

Entwicklung eines internetbasierten Systems zur Verbreitung von therapeutischem Wissen in der dreidimensionalen Strahlentherapieplanung

Inauguraldissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften
der Universität Mannheim

vorgelegt von
Diplom-Informatiker der Medizin Andreas Lüttgau
aus Weinheim/Bergstr.

Mannheim, 2002

Dekan: Professor Dr. Herbert Popp, Universität Mannheim
Referent: Professor Dr. Reinhard Männer, Universität Mannheim
Korreferent: Professor Dr. Wolfgang Schlegel, DKFZ Heidelberg

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Juni 2002

Meiner Familie

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit werden in dieser Arbeit nur männliche Substantive bzw. Pronomina (Benutzer, Therapeut, Arzt, usw.) verwendet. Sie schließen weibliche Personen (Benutzerin, Therapeutin, Ärztin, usw.) mit ein.

Inhaltsüberblick

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<i>6</i>
<i>KAPITEL 1 Einleitung</i>	<i>11</i>
<i>KAPITEL 2 Anwendungsbereiche von IRIS</i>	<i>13</i>
<i>KAPITEL 3 Stand der Forschung</i>	<i>17</i>
<i>KAPITEL 4 Grundlagen der Strahlentherapieplanung</i>	<i>30</i>
<i>KAPITEL 5 Material und Methoden</i>	<i>38</i>
<i>KAPITEL 6 IRIS – Das Systemkonzept</i>	<i>63</i>
<i>KAPITEL 7 IRIS – Der Prototyp</i>	<i>98</i>
<i>KAPITEL 8 Test des Prototyps</i>	<i>110</i>
<i>KAPITEL 9 Diskussion und Ausblick</i>	<i>119</i>
<i>KAPITEL 10 Zusammenfassung</i>	<i>126</i>
<i>ANHANG A Publikationen</i>	<i>127</i>
<i>ANHANG B Verzeichnisse</i>	<i>128</i>
<i>ANHANG C Glossar</i>	<i>140</i>
<i>ANHANG D Lebenslauf</i>	<i>147</i>
<i>ANHANG E Danksagung</i>	<i>148</i>

Inhaltsverzeichnis

KAPITEL 1 <i>Einleitung</i>	11
1.1 Motivation	11
1.2 Ziele der Arbeit	11
1.3 Gliederung der Dissertation	12
KAPITEL 2 <i>Anwendungsbereiche von IRIS</i>	13
2.1 Einleitung	13
2.2 Therapieplanung	13
2.3 Ausbildung	14
2.4 Forschung	14
2.5 Dokumentation	15
KAPITEL 3 <i>Stand der Forschung</i>	17
3.1 Gliederung des Kapitels	17
3.2 Die Verbreitung von Wissen	17
3.3 Internetbasierte Systeme in der Medizin	18
3.3.1 Anfänge	18
3.3.2 Akzeptanz und Awendungsgebiete in der Medizin	18
3.3.3 Häufig genutzte Techniken der Softwareentwicklung	19
3.3.4 Techniken der Datenübertragung	19
3.4 Internetbasierte Isodosenatlanten	20
3.4.1 Anwendungen	20
3.4.2 Realisierung der Anwendungen	21
3.5 Telemedizin	21
3.5.1 Einführung	21
3.5.2 Beispiele aus der Radiologie und Pathologie	21
3.5.3 Teleplanung in der Strahlentherapie	22
3.5.4 Arbeiten zur Realisierung von Application Sharing mit Java	23
3.5.5 Das Mitschneiden von Telekonferenzen	24
3.6 Wissensvermittlung und Lernen mit Computern	24
3.6.1 Einführung	24
3.6.2 Beispiele für Lernsysteme außerhalb der Strahlentherapie	24
3.6.3 Lernsysteme für die Strahlentherapie	25
3.6.4 Beispiele für synchrones Telelearning	26
3.7 Diskussionsforen	28
3.7.1 Anwendungen	28
3.7.2 Realisierung der Anwendungen	29
KAPITEL 4 <i>Grundlagen der Strahlentherapieplanung</i>	30
4.1 Bestandteile eines Bestrahlungsplanes	30
4.1.1 Prinzipielle Gliederung der Daten	30
4.1.2 Medizinische Bilddaten	30
4.1.3 VOI-Konturen	31
4.1.4 Bestrahlungsparameter	31
4.1.5 Dosisverteilung	31
4.1.6 Feldkonturen	31

4.2 Erstellung eines Bestrahlungsplanes	32
4.2.1 Konventionelle und inverse Planung	32
4.3 Evaluation eines Bestrahlungsplanes	34
4.3.1 Dosis -Volumen-Histogramm	34
4.3.2 Statistische Kenngrößen und biologische Parameter	34
4.3.3 2D Ansichten - Schichtbilder	34
4.3.4 3D Ansichten - Observer's View und Beam's Eye View	35
4.4 Klassifikation eines Bestrahlungsplanes	36
4.4.1 ICD und ICD-O	36
4.4.2 Tumorlokalisierungsschlüssel	37
4.4.3 ICRU	37
4.4.4 TNM	37
KAPITEL 5 Material und Methoden	38
5.1 Verwendete Software	38
5.1.1 Die Internetbrowser - Netscape und IE	38
5.1.2 Das Java PlugIn	38
5.1.3 postgresQL und JDBC – Anbindung einer Datenbank	39
5.1.4 Windows NetMeeting – Eine Software für Telekonferenzen	39
5.1.5 VIRTUOS und KonRad– Systeme zur 3D Bestrahlungsplanung	40
5.1.6 TAPIR – Ein Tool zur automatischen Plangenerierung	40
5.1.7 DC09 – Ein Algorithmus zur Dosisberechnung	42
5.2 Programmiersprachen und Sprachbibliotheken	43
5.2.1 Verwendete Programmiersprachen	43
5.2.2 Java Swing – Eine Bibliothek zur Oberflächenprogrammierung	44
5.2.3 Java Sound – Eine Bibliothek zur Audioverarbeitung	44
5.2.4 JMF – Eine Bibliothek für Audio- und Videoverarbeitung	45
5.2.5 JSDT – Eine Bibliothek für Telekonferenzen	46
5.2.6 Java 3D – Eine Bibliothek für 3D Grafiken	47
5.2.7 JavaMail	48
5.2.8 PVM - Eine Methode zur Parallelisierung von Systemen	48
5.2.9 CORBA – Eine Methode zur Prozesskommunikation	48
5.3 Datenformate für Bestrahlungspläne	51
5.3.1 Siemens LANTIS RTP Link	51
5.3.2 DICOM	51
5.3.3 DICOM RT	52
5.3.4 RTOG	52
5.3.5 LANTIS, RTOG oder DICOM RT ?	52
5.4 Methoden zur Datenkompression	53
5.4.1 JAR Java Archive	53
5.4.2 ZIP	53
5.4.3 Huffman-Code, RLE, LZW, BCT und EBCOT	54
5.4.4 H.263	55
5.4.5 JPEG, JPEG-LS, JPEG2000 und GIF	55
5.4.6 G.723	55
5.4.7 GSM	56
5.4.8 DVI, U-LAW, MPEG Audio	56
5.5 Methoden zur Sicherheit und Authentisierung	56
5.5.1 SHTTP, SSL und TLS - Verschlüsselung von Daten	57
5.5.2 Signed Applets – Server-Authentisierung mit digitaler Unterschrift	58
5.5.3 Policy-Dateien und Security Dateien	59
5.6 Zusammenfassender Überblick	59
5.7 Verwendete Hard- und Software	61
5.7.1 Hardware	61
5.7.2 Software	61

KAPITEL 6 IRIS – Das Systemkonzept	63
6.1 Allgemeines	63
6.1.1 Vorbemerkung	63
6.1.2 Gesichtspunkte der Konzeptentwicklung	63
6.2 Die funktionalen Module im Überblick	64
6.3 Integration der Module im Internetbrowser	66
6.3.1 Das IRIS Java Applet	66
6.3.2 Die Benutzeroberfläche von IRIS	67
6.3.3 Die UML Modelle in diesem Kapitel	67
6.4 Der Isodosenatlas	67
6.4.1 Das Planpräsentationsmodul	67
6.4.2 Quellen eines Bestrahlungsplanes	67
6.4.3 Auffinden eines Planes im Atlas	68
6.4.4 Darstellung von Plänen	68
6.4.5 Temporäre Plannummern	69
6.4.6 Implementierung - Einbindung von Algorithmen aus VIRTUOS und TAPIR	69
6.4.7 Implementierung - Kommunikation zwischen Client und Server	70
6.4.8 Implementierung – Die Anbindung von TAPIR	70
6.4.9 Implementierung der Darstellungen – Nutzung von Java 3D und JMF	73
6.5 Die Planungskomponente	74
6.5.1 Allgemeine Funktionalität	74
6.5.2 Protokollierung der Änderungen	74
6.5.3 Implementierung	74
6.6 Das Diskussionsforum	74
6.6.1 Allgemeine Architektur	74
6.6.2 Inhaltliche Ordnung	74
6.6.3 Kommunikation per E-Mail	75
6.6.4 Art der gespeicherten Daten und deren Darstellung	75
6.6.5 Implementierung	76
6.7 Das Tutorial	77
6.7.1 Tutorial als multimediales Hypertext -Lehrwerk	77
6.7.2 Tutorial als kontextsensitive Hilfe	77
6.7.3 Wiedergabe der Darstellungen	77
6.7.4 Angeleitete Beispielpläne zum interaktiven Lernen	77
6.7.5 Implementierung	79
6.8 Die Telekonferenz und Videokonferenz	79
6.8.1 Die Begriffe Telekonferenz und Videokonferenz	79
6.8.2 Allgemeine Funktionalität	79
6.8.3 Anmelden einer Sitzung	80
6.8.4 Kennzeichnung der Teilnehmer	81
6.8.5 Implementierung	81
6.9 Die Wissensakquisition	83
6.10 Die Systemadministration	85
6.11 Zugangsbeschränkung	85
6.11.1 Grund der Zugangsbeschränkung	85
6.11.2 Antrag auf Zulassung	85
6.11.3 Passwortschutz	86
6.11.4 Ein Zusatz zum Passwortschutz – die digitale Unterschrift	86
6.12 Benutzergruppen	87
6.13 Multiuserfunktionalität	88
6.14 Das Servernetzwerk	89
6.15 Die Serverprozesse	89

6.16 Das Kopieren von Dateien	91
6.16.1 Zwei Arten des Kopierens von Dateien in IRIS	91
6.16.2 Umkopieren von Dateien im Servernetzwerk	91
6.16.3 Herunterladen von Dateien	91
6.16.4 Hochladen von Dateien	91
6.17 Datenschutz	92
6.18 Der Datenaustausch zur Laufzeit	92
6.18.1 Problematik	92
6.18.2 Reduktion des Volumens der Bilddaten	93
6.19 IRIS Datenpakete	93
6.20 Unterstützung von Standards für den internationalen Planaustausch	94
6.21 Mögliche Varianten der Serverinstallation	95
6.22 Kommunikation durch eine Firewall	96
KAPITEL 7 IRIS – Der Prototyp	98
7.1 Einleitung	98
7.2 Der Isodosenatlas	98
7.3 Das Diskussionsforum	102
7.4 Das Tutorial	102
7.5 Die Planungskomponente	103
7.6 Die Telekonferenz und Videokonferenz	104
7.7 Die Wissensakquisition	106
7.8 Die Systemadministration	107
7.9 Integration der Module im Internetbrowser	107
7.10 Zugangsbeschränkung	107
7.11 Multiuserfunktionalität	107
7.12 Das Kopieren von Dateien	107
7.13 Datenschutz	108
7.14 Der Datenaustausch zur Laufzeit	108
7.15 IRIS Datenpakete	108
7.16 Unterstützung von Standards für den internationalen Planaustausch	108
7.17 Das Servernetzwerk	108
7.18 Kommunikation durch eine Firewall	108
KAPITEL 8 Test des Prototyps	110
8.1 Testvorbereitung -Installation des Prototyps	110
8.2 Die Testumgebung	111
8.3 Testergebnisse	112
8.3.1 Verhalten in den Internetbrowsern	112
8.3.2 Die Videokonferenz und die Telekonferenz	112
8.3.3 Datenaustausch zwischen Client und Server zur Laufzeit	117
8.3.4 Ladezeit des Applets	117
8.3.5 Das Kopieren von Dateien	118
8.3.6 HTTP-Tunneling	118

8.3.7 Reaktion auf Ausnahmesituationen	118
KAPITEL 9 Diskussion und Ausblick	119
9.1 Einleitung	119
9.2 Gibt es Bedarf für das System ?	119
9.3 Vergleich mit anderen Arbeiten	120
9.4 Kritische Betrachtung des Systems	121
9.4.1 Allgemeines	121
9.4.2 Vorkehrungen für den internationalen Datenaustausch	121
9.4.3 Verringerung der Ladezeiten im Internet	121
9.4.4 Vorkehrungen für den Datenschutz	122
9.4.5 Kompatibilität des Programmcodes	122
9.4.6 Zukunftsfähigkeit des Programmcodes	122
9.4.7 Wartbarkeit und Aktualisierbarkeit	123
9.5 Wie geht es weiter ?	123
9.6 Zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten von IRIS	123
9.6.1 Einbindung in einem KIS oder RIS	123
9.6.2 Nutzung im Mobilfunknetz	124
9.6.3 Übertragung des Konzeptes auf andere Bereiche	124
9.7 Schlussfolgerung	124
KAPITEL 10 Zusammenfassung	126
ANHANG A Publikationen	127
ANHANG B Verzeichnisse	128
B.1 Abbildungsverzeichnis	128
B.2 Tabellenverzeichnis	129
B.3 Literaturverzeichnis	130
ANHANG C Glossar	140
ANHANG D Lebenslauf	147
ANHANG E Danksagung	148

KAPITEL 1

Einleitung

1.1 Motivation

Alleine und in Kombination mit der Chirurgie wird die Strahlentherapie in etwa 50% der Tumorbehandlungen angewandt. Durch Bestrahlung kann Tumorgewebe an Stellen zerstört werden, an denen chirurgische Eingriffe nicht möglich oder sinnvoll sind, wie zum Beispiel im Zerebralbereich.

