
Ein virtuelles Krankenhaus zur patientengerechten Visualisierung von medizinischen Tomographiedaten

René Tschirley* Kai Köchy* Steffen Märkle*

Zusammenfassung

Das PREPaRe-System (*Personal Repository for Electronic Patient Records* (engl.): Persönliches Repositorium für elektronische Patientenakten) ist ein internetbasiertes, verteiltes Informationssystem, das unterschiedliche Arten von medizinischen Daten aus einer elektronischen Patientenakte speichert, kombiniert, verarbeitet und visualisiert.

In diesem Artikel werden Architektur und Funktionsweise des PREPaRe Systems vorgestellt. Die besonderen Anforderungen, die sich aufgrund der Anwenderzielgruppe des Systems an die computergesteuerte Visualisierung ergeben, werden erläutert, Ansätze zur Lösung dieser Randbedingungen werden vorgestellt.

1 Motivation

Elektronische Rechenanlagen werden zur Verbesserung von Qualität und Effizienz der Gesundheitsversorgung eingesetzt. Zunehmend werden Computersysteme von medizinischen Einrichtungen eingesetzt, um Daten in elektronischen Patientenakten zusammenzufassen und zu archivieren [14]. Medizinische Bilddaten, wie sie beispielsweise von Computer- oder Magnetresonanztomographen elektronisch erzeugt werden, werden digital verarbeitet, gespeichert und eingesetzt.

In der medizinischen Fürsorge steht der Patient im Mittelpunkt. Bis heute ist die Rolle des Patienten jedoch überwiegend passiv. Existierende Computerprogramme, die elektronisch gespeicherte Untersuchungsergebnisse wie Tomographiedaten verwenden, wurden für medizinisches oder administratives Personal entworfen. Eine offensichtliche Ursache hierfür liegt im notwendigen Fachwissen, über das der Betrachter solcher Daten verfügen muss, um sie korrekt interpretieren zu können. Ein medizinischer Laie ist ohne geeignete Aufbereitung der Datensätze nur selten in der Lage, aus medizinischen Bilddaten Erkenntnisse zu gewinnen. Computerprogramme, die für Anwender ohne medizinisches Fachwissen entworfen wurde, basieren hingegen meist auf manuell bearbeiteten exemplarischen Daten von ausgewählten Körpern und ermöglichen keine Einbeziehung der medizinischen Daten des Anwenders.

Aufgrund der stark zunehmenden Verbreitung von Informationstechnologie kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft ein durchschnittlicher Patient über die technischen Möglichkeiten verfügt, eine internetbasierte elektronische Patientenakte abzurufen. Bereits

*Fachgebiet Computer Graphics, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, D-10587 Berlin, Germany

heute ist festzustellen, dass Patienten verfügbare Informationsquellen dazu nutzen, sich über medizinische Sachverhalte zu informieren. Dies ist besonders bei solchen Patientengruppen der Fall, die unter chronische Beschwerden leiden, die die Lebensqualität empfindlich verringern können. Die Lektüre von Onlinezyklopedien und Informationsforen fördert das Verständnis des vom Facharzt diagnostizierten Leidens, aktuelle Forschungsergebnisse und alternative Behandlungsmethoden werden recherchiert. Mit gewonnenen Informationen wird der Facharzt konsultiert, der die Qualität der gefundenen Information gemeinsam mit dem Patienten bewerten kann [3].

Um interessierten Patienten die Möglichkeit zu geben, sich selbst aktiv um ihre Gesundheit zu kümmern, wurde das PREPaRe-System entwickelt [13]. Es ermöglicht dem Anwender den Abruf seiner eigenen Gesundheitsdaten vom heimischen Personal Computer in der Umgebung seiner Familie oder aus der Praxis des behandelnden Arztes zu einem vertieften Beratungsgespräch. Eine Vielzahl von elektronischen Patientenakten, die im Leben des Patienten von verschiedenen Institutionen angelegt werden, können mit Hilfe des Systems zu einer *persönlichen Gesundheitsakte* zusammengefasst werden, so dass die enthaltenen Informationen mit Hilfe geeigneter computergestützter Analysemethoden dargestellt werden können.

Zur Realisierung des Systems werden bestehende Basistechnologien des Internet und existierender medizinischer Informationssysteme genutzt, die eine sichere End-zu-End Kommunikation anbieten.

