

Konzeption und Spezifikation eines webbasierten virtuellen Krankenhauses

René Tschirley

Kai Köchy

Steffen Märkle

Technischer Bericht 2003/12
der Fachgruppe Computer Graphics and Computer Assisted Medicine
der Fakultät IV – Elektrotechnik und Informatik
der Technischen Universität Berlin
ISSN 1436-9915 2003/12

Zusammenfassung

Das PREPaRe-System (*Personal Repository for Electronic Patient Records* (engl.): Persönliches Repository für elektronische Patientenakten) ist ein internetbasiertes, verteiltes Informationssystem, das unterschiedliche Arten von medizinischen Daten aus einer *elektronischen Patientenakte* (EPA) speichert, kombiniert, verarbeitet und visualisiert. Die Besonderheit, sich an medizinisch nicht ausgebildete Patienten als Zielanwender zu richten, resultiert in einer Reihe von Anforderungen, die nicht trivial gelöst werden können.

In diesem Bericht werden die Entwicklung von Konzept und Spezifikation des PREPaRe-Systems, sowie Modellierung, Design und Implementierung eines Prototypen beschrieben. Die Resultate werden durch die Bewertung der nach *Quality Function Deployment* (QFD) angefertigten Spezifikationsvorschrift ausgewertet.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 5 |
| 2 | Konzeption und Spezifikation | 7 |
| 2.1 | Konzeption | 7 |
| 2.2 | Spezifikation | 10 |
| 3 | Umsetzung | 13 |
| 3.1 | Modellierung | 13 |
| 3.1.1 | Virtual Environment Server | 13 |
| 3.1.2 | User Client | 14 |
| 3.1.3 | Network Communication | 14 |
| 3.2 | Technische Realisierung | 16 |
| 3.2.1 | Virtual Environment Server | 16 |
| 3.2.2 | User Client | 16 |
| 3.2.3 | Network Communication | 17 |
| 4 | Resultate | 19 |
| | Literatur- und Quellenverzeichnis | 22 |
| | Standards | 24 |
| | PREPaRe-Projektberichte | 24 |
| | Software und Internet-Quellen | 25 |
| A | Spezifikationstabellen | 27 |
| A.1 | Korrelationsmatrix der Anforderungskataloge | 28 |
| A.2 | Korrelationen der Anforderungen und technischen Parametern | 30 |
| A.3 | Evaluationskatalog | 36 |
| A.3.1 | PREPaRe-Prototyp | 44 |

Kapitel 1

Einleitung

In der Gesundheitsversorgung werden elektronische Rechenanlagen zur Verbesserung von Qualität und Effizienz eingesetzt. Zunehmend werden Computersysteme von medizinischen Einrichtungen eingesetzt, um Daten in *elektronischen Patientenakten* (EPA) zusammenzufassen und zu archivieren. Medizinische Bilddaten, wie sie beispielsweise von Computer- oder Magnetresonanztomographen elektronisch erzeugt werden, werden digital verarbeitet, gespeichert und zu diagnostischen Zwecken verwendet [Huang 1996]. Jüngere Bestrebungen richten sich auf die Vereinheitlichung der Speicherung solcher elektronischen Patientenakten und die Schaffung eines akzeptierten Standards [Märkle und Lemke 2002, Prokosch 2001, Prokosch et al. 2001].

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 der Betrachtung von medizinischen Bilddaten Erkenntnisse zu gewinnen. Computerprogramme, die für Anwender ohne medizinisches Fachwissen entworfen wurden, basieren hingegen meist auf manuell bearbeiteten exemplarischen Daten von ausgewählten Testpersonen und ermöglichen keine Einbeziehung der medizinischen Daten des Anwenders.

Um interessierten Patienten die Möglichkeit zu geben, sich selbst aktiver um ihre Gesundheit zu kümmern, wurde von der Fachgruppe *Computer Graphics and Computer Assisted Medicine* der Technischen Universität Berlin das PREPaRe-System (*Personal Repository for Electronic Patient Records*) entworfen [Märkle et al. 2001]. 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. Der Schwerpunkt der Forschung ist die integrierte Darstellung von dreidimensionalen Tomographiedatensätzen. Zur Visualisierung werden 3D-computergrafische Verfahren verwendet, die dem Benutzer als *virtuelles Krankenhaus* präsentiert werden [Köchy 2004, Tschirley et al. 2003a, Märkle et al. 2002b].

Eine virtuelle Umgebung ist der natürlichen Wahrnehmung von räumlichen Informationen nachempfunden und erscheint deshalb als günstige Präsentationsplattform für räumliche Repräsentationen anatomischer Informationen. Da mittlerweile 3D Grafikbeschleuniger in handelsüblichen Grafikkarten für Personal Computer in Hardware integriert sind, wird diese Eigenschaft der Grafikkarte zur Darstellung der virtuellen Umgebung vorausgesetzt. Die Visualisierung der medizinischen Bilddaten in einer virtuellen Realität erscheint dazu geeignet, eine immersive Welt zu erzeugen, die darüber hinaus noch die integrierte Visualisierung chirurgischer Simulationen erlaubt, so dass sich der Anwender

bei Bedarf über den Ablauf von chirurgischen Eingriffen oder über die Funktionsweise verschiedener Geräte informieren kann.



Abbildung 1.1: Eine Ansicht aus dem virtuellen Krankenhaus.

Um beispielsweise einen Zugriff auf medizinische Daten zu erreichen, ist ein Interface Subsystem für das Abfragen von klinischen Datenbanken notwendig. Medizinische Bilddaten, besonders Volumendaten, sind in verschiedenen Arten von klinischen Informationssystemen, wie *Hospital Information Systems* (HIS), *Radiology Information Systems* (RIS) oder *Picture Archiving and Communication Systems* (PACS) gespeichert. Es wurde bereits beschrieben, wie ein Interface Subsystem unter Zuhilfenahme frei verfügbarer kryptographischer Software einen sicheren und authentisierten Zugriff auf klinische Informationssysteme anbieten und so die Daten über das persönliche Repositorium verfügbar machen kann [Köchy et al. 2002a, Märkle 2001]. Andere Subsysteme realisieren die Vorverarbeitung der medizinischen Bilddaten, so dass der Anwender des Systems durch das Betrachten der Daten einen Informationsgewinn erfährt [Tschirley et al. 2003a, Tschirley et al. 2002]. Dieses Vorverarbeitung ist offensichtlich zwingend notwendig, da die Interpretation von medizinischen Bilddaten technisches Wissen voraussetzt, über das der durchschnittliche Benutzer nicht verfügt. Das Wissen, das notwendig ist, um aus den medizinischen Bilddaten eine für den Laien verständliche Repräsentation abzuleiten, muss vom Vorverarbeitungssystem bereit gestellt werden.

In diesem Bericht wird die Umsetzung eines Teils des PREPaRe-Systems beschrieben. Dieser Teil enthält die Client- und Serversoftware, die dafür benötigt wird, dass der Benutzer aktiv am virtuellen Krankenhaus partizipieren kann.

Das PREPaRe-System realisiert ein solches virtuelles Krankenhaus, wie bereits in [Becker et al. 2000a] vorgestellt. Neben den medizinischen Einrichtungen, die als *Makrowelt* visualisiert werden, enthält die dargestellte *Mikrowelt* Abbilder der anatomischen Strukturen des Patienten (siehe Abbildung 1.1). Die Kombination von Makro- und Mikrowelt stellt die visualisierte virtuelle Umgebung dar.

Wie in [Märkle et al. 2001] beschrieben, ist das PREPaRe-System ein komplexes System aus verschiedenen Subsystemen. Um beispielsweise einen Zugriff auf medizinische Daten zu erreichen, ist ein Interface Subsystem

Kapitel 2

Konzeption und Spezifikation

Für die Entwicklung komplexer Softwaresysteme ist ein klares Systemkonzept notwendig [Sommerville 2001]. Mit Hilfe des *Quality Function Deployment* Verfahrens [Mizuno und Akao 1994] wurde in schrittweiser Verfeinerung aus dem Konzept eine Spezifikation entwickelt, die zusätzlich zur Evaluierung des entwickelten Prototyps verwendet wurde.

2.1 Konzeption

Die Anforderungen aus Benutzersicht sind aus einer beispielhaft beschriebenen Benutzung des PRE-PaRe-Systems erkennbar:

Der Patient befand sich in einem Klinikum oder einer radiologischen Praxis, wo auf Anforderung eines Facharztes ein dreidimensionaler Tomographiedatensatz von einem Teil des Patienten angefertigt wurde. Der Radiologe hat den Datensatz bereits befundet und die Ergebnisse im klinischen Informationssystem notiert, so dass sie in computerlesbarer Form existieren. Im Gespräch mit dem Facharzt oder Hausarzt wurde der Patient bereits über das Untersuchungsergebnis aufgeklärt und eventuelle Therapiemöglichkeiten wurden diskutiert.

Im Kreise der Familie würde der Patient nun gern noch einmal das Bildmaterial vorliegen haben, um es sich gemeinsam ansehen zu können, um das Besprochene neu zu diskutieren und um anhand der Diagnosebezeichnung selbständig im Internet nach Informationen zu suchen.

Der Patient verbindet seinen heimischen Personal Computer mit dem Internet und begibt sich zum PREPaRe-Portal. Er betritt das virtuelle Krankenhaus an der Rezeption. Einem Avatar gegenüber weist er seine Identität nach, aus der seine Befugnisse im Krankenhaus abgeleitet werden. Der Patient kann mit durch Avatare repräsentierten anderen Patienten interagieren, beispielsweise kommunizieren, um Erfahrungen auszutauschen.

In einem gesonderten Raum kann der Patient sowohl seine Untersuchungsergebnisse als auch die Annotationen des Radiologen, des Facharztes und seines Hausarztes abrufen. Den dreidimensionalen Tomographiedatensatz hat der Patient auf einer CD-ROM, da der eventuell notwendige Transfer über schmalbandige private Internet-Anbindungen inakzeptabel wäre. Je nach Kenntnisstand und technischen Voraussetzungen kann er neben Texten und einfachen Bildern verschiedene dreidimensionale Repräsentationen anzeigen lassen, die aus seinen Untersuchungsergebnissen abgeleitet wurden. Dabei kann eine hybride Darstellung von Volumendaten über Volumenrendering-Algorithmen und Polygondatensätzen verwendet werden, so dass das untersuchte Körperteil in das virtuelle Krankenhaus eingebettet präsentiert wird.

Über einen Hyperlink-Mechanismus kann der Patient externe, angebundene Informationsquellen nutzen. Dabei handelt es sich beispielsweise um Enzyklopädien zu Anatomie

und Pathologie oder Patientenforen. Falls vom Facharzt eine weitere klinisch durchzuführende Therapie angeraten wurde, kann sich der Patient über die Räumlichkeiten und Gerätschaften, mit denen er in Folge der Therapie in Kontakt treten wird, in Ruhe informieren.

Da der behandelnde Facharzt eine klinikgestützte Therapie vorgeschlagen hat und der Patient sich nun ausreichend informiert fühlt und der Therapie zustimmt, besucht er erneut das virtuelle Krankenhaus, um mit einem Avatar einen Termin für den Klinikbesuch zu vereinbaren und bereits vorab benötigte Informationen zu hinterlegen.

Nach dieser abstrakten Beschreibung der Funktionalität ergibt sich ohne Berücksichtigung der Wichtigkeit folgender Anforderungskatalog aus Benutzersicht:

Das System:

1. stillt das Informationsbedürfnis des Patienten,
2. ermutigt den Patienten, sich aktiv um seine Gesundheit zu kümmern,
3. integriert Kommunikationsmöglichkeiten mit anderen Benutzern,
4. beinhaltet Patienten-spezifische Daten wie Untersuchungsergebnisse und Befunde und Anmerkungen der Fachärzte,
5. präsentiert diese Daten angemessen,
6. zeigt nur Daten, die unbedenklich sind oder die vom Facharzt nicht als vertraulich klassifiziert wurden,
7. integriert außerhalb des Systems liegende Online-Informationsquellen wie Informationsseiten, Enzyklopädien und Kommunikationsforen,
8. bietet Erklärungen zu medizinischen Einrichtungen und Geräten,
9. ermöglicht Eingaben in die Datenbanksysteme der Klinik, wie beispielsweise die Vereinbarung von Untersuchungsterminen,
10. präsentiert sich als dreidimensionale virtuelle Welt.

Aus dieser Liste der Anforderungen ergeben sich bereits einige technische Anforderungen, die den Katalog erweitern:

Das System:

11. ist vom heimischen PC des Patienten bedienbar,
12. generiert ein persönliches Repositorium, einen Meta-Index, der die Lokationen der Patientendaten in den verschiedenen medizinischen Datenbanken verwaltet und nötigenfalls dazu in der Lage ist, diese Informationen zu spiegeln,
13. unterstützt sowohl Online- als auch Offline-Medien,
14. berücksichtigt den Schutz der persönlichen Daten,
15. ist leicht bedienbar,
16. beinhaltet Wissen, wie Patientendaten geeignet zu präsentieren sind,
17. nutzt aktuell verfügbare Möglichkeiten der Interaktion und 3D-Visualisierung,
18. nutzt nach Möglichkeit für rechenintensive zeitkritische Prozesse geeignete externe Rechenanlagen (*Compute Server*), wenn diese verfügbar sind.