Das Hauptproblem der Strahlentherapie ist, dass durch die Strahlenbelastung nicht nur Tumorgewebe, sondern auch gesundes Gewebe beschädigt wird, was bei bestimmten Organen, sogenannten Risikoorganen, zu kritischen Nebenwirkungen führen kann. So ist zum Beispiel eine Strahlenbelastung des Sehnervs zu vermeiden, um Beeinträchtigungen des Sehvermögens zu verhindern. Ein optimaler Bestrahlungsplan sollte daher das gesunde Gewebe soweit wie möglich schonen.

Die rechnergestützte dreidimensionale Strahlentherapieplanung erlaubt die Berücksichtigung der räumlichen Lage von Tumor und Risikoorganen zueinander. Allerdings ist die Erstellung eines optimalen Therapieplanes mit einem Planungssystem zeitaufwendig und erfahrungsbhängig, aufgrund der Vielzahl an Freiheitsgraden und der oft komplizierten Lage des Tumorgewebes bezüglich des gesunden Gewebes.

Bei der früher üblichen zweidimensionalen Strahlentherapieplanung konnten sogenannte Isodosenatlanten in Form von Büchern das notwendige Wissen vermitteln. Isodosenatlanten geben zu bestimmten Tumorlokalisationen Auskunft über Behandlungstechnik und resultierende Dosisverteilung. Bei der dreidimensionalen Bestrahlungsplanung dagegen können Buchatlanten die notwendigen Informationen nur noch unzureichend darstellen. Der Computer bietet in diesem Fall zur Darstellung von dreidimensionalen Zusammenhängen und modernen Bestrahlungstechniken weitaus bessere Möglichkeiten.

Die zunehmende Nutzung des Internets in den vergangenen zehn Jahren bietet dabei eine neue Form der Verbreitung von Wissen und Erfahrung. Wie Umfragen zeigen nimmt die Akzeptanz des Internets als Medium des Wissenserwerbs auch im medizinischen Bereich stetig zu [Siebrecht 2000]. Neben den vielfältigen rechnergestützten Darstellungsmöglichkeiten bietet das Internet gegenüber dem gedruckten Buch noch weitere Vorteile, die zu dieser Entwicklung mit beigetragen haben mögen. Die gewünschten Informationen können über das Internet einer breiten Masse von Lesern kostenlos zur Verfügung gestellt und stets auf den aktuellsten Stand der Forschung gehalten werden. Die Aktualität des Wissens spielt insbesondere in der Medizin eine große Rolle, da sich jeder Arzt unter anderem dazu verpflichtet hat, seinen Patienten nach dem jeweiligen Stand der Forschung zu behandeln.

1.2 Ziele der Arbeit

Die vorliegende Arbeit will Vor- und Nachteile der Nutzung des Internets bei der Verbreitung von Wissen über die Strahlentherapie und die dreidimensionale Strahlentherapieplanung auf-

zeigen sowie entsprechende computergestützte Methoden entwickeln, die den Therapeuten bei der Bestrahlungsplanung unterstützen sollen. Es entsteht das Konzept des internetbasierten Informations- und Planungssystems IRIS (Internetbased Radiotherapy Planning and Information System). Anhand eines Prototypen wird das entwickelte Konzept verifiziert und es wird gezeigt, wie das Konzept erfolgreich in ein praktisch anwendbares System umgesetzt werden kann. Zielgruppe des Systems sind sowohl Physiker, Mediziner und Medizintechniker, die schon länger in der Strahlentherapieplanung tätig sind, als auch Anfänger und Studierende. Das System will also nicht nur die Planung unterstützen, sondern auch einen Einstieg in die Planung erleichtern und Grundlagen der Strahlentherapie vermitteln. Für Therapeuten soll der Planungsprozess vereinfacht und beschleunigt werden.

Bei der Entwicklung von IRIS werden über Methoden zur reinen Wissensvermittlung hinaus aber auch noch andere Ansätze zur Beschleunigung und Vereinfachung des Planungsvorganges mit einbezogen. Darunter fallen insbesondere Aspekte der automatischen Plangenerierung und der Teleplanung. Unter Teleplanung wird hier die Erstellung eines Bestrahlungsplanes zusammen mit anderen Therapeuten über das Internet verstanden. Bei der automatischen Plangenerierung werden Bestrahlungspläne von einem wissensbasierten System automatisch mit Hilfe von Optimierungsalgorithmen erstellt. Im Falle der automatischen Plangenerierung kann bereits auf den Prototyp eines wissensbasierten Systems, das wie diese Arbeit auch, an der Abteilung für Medizinische Physik des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ) Heidelberg entstanden ist, zurückgegriffen werden. Die Einbindung dieses Systems in IRIS wird hier ebenfalls beschrieben und diskutiert werden.

Das in dieser Arbeit entwickelte internetbasierte System beinhaltet ein wissensbasiertes System zur automatischen Generierung von Bestrahlungsplänen, ein Referenzwerk für die dreidimensionale Strahlentherapieplanung, ein Modul für die Ausbildung sowie ein Modul für Teleplanung und Telekonferenz. Mit der Zusammenfassung dieser einzelnen Module zu einem internetbasierten Informations-, Planungs- und Ausbildungssystem für die Strahlentherapie wird mit dieser Arbeit Neuland betreten.

1.3 Gliederung der Dissertation

Kapitel 2 dieser Dissertation erläutert kurz einige der Anwendungsmöglichkeiten von IRIS. Kapitel 3 gibt einen Überblick über den derzeitigen Stand der Forschung. In Kapitel 4 werden einige grundlegende Informationen über Bestrahlungsplanung gegeben, soweit diese zum Verständnis der Arbeit relevant sind. Kapitel 5 gibt einen Überblick über die verwendeten Methoden und Hilfsmittel. Es werden Alternativen aufgezeigt und diskutiert. Die Kapitel 6, 7 und 8 beinhalten die Ergebnisse der Promotion. Kapitel 6 erläutert den im Rahmen der Promotion entwickelten Systementwurf von IRIS. Kapitel 7 bespricht den realisierten Prototypen und führt die noch zu realisierenden Teile des Systementwurfs auf. Kapitel 8 zeigt Ergebnisse aus dem Test des Prototyps. Kapitel 9 bietet einen Ausblick auf zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten, eine kritische Betrachtung der Arbeit und deren Gegenüberstellung zu anderen vergleichbaren Arbeiten. Kapitel 10 fasst die Dissertation noch einmal zusammen. Im Anhang befinden sich neben dem Literaturverzeichnis und Abbildungsverzeichnis noch ein Glossar, das wichtige Abkürzungen und Begriffe erläutert sowie eine Auflistung der im Zusammenhang mit dieser Arbeit erschienen Publikationen.

KAPITEL 2

Anwendungsbereiche von IRIS

Aufgrund der Integration verschiedener Module, bestehen für IRIS auf den unterschiedlichsten Gebieten der Strahlentherapie wichtige Einsatzmöglichkeiten. Dieses Kapitel zeichnet einige fiktive Szenarios, die einen Eindruck über mögliche Anwendungen von IRIS in der Praxis geben sollen. IRIS kann dazu beitragen, den Planungsprozess zu unterstützen und zu vereinfachen. In der Ausbildung kann es als Lehr- bzw. Lernsystem dienen. Durch das Angebot eines Diskussionsforums und der Möglichkeit zur Telekonferenz kann IRIS die Forschung unterstützen. Das System kann aber nicht nur im Internet eingesetzt werden, sondern auch für den Datenaustausch zwischen zwei behandelnden Institutionen oder als Bestandteil eines Krankenhausinformationssystems für die Dokumentation von Patientendaten.

2.1 Einleitung

Die im Laufe dieser Arbeit erläuterte Funktionalität von IRIS bietet nicht nur Einsatzmöglichkeiten in den schon in der Einleitung erwähnten Gebieten, sondern auch darüber hinaus. Dabei sind sowohl Einsätze im Internet als auch im Intranet eines Krankenhauses, eines Klinikums, einer Universität oder einer Forschungseinrichtung denkbar. In diesem Kapitel werden kurz einige der möglichen Anwendungen von IRIS anhand von fiktiven Beispielszenarios skizziert. Sie können in die Gebiete Therapieplanung, Ausbildung, Forschung und Dokumentation eingeordnet werden.

2.2 Therapieplanung

IRIS ist mit dem Hauptziel entwickelt worden, die dreidimensionale Strahlentherapieplanung für Therapeuten zu vereinfachen und zu beschleunigen. Dieses Ziel soll durch die internetbasierte Sammlung und Vermittlung von Wissen über Bestrahlungs- und Planungstechniken erreicht werden. Zu diesem Wissen gehört vor allem die Darstellung von Bestrahlungsplänen, da diese wesentliche Auskunft über den aktuellen Stand der Patientenbehandlung geben und gleichzeitig als Ausgangspunkt für eine individuelle Planung dienen können.

Sortiert nach Tumorlokalisationen ergibt sich durch die Darstellung von Plänen die Funktionalität eines digitalen Isodosenatlases für die dreidimensionale Strahlentherapieplanung, wie er schon in Buchform bei der zweidimensionalen Strahlentherapieplanung üblich war. Darüber hinaus bietet IRIS durch die Anbindung eines wissensbasierten Systems zur automatischen Plangenerierung eine weitere Möglichkeit, den Planungsvorgang zu verkürzen, indem zu den vorliegenden Patientendaten schon voroptimierte Bestrahlungspläne angezeigt werden können.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten liegen darin, dass es sich bei IRIS um ein internetbasiertes System handelt, das überregional für den Informationsaustausch zwischen Einrichtungen verwendet werden kann. Es ist aber nicht nur der Austausch von Therapieplänen, sondern auch deren gemeinsame Erstellung und Besprechung möglich. Informationsaustausch und gemeinsame Diskussion über das Internet sind beispielsweise dann wünschenswert, wenn Patienten, die an einer Einrichtung vorbehandelt wurden, an einer anderen Einrichtung weiter behandelt werden sollen. Auch bei der räumlichen Trennung von Planung und Therapie kann

diese Funktionalität ihren Einsatz finden. In bestimmten Fällen kann ebenso eine Fallbesprechung mit anderen Experten sehr hilfreich sein.

Die Tatsache, dass das gespeicherte Wissen über das Internet allgemein zur Verfügung steht, versetzt kleinere Krankenhäuser oder niedergelassene Ärzte in die Lage, sich über den aktuellen technischen Stand in größeren Forschungs- und Behandlungszentren zu informieren. Das auf diese Weise gewonnene Wissen kann dann von den Ärzten bei der Behandlung und Beratung des Patienten berücksichtigt werden. Damit kann IRIS nicht erst bei der Therapieplanung, sondern auch schon im Vorfeld unterstützend helfen.

2.3 Ausbildung

Auch im Bereich der studentischen Ausbildung kann ein Wissensaustausch, wie der im vorigen Abschnitt genannte, nützlich sein. Beispielsweise wenn ein kleineres Krankenhaus Lehrkrankenhaus eines Universitätsklinikums ist. So könnten die Ärzte des Lehrkrankenhauses sich mit IRIS für ihre Vorlesungen über den aktuellen Stand der Forschung am Universitätsklinikum und an anderen großen Forschungseinrichtungen informieren.

Bei entsprechender didaktischer Aufbereitung der in IRIS gespeicherten Information kann das System als Lernsystem für künftige Strahlentherapeuten dienen. Genauso wie Therapeuten miteinander Pläne besprechen und erstellen können, so ist es auch Studierenden möglich, gemeinsam mit anderen Studierenden oder auch interaktiv mit dem System zu lernen.

Studierende können sich von ihren Ausbildern Sachverhalte und Pläne erklären lassen, auch dann wenn eine räumliche Trennung besteht. IRIS kann damit seinen Einsatz im Ausbildungsbereich von Klinika und Universitäten finden und bietet die Möglichkeit, studentische Arbeiten auch über räumliche Distanzen hinweg zu betreuen.

Durch eine interaktive Wissensvermittlung kann das System in moderne Lehrprojekte eingebunden werden, wie beispielsweise das der „virtuellen Fakultät“ in Heidelberg. Initiiert von der Chirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Heidelberg, wird hier anhand von Videosequenzen Wissen in Form von Vorträgen oder kleinen Animationen über das Internet vermittelt [Kallinowski 01].

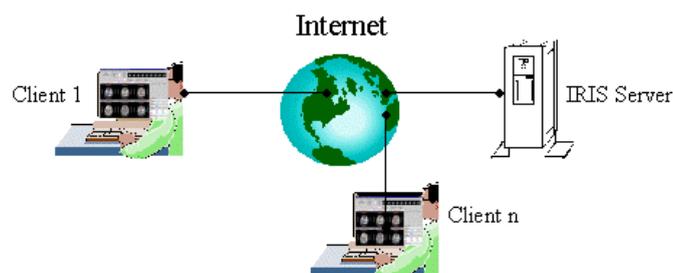


Abbildung 2.1 IRIS im Internet. Die Hauptanwendung von IRIS liegt im Bereich des Internet. Therapeuten und Auszubildende können IRIS zur gemeinsamen Kommunikation nutzen. Außerdem kann Wissen vom IRIS Server über das Internet bezogen werden, bzw. neues Wissen dem Server bereitgestellt werden.