2 Systemarchitektur

Eine virtuelle Umgebung, die einer realen Krankenhausumgebung nachgebildet wurde, ermöglicht eine intuitive Wahrnehmung von räumlichen und geometrischen Informationen [2]. Graphikhardware, die dem aktuellen Stand der Technik entspricht, ist in der Lage, auf einem Standard-PC eine virtuelle Welt interaktiv darzustellen. Dieses virtuelle Krankenhaus, im PREPaRe-System als *Makrowelt* bezeichnet, dient als Präsentationsplattform für die Darstellung der aufbereiteten Patientendaten, der *Mikrowelt*.

Die Darstellung der Makrowelt kann weiterhin dazu genutzt werden, dass sich ein Patient auf einen ambulanten oder stationären Krankenhausaufenthalt vorbereitet. Räumlichkeiten können besichtigt und virtuelle Modelle von Geräten betrachtet werden. Je nach Wunsch kann dem Informationsbedarf des Patienten entsprochen werden, indem weitere internetbasierte Informationsquellen, z. B. zu Untersuchungsmethoden angeboten werden. Dabei kann es sich um Verweise auf externe Datenbanksystemen handeln oder um Informationen, die in der virtuellen Welt dargestellt werden, wie Simulationen von Untersuchungsabläufen. Dieser Artikel konzentriert sich auf die integrierte Visualisierung der Mikrowelt und die dafür notwendige Vorverarbeitung der Bilddaten.

2.1 Datenakquisition

Der Fokus des entwickelten Prototyps liegt auf der Visualisierung von dreidimensionalen Bildinformationen. Zu den geläufigsten bildgebenden Verfahren in der Medizin gehören

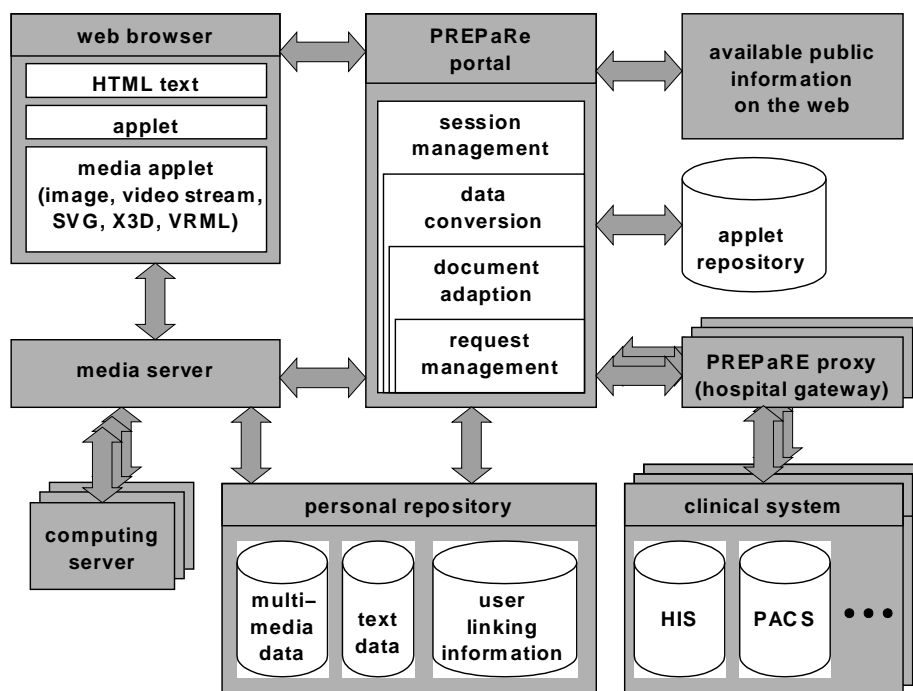


Abbildung 1: Die modulare Architektur des PREPaRe Systems. Zentraler Knoten ist das PREPaRe Portal, das den Zugriff auf klinische Systeme, die pers'önliche Gesundheitsakte sowie die Computersysteme zur Bilddatenverarbeitung steuert.

Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT), die sich in den verwendeten physikalischen Aufnahmeverfahren und somit in der Interpretation der Messdaten unterscheiden. Volumendaten werden in verschiedenen Arten von klinischen Informationssystemen gespeichert, wobei der Standard DICOM (*Digital Imaging and Communication*, [17]) mittlerweile breite Akzeptanz und Unterstützung genießt. Der Standard wurde für die Speicherung und Übertragung von diagnostischen Bilddaten entworfen und beinhaltet Datenstrukturen, Codierungsvorschriften und Protokolle zum Datentransfer. Mit Hilfe dieses Standards ist es leicht möglich, Daten aus einem klinischen Informationssystem in die pers'önliche Gesundheitsakte des Patienten zu transferieren.

Das PREPaRe System bietet als internetbasiertes Informationssystem einen zentralen Knoten für die pers'önliche Gesundheitsakte. Die Gliederung des PREPaRe-Systems in mehrere eigenständige Subsysteme ermöglicht eine weitestgehende Modularisierung (siehe Abbildung 1). Interface-Module stellen die Anbindung an internetbasierte Informationsquellen und klinische Informationssysteme sicher [12] und sorgen durch Kryptographie und Benutzerauthentifizierung für Datensicherheit und -konsistenz [9]. In Zusammenarbeit mit Fachärzten, die Bilddaten für den elektronischen Zugriff durch den Patienten freigeben, kann der Patient so Daten zu seiner Gesundheitsakte hinzufügen, um sie zu einem späteren

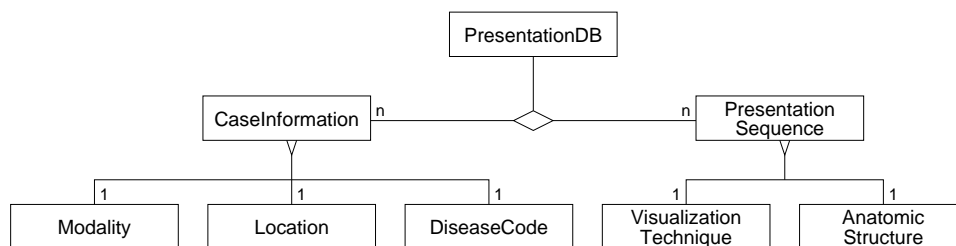


Abbildung 2: Die Struktur der Präsentationsdatenbank.

beliebigen Zeitpunkt anfordern zu können.

2.2 Datenaufbereitung

Das Mediaserver-Modul konvertiert die gespeicherten medizinischen Bilddaten auf Anforderung automatisch in leicht verständliche Präsentationsformen. Die angemessene Präsentationsform hängt von drei Punkten ab: dem Typ der Volumendaten, d.h. der Modalität, die diese Daten produziert hat (CT, MRT, etc.), von der abgebildeten Körperregion, sowie der Diagnose des Facharztes zu dem Datensatz. Alle Informationen können der elektronischen Patientenakte entnommen werden. Übliche Standards zur Archivierung von medizinischen Bilddaten Daten wie DICOM beinhalten neben den technischen Informationen zur Handhabung der Bilder auch Informationen zur Interpretation der Bilder, wie Codierungen von Modalität und anatomischer Region. Nach der Befundung der Bilddaten durch einen Facharzt wird der Patientenakte im Regelfall ein Diagnoseschlüssel beigefügt, der Rückschlüsse auf die Art von möglichen Krankheiten oder Defekten zulässt. Anhand dieser Informationen wählt das Vorverarbeitungsmodul des Mediaservers angemessene Visualisierungstechniken zur Präsentation des Datensatzes aus einer Präsentationsdatenbank aus [18]. Die Präsentationsdatenbank ordnet dazu einer Menge von Tripeln *Case Information* (Modalität, Körperregion, Diagnose) eine oder mehrere *Präsentationssequenzen* zu (siehe Abbildung 2). Eine Präsentationssequenz kann als eine Art Drehbuch interpretiert werden, das beinhaltet, in welcher Form die Daten dem Patienten präsentiert werden sollen, d. h. welche Aspekte verdeutlicht werden sollen, welche Visualisierungstechniken angewendet werden sollen etc. Die Kombination aus Fallinformation und Präsentationssequenz kann als Anfrage nach geeigneten Algorithmen interpretiert werden, wobei die Algorithmen aus der gegebenen Fallinformation die in der Präsentationssequenz geforderten Daten erzeugen, damit sie anschließend dem Patienten visualisiert werden können.