Weitere Anforderungen kommen bei technischer Betrachtung des Systems hinzu:

| Nr | Name | Portal-Software | Browser-Applet | Personal Repository | Media Server | Hospital Gateway |
|----|---|-----------------|----------------|---------------------|--------------|------------------|
| 1 | Stillt Informationsbedürfnis | 9 | | | | |
| 2 | Ermutigt zur Aktivität | 9 | | | | |
| 3 | Kommunikationsmöglichkeiten | 9 | 3 | | | |
| 4 | Patienten-spezifische Daten | 3 | | 3 | 9 | 9 |
| 5 | Angemessene Präsentation | 3 | 9 | | 9 | |
| 6 | Nur unbedenkliche Daten | 9 | | | | 9 |
| 7 | Externe Informationsquellen | 9 | | 3 | 3 | |
| 8 | Erklärungen zu Einrichtungen und Geräten | 9 | | | | |
| 9 | Eingaben in klinische Datenbanksysteme | 3 | 1 | | | 9 |
| 10 | Dreidimensionale Welt | 3 | 3 | | | |
| 11 | Vom heimischen PC nutzbar | 1 | 9 | | | |
| 12 | Persönliches Repositorium mit Meta-Index | | | 9 | | |
| 13 | Online- und Offline-Medien | | | 9 | | |
| 14 | Schutz persönlicher Daten | 9 | 1 | 3 | | 9 |
| 15 | Leichte Bedienbarkeit | 9 | 9 | | | |
| 16 | Wissen um geeignete Präsentation | 9 | 1 | | 9 | |
| 17 | Moderne Interaktions- und 3D-Visualisierungstechnik | 9 | 9 | | 9 | |
| 18 | Nutzung von Rechenservern | | 3 | | 9 | |
| 19 | Modularität | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | Basistechnologien | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 21 | WWW-Portal | 9 | | | | |

Tabelle 2.1: Der initiale Anforderungskatalog. Zuordnung der initialen Anforderungen zu den einzelnen Modulen. Die Zahlen geben die Stärke der Korrelationen an (1 = schwache Korrelation, 3 = deutliche Korrelation, 9 = sehr starke Korrelation, sonst keine Korrelation), d. h. es ist verzeichnet, zu welchem Grad die jeweiligen Anforderungen von dem jeweiligen Modul betroffen ist und zur Erfüllung der Anforderung beitragen muss.

19. Die Architektur des PREPaRe-Systems soll das Einbinden von Modulen mit unterschiedlicher Funktionalität begünstigen, so dass einzelne Funktionalitäten unabhängig realisiert werden können, ohne die Funktionstüchtigkeit des Gesamtsystems in Frage zu stellen.
20. Zur Realisierung des Systems sollen bestehende Internet-Basistechnologien genutzt werden
21. Ein Portal, über einen WWW-Browser angewählt, soll den Zugang zu dem virtuellen Krankenhaus darstellen.

Diese Aufzählung stellt den initialen unsortierten Anforderungskatalog dar, der bei Modellierung und Spezifikation des Systems berücksichtigt werden soll (vgl. Tabelle 2.1).

Der Benutzer verwendet einen herkömmlichen WWW-Browser zum Starten geeigneter portabler Software (*Applet*), die dann mit dem PREPaRe-Portal Kontakt aufnimmt. Das Applet beherbergt das Visualisierungssystem, das später die Darstellung der virtuellen Welt übernimmt. Die Speicherung dieser Welt findet in der Portalsoftware statt. Die Applet-Software ist soweit wie möglich plattformunabhängig zu realisieren, um den Zugriff auf das Portal vom heimischen PC zu ermöglichen. Wenn dies nicht möglich ist, sind automatisch geeignete Rechenserver zu kontaktieren, die den nicht plattformunabhängigen Teil durchführen und die Ergebnisse an das Applet leiten.

Die Portalsoftware definiert die Präsentation des PREPaRe-Systems. Die interne Struktur der Präsentationsplattform stellt die dreidimensionale virtuelle Welt so zur Verfügung, dass sie von dem Browser-Applet visualisiert werden kann und gleichzeitigen Zugriff mehrerer Benutzer ermöglicht. Die Kommunikation der Benutzer untereinander wird durch die jeweiligen Applets durchgeführt und von der

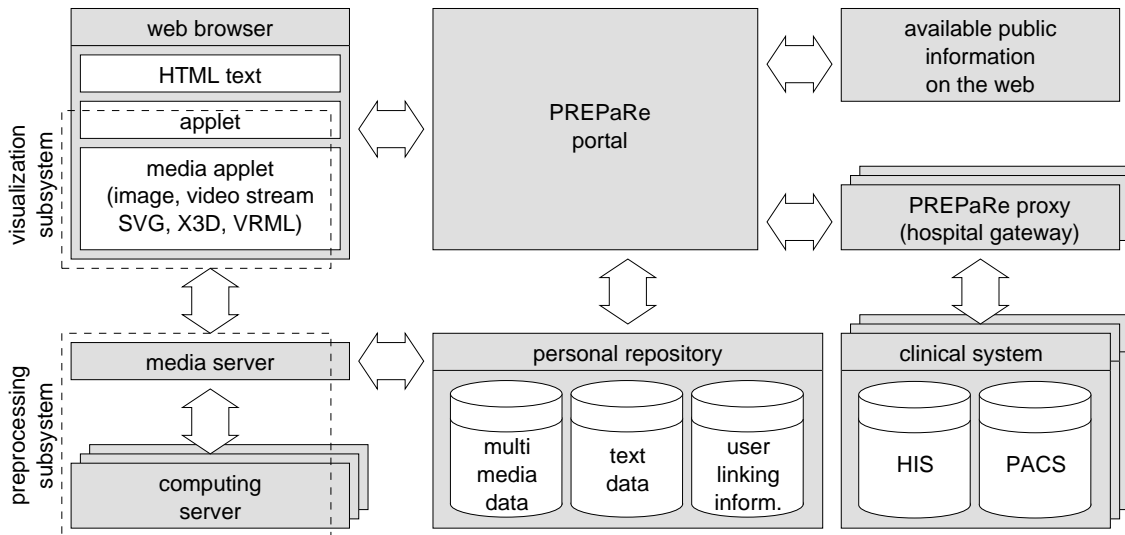


Abbildung 2.1: Architektur des PREPaRe-Systems (nach [Märkle et al. 2001]).

Portal-Software gesteuert. Durch Inhalt und Aufbau der bereitgestellten Information wird ein wesentlicher Teil des Informationsgehaltes bestimmt. Durch ansprechende und leichte Benutzbarkeit sowie informative Inhalte ist das Informationsbedürfnis des Patienten zu stillen.

Das PREPaRe-Portal bietet opaken Zugriff auf verschiedene Datenquellen, wie zum Beispiel dem persönlichen Repositorium, welches als Subsystem die Verwaltung der medizinischen Daten übernimmt, als auch in klinischen Datenbanken liegen können. Ein spezielles Gateway sorgt für die Interoperabilität mit den klinischen Kommunikationsprotokollen. Der Schutz der Daten ist eine wesentliche Anforderung an das Gateway.

Es wird davon ausgegangen, dass das persönliche Repositorium Daten speichern kann, die einem klinischen Informationssystem entnommen wurden, bzw. eine Möglichkeit des Online-Zugriffs auf die klinischen Systeme ermöglicht. Teile oder das komplette Repositorium können ausschließlich oder auch zusätzlich auf Offline-Speichermedien (Wechselfestplatte, CD, DVD) gespeichert sein, um einen Datentransfer bei schmalbandigem Kommunikationskanal unnötig zu machen und durch den schnellen lokalen Transfer zu ersetzen. Die Lokalisation und Sicherstellung der Integrität der Daten wird als durch das Repositorium gegeben angenommen. Da auch der Zugriff auf die klinischen Datenquellen über das klinische Repositorium als Kontrollinstanz erfolgen soll, kann vereinfachend das persönliche Repositorium als indirekte Quelle aller medizinischer Daten angenommen werden.

In diesen Datenquellen liegen multimediale Daten zum Abruf bereit. Während die Präsentation von Textinformationen keine technischen Schwierigkeiten darstellt und durch die Portalsoftware selbst übernommen wird, wird zur patientengerechten Darstellung von medizinischen Tomographiedaten das Vorverarbeitungs-Subsystem verwendet, das die medizinischen Daten für den Patienten geeignet aufbereitet. Nach der Konvertierung in eine leicht verständliche Präsentationsform werden die Daten mit Standardverfahren an den WWW-Browser übermittelt und visualisiert.

2.2 Spezifikation

Aus der erarbeiteten Systembeschreibung und dem initialen Anforderungskatalog wurde ein verfeinerter Anforderungskatalog abgeleitet. Dabei wurden etablierte Methoden und Erkenntnisse zur Systementwicklung berücksichtigt, wie beispielsweise übliche Anforderungen an eine ergonomische Mensch-Maschine-Schnittstelle, an die Integrität und Effizienz von Softwaresystemen und deren Kommunikationsfähigkeit (Normen: [VDI 5005, 1990, DIN 66234.3, 1981, DIN 66234.5, 1981, DIN 66234.8, 1988, ISO 9241, 1993]; Abhandlungen: [Mosier und Smith 1986, Tetzlaff und Schwartz 1991, Hüttner und Wandke 1992, Johannsen 1993, Rauterberg und Cachin 1993, Meyer 1990, Wandke 1990, ?, Becker et al. 2000b, Märkle 2000]), sowie gewünschte Eigenschaften der resultierenden Soft-

ware hinsichtlich der Art der Datenpräsentation, der Systemadministration und des Datenschutzes eingebettet.

Tabelle 2.2: Spezifikation des PREPaRe-Systems nach QFD (Anforderungskatalog II).

| | Name | Priorität | Importance Rating | | | | IF |
|---------|---|-----------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| | | | IR ₀ | IR ₁ | IR ₂ | IR ₃ | |
| 1 | Benutzerschnittstelle | 6,8 | 16% | | | | 16% |
| 1.1 | Verwendung einer dreidimensionalen virtuellen Welt | 9,0 | 22% | | | | 3,6% |
| 1.2 | Ergonomische Benutzerschnittstelle | 6,6 | 16% | | | | 2,7% |
| 1.2.1 | Erwartungskonformität | 9,0 | 27% | | | | 0,7% |
| 1.2.2 | Selbstbeschreibungsfähigkeit | 9,0 | 27% | | | | 0,7% |
| 1.2.3 | Robustheit | 9,0 | 27% | | | | 0,7% |
| 1.2.4 | Besuchte Stationen erkennbar (History) | 3,0 | 9% | | | | 0,2% |
| 1.2.5 | Konfigurierbare Benutzerschnittstelle | 3,0 | 9% | | | | 0,2% |
| 1.3 | Hilfe bei der Auswahl der zu visualisierenden Daten | 9,0 | 22% | | | | 3,6% |
| 1.4 | Erlaubt Einpflegen von Daten durch den Patienten | 9,0 | 22% | | | | 3,6% |
| 1.5 | Interaktion | 4,0 | 10% | | | | 1,6% |
| 1.5.1 | Freie Navigation in der 3D-Welt | 3,0 | 25% | | | | 0,4% |
| 1.5.2 | Interaktion mit Objekten | 6,0 | 50% | | | | 0,8% |
| 1.5.2.1 | Transparenz | 9,0 | 38% | | | | 0,3% |
| 1.5.2.2 | Translation | 3,0 | 13% | | | | 0,1% |
| 1.5.2.3 | Rotation | 9,0 | 38% | | | | 0,3% |
| 1.5.2.4 | Skalierung | 3,0 | 13% | | | | 0,1% |
| 1.5.3 | Interaktion mit anderen Benutzern | 3,0 | 25% | | | | 0,4% |
| 1.6 | Speicherung beliebiger Systemzustände | 3,0 | 7% | | | | 1,2% |
| 2 | Datenpräsentation | 8,7 | 21% | | | | 21,0% |
| 2.1 | Dreidimensionale Darstellung von Untersuchungsobjekten | 9,0 | 12% | | | | 2,4% |
| 2.2 | Integrierte Darstellung von medizinischen Objekten in VR-Welt | 9,0 | 12% | | | | 2,4% |
| 2.3 | Präsentation vitaler Daten, keine vorberechneten Ansichten | 9,0 | 12% | | | | 2,4% |
| 2.4 | Verwendung echter medizinische Daten | 9,0 | 12% | | | | 2,4% |
| 2.5 | Verwendung der persönlichen medizinischen Daten | 9,0 | 12% | | | | 2,4% |
| 2.6 | Verständliche Präsentation der medizinischen Inhalte | 9,0 | 12% | | | | 2,4% |
| 2.7 | Notwendiges Fachwissen | 9,0 | 12% | | | | 2,4% |
| 2.8 | Multimedialität | 6,0 | 8% | | | | 1,6% |
| 2.8.1 | Einbindung von Textinformationen | 9,0 | 38% | | | | 0,6% |
| 2.8.2 | Einbindung von Bildinformationen | 9,0 | 38% | | | | 0,6% |
| 2.8.3 | Einbindung von Videoinformationen | 3,0 | 13% | | | | 0,2% |
| 2.8.4 | Einbindung von Audioinformationen | 3,0 | 13% | | | | 0,2% |
| 2.9 | Präsentation als WWW-Portal | 9,0 | 12% | | | | 2,4% |
| 3 | Systemleistungen | 7,6 | 18% | | | | 18,4% |
| 3.1 | Systemintegrität | 9,0 | 24% | | | | 4,4% |
| 3.1.1 | Keine Programmabstürze | 9,0 | 33% | | | | 1,5% |
| 3.1.2 | Konsistente Systemzustände | 9,0 | 33% | | | | 1,5% |
| 3.1.3 | Reproduzierbare Ergebnisse (Determiniertheit) | 9,0 | 33% | | | | 1,5% |
| 3.2 | Effiziente Nutzung der vorhandenen Hardware | 4,0 | 11% | | | | 1,9% |
| 3.2.1 | Nutzung von CPU | 3,0 | 19% | | | | 0,4% |
| 3.2.2 | Nutzung von Speicher | 3,0 | 19% | | | | 0,4% |
| 3.2.3 | Nutzung spezieller Grafikkhardware | 9,0 | 56% | | | | 1,1% |
| 3.2.4 | Nutzung von verteilten Rechenanlagen | 1,0 | 6% | | | | 0,1% |
| 3.3 | Verteilte Datenhaltung durch Meta-Index | 9,0 | 24% | | | | 4,4% |
| 3.4 | Performance | 7,0 | 18% | | | | 3,4% |
| 3.4.1 | Flüssige Grafikausgabe auf handelsüblichen PCs | 9,0 | 43% | | | | 1,5% |
| 3.4.2 | Flüssiger Programmablauf | 9,0 | 43% | | | | 1,5% |
| 3.4.3 | Kurze Ladezeiten | 3,0 | 14% | | | | 0,5% |
| 3.5 | Modulare Architektur | 9,0 | 24% | | | | 4,4% |
| 4 | Systemadministration | 6,3 | 15% | | | | 15,3% |
| 4.1 | Installation | 9,0 | 47% | | | | 7,3% |