2.4 Forschung

Durch die Möglichkeit des Wissensaustausches und der Diskussion ausgetauschter Informationen, kann IRIS auch zur Unterstützung der Forschung auf dem Gebiet der Strahlentherapie

dienen. Forschungsergebnisse und neue Behandlungstechniken können schnell anderen zur Verfügung gestellt und diskutiert werden. Dadurch werden Möglichkeiten zu Kritik und Anregungen gegeben, die wiederum zu Verbesserungen führen können. Ein Beispiel für die derzeitige Verbreitung von Behandlungstechniken in Fachzeitschriften wäre der Artikel *Konformations-Bestrahlungstechnik für den Peri- und Retrobulbärraum bei endokriner Orbitopathie* aus der Zeitschrift für Medizinische Physik [Götz 01]. Inhalte von Artikeln wie diesem sind in IRIS gut und übersichtlich darstellbar und können so über das Internet verbreitet werden.

Die Präsentation von Bestrahlungsplänen und deren Diskussion im Internet kann auch Fachgremien für die Entwicklung und Veröffentlichung von Behandlungsstandards für bestimmte Tumorentitäten dienen. Anstrengungen zur Definition solcher Standards werden in Form von sogenannten Leitlinien zur Tumorbehandlung unternommen. In Deutschland werden derzeit Leitlinien vom ISTO (Informationszentrum für Standards in der Onkologie) der Deutschen Krebsgesellschaft herausgegeben. Von dort können sie in Form von PDF Dateien oder Ausdrucken bezogen werden¹. Die Leitlinien bestehen aus Vorschlägen zu Techniken und deren Handhabung, mit denen bestimmte Tumorarten behandelt werden sollen.

2.5 Dokumentation

Im Intranet eines Krankenhauses kann IRIS z.B. in der Dokumentation eingesetzt werden. Es gibt derzeit zahlreiche Projekte, die sich mit der Einführung elektronischer Patientenakten beschäftigen. Teilweise sind diese elektronischen Patientenakten auch schon internetbasiert, damit sie leicht von jedem Rechner im Krankenhaus eingesehen und zwischen den einzelnen behandelnden Stationen ausgetauscht werden können.

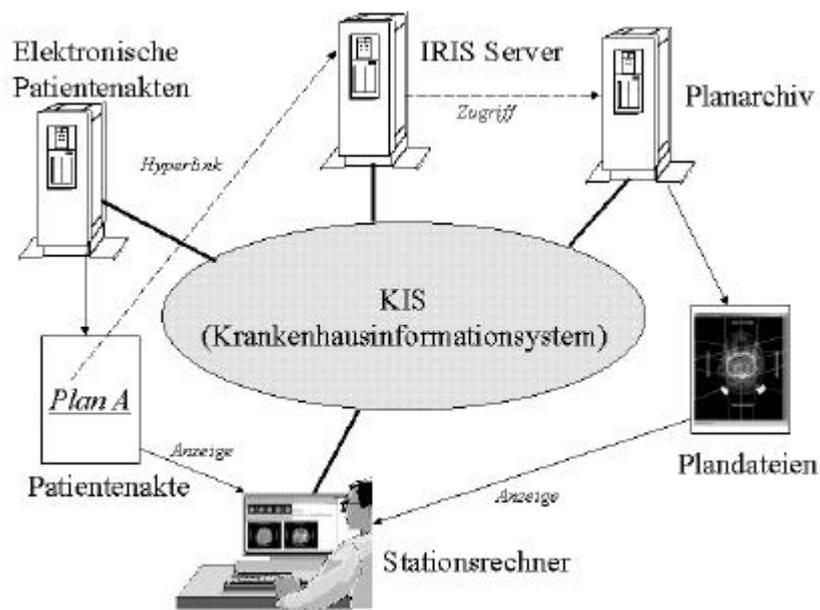


Abbildung 2.2 IRIS in der Dokumentation. Der Arzt kann von einem beliebigen Stationsrechner aus die elektronische Patientenakte abrufen. Diese enthält Links zu den Therapieplänen des Patienten. Bei Anklicken des Links wird IRIS im Internetbrowser gestartet und lädt aus dem Planarchiv die Plandateien. Der Therapeut kann sich nun mit IRIS den Plan im Internetbrowser anschauen, diesen kommentieren, bearbeiten oder mit anderen Kollegen über eine Telekonferenz diskutieren.

¹ <http://www.krebsgesellschaft.de/ISTO/Standards> (gültig am 5. März 2002)

In der Regel befinden sich in den Patientenakten Pläne, nach denen die Patienten behandelt wurden. Bei Nachbehandlungen ist es für den Arzt wünschenswert, wenn er den Plan direkt in detaillierter Form vor sich liegen hat. Da IRIS für die Darstellung von Bestrahlungsplänen konzipiert ist, könnte das System mit der elektronischen Patientenakte verknüpft werden, so dass der Arzt über einen Link in der Akte direkt den gewünschten Plan mit IRIS öffnen und auswerten kann, ohne in einer Datenbank suchen oder an einen Rechner gehen zu müssen, auf dem ein Planungssystem installiert ist, mit dem der Plan betrachtet werden kann [Abbildung 2.2, Seite 15].

KAPITEL 3

Stand der Forschung

In der Literatur ist kein System zu finden, das mit IRIS direkt vergleichbar wäre. Das ergibt sich aus den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des Systems. Daher ist dieses Kapitel unterteilt in die verschiedenen Teilaspekte von IRIS als internetbasiertes System im Allgemeinen und im Speziellen als planungsunterstützender Isodosenatlas, Teleplanungs- und Telekonferenzsystem, webbasiertes Lernsystem und Diskussionsforum. Es werden beispielhaft Systeme aufgeführt, die den Stand der Technik auf diesen Gebieten, sofern dies für diese Arbeit von Interesse ist, zeigen. Des Weiteren finden sich Beispiele von Systemen, die in Teilaspekten mit IRIS vergleichbar sind. So z.B. Systeme, die Bestrahlungspläne in Form von statischen Bildern im Internet zeigen oder ein Teleplanungssystem, das von einem kommerziellen Bestrahlungssystem abhängig ist. Zu den vorgestellten Systemen werden noch kurz die wesentlichsten Realisierungstechniken vorgestellt, sofern diese für die Entwicklung von internetbasierten Systemen in der Medizin repräsentativ sind. Auf diese Techniken wird in Kapitel 5 noch näher eingegangen werden. Am Anfang des Kapitels werden kurz Printmedien und elektronische Medien zur Wissensvermittlung gegenüber gestellt.

3.1 Gliederung des Kapitels

Nach einer kurzen Einführung in die Möglichkeiten der Wissensvermittlung in der Strahlentherapieplanung und in internetbasierte Systeme in der Medizin stellt dieses Kapitel exemplarische Arbeiten vor, die über CD-ROM oder das Internet Wissen vermitteln. Da IRIS verschiedene Arten von Wissensvermittlung verwendet, zeigt dieses Kapitel den Stand der Forschung in den Teilbereichen Isodosenatlanten, Telemedizin, computerbasiertes Lernen und Diskussionsforen. Soweit wie möglich werden dabei Beispiele aus dem Anwendungsbereich der Strahlentherapie verwendet. Jeder Abschnitt gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil beschreibt den Stand der Forschung aus Anwendersicht, der zweite Teil stellt die verwendeten Techniken vor. Eine genauere Beschreibung der erwähnten Techniken und Abkürzungen findet sich im Kapitel 5 „Material und Methoden“ auf Seite 38 sowie im Glossar (Anhang C) auf Seite 140.

3.2 Die Verbreitung von Wissen

Wenn in dieser Arbeit von Wissensvermittlung die Rede ist, dann ist damit in erster Linie Wissen über Bestrahlungstechniken sowie über die Erstellung von optimalen Therapieplänen für die Bestrahlung von Tumorentitäten gemeint.

Als herkömmliche Mittel zur Verbreitung von Wissen stehen Bücher, gedruckte wissenschaftliche Journals, Kongresse oder Vorlesungen zur Verfügung, nicht nur in der Strahlentherapie. Diese Medien wurden in den letzten Jahren durch elektronische Medien wie die CD-ROM und schließlich das Internet ergänzt. Letztere bieten sich besonders als adäquate Mittel zur Vermittlung von Wissen in der dreidimensionalen Strahlentherapieplanung an.

Für die zweidimensionale Strahlentherapieplanung waren gedruckte Referenzwerke, die zu bestimmten Tumorentitäten exemplarische Dosisverteilungen sowie dazugehörige Bestrahlungsparameter darstellen, im Buchhandel erhältlich. Ein Beispiel für einen solchen Isodosenatlas ist das Werk von Nemeth et. al. aus dem Jahr 1981 [Nemeth 81].

Für die dreidimensionale Strahlentherapieplanung existieren zwar keine gedruckten Isodosenatlanten, aber auch hier werden bestimmte Techniken anhand von Therapieplänen in gedruckter Form vorgestellt, etwa in Journals. Allerdings hat die Darstellung von Bestrahlungsplänen allgemein in gedruckter Form den Nachteil, dass die Pläne nur oberflächlich dargestellt werden können (siehe Abbildung 3.1). Viele Details können nicht berücksichtigt werden. Insbesondere ist es schwierig, aufgrund der Vielschichtigkeit möglicher Parametereinstellungen, dreidimensionale Bestrahlungspläne in gedruckter Form darzustellen. Diese Nachteile können durch eine Veröffentlichung in elektronischer Form beseitigt werden, da durch den Computer nun eine ganz andere Art der Darstellung und ein größerer Umfang an präsentierten Daten möglich ist. Das Internet bietet gegenüber der CD-ROM noch den weiteren Vorteil der besseren Aktualisierbarkeit und des unmittelbaren Datenaustausches mit anderen Personen in Form von Telekonferenzen oder Diskussionsforen. IRIS macht sich diese Möglichkeiten des Internets zur Verbreitung von Wissen in der dreidimensionalen Strahlentherapieplanung zu Nutze.

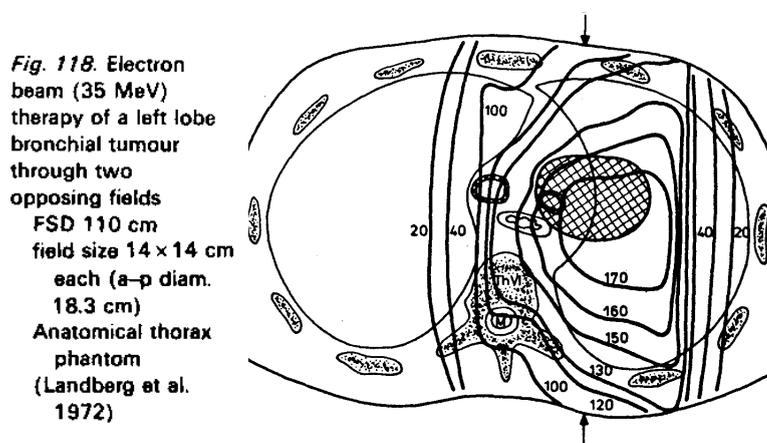


Abbildung 3.1 Beispiel eines 2D Isodosenatlases. Das Beispiel zeigt den Eintrag zur Behandlung eines Bronchialkarzinoms mit Elektronenstrahlen aus einem im Handel erhältlichen Isodosenatlas in Buchform [Nemeth 81]. Es werden in der Regel nur exemplarische Zeichnungen mit Isodosenlinien angegeben. Detailliertere Informationen sind aus Gründen der Darstellung oder des begrenzten Platzes nicht möglich. Auch werden nur zweidimensionale Betrachtungen geboten. Gerade zur Schonung der Risikoorgane ist die Berücksichtigung der dritten Dimension aber unbedingt notwendig.

3.3 Internetbasierte Systeme in der Medizin

3.3.1 Anfänge

Seit seiner Freigabe durch das Genfer Kernforschungszentrum CERN 1991 hat das Internet nicht nur im medizinischen Anwendungsbereich einen riesigen Boom erfahren. Mit der Bereitstellung von Softwarehilfsmitteln, wie z.B. grafischen Internetbrowsern ab 1993 sowie der Unterstützung der Programmiersprache Java ab 1995 durch die Browser, werden immer komplexere Internetanwendungen möglich. Seit der Veröffentlichung der ersten Version von Java 1996 ist diese Programmiersprache für das Internet stetig in Entwicklung.

3.3.2 Akzeptanz und Anwendungsgebiete in der Medizin

Mit den zunehmenden Möglichkeiten des Internets nimmt auch die Akzeptanz dieses Mediums zu. Laut einer Umfrage des Universitätsklinikums Essen nutzen 97% des medizinischen Personals das Internet. Hauptsächlich wird es nach dieser Umfrage zur Literaturrecherche

(95%) und zur Suche nach Referenzen (48%) verwendet [Siebrecht 2000]. Internationale Untersuchungen zeigen ähnliche Tendenzen [Lin 01]. Ein weiterer wichtiger Punkt, der von Ärzten genannt wird, ist die Möglichkeit des Austausches von Erfahrungen und Wissen, wie sie durch ein Telemedizinssystem vermittelt werden.

Spielen Internetanwendungen nach diesen Untersuchungen im globalen Bereich vor allem bei der Wissensvermittlung und dem Erfahrungsaustausch eine Rolle, so werden sie im kleineren Rahmen in WANs (Wide Area Networks) und LANs (Local Area Networks) auch zur Kooperation zwischen zwei Institutionen eingesetzt. Ein weiteres großes Forschungsgebiet im Internetbereich ist der Einsatz im universitären Ausbildungsbetrieb. Weitere Beispiele für die Anwendung des Internets in der Medizin wären noch Elektronische Patientenakten, elektronische Rezepte, Telekonferenzsysteme, Telelearningsysteme, Überwachungssysteme, Systeme in der Notfallmedizin zur Übermittlung und Aufzeichnung von kritischen Daten und webbasierte Programme zur Datensammlung für multizentrische Studien. Zu einigen der genannten Anwendungsgebiete werden in diesem Kapitel beispielhafte Arbeiten eingehender besprochen. Insgesamt lässt sich sagen, dass für webbasierte Anwendungen in der Medizin ein breites und vielschichtiges Forschungsgebiet existiert, das in den letzten Jahren so bedeutend wurde, dass Kongresse wie MEDNET (World Congress on the Internet in Medicine) und Zeitschriften wie JMIR (Journal of Medical Internet Research), sich ausschließlich mit internetbasierten Systemen in der Medizin beschäftigen.