Die Algorithmen zur Aufbereitung der Daten werden einem erweiterten anatomischen Atlanten entnommen (siehe Abb. 3). Dazu wird die Fallinformation unter Berücksichtigung der Präsentationssequenz mit einer Menge von Algorithmen und Parametern in einer Datenbank zu Tripeln verknüpft. Die Algorithmen müssen ausgeführt werden, um das gewünschte Resultat zu erzeugen.

Ein Beispiel einer einfachen Aufbereitung für eine Computertomographie einer Extremität ist die Extraktion von Haut- und Knochenoberfläche. Der erweiterte Anatomische

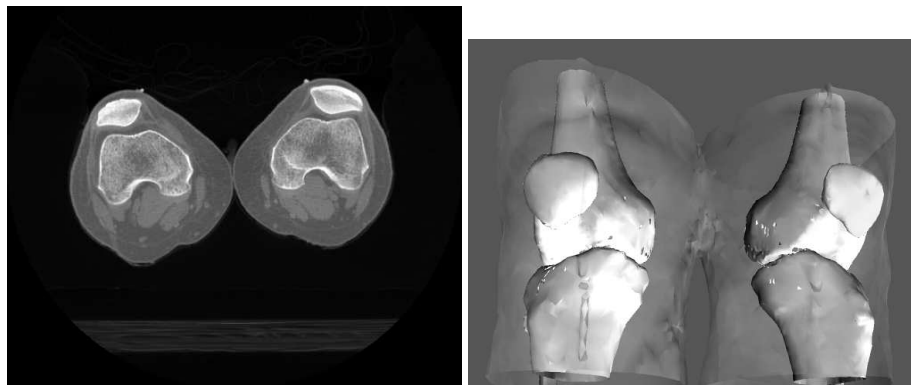


Abbildung 4: Links ein Schichtbild einer Computertomographie, wie es für Diagnosezwecke verwendet wird, rechts das Ergebnis einer leichtverständlichen Rekonstruktion von Haut- und Knochenoberfläche.

Atlas enthält für einen solchen Fall eine Verarbeitungskette von einfachen Algorithmen, wie Anwendung einer Implementierung des Marching Cubes Algorithmus [11] nach erfolgter Rauschfilterung, die zur Extraktion notwendigen Parameter der Isooberflächen (Hounsfield-Werte für Haut und Knochen), gefolgt von Oberflächenglättung, Entfernung von kleinen Objekten, und einer Dreiecksdezimierung für optimale Visualisierungsperformance. Werden die Ergebnisse dann für den Patienten visualisiert, wird die Interpretation in der Regel leichter ausfallen, als beim Betrachten der einzelnen CT-Schichten und der Patient kann seinen eigenen Datensatz ohne medizinisches Vorwissen betrachten (vgl. Abbildung 4).

Auch kann die Präsentationssequenz fordern, dass der Datensatz des Patienten mit einem generischen Datensatz fusioniert wird, um den anatomischen Zusammenhang zu verdeutlichen. Dies ist besonders dann sinnvoll, wenn der Patientendatensatz nur räumlich kleine Teile des Körpers abbildet. Ohne Übung in der Betrachtung solcher Ausschnitte kann es dann schwer fallen, Größenverhältnisse, Orientierung und genaue Lokalisation des abgebildeten Körperteils zu erfassen. Damit dem Patienten dann die Orientierung leichter fällt, wäre die Einbettung des Datensatzes in einen generischen Körper, z. B. durch Visualisierung der Hautoberfläche dargestellt, dem Verständnis förderlich. Für

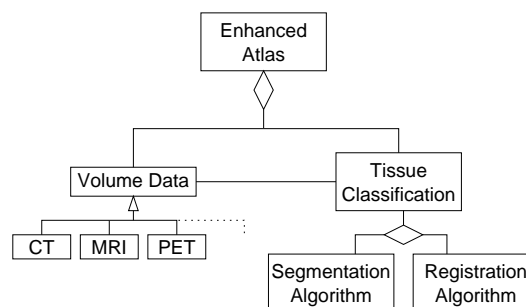


Abbildung 3: Der Aufbau des erweiterten anatomischen Atlas.