(Fortsetzung nächste Seite)

| <i>(Fortsetzung)</i> | | | | | |
|----------------------|--|-------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Name | Priorität | Importance Rating | | | IF |
| | | IR ₀ | IR ₁ | IR ₂ | |
| 4.1.1 | Leicht zu installieren | 9,0 | 50% | | 3,6% |
| 4.1.2 | Leicht zu deinstallieren | 9,0 | 50% | | 3,6% |
| 4.2 | Unabhängigkeit von Hardware / Betriebssystem | 9,0 | 47% | | 7,3% |
| 4.2.1 | Betriebssystemunabhängigkeit | 9,0 | 50% | | 3,6% |
| 4.2.2 | Hardwareunabhängigkeit | 9,0 | 50% | | 3,6% |
| 4.3 | Geringe Anschaffungs/Wartungskosten | 1,0 | 5% | | 0,8% |
| 5 | Kommunikation | 3,0 | 7% | | 7,3% |
| 5.1 | Anbindung an Krankenhaus-Datenbanksystem | 3,0 | 33% | | 2,4% |
| 5.2 | Anbindung an WWW-Inhalte | 3,0 | 33% | | 2,4% |
| 5.3 | Nutzung von Offline- und Online-Datenquellen | 3,0 | 33% | | 2,4% |
| 6 | Datenschutz | 9,0 | 22% | | 21,8% |
| 6.1 | Vertraulichkeit / Verschlüsselung | 9,0 | 20% | | 4,4% |
| 6.2 | Integrität | 9,0 | 20% | | 4,4% |
| 6.3 | Authentizität der Daten | 9,0 | 20% | | 4,4% |
| 6.4 | Datenfreigabe manuell steuerbar | 9,0 | 20% | | 4,4% |
| 6.5 | Verfügbarkeit | 9,0 | 20% | | 4,4% |

Die so erhaltene Liste von 52 Anforderungen stellt die Verfeinerung der Spezifikation des PREPaRe-Systems dar, den verwendeten Anforderungskatalog. Tabelle A.1 im Anhang auf Seite 29 zeigt die Korrelationen der groben Anforderungen aus Abschnitt 2.1 mit dem verfeinerten Anforderungskatalog.

Zu jeder Anforderung wurden gemäß dem QFD-Verfahren *technische Parameter* erarbeitet, die dazu geeignet sind, die jeweilige Anforderung zu erfüllen. Da die Beziehung zwischen technischen Parametern und Anforderungen eine $n : n$ -Beziehung darstellt, entsteht eine Korrelationsmatrix. Für jede Verbindung zwischen technischem Parameter und Anforderung wird die Korrelation quantitativ bemessen, die je nach Stärke mit den Werten 0, 1, 3 und 9 angegeben wird. Diese Korrelationsmatrix lässt eine Reihe von Analysen von Anforderungen und technischen Parametern zu. Beispielsweise darf keine Anforderung ohne korrelierenden technischen Parameter bleiben, da sonst Anforderungen scheinbar nicht erfüllt werden, da es keine technischen Parameter gibt, mit deren Hilfe die Aufgabe bewältigt werden kann. Weiterhin deutet das Auffinden von Anforderungen, die genau einem technischen Parameter zugeordnet werden, darauf hin, dass technische Parameter in die Anforderungsliste aufgenommen wurden. Da die Anforderungsliste die Wünsche an das Produkt widerspiegeln soll, ist dies eher unerwünscht, in Sonderfällen allerdings möglich. Tabelle A.2 zeigt die Korrelationsmatrix des PREPaRe-Systems.

Die technischen Parameter sind weitestgehend objektiv bewertbar. Eine Evaluation eines entworfenen Prototyps oder von anderen Softwareprodukten wird ermöglicht, indem ein Evaluationskatalog entworfen wird, mit dessen Hilfe die einzelnen technischen Parameter der zu evaluierenden Software bewertet werden. Mit Hilfe der gewichteten Korrelationen kann berechnet werden, wie stark die gestellten Anforderungen berücksichtigt wurden (siehe Abschnitt 4 und A.3).

Kapitel 3

Umsetzung

Im Rahmen von betreuten Diplomarbeiten und Lehrveranstaltungen der Fachgruppe Computer Graphics der TU Berlin wurden über einen Zeitraum von 4 Semestern Prototypen des PREPaRe-Systems angefertigt. Ziel der Lehrveranstaltungen war sowohl eine Analyse aktueller Softwarestandards und Entwicklungswerkzeuge, als auch deren Anwendung zur Implementierung des Prototypen. Dabei wurden Teile eines real existierenden Krankenhauses modelliert und als Ausgangsszenario verwendet [Berger 2001, Bleicher und Trepczynski 2001, Klindt 2001, Li 2001, Mielenz und Schirrwagen 2001, Mrohs und Räck 2001, Schiewe 2000, Steike 2001, Ticha 2001, Wartenberg 2001, Zastrow und Ihle 2001, Bleicher 2001, Bonanni 2001, Jung und Vipach 2001, Kersten 2001, Busse und Schrank 2002, Burmeister und Tausch 2002, Dippl 2002, Hasait 2002, Kolbe et al. 2002, Braun und Enduschrat 2003, Reuter et al. 2003, Hübner und Bittersmann 2003] und [Wilhelmy und Märkle 2002]. Dieser Abschnitt beschreibt die Realisierung des Prototypen, derzeit in der Entwicklung befindliche Arbeiten bleiben unberücksichtigt.

3.1 Modellierung

Hinsichtlich der spezifizierten Randbedingungen wurde für die technische Umsetzung eine Client/Server Architektur gewählt. Die Aufgaben wurden auf drei Module verteilt:

1. Virtual Environment Server,
2. User Client,
3. Network Communication.

Die folgenden Abschnitte diskutieren die einzelnen Aspekte hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen.

3.1.1 Virtual Environment Server

Der *Environment Server* hat drei Hauptaufgaben: zunächst hält er einen Szenegraphen bereit, der die virtuelle Welt technisch repräsentiert. Um die Bearbeitungsgeschwindigkeit zu erhöhen speichert jeder Client eine Kopie von benötigten Teilen des Szenegraphen und nimmt gegebenenfalls Veränderungen am Szenegraphen vor, beispielsweise bei der Interaktion des Benutzers mit Objekten der virtuellen Welt. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines Mechanismus, der dafür sorgt, dass die Szenegraphen des Servers sowie der Clients, die ihrerseits eine Kopie von bereits veränderten Teilen des Szenegraphen gespeichert haben, aktualisiert werden. Um eine gültige Referenz zu bieten, wird der Szene Graph des Servers als *Master Scene Graph* angenommen. Ein Client, der sich mit dem Server verbindet, lädt routinemäßig einen Teil des Szenegraphen, zum Beispiel einen allgemeingültigen

Startraum, und wird weitere Teile der virtuellen Welt nachladen, wenn die Benutzereingaben dies erforderlich machen. Balancieralgorithmen und *Garbage Collection* Verfahren, die derzeit nicht mehr benötigte Teile des Graphen lokal entfernen, sollen clientseitig dafür sorgen, dass ein sinnvolles Mittel zwischen langen Wartezeiten beim Nachladen des Szenegraphen und inakzeptabler Größe des Graphen gefunden wird.

Weiterhin werden Elemente der *Mikrowelt*, die medizinische Daten aus dem persönlichen Repository repräsentieren, über geeignete Interfacesubsysteme in den Szenegraphen integriert [Tschirley et al. 2003b].

Die Synchronisation multipler Clients ist eine weitere Aufgabe des Servers. Da jeder Benutzer in der virtuellen Welt durch einen Avatar repräsentiert werden soll und mehrere Benutzer das System gleichzeitig nutzen können, muss der Server den Überblick über die Position der Benutzer behalten. Aussehen, Position und Aktion der Avatare müssen gegebenenfalls zwischen Clients ausgetauscht werden, wenn sich zwei Benutzer gegenseitig sehen sollen. Eine konsistente Wiedergabe der virtuellen Welt muss ebenfalls berücksichtigt werden, so dass Informationen über manipulierte oder benutzte Objekte wie beispielsweise einen Schalter zur Aktivierung einer Animationssequenz unter Server und beteiligten Clients verteilt werden müssen.

Die Notwendigkeit dieser Aufgabe erleichtert die zuvor erläuterte Aufgabe des partiellen Ladens des Szenegraphen. Wenn der Server aktiv verfolgt, wo sich der Benutzer befindet und wohin er sich bewegt, ist er dazu in der Lage, abzuschätzen, welche Teile des Szenegraphen in Kürze benötigt werden. Die Anwendung von *Caching*-Algorithmen ermöglicht so einen Transfer der betreffenden Daten im Voraus und so die Reduzierung der eventuell auftretenden Wartezeiten.

Die letzte Aufgabe des Servers ist die Benutzerkontrolle. Alle Benutzer, die sich mit dem Server verbinden müssen ausreichend identifiziert werden. Da mit dem PREPaRe-System medizinische Daten verarbeitet werden, sind ausreichende Sicherungsmaßnahmen zu ergreifen. Weiterhin werden die persönlichen Einstellungen des Benutzers und die Verbindung zum persönlichen Repository verwaltet.

3.1.2 User Client

Eine wichtige Randbedingung für die Client Software ist eine weitestgehende Plattformunabhängigkeit. Weiterhin soll eine Echtzeit-Visualisierung der virtuellen Umgebung gewährleistet werden. Bereits erwähnt wurde die Voraussetzung, dass die Hardware, auf der die Clientsoftware läuft, über 3D Grafikkbeschleuniger verfügt. Zusätzlich sollte herausgefunden werden, inwiefern Highend-Geräte wie *CAVE Systeme* [et al. 1993] berücksichtigt werden können. Die gegenwärtige Leistungsfähigkeit aktueller Rechenanlagen und die annehmbare zukünftige Entwicklung verdeutlicht, dass eine hohe Bildwiederholfrequenz zwar wünschenswert ist, jedoch auch bei augenblicklicher Nichterfüllung durch die technologische Entwicklung erreicht wird und eher ein kurzlebiges Problem darstellt.

Die Clientsoftware wird in Form eines *Java Applets* realisiert, das in einem herkömmlichen Webbrowser lauffähig ist. Die Visualisierung wird durch dieses Applet erreicht. Um die Verwendung von stereoskopischen Sichtsystemen zu ermöglichen, soll es dazu in der Lage sein, zwei verschiedene Sichtpunkte zu verwalten. Um eine möglichst vollständige Abstraktion vom Endsystem zu erreichen sollen verschiedenste Eingabegeräte verwendbar sein, zum Beispiel eine oder mehrere Mäuse, Joysticks, Datenhandschuhe oder Geräte mit haptischem Feedback. Hinsichtlich des medizinischen Anwendungsbereichs erscheint es sinnvoll, in der Medizin etablierte Eingabegeräte ebenfalls zu berücksichtigen.