3.3.3 Häufig genutzte Techniken der Softwareentwicklung

Neben Java spielen derzeit bei der Entwicklung von internetbasierten Systemen vor allem folgende Methoden eine Rolle:

- HTML (Hypertext Markup Language) und XML (Extensible Markup Language), die Sprachen zur Gestaltung von Internetseiten
- ActiveX, die Alternative von Microsoft zu Java
- CORBA (Common Object Request Broker Architecture), der Standard zum Datenaustausch zwischen Applikationen.
- Ein wesentlicher Aspekt bei der Entwicklung medizinischer Systeme im Internet ist der Datenschutz. Zur Verschlüsselung von Daten wird derzeit im Internet häufig SSL (Secure Sockets Layer) verwendet.
- Zur Benutzerauthentifizierung ist der normale Passwortschutz gängig. Aber auch mit Verfahren zur digitalen Unterschrift bzw. digitalen Zertifizierung wird zur Realisierung der Zugangsberechtigung experimentiert [Mavridis 01].

3.3.4 Techniken der Datenübertragung

Bei der Übertragung sehr großer Datenmengen spielt die Performance eine wesentliche Rolle. Technologien zur Datenübertragung wie Ethernet im LAN und ATM (Asynchronous Transfer Mode) im WAN bieten mit mehr als 10 Mbit/s ausreichende Bandbreiten an. Im Internet wird dagegen derzeit am häufigsten ISDN verwendet, das mit maximal 128 Kbit/s eine vergleichsweise schmale Bandbreite bereit stellt. Es existieren aber bereits Alternativen zu ISDN, die über eine größere Bandbreite verfügen. ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) z.B. bringt im normalen Telefonnetz bis zu 6 Mbit/s. Die Nutzung von Stromnetzen, wie beispielsweise mit dem RWE PowerNet lässt 2 Mbit/s zu [RWE 2001].

Ebenfalls genutzt werden Satellitennetzwerke, welche aber relativ kostspielig sind.

Neben der Datenübertragung über Kabel und Satellit spielt auch der Mobilfunk eine Rolle. Eine Analyse zur Nutzung von Mobilfunk an einem Krankenhaus wurde am Universitätsklinikum Heidelberg durchgeführt [Buchauer 98]. Die Technik mobiler Hardware wurde in den letzten Jahren immer weiter verbessert, so dass heute durchaus nützliche Werkzeuge auf dem Markt sind. Die Rechner in Handyform bieten Möglichkeiten zur Video- und Audiowiedergabe, eine grafische Benutzeroberfläche sowie HTML-basierte Internetbrowser. Beispiele für leistungsfähige Mobilrechner dieser Art wären der Communicator 9290 von Nokia oder der SL 5000 von Sharp [Nokia 01, Sharp 01]. Abbildung 3.2 zeigt die beiden Modelle. Der Bildschirm des SL 5000 ist etwa 3.5 Zoll groß. Für den Datenaustausch von Mobilrechnern mit einem Server im Festnetz ist die Einrichtung eines weiteren Rechners als WAP-Gateway notwendig. Dieser Rechner vermittelt zwischen den zwei unterschiedlichen Übertragungsprotokollen HTTP und WAP (Wireless Application Protocol). WAP ist das zu HTTP analoge Protokoll im Mobilnetz. Für genauere Auskünfte über die Abbildung von WAP auf HTTP sowie mögliche Rechnerkonfigurationen zwischen Client und Server im Mobilnetz wird auf die Literatur verwiesen [Linke 01].

Die Bandbreiten im öffentlichen Mobilfunknetz sind mit 9,6 Kbit/s bis 50 Kbit/s noch relativ gering. Es ist aber zu erwarten, dass sie in den nächsten Jahren aufgrund der großen Nachfrage verbessert werden. In einigen Mobilnetzen werden auch jetzt schon Datenraten im Mbit Bereich erreicht. Die Nutzung mobiler Werkzeuge befindet sich aber erst in den Entwicklungsanfängen.

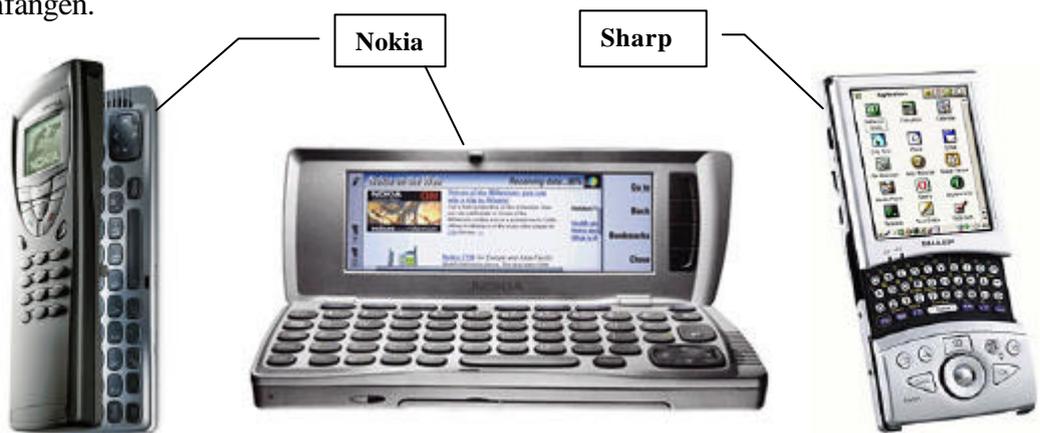


Abbildung 3.2 Beispiele für mobile Werkzeuge. Das Bild zeigt den Communicator 9290 von Nokia (links und Mitte) und den SL 5000 von Sharp (rechts) als Beispiele für Hardware bei der Nutzung des Mobilfunknetzes für Internetanwendungen. In dem Beispiel ist gerade der Internetbrowser von Nokia sichtbar.

3.4 Internetbasierte Isodosenatlanten

3.4.1 Anwendungen

Beispiele für ausgesprochene Isodosenatlanten der dreidimensionalen Strahlentherapieplanung können nicht gefunden werden. Daher sollen hier drei Arbeiten, die dreidimensionale Bestrahlungspläne in einem Internetbrowser darstellen können, besprochen werden. Sie stammen von Bosch et. al. [Bosch 97], Baier et. al. [Baier 2000] und Petrascu et. al. [Petrascu 2000].

Die Arbeit von Bosch ist als Intranetanwendung konzipiert, um Bestrahlungspläne aus einer relationalen Datenbank anzuzeigen. Eine ähnliche Arbeit ist das webbasierte Fallarchiv des Universitätsklinikums Brüssel. Das Archiv ist zu der Entwicklung von Bosch hinsichtlich

Technik und Funktion analog. Es ist im Intranet des Universitätsklinikums Brüssel verfügbar [Petrascu 2000].

Die Arbeit von Baier ist im Zusammenhang mit einer Studie zur Qualitätssicherung entstanden und bietet als Internetanwendung für externe Benutzer die Möglichkeit, Daten zur Verfügung zu stellen und diese zu kommentieren. Eigene Pläne können dann mit denen anderer verglichen werden. Im Kern entspricht dies einer der Funktionalitäten des IRIS Diskussionsforums (siehe Abschnitt 6.6, Seite 74).

Obwohl alle drei Arbeiten eine Sammlung von Bestrahlungsplänen darstellen und in der Darstellungsart einem Isodosenatlas nahe kommen, sind sie aber doch keine Isodosenatlanten im engeren Sinne. Die Arbeiten von Bosch und Petrascu sind lediglich interne Falldatenbanken, während die von Baier eine Studie zu einer ganz bestimmten Tumorart, dem Bronchialkarzinom, unterstützt.

3.4.2 Realisierung der Anwendungen

Die Arbeiten von Bosch, Petrascu und Baier beruhen jeweils auf einer Kommunikation zwischen Browser und Server mittels der Skriptsprache CGI (Common Gateway Interface) und dem Protokoll zur Dateiübertragung FTP. Der Server ist mit einer Datenbank verbunden. Bei entsprechender Anfrage werden die passenden Daten als Bilddaten im JPEG oder GIF Format übermittelt. Diese statischen Bilder werden dann in HTML-Seiten angezeigt.

3.5 Telemedizin

3.5.1 Einführung

Auf dem Gebiet der Telemedizin lassen sich derzeit Forschungsaktivitäten und fertige Systeme in fast allen Bereichen der Medizin finden. Telemedizinsysteme ermöglichen die räumliche Trennung von Arzt und Patient oder von kooperierenden Ärzten, so dass eine Fernbehandlung, Fernberatung, Fernoperation, Ferndiagnose oder Ferntherapieplanung möglich ist. Letzteres ist vor allem das Anwendungsgebiet in der Strahlentherapie. Die Distanzen können sehr unterschiedlich sein und von zwei benachbarten Räumen bis hin zur interkontinentalen Kommunikation reichen. Zur Kommunikation wird häufig das Internet über Kabel verwendet, aber auch die Internetkommunikation über Mobilfunk oder die Kommunikation über Satellitensysteme wird eingesetzt. Je nach Anwendung können mehrere Arten von Software unterschieden werden. Zum Einen gibt es Monitoringsysteme, die biologische Patientendaten wie Blutdruck und Puls messen und an den behandelnden Arzt weiter leiten. Dadurch wird eine Heimüberwachung des Patienten möglich. Steuerungssysteme, wie sie in der Telechirurgie eingesetzt werden, lassen eine Fernsteuerung von Operationsrobotern zu. Telekonferenzsysteme ermöglichen eine gemeinsame Besprechung und Erstellung von Fällen, Diagnosen oder Therapieplänen. Zu dieser Art der Telemedizin zählt auch die Telemedizin Komponente aus IRIS. Die folgende Besprechung beschränkt sich daher auf solche Telekonferenzsysteme.

3.5.2 Beispiele aus der Radiologie und Pathologie

Anwendungen

Zu nennen sind vor allem Systeme aus den Bereichen Teleradiologie und Telepathologie. In diesen Bereichen spielt vorwiegend die Fernbefundung eine Rolle. Hierzu muss in erster Linie Bildmaterial in sehr guter Qualität übertragen werden. Des Weiteren stellen diese Systeme

Funktionalitäten zur Telekonferenz bereit. Die Systeme sind in der Regel noch mit größeren Bild- und Fallarchivierungssystemen gekoppelt. Als Beispiel sollen hier zwei Systeme aus der Radiologie und ein System aus der Pathologie angeführt werden. IMPAX Web 1000 ermöglicht den Austausch und die Diskussion radiologischer Bilddaten über das Internet mit Hilfe eines Browsers [Agfa 2000]. Die Patientendaten werden verschlüsselt. Es steht ein Konferenzmodus mit Chat zur Verfügung, in den sich bis zu 10 Benutzer gleichzeitig einwählen können. Der Austausch von Bildmaterial mit einem angebundenes Archivierungssystem ist ebenfalls realisiert. Eigene Bilder können in dem Archiv abgelegt werden. Die Bilddaten werden wahlweise verlustfrei oder verlustbehaftet zur Übertragung zwischen Browser und Server komprimiert.

Ein weiteres Beispiel für ein Teleradiologiesystem ist das am DKFZ entwickelte CHILI [Engelmann 99]. Es ist jedoch kein rein webbasiertes System, sondern basiert auf Unix Plattformen, verfügt aber über ein Zusatzmodul, das eine webbasierte Benutzeroberfläche zur Ansicht der Bilddaten aus der angebundenes Datenbank anbietet.

WebTed (Webbasierte Telediagnostik) ist ein am DKFZ und der Universität Mannheim entstandenes System für die Pathologie [de Boer 2000]. Neben der Übermittlung von Bilddaten aus einer Datenbank ist in WebTed auch eine dynamische Bilderfassung mittels eines Mikroskops möglich. Das Mikroskop ist über das Internet fernsteuerbar. Das Bild wird von einer Kamera aufgenommen. Zur Besprechung der Bilddaten sowie deren Manipulation mit Methoden der Bildverarbeitung wird ein Whiteboard, das mit dem Java Shared Data Toolkit realisiert ist, angeboten. Eine Möglichkeit der Kommunikation über Video- und Audiosignale im Rahmen einer Videokonferenz ist angedacht.

Realisierung der Anwendungen

IMPAX ist in Java realisiert und verwendet zur Verschlüsselung der Daten SSL. Für den Austausch von Bildmaterial wird DICOM als Standard verwendet.

Auch CHILI verwendet DICOM als den meist genutzten Standard für den Austausch medizinischer Bilddaten im Internet.

WebTed ist ebenfalls in Java geschrieben und verwendet zur Kommunikation zwischen Client und Server Java RMI und CORBA. Eine DICOM Schnittstelle für die Übermittlung von Bilddaten an das Archivierungssystem ist angedacht. Die angedachte Videokonferenz soll auf dem Java Media Framework basieren.

An dieser Stelle sei noch auf SeeYou ActiveX Control als eine weitere gängige Technik zur Realisierung von Videokonferenzen in einer webbasierten Anwendung hingewiesen. Diese Technik wird beispielsweise im System CoMed (Collaborative Medicine) zur Fernbearbeitung von elektronischen Patientenakten angewandt [Sung 2000].

