

Michael Haubner  
Dr. sc. hum.

Entwicklung von Methoden der virtuellen Realität für ein System zur immersiven Analyse, Verarbeitung und Manipulation von medizinischen Bilddaten volumina  
Geboren am 22.11.1968 in München  
Reifeprüfung am 29.06.1988 in Rosenheim  
Studium der Informatik vom WS 1989 bis zum SS 1994  
Vordiplom am 26.11.1991 an der Technischen Universität München  
Diplom am 24.11.1994 an der Technischen Universität München

Promotionsfach: Medizinische Informatik  
Doktorvater: Prof. Dr. rer. biol. hum. R. Haux

Virtuelle Realität definiert eine neue Form der Mensch-Maschine-Kommunikation, die es ermöglicht, den Menschen unmittelbar in eine künstliche, computer-generierte Umgebung zu integrieren. Neben innovativen Peripheriegeräten zählen dazu Methoden der Computergraphik zur dreidimensionalen Visualisierung in Echtzeit. Als Weiterentwicklung der Benutzerschnittstelle hat die virtuelle Realität die Anpassung von Computerprogrammen und Interaktionsgeräten an die menschlichen Sinne und Fähigkeiten zum Ziel.

In vielen Industriezweigen werden virtuelle Umgebungen als Hilfsmittel bei der Ausbildung, der Planung und Entwicklung neuer Produkte sowie der Präsentation eingesetzt. Diese VR-Systeme binden den Benutzer in eine virtuelle Umgebung ein (Immersion), die dem realen menschlichen Umfeld ähnelt. Im Vergleich mit herkömmlichen Benutzerschnittstellen ergeben sich damit eine wesentlich einfachere, intuitive Systembenutzung, eine realistischere Darstellung und insgesamt eine bessere Übertragbarkeit der Simulationsergebnisse in die Realität. Die Anwendung der VR-Techniken auf dreidimensionale medizinische Datensätze, beispielsweise aus der Röntgencomputer- oder Kernspintomographie, scheitert derzeit an erheblichen Unterschieden der Einsatzgebiete in Bezug auf Ausgangsdaten, Interaktionstechniken, Genauigkeitsanspruch sowie Struktur und Komplexität des zu visualisierenden Datenmaterials. Die wenigen medizinischen VR-Systeme, die sich größtenteils noch im Entwicklungsstadium befinden, beschränken sich daher auf die Simulation spezieller Operationstechniken zu Ausbildungs- und Trainingszwecken. Für die Versorgung des individuellen Patienten lassen sich die Vorteile der virtuellen Realität heute noch nicht nutzen.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung von Datenstrukturen, Methoden und Algorithmen aus den Bereichen der Bildverarbeitung, Computergraphik, Parallelverarbeitung und Mensch-Maschine-Kommunikation zur Realisierung eines medizinischen VR-Systems. Der zentrale Punkt ist dabei die durchgängig immersive Ausführung der Verarbeitungsschritte für medizinische Bilddaten volumina, woraus sich eine Verbesserung von Diagnose und Therapieplanung und die Möglichkeit zur Simulation minimalinvasiver Eingriffe ergibt.

Die neu entwickelten und implementierten Visualisierungsmethoden für diskrete Volumen- und geometrische Oberflächendaten verfügen über Regelungsmechanismen, mittels derer eine fließende 3D-Darstellung auf unterschiedlich leistungsfähigen Hardwareplattformen gewährleistet wird. Optimierte Datenstrukturen stellen sicher, daß der dabei unter Umständen auftretende Verlust an Bildqualität nur einen minimalen Verlust an Bildinformation mit sich bringt. Zwei sich ergänzende Segmentationsverfahren erlauben die teilautomatische Identifikation von Bildinhalten im Rahmen vieler medizinischer Aufgabenstellungen. Dabei nutzen die notwendigen Interaktionsschritte intensiv die Vorteile der VR-basierten Benutzerschnittstelle. Visuelle Simulationen und Manipulationen werden durch ein neuartiges Navigationssystem unterstützt, das sich an die Erfahrung und Bedürfnisse des Anwenders anpassen läßt. Die Analyse der Daten ermöglichen dabei verschiedene Werkzeuge sowie hybride Visualisierungsverfahren zur kombinierten Darstellung segmentierter Objekte und unsegmentierter Volumenbereiche. Der Einsatz des entwickelten medizinischen VR-Systems wird anhand der innovativen Untersuchungstechniken der virtuellen Bronchoskopie und Koloskopie demonstriert. Die Aufbereitung und Präsentation der Tomographie-daten erfolgt

dabei in einer problemorientierten, für Internisten und Chirurgen gewohnten Form. Die realitätsnahe Simulation der endoskopischen Untersuchung ermöglicht die gezielte Diagnoseunterstützung und Operationsvorbereitung und macht Formveränderungen des segmentierten Tracheobronchialsystems bzw. Darmlumens deutlich sichtbar. Durch hybride Darstellungstechniken kann dabei das umgebende, extraluminale Gewebe visualisiert und analysiert werden. Zusätzlich unterstützt die virtuelle Koloskopie durch eine Projektion des Darmwandprofils ein schnelles Auffinden von Strukturen, bei denen es sich möglicherweise um Polypen oder Tumoren handelt, wodurch sich das Verfahren als Screening-Methode anbietet. Neben der virtuellen Endoskopie dient das implementierte System als Plattform für die neu entwickelten Techniken und Methoden in der Diagnose und Therapieplanung durch 3D-Bildanalyse, der Zugangsplanung für Operationen, der Strahlentherapieplanung, der bildgestützten 3D-Therapieverlaufskontrolle und der intraoperativen Unterstützung durch augmented reality. Damit können vor allem die Fachgebiete der Radiologie sowie der Chirurgie mit den Spezialgebieten Neuro-, Mund-Kiefer-Gesichts-, Gefäß- und Thoraxchirurgie von dem innovativen Zugang zu den medizinischen Bilddaten in der virtuellen Realität profitieren.

Die Erzeugung von virtuellen Umgebungen, die den Genauigkeitsansprüchen der Medizin genügen, erfordert derzeit den Einsatz von teuren Graphik-Supercomputern. Aufgrund der rasanten Weiterentwicklung auf dem Sektor der Computerhardware wird die erforderliche Verarbeitungs- und Darstellungsgeschwindigkeit in wenigen Jahren mit Workstations mittlerer Preiskategorien erzielbar sein. Dann steht mit den entwickelten VR-Methoden auch für den Routineeinsatz ein System zur Verfügung, das eine neue, problemorientierte Präsentation von tomographischen Schichtbildsequenzen ermöglicht. Dadurch werden Ausbildung und Training, Diagnose und Therapieplanung sowie eine individuelle Operationsvorbereitung mittels realistischer Darstellungs- und Interaktionsformen optimal unterstützt. Der Anwender wird sich dann aufgrund des natürlichen Umgangs mit den Daten und geeigneten Werkzeugen umfassend auf sein eigentliches Ziel konzentrieren können: die effiziente und effektive Analyse der medizinischen Bilddaten zur Verbesserung von Diagnostik und Therapie.