3.1.3 Network Communication

Eine schnelle Netzwerkkommunikation ist essenziell für die Leistungsfähigkeit des Systems. Daher wurden verschiedene Arten der Kommunikation untersucht. Es wurde untersucht, ob ein einzelnes bereits bestehendes Verfahren dazu in der Lage sein würde, den unterschiedlichen gestellten Anforderungen gerecht zu werden, oder ob mehrere Verfahren notwendig sein würden. Drei Kommunikationsarten wurden untersucht:

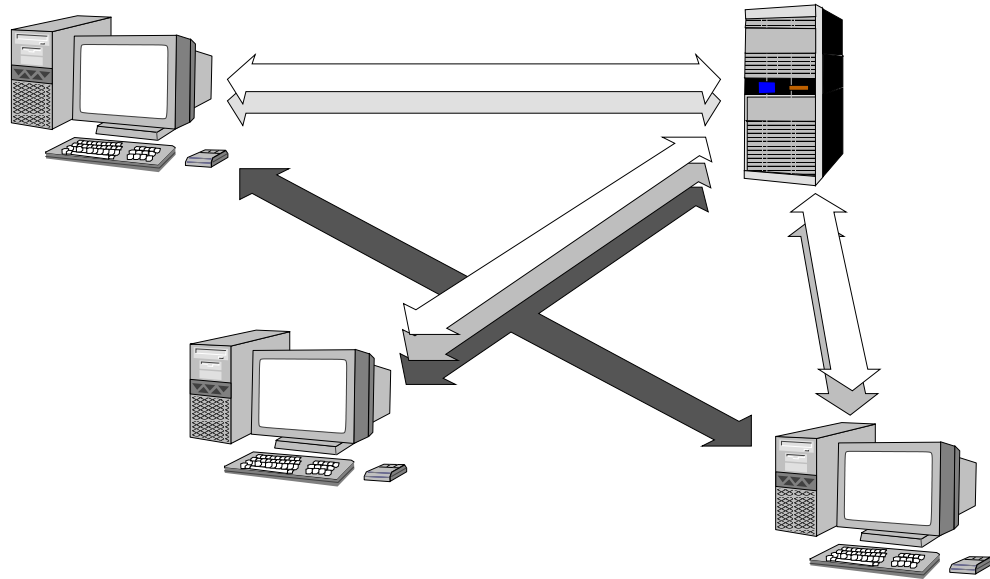


Abbildung 3.1: Drei Kommunikationsarten: niedere asynchrone $n : n$ Kommunikation (dunkelgrau), niedere synchrone und abstrakte synchrone $n : 1$ Kommunikation (hellgrau und weiß).

Abstrakte synchrone Kommunikation: Diese Art der Kommunikation wird verwendet, wenn kleine Datensätze blockierend in einer Master/Slave Kommunikation transferiert werden sollen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn sich ein Benutzer am Server anmeldet. Die Größe der kommunizierten Daten ist vergleichsweise gering und eine Nebenläufigkeit von Client und Server ist hier nicht notwendig. Für eine solche Kommunikation ist ein möglichst abstraktes Protokoll wünschenswert. Ein generalisiertes Protokoll ermöglicht den Transport von abstrakten Daten und sichert eine sinnvolle Wiederverwendbarkeit des Programmcodes, wenngleich auf diese Weise nicht optimal angepasste Protokolle für Redundanz und reduzierte Geschwindigkeit sorgen.

Spezifische synchrone Kommunikation: Der Transfer eines kompletten Szenegraphen oder größeren Teilen davon mit einem generalisierten, abstrakten Protokoll der synchronen Kommunikation ist theoretisch möglich, jedoch nicht empfehlenswert. Geringe Bandbreiten würden aufgrund der suboptimalen Anpassung des Protokolls an die Art der auszutauschenden Daten augenblicklich in für den Benutzer spürbare Verzögerungen, beispielsweise beim Betreten eines neuen Raumes, resultieren. Für den Austausch größerer Datenmengen erscheint ein speziell angepasstes, schlankes Kommunikationsprotokoll sinnvoller.

Spezifische asynchrone Kommunikation: Eine synchrone Kommunikation führt zwangsläufig zu einer hohen Netzlast auf Seiten des Servers, wenn die Zahl der verbundenen Clients zunimmt. Das bisherige Systemdesign sieht vor, dass der Master-Szenegraph häufig in kleinen Teilen verändert wird und alle anderen Kopien entsprechend aktualisiert werden müssen. Bei einer synchronen Kommunikation müsste der Server mit allen Clients einzeln kommunizieren, was bereits durch dieses Design technisch schwer behebbare Verzögerungen erzeugen würde. Optimierungen, die bei heute recht verbreiteten internetbasierten Computerspielen verwendet werden, hoch spezialisierte Protokolle zur Reduktion des Transfervolumens oder Programmcode mit *Multithread*-Unterstützung können die Verzögerung zwar dämpfen, erscheinen jedoch suboptimal, da identische Teile des Szenegraphen mehrfach übertragen werden. Anstelle einer synchronen Kommunikation bietet sich eine speziell angepasste asynchrone Kommunikation, nach Möglichkeit mit einer $n : n$ Beziehung der teilnehmenden Knoten an. Ein solches Protokoll reduziert das transferierte Datenvolumen, macht jedoch eine zusätzliche Flusskontrolle notwendig.

3.2 Technische Realisierung

Bei der technischen Realisierung wurde versucht, die gestellten Anforderungen weitestgehend zu berücksichtigen. Die Implementierung verwendet ausschließlich frei verfügbare und nichtkommerzielle Module und basiert auf aktuellen Standards. Für die Beschreibung der virtuellen Welt hat sich der Standard *VRML97* etabliert [ISO/IEC 14772-1, 1997], für die Animation der Avatare wird *h/anim* [H-Anim, 2001] verwendet und als primäre Implementierungssprache für Client- und Serversoftware wurde *Java* gewählt.

3.2.1 Virtual Environment Server

Die Serversoftware wurde unter den Betriebssystemen *Microsoft Windows 2000*, *Solaris* und *Linux* entwickelt und getestet. Als Ausgangsbasis diente ein *Apache Webserver 1.3.26* [Apache Software Foundation 1999] mit *PHP Erweiterungen*. Hinsichtlich der Verwaltung des Szenegraphen verhält sich der Server im Wesentlichen wie ein normaler Client. Das dynamische Laden von Teilgraphen wird darüber hinaus mit einer in einer *MySQL*-Datenbank (version 3.23.49 mit *JDBC Unterstützung*, [MySQL, 2002]) gespeicherten Karte erreicht, die alle Informationen zur Lokalisation von Objekten in der virtuellen Realität speichert. Andere Speichertechniken wurden untersucht, erwiesen sich jedoch als weniger günstig. Die Möglichkeit, *Enterprise Java-Beans* zu verwenden, wurde verworfen, da die Software unpraktikabel erschien und in der Testphase unerwartete Performanceprobleme auftraten. Weiterhin war eine kostenlos erhältliche Version nicht verfügbar. Lokale *XML-DOM* Dateien versprachen die geforderte Plattformunabhängigkeit sowie die Möglichkeit, bereits ein Kommunikationsinterface zu integrieren, erwiesen sich jedoch als unhandhabbar, da Objektpersistenz und Traversierung zu zeitintensiv waren. *MySQL* ist eine hinreichend bekannte Software mit einfachem Aufbau und vielfältigen Interfacemodulen und wurde trotz der suboptimalen Performance als günstigste Wahl betrachtet.

Die Serversoftware selbst wurde in *Java* mit dem *Java2 SDK 1.4.0* [Java 2 SDK] und *Java3D* mit dem *SDK 1.3* [Java 3D] implementiert. *Java3D* wurde ausgewählt, da dies die kohärenteste javabasierte 3D-Bibliothek bot. Die *VRML*-Anbindung wurde von *Xj3D* [Xj3d 1998] zur Verfügung gestellt.

3.2.2 User Client

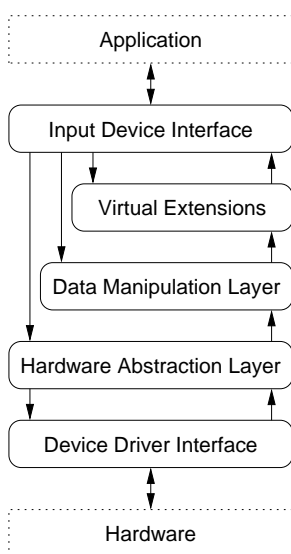


Abbildung 3.2: Das Input Device Abstraction Interface.

Die Interpretation des Szenegraphen wird mit Hilfe der *Xj3D* Bibliothek des *Web3D Consortium* vorgenommen. Die Bibliothek ermöglicht eine schnelle und effiziente Integration von *VRML* Szenegraphen in einen *Java3D* Szenegraphen. Für die Einbindung verschiedenartiger Eingabegeräte wurde eine Treiberklasse für abstrakte Eingabegeräte implementiert.

Die ebenfalls in *Java* implementierte *Input Device Abstraction* Bibliothek (IDA) ermöglicht die Definition beliebiger Eingabegeräte. Abbildung 3.2 zeigt die Abstraktionsebenen der Bibliothek. Das Interface verdeckt die physikalische Hardware ebenso, wie zu deren Betrieb notwendige Gerätetreiber und bietet anstelle dessen eine homogene API. Das abstrakte Eingabegerät wird durch die angebotenen Freiheitsgrade charakterisiert, zum Beispiel lineare und proportionale Achsen und Knöpfe. Während einige Geräte Events erzeugen, wenn ein Skalar durch die Betätigung des Gerätes verändert wurde, erwarten andere Geräte ein aktives Polling durch die Betriebssoftware, um den augenblicklich gültigen Skalar zu übermitteln. Die Hardwareabstraktion ermöglicht es den darüber liegenden Schichten, beide Arten von Geräten gleich zu behandeln – wahlweise eventgesteuert oder durch Polling. Weiterhin wird der Wertebereich der vom Gerät gesteuerten Dimensionen auf das Intervall $[0..1]$ als 64 Bit breite Fließkommazahl abgebildet. Mit der *Data Manipulation Layer* werden Achsenausdehnung und Orientierungen, Skalare und Inkremente manipuliert und Eingabepuffer definiert. Die Kombination von zwei oder mehr Freiheitsgraden in der *Vir-*



Abbildung 3.3: Eine stereoskopische Projektion, die einen virtuellen Operationssaal zeigt.

tual Extensions Layer ist dazu geeignet, ein virtuelles Eingabegerät mit mehr als den physikalisch vorhandenen Freiheitsgraden zu definieren. Wenn beispielsweise lediglich eine normale Computermaus verfügbar ist, die Applikation jedoch ein Eingabegerät mit drei linearen kontinuierlichen Freiheitsgraden erfordert, kann so ein Mausknopf dazu verwendet werden, die beiden von der Maus übermittelten Achsen so umzuschalten, dass bei gedrückter Maustaste eine Achse auf die fehlende Dritte Dimension abgebildet wird. Die virtuellen Erweiterungen funktionieren auf einer Ebene, wo bereits von physikalischen Geräten abstrahiert wurde und lediglich unterschiedliche Freiheitsgrade bekannt sind. So können unterschiedliche Eingabegeräte zu einem neuen virtuellen Eingabegerät kombiniert werden. Mit dieser Möglichkeit kann die Applikationsschicht nahezu jedes beliebige Eingabegerät fordern. Die flexiblen Kombinationsmöglichkeiten erlauben in fast jedem Fall die Emulation und suggerieren der Applikation die Existenz des geforderten Gerätes.

Die Synchronisation der verschiedenen Clients erwies sich als kritisch. Erst mit dem Release von *Java3D 1.3 Beta2* wurde die nebenläufige Transmission von Teilen des Szenegraphen möglich. In früheren Versionen waren *Java3D* Objekte nicht serialisierbar und damit nicht ohne eigene Implementierung eines angepassten Kommunikationskanals von den betreffenden Kommunikationsschichten übertragbar.

3.2.3 Network Communication

Zur javabasierten abstrakten Kommunikation existieren verschiedene Technologien. Bei der Auswahl geeigneter Protokolle wurden verschiedene Punkte berücksichtigt. Neben der offensichtlichen Notwendigkeit zur Erfüllung der Anforderungen wurden einfache Benutzung und Erweiterbarkeit, sowie das Ergebnis einer Prognose miteinbezogen, die eine zukünftige Pflege und Verfügbarkeit der jeweiligen Software bewertet. Zwei potentielle Lösungen wurden evaluiert: *CORBA (Common Object Request Broker Architecture)* [CORBA 1997] der *Object Management Group* und *Javas RMI (Remote Method Invocation)*.

Die Verwendung von *CORBA* ist weder an die Verwendung einer bestimmten Programmiersprache noch an ein bestimmtes Betriebssystem gebunden. Sie bietet einen Mechanismus zur Datenhaltung über verteilt laufende Applikationen. Ein lokal laufender *Object Request Broker (ORB)* bietet ein Interface für jedes lokale *CORBA* Objekt. Über einen Name Service können entfernte Applikationen *CORBA* Objekte lokalisieren und den Transfer der Daten veranlassen. Das getestete *Internet Inter ORB Protocol (IIOP)* erwies sich im Test als zuverlässig, jedoch durch die von *CORBA* vorgegebenen Randbe-

dingungen recht schwerfällig. Schnellere Implementierungen waren ausschließlich in kommerzieller Software verfügbar.

Seit der Version 1.0 bietet *Java* den *RMI* Mechanismus. Plattformunabhängigkeit ist ein primäres Ziel von *Java*, so dass durch den Übertragungsmechanismus keinerlei Probleme beim Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Rechnerarchitekturen zu erwarten sind. Da die übertragenen Daten nicht gekapselt werden müssen ist der Kommunikationsoverhead relativ gering und die erreichte Bandbreite recht hoch. Der Evaluationstest beinhaltete unter Anderem einen Transfer von 1000 Integer Werten in einer Schleife mit 262 Wiederholungen. Während bei der Verwendung von *Java RMI* für die Übertragung 1034ms benötigte, dauerte die *CORBA*-Variante 2200ms. Aus diesem Grund wurde der *Java RMI* Variante der Vorzug für die abstrakte synchrone Kommunikation gegeben.