3.5.3 Teleplanung in der Strahlentherapie

Drei Arten von Teleplanungssystemen

Im Bereich der Strahlentherapie gibt es einige Arbeiten zur Realisierung der Teleplanung, das heisst der gemeinsamen Erstellung von Bestrahlungsplänen zusammen mit anderen Experten über das Internet. In der Literatur werden drei Arten der Telemedizin in der Strahlentherapie unterschieden [Olsen 2000]:

Kategorie 1: Systeme, die eine Videokonferenz und eine Darstellungsmöglichkeit von Bildern und Plänen anbieten.

Kategorie 2: Zusätzlich zu den Eigenschaften der Systeme aus Kategorie 1 wird die Möglichkeit der Abfrage von Plänen aus einer Falldatenbank angeboten.

Kategorie 3: Zusätzlich zu den Eigenschaften der Systeme aus Kategorie 2 ist eine vollständige Planerstellung zwischen zwei räumlich getrennten Teams möglich.

Anwendungen

Da IRIS das Ziel eines Systems der Kategorie 3 verfolgt, sei hier mit VIRTUOSO¹ ein Teleplanungssystem dieser Kategorie als Beispiel angeführt [Cai 2000]. Die Abkürzung steht für Virtual Simulation and Treatment via Telematics Applications in Clinical Radiooncology. Das System ist ein Aufsatz für das kommerzielle Planungssystem PLATO der Firma Nucletron². Das bedeutet, dass eine Installation von PLATO Grundvoraussetzung ist, um mit VIRTUOSO Teleplanung betreiben zu können.

Eine weitere Arbeit zum Thema Teleplanung beschäftigt sich mit der Nutzung von Microsoft NetMeeting [Grossmann 2000]. Auf NetMeeting wird in den folgenden Kapiteln noch genauer eingegangen werden. Es sei hier nur erwähnt, dass damit ein kostenloses Programm für Windows verwendet wird, das eine Videokonferenz mit Whiteboard und Chat ermöglicht. Darüber hinaus ermöglicht es dem Benutzer, die Kontrolle über bei ihm installierte Programme an andere Konferenzteilnehmer abzugeben. Dies wird in dem erwähnten Projekt ausgenutzt, um die Funktionalität eines Strahlentherapieplanungssystems anderen zur Verfügung zu stellen und auf diese Art über das Internet Therapiepläne zu erstellen.

Realisierung der Anwendungen

VIRTUOSO ist für IRIX Workstations verfügbar.

Als Standard für den Datenaustausch in der Strahlentherapie wird in dem oben erwähnten Paper von Olsen et al. DICOM RT empfohlen. DICOM RT ist eine Erweiterung von DICOM für die Strahlentherapie. VIRTUOSO bietet aber lediglich eine DICOM Schnittstelle für die CT Bilddaten.

3.5.4 Arbeiten zur Realisierung von Application Sharing mit Java

Abschließend seien noch Arbeiten erwähnt, die ein webbasiertes Application Sharing mit Java ermöglichen. Das heisst, dass die Funktionalität von Java Applets mit anderen Konferenzteilnehmern geteilt werden kann. Hier sind zum Einen Entwicklungen von Java Klassenbibliotheken zu nennen, mit deren Hilfe existierende Applets umgeschrieben werden können. Zwei solcher Bibliotheken, JSJT und das Java Remote Control Tool, werden in Kapitel 5 auf Seite 46f besprochen. Zum Anderen sind Projekte, wie JASMINE (Java Application Sharing in Multiuser Interactive Environments) der University of Ottawa und der TU Darmstadt zu erwähnen [Shirmohammadi 01]. Das System ist ein Aufsatz, der für alle Applets verwendet werden kann, die ihre grafische Benutzeroberfläche mit den Bibliotheken AWT und Swing von Sun Microsystems realisieren (siehe Seite 44, Abschnitt 5.2.2). JASMINE ermöglicht als Framework auf diese Weise das Teilen der Kontrolle über diese Applets zusammen mit mehreren Benutzern.

¹ Dieses System ist nicht mit der kommerziellen Version VIRTUOSO des Bestrahlungsplanungssystems VIRTUOS zu verwechseln (siehe Kapitel 4, Seite 34).

² <http://www.nucletron.com>

3.5.5 Das Mitschneiden von Telekonferenzen

Ein weiteres für die Entwicklung von IRIS interessantes Projekt der University of Ottawa ist das System J-VCR (Java Video Conference Recorder).

Es dient zur Aufnahme und Dokumentation des Ablaufs einer Video- oder Telekonferenz [Shirmohammadi 02]. Video- und Audiosequenzen sowie Aktionen im Whiteboard und Chat werden aus dem Konferenzablauf mitgeschnitten und als SMIL (Synchronized Multimedia Integrated Language) Dokumente abgespeichert. Diese können dann mit Hilfe eines SMIL Players abgespielt werden. SMIL ist eine Sprache zur Beschreibung von Multimediapräsentation im Internet. Mit ihr können Videos, Audiodaten, Bilder, Text und Animationen zu Multimediapräsentationen verbunden werden. Die Sprache basiert auf XML. SMIL Player sind derzeit als PlugIn für Internetbrowser erhältlich. Für eine eingehende Beschreibung von SMIL wird auf die Literatur verwiesen [Slowinski 01]. J-VCR ist unter anderem mit dem Java Media Framework, das auch in IRIS Verwendung findet, realisiert.

3.6 Wissensvermittlung und Lernen mit Computern

3.6.1 Einführung

Computer können derzeit zum Lernen auf vielfältige Weise eingesetzt werden. Abgesehen vom Abspielen einzelner Video- und Audiosequenzen sowie Animationen existiert die Möglichkeit der Nutzung ausgesprochener Lernsoftware, sogenannter CBT (Computer Based Training) Systeme. Läuft diese Software nicht lokal, sondern im Netz, so wird auch der Begriff WBT (Web-Based Training) verwendet. Je nachdem kann die Lernsoftware als CD-ROM oder aber über das Internet bezogen werden. Die meisten Lösungen sind kommerziell. Es sind aber durchaus auch kostenlose Angebote im Internet erhältlich. Wichtig für diese Arbeit ist noch der Begriff Telelearning. Mit diesem Begriff kann allgemein die räumliche Trennung von Lernenden und Lehrenden in Form eines Fernunterrichts bezeichnet werden.

Beim Telelearning wird zwischen synchronem und asynchronem Telelearning unterschieden. Beim synchronen Telelearning besteht über das Netz ein direkter Kontakt zu dem Lehrenden oder anderen Lernenden, mit denen unmittelbar kommuniziert werden kann.

Beim asynchronen Telelearning dagegen steht der Lernende nicht direkt im Kontakt mit dem Lehrenden, sondern erarbeitet sich lediglich dessen Materialien.

Bei der asynchronen Lernsoftware kann zwischen drei verschiedenen Arten unterschieden werden [Fonkeu 01]:

1. Übungssoftware, mit der Lernende anhand von Übungsaufgaben ihr Wissen überprüfen können.
2. Tutorials, die interaktiv bestimmtes Wissen vermitteln.
3. Simulationen, mit denen Problemlösungsstrategien anhand von realistischen Fällen geübt werden können.

3.6.2 Beispiele für Lernsysteme außerhalb der Strahlentherapie

Anwendungen

Simulationen sind im medizinischen Anwendungsgebiet vor allem in der Chirurgie von Interesse. Bei diesen Anwendungen sollen Eingriffe am dreidimensionalen Patientenmodell ge-

übt werden. Einige solcher Simulatoren werden für ausgewählte Fälle als webbasierte Anwendungen von der University of Manchester angeboten. Das Projekt WebSET (Web-based Standard Educational Tools) versucht webbasierte 3D Simulatoren zur Ausbildung in allen Bereichen zu standardisieren [John 2000b]. WebSET sieht auch eine Multiuserfunktionalität zur gemeinsamen Ausbildung mit anderen Teilnehmern über das Internet vor.

Desweiteren werden, ebenfalls kostenlos, Kurse für einzelne medizinische Bereiche im Internet vom Medicare Learning Network¹ zum Herunterladen für Windows Plattformen angeboten.

MEDLINEplus¹ bietet dagegen interaktive Tutorials für verschiedene medizinische Themen an, die mit Hilfe von Javascript im Internetbrowser laufen. Die Tutorials bestehen aus illustrierten Texten, die vorgelesen werden und mit Kontrollfragen abwechseln.

Als letztes Beispiel eines webbasierten Ausbildungssystems sei die Heidelberger Entwicklung CAMPUS erwähnt [Singer 99]. Das System dient sowohl als Simulator als auch als Nachschlagewerk für verschiedene medizinische Fälle aus den Bereichen Mikrobiologie und Pädiatrie. Zur Aufnahme neuer Fälle bietet das Programm ein Autorenwerkzeug an. Um ein möglichst breites Wissen anbieten zu können, sind über das System noch verschiedene externe Wissensquellen erreichbar.

Realisierung der Anwendungen

Die Simulatoren der University of Manchester laufen auf Basis von Java und VRML (Virtual Reality Modelling Language) [John 2000a].

CAMPUS ist in Java und XML realisiert. Zur Kommunikation zwischen Client und Server wird Java RMI verwendet. Für die Integration von Wissen mit den dargestellten Fällen wird der MeSH (Medical Subject Headings) Code [Nelson 2000] zur Indizierung verwendet.

3.6.3 Lernsysteme für die Strahlentherapie

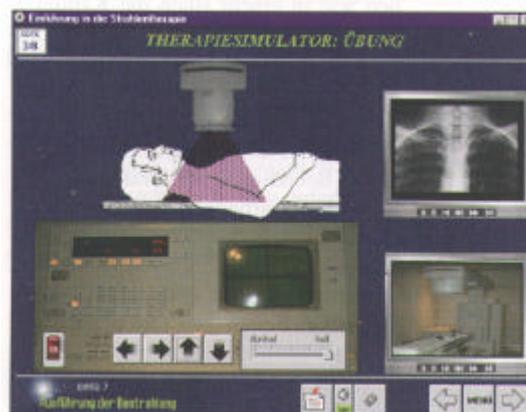


Abbildung 3.3 Screenshot aus dem Tutorssystem „Strahlentherapie“. „Strahlentherapie“ ist ein Beispiel für ein multimediales Lernsystem, das in die Methoden und Techniken der Strahlentherapie einführt. Es bedient sich hierfür Text, Bildern, Zeichnungen, Animation, Videos und Audiosequenzen. Das System ist kommerziell auf CD ROM erhältlich. Der Screenshot ist dem Paper zu dem System entnommen [Frenzel 99]

Ein Tutorssystem für die Strahlentherapie ist die kommerziell erhältliche CD-ROM „Strahlentherapie“ aus dem Springer Verlag [Frenzel 99]. Sie ist für Windows geschrieben und vermittelt mit Hilfe von Audio- und Videosequenzen, Text und Bildern Grundlagen der Strahlentherapie und Strahlentherapieplanung. Geräte und Bestrahlungskonzepte werden ebenfalls vorge-

¹ <http://www.hcfa.gov/medlearn/cbts.htm>

¹ <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/tutorial.html>

stellt. Das System wendet sich sowohl an Ärzte und medizintechnisches Personal als auch an Studierende der Medizin und Physik. Es hat damit dieselbe Zielgruppe wie IRIS. Abbildung 3.3 gibt einen kleinen Eindruck von diesem System.

In diesem Zusammenhang sei noch die ebenfalls im Springer-Verlag erschienene CD-ROM „3D Conformal Radiation Therapy - A multimedia introduction to methods and techniques“ erwähnt [Schlegel 01]. Die Arbeit verbindet ebenfalls Videosequenzen, Animationen, Bilder und Texte miteinander, um aktuelles Wissen der Strahlentherapie zu vermitteln. Auf diese Arbeit wird im Kapitel 7 auf Seite 102 noch einmal eingegangen werden.

Ein weiteres kommerziell erhältliches Lernsystem ist IRPS (Interactive Radiotherapy Planning for Students) der University of Sheffield [Tozer-Loft 99]. IRPS ist ebenfalls nicht internetbasiert. Das unterstützte Betriebssystem ist Windows. IRPS besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil wird der Lernende mit theoretischen Grundlagen vertraut gemacht. Diese werden anhand von interaktiven Übungen getestet. Im zweiten Teil kann er das Gelernte anhand von Beispielfällen ausprobieren, indem er selbständig Bestrahlungspläne erstellt. Diese können mit professionellen Lösungen verglichen werden. Die Präsentation von IRPS ist rein textbasiert und verwendet einfache Grafiken zur Veranschaulichung. Ein großer Nachteil ist der Verzicht auf spezielle Techniken der dreidimensionalen Strahlentherapieplanung. Auch eine Planung, die auf medizinischen Bilddaten basiert, wird nicht unterstützt. Es werden lediglich Methoden der zweidimensionalen Strahlentherapieplanung vermittelt. Einen Eindruck bieten die Screenshots in Abbildung 3.4.

Lernsoftware wie die oben genannte, wird Studierenden von den Universitäten in CBT Laboren zur Ausbildung bereitgestellt.



Abbildung 3.4 IRPS. Die beiden Screenshots aus dem kommerziellen Lernsystem IRPS sind der kostenlosen Testversion des Systems entnommen. Links wird ein Ausschnitt aus dem Theoretischen Teil gezeigt. Mittels Texten und Zeichnungen werden Grundlagen der Strahlentherapieplanung vermittelt. Rechts wird gezeigt, wie mit IRPS das Gelernte anhand von Beispielfällen geübt werden kann. Methodik und Darstellung ähneln den Präsentationen aus zweidimensionalen Isodosenatlanten (Abbildung 3.1, Seite 18).