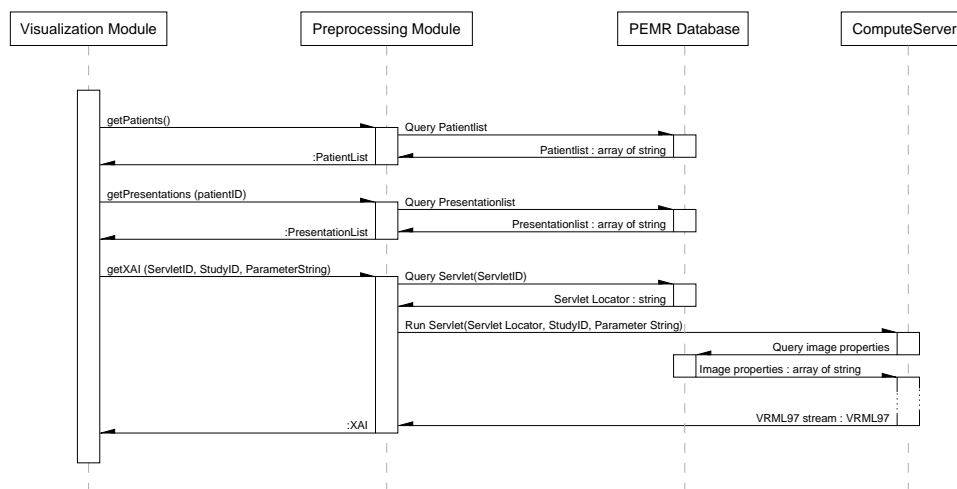


Abbildung 5: Das mehrstufige Information-Retrieval mit Abgleich von Patientendaten und Präsentationsdatenbank.

diesen Fall beinhaltet der erweiterte anatomische Atlas auch Algorithmen zur Registrierung von Patienten- und Atlasdaten sowie zur Datenfusion.

Das Ergebnis dieser Vorverarbeitung wird als erweiterte anatomische Information (*Extended Anatomic Information, XAI*) bezeichnet und in XML-codierter Form dem Visualisierungsmodul übermittelt. Dieses stellt die Kombination von Makro- und Mikrowelt am Computer des Anwenders graphisch dar und erlaubt im Rahmen der Definition der präsentierten Objekte Interaktion und Manipulation.

Abbildung 5 zeigt den mehrstufigen Ablauf des Information-Retrievals. Im ersten Schritt müssen die Daten des Patienten in der PREPaRe Datenbank lokalisiert werden. Das Visualisierungsmodul erhält eine Liste verfügbarer Patienten und kann die Daten des Benutzers auswählen. Anschließend wird eine Liste verfügbarer Präsentationssequenzen angefordert. Die Anfertigung der Liste impliziert die Durchführung des beschriebenen Abgleichs mit der Präsentationsdatenbank. Nachdem der Benutzer eine Präsentationssequenz ausgewählt hat, wird der XAI-Datensatz generiert und an das Visualisierungsmodul übermittelt.

Die Vorverarbeitung kompensiert somit das fehlende medizinische Wissen des Patienten, indem geeignete Algorithmen eine automatische Aufbereitung vornehmen. Seit einigen Jahren ist die Erforschung von Algorithmen zur automatischen Verarbeitung von medizinischen Bilddaten Gegenstand gezielter Forschung. Ein Ziel der Forschung ist es, die Algorithmen automatisch arbeiten zu lassen oder aber mit möglichst wenig Experteninteraktion [4]. Da Hauptanwendung medizinischer Bilddatenverarbeitung jedoch die diagnostische Anwendung ist, ist es meist von größerem Interesse, dass die Algorithmen eine bestmögliche Genauigkeit erreichen, um so die Diagnosequalität zu verbessern. Um dies zu erreichen kann es sinnvoll sein, einen Algorithmus nur semiautomatisch zu gestalten und auf vollständige Stabilität zu verzichten. Durch die Randbedingung eines überwachenden und

unterstützenden Experten kann die Qualität solcher Algorithmen im Allgemeinen deutlich verbessert werden.

Für das PREPaRe System spielt die Genauigkeit der Algorithmen hingegen eine untergeordnete Rolle, da keine diagnostische Qualität erreicht werden muss. Anstelle der Genauigkeit tritt eine größtmögliche Benutzerunabhängigkeit und Stabilität der Algorithmen, die durch reduzierte Genauigkeit, Anwendung von Schwellwertoperationen, Filterungen und Glättungen erkauft werden kann. Es ist unstrittig, dass ein patientenorientiertes Informationssystem nur eine Unterstützung der Beziehung des Patienten zum Arzt darstellen kann. Diagnostische Qualität ist somit nicht nur nicht notwendig, sondern explizit unerwünscht, da der behandelnde Arzt durch ein solches System nicht aus der Verantwortung genommen werden darf und dem Patienten nicht die Illusion erzeugt wird, er könne sich mit Hilfe eines Informationssystems besser diagnostizieren als ein Fachmann.

