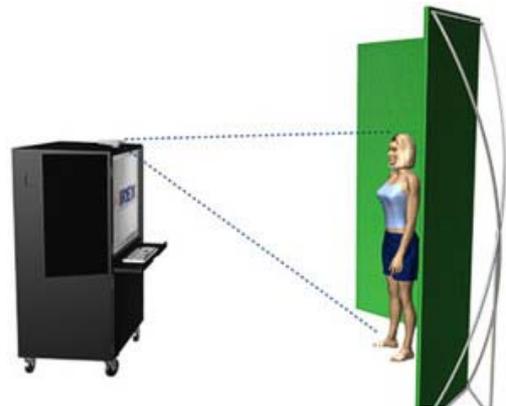


Abbildung 15 „IREX – Funktionsweise“ [10]

Das System unterstützt zwölf unterschiedliche, auf verschiedenen Bewegungsausführungen beruhende Übungsanwendungen.



Abbildung 16 „IREX – Übungsanwendungen“ [10]

Abbildung 16 zeigt zum einen eine Snowboard-Simulation, mittels derer z.B. der Gleichgewichtssinn geschult werden kann, bzw. ein interaktives Elfmeterschiessen, das sowohl Arme als auch Beine in die bewegten Körperpartien einschließt.

Die Vorteile einer durch VR Techniken gestützten Rehabilitation sind zum einen die große Artenvielfalt an Anwendungen und auch an Einsatzgebieten, zum anderen dürfte gerade für Kinder eine sehr hohe Motivation zu erreichen sein, so dass man gerade den spielerischen Aspekt als großen Vorteil sehen kann.

3. Abschließende Gedanken

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch den Einsatz von Virtueller und Erweiterter Realität in der Medizin viele Chancen bestehen, die medizinische Versorgung der Menschen zu verbessern.

Durch ein verbessertes Training, das die Ausbildung von auch in der Praxis bereits sehr erfahrenen Ärzten ermöglicht. Durch genaue Operationsplanungen, die die Ängste der Patienten vor einer Operation mindern können. Durch die deutlich geringere Belastung des Patienten vor, während und nach der Operation - ermöglicht durch die genaue Planung, die operationsunterstützenden VR und AR Techniken und schließlich durch den Einsatz in der Rehabilitation. Ein auch für die Zukunft noch sehr interessantes Forschungsfeld ist das der Teleoperationen. Für die Zukunft ist ein noch höherer Grad an Realismus zu erwarten. Außerdem werden die zur Zeit noch sehr, sehr teuren Geräte wohl auch im Preis sinken und somit eine wirkliche Alternative zu den konventionellen Methoden gerade in der Ausbildung.

Aber der Einsatz von modernster Technik in der Medizin bringt nicht nur Chancen mit sich, sondern birgt auch Gefahren.

Die wohl größte Gefahr besteht darin, dass sich der Mensch immer mehr von Maschinen abhängig macht. Die kann zum einen dazu verleiten, jegliche Verantwortung auf das Computersystem abzuwälzen, zum anderen setzt man sich auch Risiken wie Hardware-, Software-, Anwendungs-, Systemfehlern oder gar Sabotage aus.

Wichtig ist es, den Risiko-Nutzen Faktor genau abzuschätzen und das wirkliche Ziel, nämlich das Wohl des Patienten, nicht aus den Augen zu verlieren.

Literaturverzeichnis

- [1] **VOXEL-MAN**
http://www.uke.uni-hamburg.de/zentren/experimentelle_medizin/informatik/forschung/vm/index.en.html
- [2] **VOXEL-MAN 3D –Navigator: Innere Organe**
http://www.uke.uni-hamburg.de/zentren/experimentelle_medizin/informatik/vm3dn/innerorgans.de.html
- [3] **Virtuelle Orthopädische Realität - VOR**
<http://www.lsr.ei.tum.de/~frey/main.htm>
- [4] **Münchener Kniesimulator**
<http://www.lsr.ei.tum.de/~frey/kniesim/kniesim.htm>
- [5] **VOR - Zusammenfassung der Verbundvorhabensbeschreibung**
<http://www.lsr.ei.tum.de/~frey/proj/proj.htm>
- [6] **EXOMIO**
<http://www.phymed.de/exomio.htm>
<http://www.medintec.com/>
- [7] **MEDARPA**
<http://www.medarpa.de/>
- [8] **MEDARPA – Zielsetzung**
<http://www.medarpa.de/deutsch/seiten/projekt/motivation01.html>
- [9] **Diagnose Schleudertrauma**
http://www.innovations-report.de/html/berichte/medizin_gesundheit/bericht-14634.html
- [10] **IREX**
<http://www.irexonline.com/index.htm>
- [11] **VR in Psychiatrie & Psychologie**
<http://www.hitl.washington.edu/research/burn/>
<http://in3www.epfl.ch/~bulicny/school/vr/psychology/assignmentPsycho.html>
<http://www.hitl.washington.edu/projects/burn/>
<http://www.somersetmedicalcenter.com/14361.cfm>
- [12] **sonstiges Interessantes**
<http://www.lsr.ei.tum.de/~riener/>
<http://coe.sdsu.edu/eet/Articles/vrhandicapped/index.htm>
<http://www.innovations-report.de/html/berichte/veranstaltungen/special-3251.html>