3.6.4 Beispiele für synchrones Telelearning

Einleitung

Neben den oben erwähnten Projekten der asynchronen Wissensvermittlung, sind die des synchronen Telelearnings ein weiteres wichtiges Forschungsfeld bei der Entwicklung von Lernsoftware. In diesem Zusammenhang wird auch von der „virtuellen Fakultät“ gesprochen. Das heißt, das Angebot der Universität wird über das Internet den Studierenden bereit gestellt. So

soll beispielsweise die Möglichkeit zur interaktiven Teilnahme an Vorlesungen und Seminaren über das Internet bestehen. Hörsäle sind hierfür speziell mit Kameras, Mikrofonen und SmartBoards ausgestattet. Das SmartBoard ist eine berührungssensitive Tafel, über die sich Software interaktiv nach dem Touchscreenprinzip steuern lässt. Mit einem speziellen Stift kann auf der Tafel gezeichnet werden. Die Zeichnungen werden von der Software weiterverarbeitet und können an die Telekonferenzpartner übermittelt werden. Für eine ausführliche Beschreibung dieser Produkte wird auf die Präsentation des kommerziellen Herstellers¹ verwiesen.

Anwendungen

Projekte zum synchronen Teleteaching wären beispielsweise DIANA [Holz 01] der Universitäten Berlin und München sowie ANETTE (Applications and Network Technology for Teleteaching) [Vogel 2000] der Universität Mannheim zusammen mit Freiburg und Aachen.

Im Projekt DIANA werden beispielsweise SmartBoards in den Vorlesungen praktisch eingesetzt. An der Universität Mannheim gibt es schon seit 1995 Kooperationen mit Freiburg, Karlsruhe und Heidelberg auf dem Gebiet des synchronen Teleteaching [Effelsberg 97]. Im Rahmen beider Projekte werden Vorlesungen zwischen den jeweiligen Partneruniversitäten von Hörsaal zu Hörsaal übertragen.

Abschließend sei noch TeleMEDiana erwähnt [Dobrosavljevic 01]. TeleMEDiana ist ein System zur Wissensvermittlung in der Chirurgie und angrenzender medizinischer Gebiete. Über Satellit können live Eingriffe, Seminare und Diskussionen übertragen werden, aber auch hochauflösende Videosequenzen. Zusätzlich besteht noch die Möglichkeit, weitere Informationen über das Internet aus einer Datenbank bzw. einem elektronischen Journal zu beziehen. Ein elektronisches Journal ist eine wissenschaftliche Zeitschrift, die nicht in Papierform, sondern im Internet publiziert. Solche sogenannten Online-Journals sind in den letzten Jahren auch in anderen wissenschaftlichen Bereichen entstanden. Im Bereich der Medizinischen Informatik, wäre hier z.B. das bereits auf Seite 19 erwähnte Journal of Medical Internet Research JMIR² zu nennen. Die Datenbank von TeleMEDiana beinhaltet Beiträge in Form von Videos, Tondateien, Animationen, Bildern, Texten und Folien.

Verwendete Technologien zur Datenübertragung

Für die Datenübertragung in DIANA steht ein ATM Netz zur Verfügung. Das Projekt ANETTE beschäftigt sich darüber hinaus mit der Übertragung zum heimischen Rechner der Studierenden über ein ISDN Netzwerk. Da die geringe Bandbreite von ISDN aber die Übertragungsqualität sehr einschränkt, beschäftigt sich das Projekt mit einer Möglichkeit der Nutzung größerer Bandbreiten mittels der Anbindung von studentischen Haushalten an ADSL. Das ANETTE-Teilprojekt MoPS (Mobile Professoren und Studierende) der RWTH Aachen untersucht die Nutzung eines lokalen Funknetzes, das auf dem Protokoll des Wireless Ethernet basiert, für Teleteaching auf dem Campus der RWTH. Die Bandbreite ist in diesem Fall von der Benutzerzahl abhängig und liegt zwischen 1 Mbit/s und 11 Mbit/s.

TeleMEDiana nutzt neben dem Internet das luxemburger Satellitensystem ASTRA-NET zur Übermittlung von größeren Datenmengen.

¹ <http://www.smartboard.de/>

² <http://www.jmir.org>

3.7 Diskussionsforen

3.7.1 Anwendungen

Im Internet werden zahlreiche Diskussionsforen oder auch Newsgroups angeboten, die sich mit medizinischen oder außermedizinischen Themen befassen. Die Themen können allgemein gehalten oder auf spezielle Bereiche beschränkt sein. So existieren Foren zur Allgemeinen Medizin, zu spezifischen Fachbereichen oder zu speziellen Krankheiten. Je nach Art des Forums diskutieren Patienten oder Ärzte unter sich. Die Ärzteforen sind in der Regel mit einem Passwortschutz und Anmeldepflicht versehen. Dies soll gewährleisten, dass ausschließlich Ärzte an der Diskussion in dem Forum teilnehmen können. Daneben existieren Foren, in denen sich Patienten von Ärzten beraten lassen können. Der technische Aufbau solcher Foren ist ähnlich. Die Kommunikation läuft über textbasierte Dokumente, die in einer Datenbank abgelegt und chronologisch geordnet angezeigt werden, zusammen mit den dazugehörigen Antworten. Eine Textsuche wird angeboten. Ansonsten sind diese Foren nicht sonderlich geordnet.

Neben diesen Foren, die auf asynchroner Kommunikation basieren, existieren Modelle, die zu bestimmten Zeitpunkten synchrone Podiumsdiskussionen online, meist über Chat, anbieten. Als eine weitere Art von Diskussionsforen können auch Arbeiten zur Durchführung multizentrischer Studien angesehen werden, wie zum Beispiel die schon erwähnte Arbeit aus Würzburg zu einer Studie über das Bronchialkarzinom [Baier 2000]. Diese Art von Arbeiten stellen Studienmitgliedern unter Passwortschutz einen Zugang bereit, um studienrelevante Daten über das Internet aufnehmen zu können. Die Beurteilung, der Vergleich und die Kommentierung dieser Daten ist ebenfalls möglich. In der erwähnten Arbeit sind die Studiendaten Bestrahlungspläne.

Abschließend soll hier noch das Projekt BSCW (Basic Support for Cooperative Work) der GMD (Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung) Erwähnung finden, da es sich hierbei um ein gut strukturiertes Framework zur Gestaltung von Diskussionsforen handelt [Appelt 99], [Appelt 01]. BSCW ist frei über das Internet zugänglich¹. Die Beiträge sind in einer Datenbank abgelegt. Das Besondere an diesem System ist, dass mit der Registrierung ein Passwort geschützter Arbeitsbereich vergeben wird, den sich mehrere Benutzer teilen können. In diesem Arbeitsbereich können nun Dokumente von gemeinsamen Interesse abgelegt werden. Diese Dokumente stehen den anderen Benutzern zum Download, zur Bearbeitung und zur Dokumentation zur Verfügung. Zur Ordnung der Dokumente bietet BSCW dem Benutzer eine Verzeichnisstruktur an, wie er es von der Dateiverwaltung eines Betriebssystems gewohnt ist. Darüber hinaus gibt es Möglichkeiten der Versionsverwaltung, der Konvertierung von Dokumenten und der Benachrichtigung der Benutzer von den Aktivitäten anderer. Zum Auffinden von Dokumenten können verschiedene Abfragen formuliert werden. Auch ist eine direkte Dokumentensuche mit Hilfe von Suchmaschinen im Internet möglich. Das Ergebnis solcher Internetrecherchen kann direkt in den Arbeitsbereich übernommen werden. Das Zugriffsrecht auf die veröffentlichten Dokumente kann individuell vergeben werden.

¹ <http://bscw.gmd.de>

3.7.2 Realisierung der Anwendungen

Für den Austausch der Daten zwischen der HTML-Seite und der Datenbank des Servers wird bei der Realisierung von Diskussionsforen häufig die Skriptsprache CGI verwendet. Es existieren aber auch Arbeiten in diesem Anwendungsbereich, die Java Bibliotheken, wie RMI und JDBC, aus Gründen der besseren Performance und Wartbarkeit gegenüber CGI wählen [Sip- pel 98]. Auf diese Techniken wird in Kapitel 5 auf Seite 39 bzw. Seite 50 noch näher eingegangen.

KAPITEL 4

Grundlagen der Strahlentherapieplanung

Dieses Kapitel will die für das Verständnis dieser Arbeit wichtigen Grundlagen der Strahlentherapieplanung vermitteln. Ein Bestrahlungsplan besteht im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten: Bilddaten, Konturen von Zielvolumen und Risikoorganen, Bestrahlungsparametern, Dosisverteilung und Feldkonturen. Es wird zwischen zwei Planungsarten unterschieden, der konventionellen und der inversen Planung. Bei der inversen Planung wird der Bestrahlungsplan ausgehend von einer vorgegebenen Dosisverteilung erstellt. Bei der konventionellen Planung werden dagegen die einzelnen Bestrahlungsparameter festgelegt. Für die Evaluation eines Planes gibt es verschiedene Ansichten, die teilweise in IRIS übernommen wurden, wie zum Beispiel dreidimensionale Szenen, zweidimensionale Schichtbilder, Statistiken in Form von Tabellen und Histogrammen. Zuletzt werden in diesem Kapitel gängige Standards vorgestellt, die dazu geeignet sind, Bestrahlungspläne zu klassifizieren und geordnet zu speichern.

4.1 Bestandteile eines Bestrahlungsplanes

4.1.1 Prinzipielle Gliederung der Daten

Ein Bestrahlungsplan besteht aus einer Ansammlung verschiedener Daten, die jeweils in einer eigenen Datei abgelegt sind. Generell kann zwischen zwei Kategorien von Daten unterschieden werden:

1. Patientendaten sind Daten, die den Tumor und dessen Relation zu den umliegenden Organen beschreiben. Aus ihnen kann erkannt werden, welches Volumen bestrahlt werden soll und welche Organe bei der Bestrahlung gefährdet sind.
2. Plandaten sind die Daten, die letztendlich die Bestrahlung beschreiben, basierend auf den Patientendaten.

Zu den Patientendaten sind zu rechnen:

1. Medizinische Bilddaten
2. Konturen von Zielvolumen und Risikoorganen (Volumes of Interest)

Zu den Plandaten zählen im Wesentlichen:

1. Bestrahlungsparameter
2. Dosisverteilung
3. Feldkonturen

Im Folgenden sind diese Daten näher beschrieben.

4.1.2 Medizinische Bilddaten

Grundlage für jeden Bestrahlungsplan sind die Daten verschiedener bildgebender Verfahren, wie zum Beispiel CT (Computertomographie) und MR (Magnetresonanztomographie). Vom

Patienten liegen mehrere zweidimensionale Schichtbilder vor, die zu einem dreidimensionalen Schichtwürfel zusammengesetzt werden können. Die Bilddaten geben Auskunft über die räumliche Ausdehnung des Tumors und die Lage der Risikoorgane.

Je nach Indikation macht es Sinn, mehrere Bildgebungsverfahren einzusetzen und die Resultate aufeinander abzubilden, da Unterschiede im Informationsgehalt der einzelnen bildgebenden Verfahren bestehen. MR Bilder bieten zum Beispiel im Weichteilbereich einen höheren Kontrast als CT Bilder.

CT Bilder sind nicht nur für die Identifikation von Zielvolumen und Risikoorganen notwendig, sondern auch für die Dosisberechnung. Jedes Pixel eines CT Bildes ist als Hounsfieldwert angegeben. Unter Hounsfieldwerten versteht man die Quantifizierung der Absorption von CT Röntgenstrahlung relativ zu Wasser, das heisst Wasser hat den Wert 0. Insgesamt reicht die Hounsfieldskala von -1024 (Luft) bis ca. +3000 (Knochen). Diese Absorptionswerte können in Elektronendichtewerte umgerechnet werden. Mit Hilfe der Elektronendichtewerte und der geometrischen Information über die definierten Strahlenfelder wird die zu erwartende Dosisverteilung im Patienten berechnet.

4.1.3 VOI-Konturen

Zielvolumen und Risikoorgane werden auch als VOI (Volumes of Interest) bezeichnet. Die Konturen von Zielvolumen und Risikoorganen werden in die einzelnen Schichten der Bilddaten vom Arzt eingezeichnet. Sie bilden die Grundlage für die weitere Planung. Als Risikoorgane wird besonders strahlenempfindliches Normalgewebe bezeichnet. Um Nebenwirkungen zu vermeiden, sollte die applizierte Strahlung in diesem Gewebe möglichst gering gehalten werden. Mit Zielvolumen ist in dieser Arbeit im engeren Sinne das Planungszielvolumen gemeint. Es umfasst das zu behandelnde Tumorgewebe, einschließlich eines Randsaumes. Dieser Randsaum soll nicht sichtbare Tumorausläufer, Positionierungsfehler und Bewegungsartefakte berücksichtigen. Aus den Konturdaten können dreidimensionale Strukturen von Zielvolumen und Risikoorganen berechnet werden.

4.1.4 Bestrahlungsparameter

Unter Bestrahlungsparametern werden in dieser Arbeit die Einstellungen der Bestrahlungsapparatur verstanden. Dazu gehören beispielsweise die Art der Strahlung, die Anzahl der Felder, die Position von Gantry und Patientenliege (siehe Abbildung 4.1), die Einstellung des Kollimators, die Stellung der Keilfilter, die Energie, usw. Mit Hilfe eines Kollimators können die Feldformen der Form des Zielvolumens angepasst werden. Als Gantry wird der bewegliche Teil eines Linearbeschleunigers bezeichnet.

4.1.5 Dosisverteilung

Die Dosisverteilung für jede CT Schicht wird aus den Bestrahlungsparametern und den Hounsfieldwerten der jeweiligen CT Schicht berechnet. Es entsteht so ein dem CT Würfel analoger Dosiswürfel. Jedem Pixel einer Schicht entspricht dabei ein bestimmter Dosiswert.