Für die speziell angepasste synchrone Kommunikation bietet *Java2 1.4* zwei verschiedene Implementierungen an: die aus der *UNIX*-Welt bekannten *Sockets* und die *NIO-Channel-API* (*New I/O-Channel API*). *Sockets* wurden von der Universität von Berkeley für die Kommunikation von *UNIX* entwickelt und bilden den elementaren Kommunikationsmechanismus für *IP*-basierte Netzwerke. *Sockets* existieren für die üblichen *IP* Protokolle *TCP* und *UDP*. Während *TCP* einen synchronen Übertragungskanal mit Flusskontrolle und Fehlerbehebung anbietet, wird mit *UDP* eine 1 : n Kommunikation erreicht, bei der die Fluss- und Fehlerkontrolle durch überliegende Schichten durchgeführt werden müssen. Die *NIO-Channel-API* erweitert die Streamarchitektur des *TCP* mit der Einführung der *Channel* Mittelschicht. Der Implementierungsaufwand der Software verringert sich damit, da nun ein einzelner Thread gleichzeitig mehrere Kanäle nichtblockierend benutzen kann. *NIO Channels* wurden für die spezifische asynchrone Kommunikation des PREPaRe-Systems verwendet.

Zur Umsetzung der benötigten spezifischen asynchronen Kommunikation existieren diverse Standards. Mit der *NIO-Channel-API* bietet *Java2* eine Implementierung des *IP Multicast Standard*. Die *IEEE* schlägt das *Distributed Interactive Simulation* (*DIS*, [IEEE 1278.1a, 1998]) Verfahren vor. Dieses Kommunikationsprotokoll wurde für Informationseinheiten entwickelt, die Statusänderungen an eine Gruppe von Empfängern übermitteln. Die Einheit sendet eine *EntityStatePDU* an alle anderen Einheiten. Die Empfänger überprüfen die Relevanz des empfangenen Datagramms anhand der Identifikation *EntityID* des Senders. Die *Distributed Interactive Simulation DIS-Java-VRML Working Group* liefert eine zusätzliche Bibliothek zur Interoperabilität mit *VRML* Objekten und benutzt ebenfalls das *Java NIO Interface* [*DIS VRML*]. Das *DIS* Protokoll wurde für die spezifische asynchrone Kommunikation gewählt.

Kapitel 4

Resultate

Die entworfenen Prototypen der PREPaRe-Module realisieren einen ersten Ansatz, um dem interessierten Benutzer einen intuitiven Zugang zu seinen medizinischen Daten zu erlauben. Der implementierte Prototyp des PREPaRe-Systems beinhaltet Komponenten, die es dem Benutzer erlauben, die Gesundheitsfürsorge als integrierten Prozess zu erleben, der nicht nur in medizinischen Einrichtungen, sondern auch daheim stattfindet.

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. Die konsequente Verwendung von offenen Standards und frei verfügbaren Softwarebibliotheken ermöglicht die Ausführung der Applikation auf einem durchschnittlichen Heim-PC.

Abbildung 4.1 zeigt die Auswertung der QFD-Analyse nach dem in Abschnitt 2.2 aufgestellten Anforderungskatalog und den zugehörigen Bewertungsrichtlinien. Die ausführliche Evaluation befindet sich in Tabelle A.3.1 im Anhang. Die Abbildungen auf den folgenden Seiten zeigen einige Ansichten des realisierten virtuellen Krankenhauses.

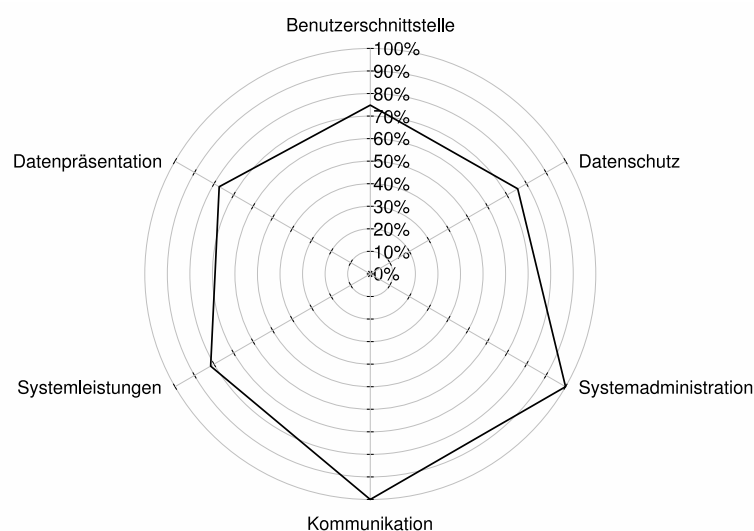


Abbildung 4.1: Auswertungsdiagramm der QFD-Analyse des PREPaRe-Prototypen (aus [Tschirley et al. 2003c]).

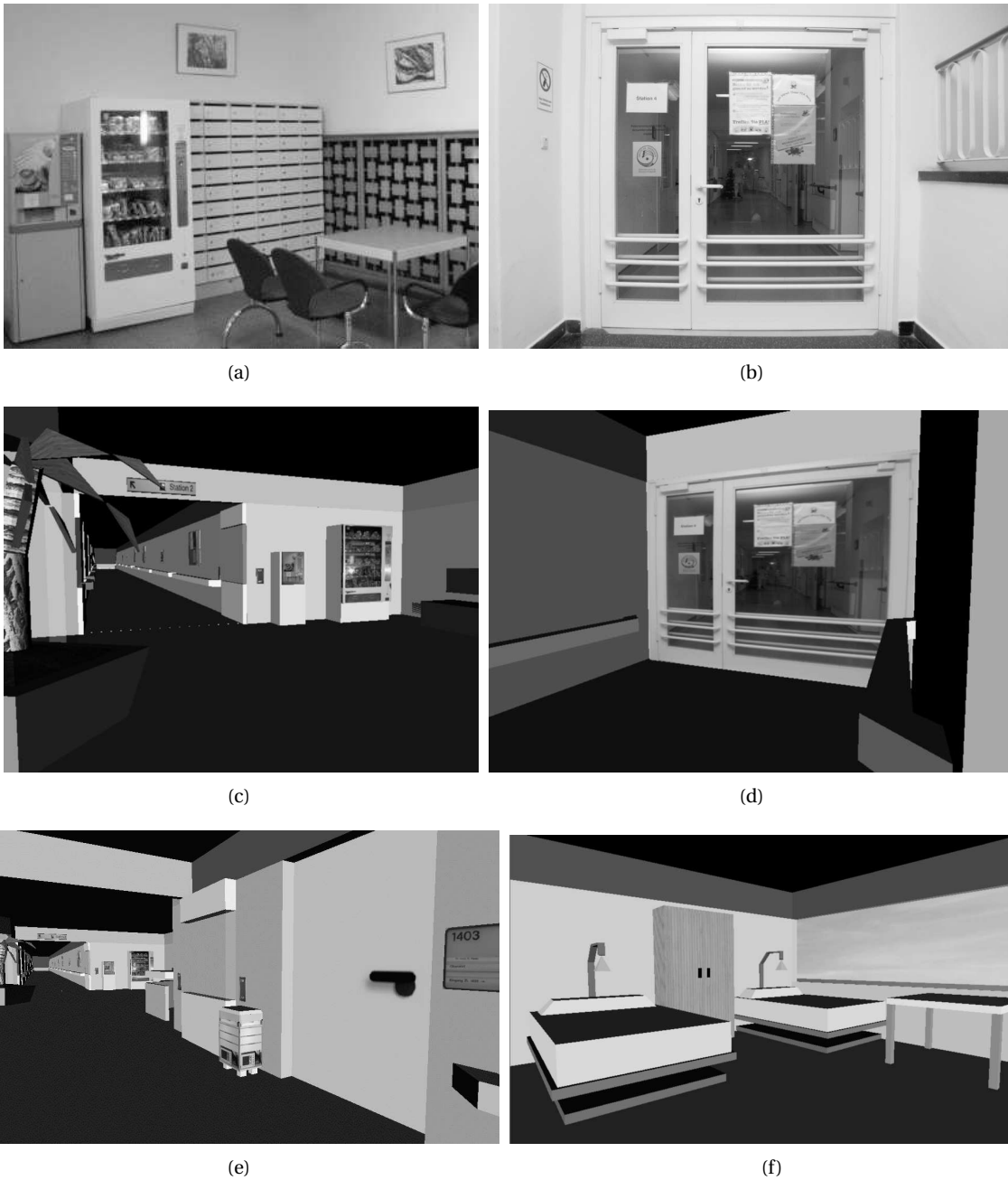


Abbildung 4.2: Ansichten des PREPaRe-Prototypen (1). (a) und (b) Foto aus dem realen Krankenhaus; (c) und (d) die gleichen Räume im virtuellen Krankenhaus; (e) und (f) exemplarische Ansichten aus dem virtuellen Krankenhaus.