2.3 Visualisierung

Zur Darstellung der generierten Mikrowelt werden in der Computergraphik übliche Algorithmen wie Rendering von triangulierten Oberflächendaten, Volumenrendering und Blending von semitransparenten Objekten verwendet. Die XAI Beschreibung enthält Angaben zur Visualisierung, d.h. Informationen zu verwendbaren Algorithmen, Farbgebung und Transparenzen können direkt den Daten entnommen werden.

Neben der Visualisierung der Mikrowelt wird die Makrowelt dargestellt und erlaubt Navigation durch die einzelnen Räume der virtuellen Welt, Selektion von virtuellen Geräten zur Auswahl von Gerätesimulationen und Interaktion [10].

Interaktion mit der Mikrowelt ist möglich, wenn das PREPaRe System beispielsweise externe Informationssysteme wie Enzyklopädien verknüpft. Die durch eine Fusion mit einem generischen und klassifizierten Datensatz gewonnene Information über Bezeichnung segmentierter anatomischer Objekte kann dann dazu verwendet werden, die Objekte zu benennen und die Erklärungen zu nutzen, die Enzyklopädien für das benannte Objekt anbieten. Zum Zweck der Interaktion von mehreren Benutzern untereinander, zur virtuellen Beratung und dem Erfahrungsaustausch in einer Cyberwelt, ist das PREPaRe System als Multiusersystem entworfen, in dem sich ein Benutzer durch einen Avatar repräsentieren lässt und andere Benutzer wahrnehmen und mit ihnen kommunizieren kann.

3 Resultate

Im Rahmen von Lehrveranstaltungen an der TU Berlin wurden Prototypen für mehrere Module des PREPaRe-Systems realisiert. Bei der Entwicklung wurden folgende Punkte besonders berücksichtigt:

1. Plattformunabhängigkeit,
2. Integration der Client-Software in übliche Webbrowser,
3. Unterstützung von multiplen Blickwinkeln pro Benutzer zur Ansteuerung von stereoskopischen Bildausgabegeräten,

4. Anbindung von unterschiedlichsten Eingabegeräten (Tastatur, Maus, Trackball, SpaceOrb, Joystick, Datenhandschuh),
5. Integration von externen medizinischen Informationssystemen,
6. Effiziente Synchronisierung von Server und mehreren Clients,
7. Einbettung in eine virtuelle Welt.

Es wurden ausschließlich unentgeltlich verwendbare Softwarelösungen verwendet.

Ein VR-Server stellt die Makrowelt als virtuelle Umgebung in Form eines Java3D-Szenegraphen zur Verfügung, so dass jeder verbundene Client zur Geschwindigkeitsoptimierung eine lokale Kopie des gültigen Szenegraphen erstellen kann. Lokale Veränderungen am Szenegraphen werden dem Server mitgeteilt, der dann dafür sorgt, dass alle anderen Clients die Veränderungen berücksichtigen. Der Server realisiert weiterhin die Kontrolle der Benutzerprivilegien, so dass jeder Benutzer nur jene Daten visualisiert bekommt, für die seine Privilegien ausreichen. Als Beschreibung der virtuellen Welt wurde VRML97 aufgrund der breiten Akzeptanz gewählt [20], die Animation der Avatare erfolgt mit Hilfe von H-Anim [5]. Die Integration einer VRML97 Beschreibung in einen Java3D-Szenegraphen wurde durch Verwendung der Xj3D Bibliothek [7] erreicht.