4.1.6 Feldkonturen

Unter Feldkonturen werden die Konturen der Strahlenfelder verstanden. Passen sich diese soweit wie möglich der Form des Zielvolumens an, wird von irregulären Feldern gesprochen, im Gegensatz zu rechteckigen Feldformen.

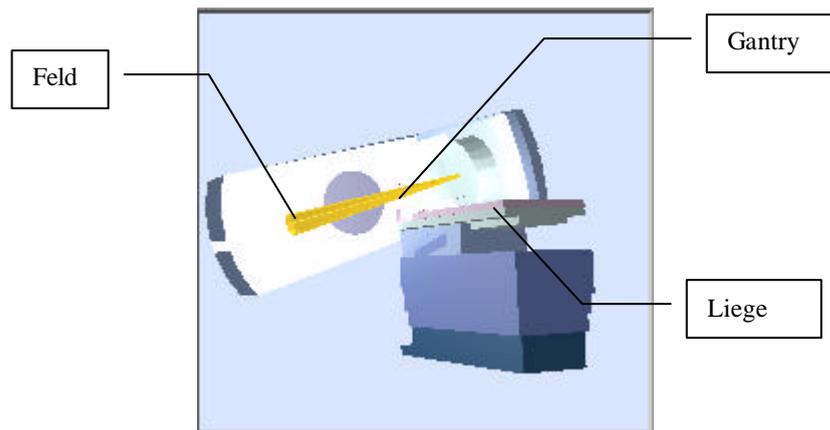


Abbildung 4.1 Linearbeschleuniger. Das Bild zeigt eine rotierende Gantry und eine Patientenliege am Linearbeschleuniger. Das von der Gantry applizierte Strahlenfeld ist gelb eingezeichnet. Das Bild ist der Screenshot einer Simulationsansicht aus dem Planungssystem VIRTUOS (siehe Abschnitt 4.3 auf Seite 34).

4.2 Erstellung eines Bestrahlungsplanes

4.2.1 Konventionelle und inverse Planung

In der Strahlentherapie wird zwischen zwei Planungsarten unterschieden, der *konventionellen* Planung und der *inversen* Planung.

Abbildung 4.2 auf Seite 33 zeigt für beide Planungsarten jeweils ein vereinfachtes Ablaufdiagramm. Automatisierte Prozesse sind grau unterlegt. Die Algorithmen sind jeweils Bestandteil der Planungssoftware. Die anderen Schritte müssen vom Therapeuten manuell oder halbautomatisch am Rechner durchgeführt werden.

Zuerst werden bei beiden Planungsarten die Bilddaten des Patienten erzeugt. Die entstandenen digitalen Bilder werden in die Planungssoftware übernommen. Dort werden die Konturen des Zielvolumens und der Risikoorgane manuell oder auch halbautomatisch in die Bilddaten eingezeichnet. Die Funktionalität wird von der Planungssoftware zur Verfügung gestellt. Nach der Definition von Zielvolumen und Risikoorganen unterscheiden sich die beiden Planungsarten in der Vorgehensweise.

Bei der *konventionellen Planung* werden nun die Bestrahlungsparameter festgelegt. Daraufhin wird von der Planungssoftware die Dosisverteilung berechnet.

Bei der *inversen Planung* dagegen gibt der Benutzer die gewünschte Dosisverteilung vor und legt Optimierungsparameter fest. Es wird von der Planungssoftware daraufhin ein Prozess für die Optimierung der sogenannten Intensitätsmatrix gestartet. Die zweidimensionale Intensitätsmatrix beschreibt die Intensitätsverteilung im Querschnitt eines Strahlenfeldes. Die Strahlenintensität kann also bei der inversen Planung innerhalb eines Strahlenfeldes variieren. Im Anschluss an die Optimierung der Intensitätsmatrix berechnet das Planungssystem die Dosisverteilung.

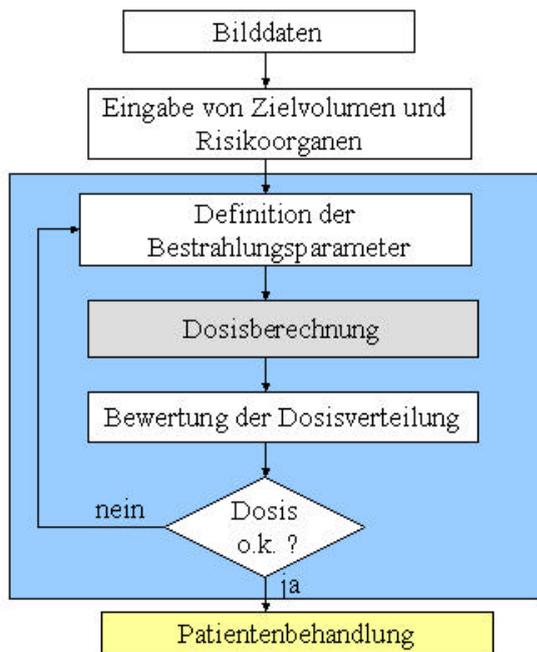
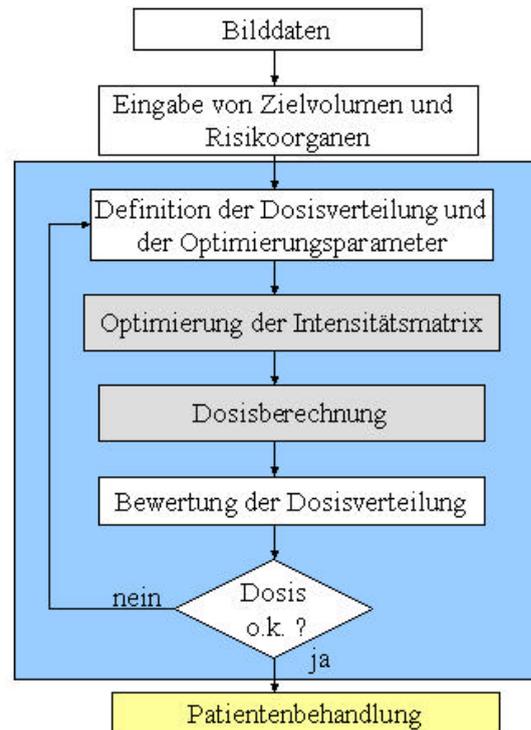
Konventionelle Planung:**Inverse Planung:**

Abbildung 4.2 Konventionelle Planung (links) und inverse Planung (rechts). Die grauen Felder sind automatisierte Prozesse. Bei den blau unterlegten Schritten soll IRIS den Therapeuten unterstützen [modifiziert nach Bortfeld 98].

Zur Bewertung des resultierenden Planes bietet die Planungssoftware für beide Planungsarten verschiedene Möglichkeiten, von denen im folgenden Abschnitt 4.3 auf Seite 34 die für diese Arbeit wesentlichsten vorgestellt werden. Ist die vom Planungssystem errechnete Dosisverteilung noch nicht optimal, so müssen erneut Bestrahlungs- bzw. Optimierungsparameter festgelegt werden.

Die Anzahl verschiedener möglicher Parametereinstellungen und die oft sehr komplizierte räumliche Anordnung von Zielvolumen und Risikoorganen lassen die Definition geeigneter Parameter zum schwierigsten Planungsschritt werden. Die Anzahl der notwendigen Wiederholungen dieses Schrittes zum Erhalt eines optimalen Planes hängt von der Erfahrung des Therapeuten und der Schwierigkeit des Falles ab. Es stellt sich dabei auch die Frage, wann ein Plan eigentlich optimal ist, wann also die maximale Schonung des gesunden Gewebes erreicht ist.

IRIS will daher bei den blau unterlegten Schritten durch die Vermittlung von bereits gesammelten Erfahrungen Unterstützung leisten und somit zur Vereinfachung und Beschleunigung dieses Optimierungsprozesses beitragen. Im Systementwurf von IRIS ist vorgesehen, dass die blau unterlegten Schritte direkt in IRIS ausgeführt werden können. Teilweise werden sie auch schon von dem in dieser Arbeit besprochenen Prototypen unterstützt.

Da die inverse Planung derzeit weltweit erst in wenigen Forschungszentren und Kliniken eingesetzt wird und die konventionelle Planung nach wie vor zur klinischen Routine gehört, wird bei der Entwicklung des Prototyps von IRIS der Schwerpunkt auf die konventionelle Planung gelegt. Die inverse Planung ist aber im Systementwurf mit berücksichtigt.

4.3 Evaluation eines Bestrahlungsplanes

Neben der Möglichkeit zur Erstellung eines Bestrahlungsplanes ist es wichtig, dass ein Planungssystem Funktionen zur Bewertung der errechneten Dosisverteilung und des erstellten Planes zur Verfügung stellt. Die wichtigsten Möglichkeiten zur Planevaluation, wie sie in den gängigsten Planungssystemen zur Verfügung gestellt werden, seien hier aufgezeigt, anhand von Beispielen aus dem am DKFZ entwickelten Planungssystem VIRTUOS (VIRTUAL radiotherapy Simulator) [Bendl 95].

4.3.1 Dosis-Volumen-Histogramm

Um die Dosisverteilung in einem Bestrahlungsplan quantitativ beurteilen zu können, werden sogenannte Dosis-Volumen-Histogramme erstellt.

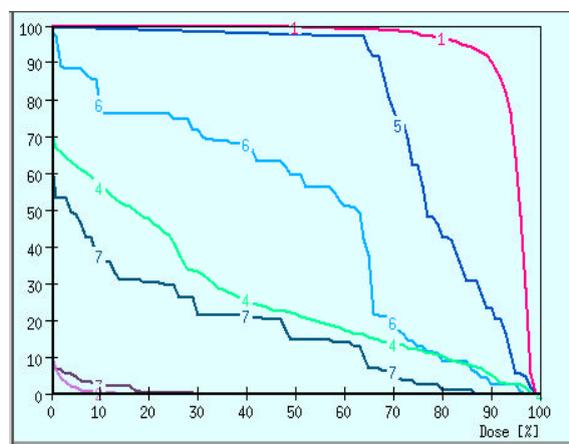


Abbildung 4.3 Kumulatives Dosis-Volumen-Histogramm mit Linien für das Zielvolumen (1) und verschiedenen Risikoorganen (hier Augen (2+3), Hirnstamm(4), Hypophyse(5), Sehnerven(6+7)). Auf der Abszisse ist die Dosis, auf der Ordinate das Volumen aufgetragen.

In einem Dosis-Volumen-Histogramm (DVH), wird die jeweilige Dosisbelastung eines bestimmten Volumensanteils für ein Organ oder ein Organausschnitt dargestellt (Abbildung 4.3). Das DVH gibt Auskunft über die Größe des Organvolumens, das mit einer bestimmten Dosis belastet wird. In einem Grafen werden jeweils Histogramme für in Frage kommende Risikoorgane und das Zielvolumen zusammen eingetragen. Ein direkter Vergleich der jeweiligen Dosisbelastung ist somit gut möglich.

4.3.2 Statistische Kenngrößen und biologische Parameter

Weitere Hilfsmittel zur quantitativen Beurteilung einer Dosisverteilung sind *statistische Kenngrößen*, wie die minimale, mittlere oder maximale Dosis, mit der ein Risikoorgan oder das Zielvolumen belastet wird.

Basierend auf biologischen Modellen lassen sich weiterhin noch die *Tumorkontrollwahrscheinlichkeit* (TCP, Tumor Control Probability) sowie die *Nebenwirkungswahrscheinlichkeit* (NTCP, Normal Tissue Complication Probability) berechnen. Diese Parameter eignen sich vor allem zum direkten Vergleich mehrerer Pläne.

4.3.3 2D Ansichten - Schichtbilder

Die zweidimensionalen CT oder MR Schichtbilder sind bei der Planerstellung, aber auch bei der qualitativen Planevaluation sehr hilfreich. So ist für jede Schicht neben den Konturen der

Strahlenfelder, Risikoorgane und des Zielvolumens auch die Dosisverteilung visualisiert. Für die zweidimensionale Darstellung der Dosisverteilung gibt es zwei Möglichkeiten, die *Colorwash-Darstellung* und die *Isodosenlinien*.

Bei der Colorwash-Darstellung wird einem Dosisbereich eine Farbe zugewiesen. Die auf diese Weise farbkodierte Dosisverteilung wird dann transparent dem Schichtbild überlagert.

Isodosenlinien zeigen jeweils den Ort gleicher Dosis in Form von Linien an. Die Dosis wird dabei als relative Größe in Bezug auf einen Referenzwert angegeben. (Abbildung 4.4).

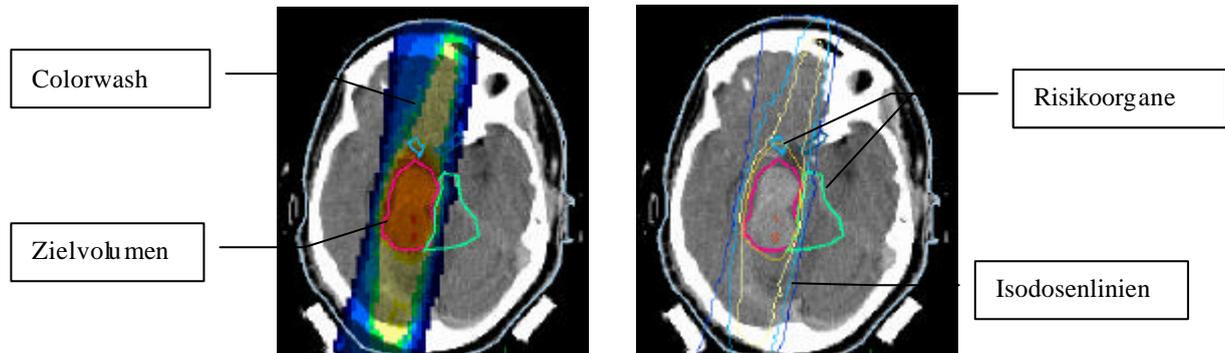


Abbildung 4.4 CT Schichtbilder. Eingezeichnet sind die Dosisverteilung (blau und gelb) als Colorwash Darstellung (linkes Bild) und in Form von Isodosenlinien (rechtes Bild) sowie die Konturen der Risikoorgane (Hirnstamm (grün), Hypophyse (blau)) und des Zielvolumens (rot).