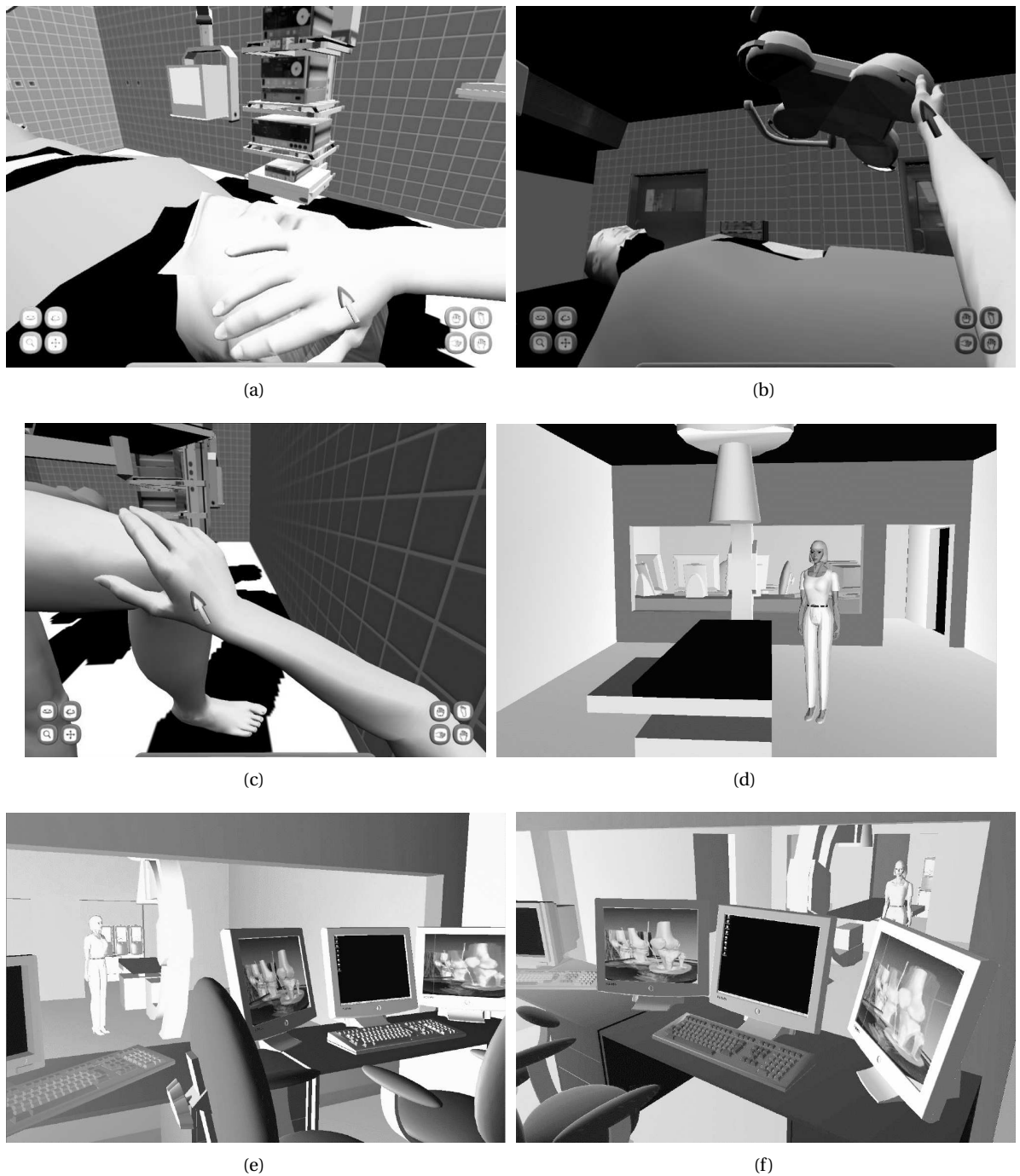


Abbildung 4.3: Ansichten des PREPaRe-Prototypen (3). (a) bis (c) Benutzerinteraktion mit inverser Kinematik (aus [Wilhelmy und Märkle 2002]), (d) bis (f) mit einem Avatar in einem Untersuchungsraum im virtuellen Krankenhaus. Auf den Kontrollmonitoren sind automatisch generierte Abbildungen der Patientendaten als Textur aufgebracht.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [Becker et al. 2000a] Becker, J., Tschirley, R., und Märkle, S., Construction of a 3D Information System for Hospital Environments. In Gell, G., Holzinger, A., und Wiltgen, M., Editoren, *Proceedings of the 18th international EuroPACS Conference*, Seiten 232–238. Österreichische Computer Gesellschaft, Wien. ISBN 3-85403-144-0.
- [Becker et al. 2000b] Becker, M., Haberfellner, R., und Liebetrau, G., *EDV-Wissen für Anwender*. Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 12. auflage edition. ISBN 3857437006.
- [et al. 1993] et al., C. C.-N., Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. In *Siggraph 1993, Computer Graphics Proceedings*, Seiten 135–142. ACM Press / ACM SIGGRAPH / Addison Wesley Longman.
- [Huang 1996] Huang, H. K., *PACS - Picture Archiving and Communication Systems in Biomedical Imaging*. VCH Publisher, Inc. ISBN 1-56081-685-6.
- [Hüttner und Wandke 1992] Hüttner, J. und Wandke, H., What do system designers know about software ergonomics and how to improve their knowledge. In Luczak, H., Cakir, A., und Cakir, G., Editoren, *Work with Display Units*, Seiten 304–308. Elsevier Science, Amsterdam.
- [Johannsen 1993] Johannsen, G., *Mensch-Maschine-Systeme*. Springer-Verlag, Berlin. ISBN 3-540-56152-8.
- [Köchy 2004] Köchy, K., *Hybrides Rendering von Polygon- und Volumendaten in virtuellen Umgebungen*. Dissertationsschrift, Technische Universität Berlin.
- [Köchy et al. 2002a] Köchy, K., Kirschbaum, C., Tschirley, R., und Märkle, S., A client server architecture based on secure communication for visualization of and interaction with 3-D medical data. In et al., J. N., Editor, *Proceedings of EuroPACS 2002*, Seiten 63–65. Oulu University Press, Oulu. ISBN 952-5325-06-7.
- [Märkle 2000] Märkle, S., *Techniken für computergestütztes Lehren und Lernen in der Medizin*. Dissertationsschrift, Technische Universität Berlin.
- [Märkle 2001] Märkle, S., Das Konzept einer Persönlichen Elektronischen Patientenakte im PREPaRe-System. In et al., G. S., Editor, *Tagungsband der Telemed 2001*. Berlin, Germany.
- [Märkle et al. 2001] Märkle, S., Köchy, K., Tschirley, R., und Lemke, H. U., The PREPaRe system – Patient Oriented Access to the Personal Electronic Medical Record. In Lemke, H. U., Vannier, M. W., Inamura, K., Farman, A. G., und Doi, K., Editoren, *Proceedings of CARS 2001 Computer Assisted Radiology and Surgery*, Excerpta Medica International Congress Series, Seiten 849–854. Elsevier-Verlag, Amsterdam. ISBN 0-444-50866.
- [Märkle et al. 2002b] Märkle, S., Köchy, K., Tschirley, R., und Wilhelmy, J., Ein Virtuelles Krankenhaus als 3D-Informationssystem für Patienten. In *Tagungsband der dvmd2002*, Seiten 163–168.
- [Märkle und Lemke 2002] Märkle, S. und Lemke, H. U., Die elektronische Patientenakte – Ist eine Standardisierung in Sicht? In *Tagungsband der Jahrestagung des VDE, Band 2*, Seiten 69–74.
- [Meyer 1990] Meyer, B., *Objektorientierte Softwareentwicklung*. Carl Hanser Verlag & Prentice Hall International. ISBN 3-446-15773-5.
- [Mizuno und Akao 1994] Mizuno, S. und Akao, Y., *QFD: The Customer-Driven Approach to Quality Planning and Deployment*. Productivity Press Inc. ISBN 92-833-1122-1.
- [Mosier und Smith 1986] Mosier, J. N. und Smith, S. L., Application of guidelines for designing user interface software. *Behaviour and Information Technology*, 5(1):39–46.
- [Prokosch 2001] Prokosch, H. U., KAS, KIS, EKA, EPA, EGA, E-Health: Ein Plädoyer gegen die babylonische Begriffsverwirrung in der Medizinischen Informatik. *Informatik, Biometrie und Epidemiologie in Medizin und Biologie*, 32(4):371–382. ISSN 0943-5581.
- [Prokosch et al. 2001] Prokosch, H. U., Engelmann, U., Haas, P., Handels, H., Schug, S. H., Steyer, G., und Walz, M., GMDS-Thesepapier zur telematischen Vernetzung von Versorgungseinrichtungen im deutschen Gesundheitswesen. *Informatik, Biometrie und Epidemiologie in Medizin und Biologie*, 32(4):385–394. ISSN 0943-5581.

- [Rauterberg und Cachin 1993] Rauterberg, W. G. M. und Cachin, C., Locating the primary attention focus of the user. *Lecture Notes in Computer Science*, 733:129–140.
- [Sommerville 2001] Sommerville, I., *Software Engineering*. Addison-Wesley, 6th edition edition. ISBN 0-201-39815-X.
- [Tetzlaff und Schwartz 1991] Tetzlaff, L. und Schwartz, D., The use of guidelines in interface design. In S. Robertson, G. Olson, J. O., Editor, *Human Factors in Computing Systems, CHI'91*, Seiten 329–333. Addison-Wesley, Amsterdam.
- [Tschirley et al. 2002] Tschirley, R., Köchy, K., und Märkle, S., Patient-oriented Segmentation and Visualization of Medical Data. In Hamza, M. H., Editor, *Proceedings of CGIM 2002 Computer Graphics and Imaging*. ACTA Press, Anaheim, USA.
- [Tschirley et al. 2003a] Tschirley, R., Köchy, K., und Märkle, S., Ein virtuelles Krankenhaus zur patientengerechten Visualisierung von medizinischen Tomographiedaten. In Schulze, T. und und Volkmar Hinz, S. S., Editoren, *Tagungsband Simulation und Visualisierung 2003*, Seiten 271–281. SCS-European Publishing House. ISBN 3-936150-23-0.
- [Tschirley et al. 2003b] Tschirley, R., Köchy, K., und Märkle, S., Integrating patient-oriented data processing into the PREPaRe virtual hospital using XML technology. In Lemke, H. U., Vannier, M. W., Inamura, K., Farman, A. G., Doi, K., und Reiber, J. H. C., Editoren, *Proceedings of CARS 2003 Computer Assisted Radiology and Surgery*, Seiten 259–264. Elsevier Science B. V., Amsterdam. ISBN 0-444-51387-6.
- [Tschirley et al. 2003c] Tschirley, R., Köchy, K., und Märkle, S., Konzeption und Spezifikation eines Webbasierten virtuellen Krankenhauses. Technischer Bericht 2003/12, Technical University of Berlin. ISSN 1436-9915.
- [Wandke 1990] Wandke, H., Zielkonflikte bei der psychologischen Gestaltung von Mensch-Rechner-Schnittstellen. In *6th International Symposium on Work Psychology: Mental Work and Automation*. University of Technology, Dresden.
- [Wilhelmy und Märkle 2002] Wilhelmy, J. und Märkle, S., Virtual actors for a patient oriented virtual hospital. In Lemke, H. U., Vannier, M. W., Inamura, K., Farman, A. G., Doi, K., und Reiber, J. H. C., Editoren, *Proceedings of CARS 2002 Computer Assisted Radiology and Surgery*, Seite 1018. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. ISBN 3-540-43655-3.

Standards

- [DIN 66234.3, 1981] *DIN 66234 Teil 3: Bildschirmarbeitsplätze, Gruppierung und Formatierung von Daten*. DIN, Deutsches Institut für Normung.
- [DIN 66234.5, 1981] *DIN 66234 Teil 5: Bildschirmarbeitsplätze, Codierung von Informationen*. DIN, Deutsches Institut für Normung.
- [DIN 66234.8, 1988] *DIN 66234 Teil 8: Bildschirmarbeitsplätze, Grundsätze der Dialoggestaltung*. DIN, Deutsches Institut für Normung.
- [H-Anim, 2001] *The Humanoid Animation Specification (H-Anim)*. The Web3D Consortium, <http://www.h-anim.org/Specifications/H-Anim2001>, draft specification edition.
- [IEEE 1278.1a, 1998] of Electrical, T. I. und Inc., E. E., *IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation – Application Protocols*. IEEE Std 1278.1a, New York, <http://standards.ieee.org>. ISBN 0-7381-0174-5.
- [ISO 9241, 1993] *Ergonomic Requirements for Visual Display Terminals*. International Organization for Standards, Geneva. ISBN 0-580-37793-8.
- [ISO/IEC 14772-1, 1997] The Web3D Consortium, *Information technology – Computer graphics and image processing – The Virtual Reality Modelling Language – Part 1: Functional specification and UTF-8 encoding*. ISO/IEC 14772-1:1997, <http://web3d.org/technicalinfo/specifications>.
- [VDI 5005, 1990] *VDI-Richtlinie 5005, Bürokommunikation – Software-Ergonomie in der Bürokommunikation*. Verein Deutscher Ingenieure.

PREPaRe-Projektberichte

- [Berger 2001] Berger, A., Konzept zur Abstrakten Kapselung der Dokumente. PREPaRe Projektbericht.
- [Bleicher 2001] Bleicher, E., Erweiterung des Medienservers zur Darstellung von Xj3D und MPEG-4 Daten. PREPaRe Projektbericht.

- [Bleicher und Trepczynski 2001] Bleicher, E. und Trepczynski, A., Konzept der Kommunikation zwischen Medienserver und Applet. PREPaRe Projektbericht.
- [Bonanni 2001] Bonanni, U., Fachial Animation in MPEG-4 und H-Anim 1.1. PREPaRe Projektbericht.
- [Braun und Enduschrat 2003] Braun, N. und Enduschrat, E., 3D-Modellierung des virtuellen Krankenhauses. PREPaRe Projektbericht.
- [Burmeister und Tausch 2002] Burmeister, R. und Tausch, C., Quality Assurance. PREPaRe Projektbericht.
- [Busse und Schrank 2002] Busse, A. und Schrank, K., Kommunikation und Protokolle. PREPaRe Projektbericht.
- [Dipl 2002] Dipl, S., Xj3D. PREPaRe Projektbericht.
- [Hasait 2002] Hasait, S., Implementierung des PREPaRe-Viewer-Clients. PREPaRe Projektbericht.
- [Hübner und Bittersmann 2003] Hübner, J. und Bittersmann, G., Betriebssystemunabhängige Realisierung des PREPaRe Portals. PREPaRe-Projektbericht.
- [Jung und Vipach 2001] Jung, M. und Vipach, A., Darstellung der Patientendaten mit Hilfe eines XML-basierten Webportalframeworks. PREPaRe Projektbericht.
- [Kersten 2001] Kersten, R., Implementierung der Kommunikationsfähigkeit des Medienservers. PREPaRe Projektbericht.
- [Klindt 2001] Klindt, M., Die Picture Medienklasse. PREPaRe Projektbericht.
- [Kolbe et al. 2002] Kolbe, S., Majunke, S., und Puhmann, E, Implementierung des PREPaRe-Server. PREPaRe Projektbericht.
- [Li 2001] Li, Z., Datenbank-Retrieval für den Medienserver. PREPaRe Projektbericht.
- [Mielenz und Schirrwagen 2001] Mielenz, S. und Schirrwagen, J., Verwendung von XML im PREPaRe-System. PREPaRe Projektbericht.
- [Mrohs und Räck 2001] Mrohs, B. und Räck, C., XML-basiertes Webportalframework. PREPaRe Projektbericht.
- [Reuter et al. 2003] Reuter, A., Hoffmann, E. M., Dischke, I., und Schmidt, V., Erweiterung des Viewer-Pakets. PREPaRe Projektbericht.
- [Schiewe 2000] Schiewe, M., Die X3D-Medienklasse. PREPaRe Projektbericht.
- [Steike 2001] Steike, T., Dokumentation der Klassen AppletDescriptionManager und MediaWrapper. PREPaRe Projektbericht.
- [Ticha 2001] Ticha, H., Die SVG-Medienklasse. PREPaRe Projektbericht.
- [Wartenberg 2001] Wartenberg, L., Information Retrieval im XML-basierten Webportalframework. PREPaRe Projektbericht.
- [Zastrow und Ihle 2001] Zastrow, J. und Ihle, S., XML-basiertes Webportalframework. PREPaRe Projektbericht.

Software und Internet-Quellen

- [Apache Software Foundation 1999] Apache Software Foundation, *The Apache HTTP Server*. Open Source Software, <http://apache.org>.
- [CORBA 1997] *CORBA – the Common Object Request Broker Architecture*. The Object Management Group, <http://www.omg.org>.
- [DIS VRML] Distributed Interactive Simulation DIS-Java-VRML Working Group, *DIS-Java-VRML*. <http://www.web3d.org/WorkingGroups/vrtp/dis-java-vrml>.
- [Java 2 SDK] Sun Microsystems Inc., *Java 2 SDK Standard Edition Documentation, Version 1.4.0*. <http://java.sun.com/j2se/1.4>.
- [Java 3D] Sun Microsystems Inc., *Java 3D™ API 1.3 Graphics Technology*. <http://java.sun.com/products/java-med>.
- [MySQL, 2002] *MySQL*. MySQLAB, Uppsala, Sweden. Open Source Software, <http://www.mysql.com>.
- [Xj3d 1998] Java3D Working Group, *Xj3D Open Source VRML/X3D Toolkit*. Open Source Software, <http://www.web3d.org/TaskGroups/source/xj3d.html>.