Die Speicherung aller serverbezogenen Informationen erfolgt in einer MySQL Datenbank [15] mit JDBC Support. Die Wahl von Enterprise Java-Beans wurde verworfen, da das Setup unverhältnismäßig hohe Anforderungen stellt und sich in der Evaluierungsphase Performanceprobleme zeigten. Weiterhin war eine frei verfügbare Implementation noch nicht vorhanden. Lokal gespeicherte XML-DOM Daten wurden ebenfalls verworfen, wenngleich diese eine plattformunabhängige Variante mit leichter Möglichkeit zur Kommunikation bieten, da Objektpersistenz und Traversierung des Szenegraphen zu rechenintensiv wären. MySQL ist eine weit verbreitete Datenbank, für die sehr viele Erweiterungen und Interfaces verfügbar sind. Die Datenbank eignet sich gut, wenn die gespeicherte Datenmenge nicht zu groß und Performanceanforderungen nicht zu hoch sind. Die Serversoftware selbst wurde mit Hilfe des Apache Webserver [1] unter Verwendung von PHP Erweiterungen in Java implementiert.

Eine Java3D-basierte Implementierung dient als plattformunabhängiges Visualisierungsmodul und kann über einen herkömmlichen Webbrowser des Anwenders gestartet werden. Die automatische Generierung der XAI-Datensätze erfolgt mit Hilfe von MySQL-Datenbanken. Segmentierungs- und Registrierungsalgorithmen wurden in C++ implementiert und verwenden die Visualisierungsbibliothek VTK [8]. Die Kommunikation zwischen Media-Server und Datenbanken wurde mit plattformunabhängigen XML-RPC [19] umgesetzt.

Die Clients der Anwender des PREPaRe Systems kommunizieren untereinander sowie mit dem VR-Server mit Hilfe von Java RMI (*Java Remote Method Invocation*), Javas *New I/O-Channel API* sowie dem IEEE-Standard *Distributed Interactive Simulation* [6] und sind dazu in der Lage, sich dynamisch zu synchronisieren, um so auf Ereignisse und Manipulationen des Szenegraphen während der Laufzeit zu reagieren. Die Verwendung von Java RMI anstatt des bekannten Standards CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*) [16] erfolgte aus Performancegründen. Da Plattformunabhängigkeit ein primäres



Abbildung 6: Das virtuelle Hospital. Die Ansicht eines Untersuchungsraumes aus einem Kontrollraum (links) und die Benutzung des Systems mit einer Stereoprojektionswand (rechts).

Ziel von Java selbst ist, kann die Kommunikationsschnittstelle annehmen, dass auf allen kommunizierenden Plattformen identische Objektrepräsentationen vorliegen. Datentypen müssen nicht gekapselt transferiert werden, was in einem deutlichen Geschwindigkeitsvorteil resultiert. Geschwindigkeitstests zum Transfer von 1000 Integerzahlen in einer Schleife von 262 Wiederholungen über ein lokales 100MBit Netzwerk, was beim Transfer eines Teils des Szenegraphen leicht nötig sein kann, benötigten mit Java RMI durchschnittlich 1034ms, während die CORBA-basierte Variante 2200ms benötigte.

4 Fazit

Die entworfenen Prototypen der PREPaRe-Module realisieren einen ersten Ansatz, um dem interessierten Benutzer einen intuitiven Zugang zu seinen medizinischen Daten zu erlauben. Durch das persönliche Repositorium der Gesundheitsakte werden ausgewählte Daten der elektronischen Patientenakte verknüpft und den Kenntnissen des Benutzers entsprechend aufbereitet. Die Verwendung der automatisch selektierten Verarbeitungsalgorithmen ermöglicht das Betrachten von Datensätzen, was normalerweise Expertenwissen voraussetzt und bislang Anwendern professioneller Softwareapplikationen vorbehalten war. Das vorgestellte System kann als kooperative Multiuser-Umgebung genutzt werden. Interaktion mit anderen Anwendern wurde exemplarisch realisiert und ermöglicht die Umsetzung von Chaträumen zum Erfahrungsaustausch von Patienten. Die Umgebung eines virtuellen Krankenhauses ermöglicht dem Anwender einen virtuellen Besuch im Krankenhaus. Existierende internetbasierte Informationsquellen werden über das PREPaRe-Portal eingebunden und ermöglichen die Kombination mit anderen Informationssystemen.

5 Danksagung

Die Autoren möchten allen Personen danken, die an der Entwicklung des Prototyps beteiligt waren. Viele Module sind das Ergebnis von studentischer Arbeit im Rahmen von Lehrveranstaltungen an der Technischen Universität Berlin, die von den Autoren durchgeführt wurden. Ohne die Hilfe unserer Studenten wäre die gründliche Evaluierung derart vieler Softwarepakete und somit eine gute Realisierung nicht möglich gewesen.