Anhang A

Spezifikationstabellen

A.1 Korrelationsmatrix der Anforderungskataloge

| Nr. | Anforderung (I) | Nr. | Anforderung (II) |
|-----|---|---------|---|
| 1 | Stille Informationsbedürfnis | 1 | Benutzerschnittstelle |
| 2 | Ermutigt zur Aktivität | 1.1 | Verwendung einer dreidimensionalen virtuellen Welt |
| 3 | Kommunikationsmöglichkeiten mit anderen Benutzern | 1.2 | Ergonomische Benutzerschnittstelle |
| 4 | Patienten-spezifische Daten | 1.2.1 | Erwartungskonformität |
| 5 | Angemessene Präsentation | 1.2.2 | Selbstbeschreibungsfähigkeit |
| 6 | Nur unbedenkliche Daten | 1.2.3 | Robustheit |
| 7 | Externe Informationsquellen | 1.2.4 | Besuchte Stationen erkennbar (History) |
| 8 | Erklärungen zu Einrichtungen und Geräten | 1.2.5 | Konfigurierbare Benutzerschnittstelle |
| 9 | Eingaben in klinische Datenbanksysteme | 1.3 | Hilfe bei der Auswahl der zu visualisierenden Daten |
| 10 | Dreidimensionale Welt | 1.4 | Erlaubt Einpflegen von Daten durch den Patienten |
| 11 | Vom heimischen PC nutzbar | 1.5 | Interaktion |
| 12 | Persönliches Repitorium mit Meta-Index | 1.5.1 | Freie Navigation in der 3D-Welt |
| 13 | Online- und Offline-Medien | 1.5.2 | Interaktion mit Objekten |
| 14 | Schutz persönlicher Daten | 1.5.2.1 | Transparenz |
| 15 | Leichte Bedienbarkeit | 1.5.2.2 | Translation |
| 16 | Wissen um geeignete Präsentation | 1.5.2.3 | Rotation |
| 17 | Moderne Interaktions- und 3D-Visualisierungstechnik | 1.5.2.4 | Skalierung |
| 18 | Nutzung von Rechenservern | 1.5.3 | Interaktion mit anderen Benutzern |
| 19 | Modularität | 1.6 | Speicherung beliebiger Systemzustände |
| 20 | Basistechnologien | 2 | Datenpräsentation |
| 21 | WWW-Portal | 2.1 | Dreidimensionale Darst. v. Untersuchungsobjekten |
| | | 2.2 | Integrierte Darst. v. medizinischen Objekten in VR-Welt |
| | | 2.3 | Präs. vitaler Daten, keine vorberechneten Ansichten |
| | | 2.4 | Verwendung echter medizinische Daten |
| | | 2.5 | Verwendung der persönlichen medizinischen Daten |
| | | 2.6 | Verständliche Präsentation der medizinischen Inhalte |
| | | 2.7 | Notwendiges Fachwissen |
| | | 2.8 | Multimedialität |

A.2 Korrelationen der Anforderungen und technischen Parametern

Tabelle A.2: Matrix der Korrelationen von Anforderungen und technischen Parametern

| Pos Name | A Benutzerschnittstelle | | | | | | | | | | | | | | | | | | B Datenpräsentation | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | A.1 | A.2 | A.3 | A.4 | A.5 | A.6 | A.7 | A.8 | A.9 | A.10 | A.11 | A.12 | A.13 | A.14 | A.15 | A.16 | A.17 | A.18 | B.1 | B.2 | B.3 | B.4 | B.5 | B.6 | B.7 | |
| 1 Benutzerschnittstelle | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 Verwendung einer dreidimensionalen virtuellen Welt | | | | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 9 | 9 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | 9 | | |
| 1.2 Ergonomische Benutzerschnittstelle | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2.1 Erwartungskonformität | | | | | | | | | | 9 | 9 | | | 3 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 1.2.2 Selbstbeschreibungsfähigkeit | | | | | | | | | | 1 | 3 | 9 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 1.2.3 Robustheit | | | | | | | | | | | | 1 | 9 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2.4 Besuchte Stationen erkennbar (History) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | | |
| 1.2.5 Konfigurierbare Benutzerschnittstelle | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | | |
| 1.3 Hilfe bei der Auswahl der zu visualisierenden Daten | | | | | | | | | | | 1 | | 3 | 3 | 9 | | | | | | | | | | | |
| 1.4 Erlaubt Einpflegen von Daten durch den Patienten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | 1 | |
| 1.5 Interaktion | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5.1 Freie Navigation in der 3D-Welt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | 9 | | | |
| 1.5.2 Interaktion mit Objekten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5.2.1 Transparenz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | 9 | 9 | 1 | 9 | 3 | |
| 1.5.2.2 Translation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | 9 | 9 | 1 | 3 | 3 | |
| 1.5.2.3 Rotation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | 9 | 9 | 1 | 3 | 3 | |
| 1.5.2.4 Skalierung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | 9 | 9 | 1 | 3 | 3 | |
| 1.5.3 Interaktion mit anderen Benutzern | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | | |
| 1.6 Speicherung beliebiger Systemzustände | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 Datenpräsentation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Dreidimensionale Darstellung von Untersuchungsobjekten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 Integrierte Darstellung von medizinischen Objekten in VR-Welt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | | 9 | |

| <i>(Fortsetzung)</i> | |
|--|--|
| Pos Name | A Benutzerschnittstelle |
| | A.1 Grafische Bedienoberfläche |
| | A.2 Benutzerschnittstelle dynamisch anpassbar |
| | A.3 Bezeichn. d. Bedienelemente in Landessprache |
| | A.4 Verwendung von aussagekräftigen Ikonen |
| | A.5 Einfache Bedienoberfläche |
| | A.6 Toleranz gegenüber falschen Benutzereingaben |
| | A.7 Online-Hilfe über Tooltips |
| | A.8 Hilfe über Dokumentation |
| | A.9 Hilfe über Hilfe-Assistenten |
| | A.10 3D Volumenrendering-Funktionen |
| | A.11 3D Polygonrendering-Funktionen |
| | A.12 Virtuelle Lupe |
| | A.13 Virtuelles Röntgenglas, Alphakanal |
| | A.14 Integration in virtueller 3D-Welt |
| | A.15 Freie Navigation in der 3D-Welt |
| | A.16 Möglichkeit zur Manipulation der Welt |
| | A.17 Mehrdimensionaler History-Buffer |
| | A.18 Systemzustand speicherbar |
| | B Datenpräsentation |
| B.1 Verwendung von Textinhalten | |
| B.2 Verwendung von Bildinhalten | |
| B.3 Verwendung von Videoinhalten | |
| B.4 Verwendung von Audioinhalten | |
| B.5 Verwendung von echten 3d-Modellen | |
| B.6 Technische Bildqualität | |
| B.7 Diagnostische Bildqualität | |
| 3.4.2 Flüssiger Programmablauf | |
| 3.4.3 Kurze Ladezeiten | |
| 3.5 Modulare Architektur | |
| 4 Systemadministration | |
| 4.1 Installation | |
| 4.1.1 Leicht zu installieren | |
| 4.1.2 Leicht zu deinstallieren | |
| 4.2 Unabhängigkeit von Hardware / Betriebssystem | |
| 4.2.1 Betriebssystemunabhängigkeit | |
| 4.2.2 Hardwareunabhängigkeit | |
| 4.3 Geringe Anschaffungs-/Wartungskosten | |
| 5 Kommunikation | |
| 5.1 Anbindung an Krankenhaus-Datenbanksystem | |
| 5.2 Anbindung an WWW-Inhalte | |
| 5.3 Nutzung von Offline- und Online-Datenquellen | |
| 6 Datenschutz | |
| 6.1 Vertraulichkeit / Verschlüsselung | |
| 6.2 Integrität | |
| 6.3 Authentizität der Daten | |
| 6.4 Datenfreigabe manuell steuerbar | |
| 6.5 Verfügbarkeit | |

A.3 Evaluationskatalog

Tabelle A.3 beschreibt den Evaluationskatalog der einzelnen Parameter nach der Spezifikation. Neben *Name* und kurzer Beschreibung der *Bedeutung* werden Kriterien aufgeführt, die für das Erreichen der jeweiligen Bewertungsstufe zu erfüllen sind. Nach [Mizuno und Akao 1994] existieren nur 4 Stufen aus der Menge {0, 1, 3, 9} für die Stufen *keine*, *geringe*, *normale* und *vollständige* Erfüllung der Anforderung. Die angeführten Kriterien sollen diese vagen Aussagen konkretisieren. Bei der Evaluation der Software in Abschnitt 4 wurden die entsprechenden Kriterien zur Klassifikation der betreffenden Bewertungsstufen angewendet.

Tabelle A.3: Evaluation nach technischen Parametern aus Anforderungskatalog II.

| Nr. Parameter | 0 Punkt | 1 Punkt |
|---|--|---|
| A Benutzerschnittstelle | | |
| A.1 Grafische Bedienoberfläche | Nicht Erfüllt | |
| A.2 Benutzerschnittstelle dynamisch anpassbar | Keine Konfigurationsmöglichkeiten. | Wenig Konfigurationsmöglichkeiten. |
| A.3 Bezeichnungen der Bedienelemente in Landessprache | Nicht Erfüllt | |
| A.4 Verwendung von aussagekräftigen Ikonen | Keine Ikonen, nur Text | Unübliche oder unverständliche Ikonen |
| A.5 Einfache Bedienoberfläche | Die Bedienung ist nur nach speziellen Schulungen möglich. | Die Bedienung ist nur unter Zuhilfenahme der Anleitung möglich. |
| A.6 Toleranz gegenüber falschen Benutzereingaben | Falsche Eingaben können zu Inkonsistenzen oder Programmabsturz führen. | |
| A.7 Online-Hilfe über Tooltips | Nicht Erfüllt | |
| A.8 Hilfe über Dokumentation | Nicht Erfüllt | Nahezu nutzlose Dokumentation |
| A.9 Hilfe über Hilfe-Assistenten | Nicht Erfüllt | |
| A.10 3D Volume-Rendering-Funktionen | Nicht Erfüllt | |
| A.11 Polygonrendering-Funktionen | Nicht Erfüllt | |
| A.12 Virtuelle Lupe | Nicht Erfüllt | |
| A.13 Virtuelles Röntgenglas, Alphakanal | Keine Transparenzen wählbar. | Vorselektierte Transparenzstufen ausgewählter Objekte. |
| A.14 Integration in virtueller 3D-Welt | Keine Integration | |

| 3 Punkte | 9 Punkte | Welt des Wissens: Mensch 3D | Medizin Lexikon 2000 | Interactive Knee | PREPaRe Prototypen |
|---|---|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | Erfüllt | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Gute Konfigurationsmöglichkeiten. | Benutzerschnittstelle optimal den Bedürfnissen des Benutzers anpassbar. | 1 | 1 | 1 | 3 |
| | Erfüllt | 9 | 9 | 0 | 9 |
| Unübliche aber verständliche Ikonen | übliche Ikonen | 1 | 3 | 3 | 9 |
| Die Bedienung erfordert eine Einarbeitungszeit oder unterstützt den Benutzer bei der Bedienung. | Die Bedienung erfordert keine Gewöhnungszeit und ist leicht erfassbar. | 3 | 9 | 3 | 3 |
| Falsche Eingaben führen zu Fehlermeldungen | Falsche Eingaben sind durch Benutzerführung nicht möglich. | 0 | 9 | 9 | 9 |
| | Erfüllt | 9 | 9 | 9 | 0 |
| Knappe Dokumentation | Ausführliche Dokumentation | 1 | 9 | 1 | 3 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Erfüllt | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Stufenfreie Transparenz ausgewählter Objekte wählbar. | Transparenz aller Objekte stufenlos wählbar. | 1 | 0 | 1 | 3 |
| | Vollständige Integration. | 0 | 0 | 0 | 9 |

(Fortsetzung nächste Seiten)

| <i>(Fortsetzung)</i> | | |
|--|--|--|
| Nr. Parameter | 0 Punkt | 1 Punkt |
| A.15 Freie Navigation in der 3D-Welt | Textuelle Navigation, Hyperlinks oder vorberechnete Ansichten | Navigation in zweidimensionaler Welt. |
| A.16 Möglichkeit zur Manipulation der Welt | Kein Freiheitsgrad | 1 Freiheitsgrad |
| A.17 Mehrdimensionaler History-Buffer | Kein Back-Button oder nur ein Back-Level. | Einfacher Back-Button, mehrere Back-Level. |
| A.18 Systemzustand speicherbar | Nicht möglich | |
| B Datenpräsentation | | |
| B.1 Verwendung von Textinhalten | Nicht vorhanden. | Vorhanden, schlechte Qualität. |
| B.2 Verwendung von Bildinhalten | Nicht vorhanden. | Vorhanden, schlechte Qualität. |
| B.3 Verwendung von Videoinhalten | Nicht vorhanden. | Vorhanden, schlechte Qualität. |
| B.4 Verwendung von Audioinhalten | Nicht vorhanden. | Vorhanden, schlechte Qualität. |
| B.5 Verwendung von echten 3d-Modellen | Keine 3D-Modelle | |
| B.6 Technische Bildqualität | Schlecht | |
| B.7 Diagnostische Bildqualität | Schlecht | |
| B.8 Alle Bildformate darstellbar | Nur Spezialformat | Nur ein Format. |
| B.9 Nutzung von Diagnosecodes | Nicht Erfüllt | |
| B.10 Nutzung von Annotationen | Nicht Erfüllt | |
| B.11 Maßstabsgerechte Skalierung | Nicht Erfüllt | |
| B.12 Didaktische Aufbereitung der Struktur der Informationen | Fehlende Strukturierung behindert den Überblick über die Auswahlmöglichkeiten. | Struktur vorhanden, aber nicht hilfreich und nur schwer nachvollziehbar. |
| B.13 Verknüpfungen zu Erklärungen | Nicht Erfüllt | |
| B.14 Verknüpfungen zu gleichartigen Informationen | Nicht Erfüllt | |
| B.15 Automatische Vorverarbeitung der medizinischen Daten | Nicht Erfüllt | |
| B.16 Realisierung als WWW-Portal | Nicht Erfüllt | |
| C Systemleistungen | | |
| C.1 Eindeutige, durchgängige Benutzeridentifikation | Keine Konfigurationsmöglichkeiten für unterschiedliche Benutzer. | |
| C.2 Persistente Benutzerkonfiguration | Nicht Erfüllt | |
| C.3 Korrektur, Zusammenführung nicht konsistenter Daten | Nicht Erfüllt | |
| C.4 Tolerantes Verhalten bei Komponentenausfall | Programminkonsistenz / Absturz. | Wartezeiten, wiederholte Transmission. |

| | | Welt des Wissens: Mensch 3D | Medizin Lexikon 2000 | Interactive Knee | PREPaRe Prototypen |
|--|---|-----------------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| 3 Punkte | 9 Punkte | | | | |
| Simulation einer dreidimensionalen Welt, vorberechnete Positionen. | Navigation in echter dreidimensionaler Welt. | | | | 9 |
| 3 Freiheitsgrade | 9 Freiheitsgrade | 0 | 0 | 1 | 9 |
| Durchschnittener Pfad als einfache Liste dargestellt und wahlfrei zugreifbar. | Durchschnittener Pfad als Baum dargestellt und wahlfrei zugreifbar. | 3 | 3 | 0 | 0 |
| Nur an bestimmten Stellen möglich | Jederzeit möglich | 0 | 9 | 0 | 9 |
| | | | | | |
| Gute Qualität. | Beste Qualität und optimal an den Kontext angepasst. | 9 | | 9 | |
| Gute Qualität. | Beste Qualität und optimal an den Kontext angepasst. | 9 | 9 | 9 | |
| Gute Qualität. | Beste Qualität und optimal an den Kontext angepasst. | 9 | 9 | 3 | |
| Gute Qualität. | Beste Qualität und optimal an den Kontext angepasst. | | | | |
| Simulierte 3D-Darstellung durch Bitmaps | Dreidimensionale Visualisierung. | 0 | 3 | 3 | 9 |
| | Optimal | | | 9 | 9 |
| | Optimal | | | 9 | 0 |
| Zwei bis 4 Formate. | 5 und mehr Formate. | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 9 | 9 |
| | Erfüllt | | | | 9 |
| Struktur nach Einarbeitung nutzbar. | Gute Strukturierung mit hierarchischen Menüs, Suche-Funktionen. | 1 | 9 | 3 | |
| | Erfüllt | 9 | 9 | 9 | 9 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 9 | 9 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | | | | | |
| | Für jeden Benutzer wird eine eigene Konfiguration verwaltet. | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Erfüllt | | | | 9 |
| | Erfüllt | | | | 9 |
| Vermeidung durch Anwendung von Pre-Fetching Algorithmen, wiederholte Transmission. | Programmkonsistenz ist jederzeit gewährleistet. | 0 | 1 | 1 | 3 |

(Fortsetzung nächste Seiten)

| <i>(Fortsetzung)</i> | | |
|---|---|--|
| Nr. Parameter | 0 Punkt | 1 Punkt |
| C.5 Globaler Szenegraph | Nicht Erfüllt | |
| C.6 Kompakter Szenegraph | Nicht Erfüllt | |
| C.7 Meta-Index zur Verwaltung der Datenquellen | Nicht Erfüllt | |
| C.8 Einheit Bild/Befund durch eindeutige Referenz | Nicht Erfüllt | |
| C.9 Konsistenz Bildinf. v. Erstellung bis Darstellung | Nicht Erfüllt | |
| C.10 Multiuserfähigkeit | Keine Kommunikation mit anderen Benutzern. | Kommunikation über Text. |
| C.11 Client-Server-Architektur | Nicht Erfüllt | |
| C.12 Softwaredesign nach Stand der Technik | Nicht Erfüllt | |
| D Performance | | |
| D.1 Hohe Bildwiederholrate | Einzelbilder (1fps). | Ruckelnde Präsentation (5fps). |
| D.2 Parallele Ausführung zeitkritischer rechenintensiver Aufgaben | Nicht Erfüllt | |
| D.3 Nutzung von Compute-Servern | Nicht Erfüllt | |
| D.4 Pre-Fetching des Szenegraph | Nicht Erfüllt | |
| D.5 Adaptive Nutzung der CPU-Leistung | Unkontrollierte Nutzung. | Statische Nutzung von Kapazitäten. |
| D.6 Adaptive Nutzung des Hauptspeichers (Caching) | Unkontrollierte/Keine Nutzung. | Statische Nutzung von Kapazitäten. |
| D.7 Adaptive Nutzung der Grafikhardware | Spezialhardware kann nicht genutzt werden. | Spezialhardware muss manuell angebunden werden. |
| D.8 Statische Daten liegen dem Client vor | Nicht Erfüllt | |
| E Externe Kommunikation und Datenschutz | | |
| E.1 Anbindung an Krankenhaus-Datenbanksystem | Nicht Erfüllt | |
| E.2 Anbindung an WWW-Inhalte | Nicht Erfüllt | |
| E.3 DICOM Offline Transfer: Bilder, Serien, Studien, Befunde | Nicht Erfüllt | |
| E.4 Verschlüsselte Datenübertragung | Nicht vorhanden. | Vorhanden, aber nach Stand der Technik unsicher. |
| E.5 Sicherung der Integrität durch digitale Signatur | Die Echtheit der Daten kann nicht beurteilt werden. | Die Authentizität der Daten kann manuell verifiziert werden. |
| E.6 Datenfreigabe manuell steuerbar | Nicht Erfüllt | |
| E.7 Export von Bildern | Nicht möglich | |

| 3 Punkte | 9 Punkte | Welt des Wissens: Mensch 3D | Medizin Lexikon 2000 | Interactive Knee | PREPaRe Prototypen |
|--|--|-----------------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| | Erfüllt | | | | 9 |
| | Erfüllt | | | | 9 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Erfüllt | | | 9 | 9 |
| | Erfüllt | | | | 9 |
| Kommunikation über Audio oder Video. | Kommunikation der Avatare in echter dreidimensionaler Welt | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Erfüllt | | | | 9 |
| | | | | | |
| Noch fließende Präsentation (15fps). | Ruckelfreie Präsentation (> 25fps). | 1 | 1 | 1 | 3 |
| | Nutzt Parallelverarbeitung | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Nutzt Compute-Server | | | | 9 |
| | Erfüllt | | | | 9 |
| Adaptive Nutzung und Freigabe ungenutzter Kapazitäten. | Adaptive und durch den Anwender steuerbare Nutzung. | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Adaptive Nutzung und Freigabe ungenutzter Kapazitäten. | Adaptive und durch den Anwender steuerbare Nutzung. | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Spezialhardware wird mit Systemunterstützung semiautomatisch angebunden. | Die Software erkennt und nutzt zur Verfügung stehende Spezialhardware optimal. | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | Erfüllt | 9 | 9 | 9 | 9 |
| | | | | | |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Erfüllt | 0 | 0 | 0 | 9 |
| Vorhanden und nach Stand der Technik ausreichend sicher. | Vorhanden und nach Stand der Technik mehr als sicher. | | | | 9 |
| Die Authentizität der Daten wird automatisch verifiziert. | Die Echtheit der verwendeten Daten ist gewährleistet. | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | Erfüllt | | | | 9 |
| Nur an bestimmten Stellen möglich | Jederzeit möglich | 3 | 3 | 9 | 9 |

(Fortsetzung nächste Seiten)

| <i>(Fortsetzung)</i> | | |
|--|---|---|
| Nr. Parameter | 0 Punkt | 1 Punkt |
| F Systemadministration | | |
| F.1 Geführte/Vollautomatische Installation | Die Installation des Programms setzt mehr als nur oberflächliche Computerkenntnisse voraus und benötigt manuelle Eingriffe. | Die Installation des Programms setzt i. A. übliche Computerkenntnisse voraus. |
| F.2 Geführte/Vollautomatische Deinstallation | Die Deinstallation des Programms setzt mehr als nur oberflächliche Computerkenntnisse voraus und benötigt manuelle Eingriffe. | Die Deinstallation des Programms setzt i. A. übliche Computerkenntnisse voraus. |
| F.3 Hardwareunabhängiger Code | Spezielle Hardware nötig. | Es existieren Systemvoraussetzungen (CPU, Grafikkarte, Sichtsystem), die nicht von besseren Computern erfüllt werden. |
| F.4 Betriebssystemunabhängiger Code | Der Programmcode ist speziell für ein einzelnes Betriebssystem entworfen. | Der Programmcode kann mit Änderungen auf andere Betriebssysteme transferiert werden. |

| 3 Punkte | 9 Punkte | Welt des Wissens: Mensch 3D | Medizin Lexikon 2000 | Interactive Knee | PREPaRe Prototypen |
|---|---|-----------------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| Die Installation des Programms verläuft semiautomatisch mit unterstützender Benutzerinformation. | Eine Installation ist nicht notwendig oder läuft vollständig automatisch ab. | 9 | 3 | 9 | 9 |
| Die Deinstallation des Programms verläuft semiautomatisch mit unterstützender Benutzerinformation und arbeitet vollständig. | Eine Deinstallation ist nicht notwendig oder läuft vollständig automatisch ab und arbeitet vollständig. | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Es existieren Systemvoraussetzungen (CPU, Grafikkarte, Sichtsystem), die von durchschnittlichen Computern erfüllt werden. | Das System ist vollkommen unabhängig von der verwendeten Hardware. | 3 | 3 | 3 | 9 |
| Der Programmcode kann ohne Änderungen auf verschiedene Betriebssysteme transferiert werden. | Der Programmcode ist ohne Änderungen auf verschiedenen Betriebssystemen ausführbar. | 0 | 0 | 0 | 9 |

| <i>(Fortsetzung)</i> | |
|--------------------------------|--|
| Erreichte Bewertung | Nr. Technische Parameter |
| | Summe Gewichtungen |
| | A Benutzerschnittstelle |
| 9 | A.1 Grafische Bedienoberfläche |
| 3 | A.2 Benutzerschnittst. dyn. anpassb. |
| 9 | A.3 Bezeicher in Landesspr. |
| 9 | A.4 Verw. v. aussagekr. Ikonen |
| 3 | A.5 Einfache Bedienoberfläche |
| 9 | A.6 Toleranz ggü. f. Benutzereing. |
| 0 | A.7 Online-Hilfe über Tooltips |
| 3 | A.8 Hilfe über Dokumentation |
| 0 | A.9 Hilfe über Hilfe-Assistenten |
| 9 | A.10 3D Vol.-Rendering-Funkt. |
| 9 | A.11 Polygonrendering-Funktionen |
| 9 | A.12 Virt. Lupe |
| 3 | A.13 Virt. Röntgenglas, Alphakan. |
| 9 | A.14 Integration in virtueller 3D-Welt |
| 9 | A.15 Freie Navigation in der 3D-Welt |
| 9 | A.16 Mögl. z. Manip. d. Welt |
| 0 | A.17 Mehrdim. History-Buffer |
| 9 | A.18 Systemzustand speicherbar |
| | B Datenpräsentation |
| | B.1 Verw. v. Textinhalten |
| | B.2 Verw. v. Bildinhalten |
| | B.3 Verw. v. Videoinhalten |
| | B.4 Verw. v. Audioinhalten |
| 9 | B.5 Verw. v. echten 3d-Modellen |
| 9 | B.6 Technische Bildqualität |
| 0 | B.7 Diagnostische Bildqualität |
| 3 | B.8 Alle Bildformate darstellbar |
| 9 | B.9 Nutzung von Diagnosecodes |
| 9 | B.10 Nutzung von Annotationen |
| 9 | B.11 Maßstabsgerechte Skalierung |
| 9 | B.12 Didakt. Aufber. d. Struktur d. Inf. |
| 9 | B.13 Verkn. zu Erklärungen |
| 9 | B.14 Verkn. zu gleichartigen Inf. |
| Nr. Name | |
| 3 Systemleistungen | |
| 3.1 Systemintegrität | |
| 3.1.1 Keine Programmabstürze | 25 |
| 3.1.2 Kons. Systemzust. | 47 |
| 3.1.3 Determiniertheit | 24 |
| 3.2 Eff. Nutzung. d. Hardware | 22 |
| 3.2.1 Nutzg. v. CPU | 19 |
| 3.2.2 Nutzg. v. Speicher | 21 |
| 3.2.3 Nutzg. spez. Grafikhw. | 12 |
| 3.2.4 Vert. Rechenanl. | 18 |
| 3.3 Vert. Datenh. d. Meta-Idx. | 18 |
| 3.4 Performance | 35 |
| 3.4.1 Fl. Grafikausg. | 3 |
| 3.4.2 Fl. Programmablauf | 49 |
| 3.4.3 Kurze Ladezeiten | 53 |
| 3.5 Modulare Architektur | 24 |
| 4 Systemadministration | |
| 4.1 Installation | |
| 4.1.1 Leicht zu installieren | 15 |
| 4.1.2 Leicht zu deinstallieren | 15 |
| 4.2 Unabh. v. Hardw. / BS | 18 |
| 4.2.1 Betr.syst.unabh. | 12 |
| 4.2.2 Hardw.unabh. | 1 |
| 4.3 Ger. Ansch. /Wartungsk. | |
| 5 Kommunikation | |
| 5.1 Anb. Krankenh.-DBsyst. | 19 |
| 5.2 Anb. WWW-Inhalte | 18 |
| 5.3 Offl.- u. Onl.-Datengu. | 24 |
| 6 Datenschutz | |
| 6.1 Vertraul. / Verschl. | 16 |
| 6.2 Integrität | 15 |
| 6.3 Authentizität d. Daten | 17 |
| 6.4 Datenfreig. steuerb. | 24 |
| 6.5 Verfügbarkeit | 9 |
| Summe | |