Literatur

- [1] The Apache Software Foundation. *The Apache HTTP Server*, 1999. Open Source Software. <http://apache.org>.
- [2] Jutta Becker, René Tschirley, and Steffen Märkle. Construction of a 3d information system for hospital environments. In M. Wiltgen G. Gell, A. Holzinger, editor, *Proceedings of EuroPACS 2000, From PACS to Internet / Intranet Information-Systems, Multimedia and Telemedicine*, pages 232–238, 2000. ISBN 3-85403-144-0.
- [3] Michael Brucksch and Christian Lenz. e-med - medizin und gesundheitswesen im elektronischen zeitalter. *Der Computer-Führer für Ärzte*, pages 112–118, 2000.
- [4] Joseph V. Hanjal. *Medical Image Registration*. Biomedical Engineering Series. CRC Press LLC, Boca Raton, 2001. ISBN 0-8493-0064-9.
- [5] The Humanoid Animation Working Group. *The Humanoid Animation Specification (H-Anim)*, 2001. Draft. <http://www.h-anim.org/Specifications/H-Anim2001>.
- [6] The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. *IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation – Application Protocols*, 1998. IEEE Std 1278.1a, New York. <http://standards.ieee.org>. ISBN 0-7381-0174-5.
- [7] The Java3D Working Group. *Xj3D Open Source VRML/X3D Toolkit*, 1998. Open Source Software. <http://www.web3d.org/TaskGroups/source/xj3d.html>.
- [8] Kitware Inc. *The Visualization Toolkit*, 2002. Open Source Software. <http://www.kitware.com/vtk>.
- [9] Kai Köchy, Christian Kirschbaum, René Tschirley, and Steffen Märkle. A client server architecture based on secure communication for visualization of and interaction with 3-d medical data. In Jaakko Niinimäki et al., editor, *Proceedings of EuroPACS 2002*, pages 63–65. Oulu University Press. Oulu, 2002. ISBN 952-5325-06-7.
- [10] Kai Köchy, René Tschirley, and Steffen Märkle. Patient-oriented visualisation and interaction in a three dimensional environment. In et al. H. U. Lemke, editor, *Proceedings of CARS 2002 Computer Assisted Radiology and Surgery*, pages 641–646. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2002. ISBN 3-540-43655-3.

-
- [11] William E. Lorensen and Harvey E. Cline. Marching cubes: A high resolution 3d surface construction algorithm. *Computer Graphics*, 21(4):163–169, 1987.
- [12] Steffen M'arkle. Das konzept einer pers'onlichen elektronischen patientenakte im prepare-system. In G. Steyer et al., editor, *Tagungsband der Telemed 2001*. Berlin, Germany, 2001.
- [13] Steffen M'arkle, Kai K'ochy, Ren' Tschirley, and Heinz Ulrich Lemke. The prepare system – patient oriented access to the personal electronic medical record. In et al. H. U. Lemke, editor, *Proceedings of CARS 2001 Computer Assisted Radiology and Surgery*, Excerpta Medica International Congress Series, pages 849–854. Elsevier-Verlag, Amsterdam, 2001. ISBN 0-444-50866.
- [14] Steffen M'arkle and Heinz Ulrich Lemke. Die elektronische patientenakte – ist eine standardisierung in sicht? In *Tagungsband der Jahrestagung des VDE, Band 2*, pages 69–74, 2002.
- [15] MySQL AB, Uppsala, Sweden. *MySQL*, 2002. Open Source Software. <http://www.mysql.com>.
- [16] The Object Management Group. *CORBA – the Common Object Request Broker Architecture*, 1997. Internet Standard. <http://www.omg.org>.
- [17] Herman Oosterwijk. *DICOM Basics*. OTech Inc., 2000. ISBN 90-75498-39-X.
- [18] Ren' Tschirley, Kai K'ochy, and Steffen M'arkle. Patient-oriented segmentation and visualization of medical data. In M. H. Hamza, editor, *Proceedings of CGIM 2002 Computer Graphics and Imaging*. ACTA Press, Anaheim, USA, 2002.
- [19] UserLand Software, Inc. *XML RPC*, 2002. Open Source Software. <http://www.xmlrpc.com>.
- [20] The Web3D Consortium. *The Virtual Reality Modelling Language*, 1997. ICO/IEC Std 14772-1:1997. <http://web3d.org/technicalinfo/specifications>.