4.3.4 3D Ansichten - Observer's View und Beam's Eye View

Auch das dreidimensionale Patientenmodell kann sowohl der Planerstellung als auch der Planevaluation dienen. Je nach Sicht auf das Patientenmodell werden zwei Darstellungen unterschieden, die Observer's View und die Beam's Eye View (Abbildung 4.5).

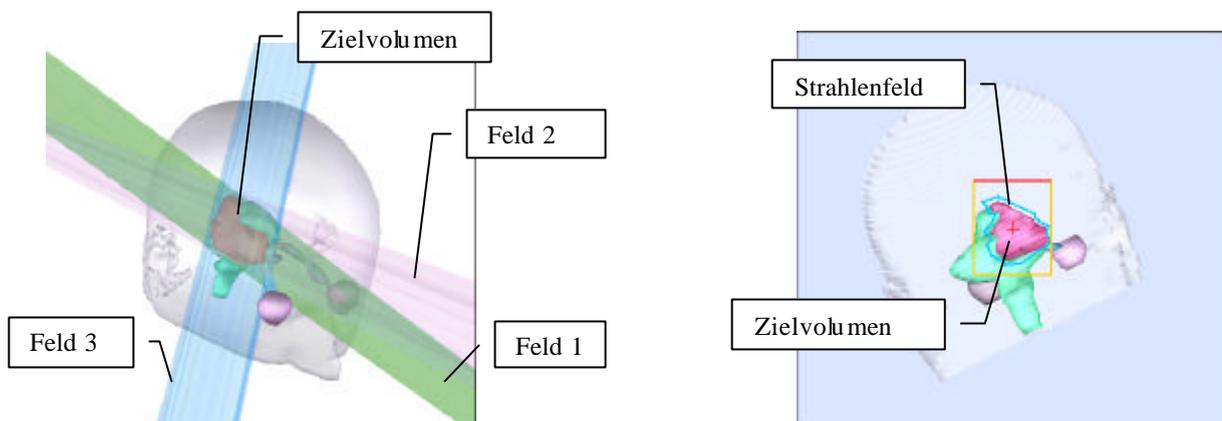


Abbildung 4.5 Observer's View und Beam's Eye View. Die Observer's View (links) zeigt in diesem Beispiel drei Strahlenfelder. In der Beam's Eye View ist die zweidimensionale Kontur von Feld 3 (blau) eingezeichnet.

Observer's View

Die Observer's View bietet die Sicht eines außenstehenden Betrachters auf das Modell, so dass die räumliche Anordnung der Strahlenfelder zueinander und zu den Risikoorganen sowie dem Zielvolumen erkannt werden kann. Abbildung 4.5 (links) auf Seite 35 zeigt ein Beispiel für die Observer's View.

Beam's Eye View

Die Beam's Eye View (BEV) zeigt das Patientenmodell aus Sicht der Strahlenquelle, so dass erkannt werden kann, ob und in wie weit Risikoorgane und Zielvolumen von Strahlung erfasst

werden. Das zugehörige Strahlenfeld ist als zweidimensionale Kontur visualisiert. Ein Beispiel zeigt Abbildung 4.5 (rechts).

Dosisverteilung in der 3D Ansicht

Die Dosisverteilung kann im dreidimensionalen Patientenmodell in Form von *Isodosenbändern* (Abbildung 4.6) oder als Oberflächendosisverteilung dargestellt werden. Bei der *Oberflächendosisverteilung* wird die Oberfläche von Risikoorganen und Zielvolumen mit verschiedenen Farben eingefärbt, die der Dosis an dem jeweiligen Oberflächenpunkt entsprechen. Diese Darstellung entspricht dem Colorwash im Zweidimensionalen. Das zweidimensionale Pendant zu den Isodosenbändern sind die Isodosenlinien.

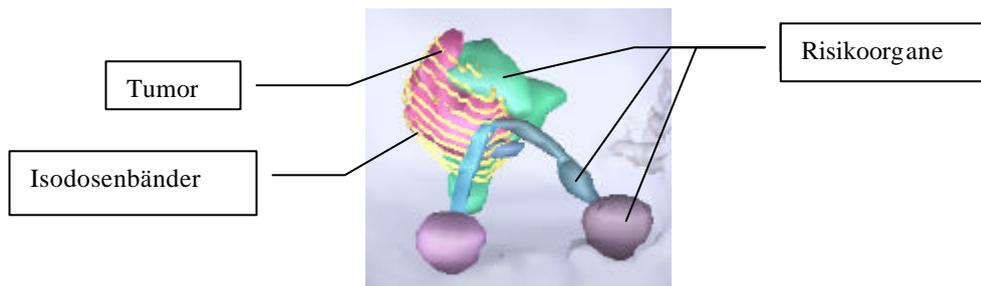


Abbildung 4.6 Isodosenbänder. Observer's View mit der Dosisverteilung in Form von Isodosenbändern (gelb). Daneben sind noch der Tumor (rot) und die Risikoorgane (Hirnstamm (grün), Hypophyse (blau), Sehnerven (blau), Augen (violett)) zu sehen.

4.4 Klassifikation eines Bestrahlungsplanes

Für die systematische Ordnung von Behandlungsfällen und deren eindeutige Beschreibung bieten sich internationale Ordnungssysteme an. Die wichtigsten, die sowohl in dieser Arbeit als auch in der klinischen Praxis Verwendung finden, sollen hier kurz vorgestellt werden.

4.4.1 ICD und ICD-O

Der *ICD* (International Classification of Diseases) ist die wichtigste internationale Diagnosenklassifikation in der Medizin [Leiner 97]. Der Code wird seit der 6. Revision 1948 von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) herausgegeben. Derzeit wird die 10. Revision, bezeichnet als ICD-10, verwendet. Eine Spezialausgabe des ICD für die Onkologie ist der *ICD-O* (International Classification of Diseases for Oncology). Er liegt derzeit in seiner 2. Revision vor. Seit Januar 2001 wird an einer 3. Revision, bezeichnet als ICD-O-3, gearbeitet [Fritz 2000]. Der ICD-O unterteilt sich in einen topografischen Teil und einen morphologischen Teil. Der topografische Teil basiert auf dem 2. Kapitel des ICD-10. Dieses Kapitel bezeichnet unter den Codenummern C00 – D48 die Lokalisationen von Neubildungen. Bösartige Neubildungen sind in den Nummern C00 – C97 zusammengefasst. Sie zeichnen sich also durch den Buchstaben C als Präfix aus. Der morphologische Teil dagegen ist ausschließlich im ICD-O zu finden. Neben dem histologischen Typ lässt er auch Angaben über den Malignitätsgrad des Tumors zu. Die Codierungen haben als Präfix ein M.

Ausgaben des ICD und ICD-O sind in Buchform bei der WHO erhältlich [WHO 95, Percy 90]. Sie sind aber auch über das Internet frei verfügbar¹.

¹ <http://icd.web.med.uni-muenchen.de> für den ICD-10 samt ICD-O-2
<http://www.pog.ufl.edu/publ/apps/icdo/> für den ICD-O-2

4.4.2 Tumorlokalisierungsschlüssel

Der Tumorlokalisierungsschlüssel, wie er von Gustav Wagner [Wagner 93] herausgegeben wurde, erweitert den ICD-O in der Topografie noch um eine weitere Stelle. Er erlaubt damit eine genauere Lokalisierungsbeschreibung als der ICD-O, hat aber den Nachteil, dass er nicht international standardisiert ist. Daher ist er für die Verwendung in einer Internetanwendung wie IRIS nicht unbedingt empfehlenswert.

4.4.3 ICRU

Der von der ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements) in dem Report 50 und dessen Ergänzung Report 62 definierte Schlüssel ist eine internationale Empfehlung dieser Kommission [ICRU 93, ICRU 99]. Der Schlüssel eignet sich vor allem zur Beschreibung von Zielvolumina und Risikoorganen.

Der ICD-O wird von ICRU in ähnlicher Weise um eine fünfte Stelle erweitert, wie es beim Tumorlokalisierungsschlüssel der Fall ist. Dadurch ist die Beschreibung der Tumorlokalisierung auch bei ICRU gegenüber dem ICD-O verfeinert und lässt eine genauere Definition des Zielvolumens zu. Er erlaubt beispielsweise die Unterteilung der Lunge nicht nur in den deren Flügel, sondern durch die fünfte Stelle auch in deren einzelne Lappen.

4.4.4 TNM

Ein weiteres internationales Klassifikationssystem ist das TNM-System. Es wurde von der UICC (Unio Internationalis Contra Cancrum) und der International Commission on Stage-Grouping in Cancer and Presentation of the Results of Treatment of Cancer ausgearbeitet. Dieser Code ist nicht als Alternative zu den oben genannten Schlüsseln zu sehen, da er nicht die Lokalisation, sondern den Schweregrad maligner Tumorerkrankungen beschreibt [Leiner 97]. Er ist also vielmehr eine Ergänzung zu den anderen genannten Kodierungen.

Der TNM-Code besteht aus folgenden Hauptkomponenten, die je nach Schwere mit Zahlen beziffert werden [Spiessl 93, Leiner 97]:

T (Tumor) : Ausdehnung des Primärtumors

N (Nodule) : Vorhandensein bzw. Ausdehnung regionaler Lymphknotenmetastasen

M (Metastasis): Vorhandensein von Fernmetastasen

Für die Verwendung in IRIS sind vor allem die Komponenten T und N interessant, da sie bei der Wahl der Größe des Zielvolumens eine Rolle spielen.

Neben den genannten Komponenten stellt die TNM-Klassifikation noch weitere Zusatzbezeichnungen zur Verfügung, die in IRIS zur exakteren Beschreibung des Tumors herangezogen werden können:

G (histopathologisches Grading) : gibt den Grad der Differenziertheit des Primärtumors an.

r (Rezidivtumor): gibt an, dass es sich bei dem beschriebenen Tumor um ein Rezidiv handelt.

KAPITEL 5

Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die in IRIS verwendeten Softwaretechniken vorgestellt. Mögliche Alternativen werden in einer kritischen Betrachtung ebenfalls diskutiert. Am Ende des Kapitels befindet sich eine Auflistung der im Verlauf der Arbeit verwendeten Hardware und Software. Die Hardware besteht aus mehreren PCs, einer Workstation, 2 Webcams und 2 Headsets. Die in IRIS verwendeten Softwaretechniken sind die Internetbrowser von Microsoft und Netscape, CORBA für die Datenkommunikation, PVM für das Prozessmanagement, Java und C++ als Programmiersprachen, PostgreSQL als relationale Datenbank, die Java Bibliotheken JDBC, JSDT, JMF, JavaMail, Java Sound und Java 3D für Telekonferenz, Datenbankanbindung, 3D Grafiken und Mailservice. Verschiedene Kompressionsformate werden diskutiert. Desweiteren kommen Techniken wie DICOM RT, SSL und Signed Applets zum Einsatz. Eigenentwicklungen des DKFZ, wie das wissensbasierte System TAPIR, das Planungssystem VIRTUOS und der Dosisberechnungsalgorithmus DC09 sind ebenfalls als Ganzes oder in Teilen integriert. Ein Kurzüberblick der verwendeten Materialien und Methoden wird am Ende des Kapitels in Tabelle 5.1 auf Seite 60 gegeben.

5.1 Verwendete Software

5.1.1 Die Internetbrowser - Netscape und IE

IRIS soll über das Internet als Java Applet verfügbar sein. Da die am häufigsten genutzten Internetbrowser der Microsoft Internet Explorer und die Browser von Netscape sind, wird bei der Entwicklung von IRIS darauf geachtet, dass das System in Browsern beider Hersteller läuft. Mit Netscape kann gewährleistet werden, dass IRIS auf den wichtigsten Plattformen wie Windows, Linux, MacOS und Unix verfügbar ist. Im Laufe der Arbeit werden die Browser Microsoft Internet Explorer 5.x, Netscape Communicator 4.x und Netscape 6.x getestet. Wieweit IRIS ohne zusätzliche PlugIn Software in einem Internetbrowser laufen kann, hängt von der im benutzten Browser implementierten Java Virtual Machine (JVM) ab. Problematisch dabei ist vor allem der Konkurrenzkampf zwischen Microsoft auf der einen sowie Sun und Netscape auf der anderen Seite, was das Setzen eines Java Sprachstandards angeht. So wird nicht jedes Applet, das unter Netscape läuft, auch vom Internet Explorer unterstützt.

5.1.2 Das Java PlugIn

Bei der Verwendung von Java Zusatzbibliotheken, wie es bei IRIS der Fall ist, stellt sich das Problem, dass die JVM des Microsoft Internet Explorer und des Netscape 4.x diese Bibliotheken teilweise nicht interpretieren können. Manche Bibliotheken können noch zusammen mit dem Applet in den Browser geladen werden, was die Ladezeit allerdings von Fall zu Fall erheblich verlängert. Bei anderen Bibliotheken kommt dagegen diese Lösung erst gar nicht in Frage. In diesem Fall muss die JVM des Browsers durch eine JVM, welche die Bibliotheken interpretieren kann, ersetzt werden. Dieses Überschreiben der vom Browser verwendeten JVM geschieht mit der Installation der Java PlugIn Software von Sun Microsystems. Sie ist von der Seite www.javasoft.com kostenlos herunterladbar. Ist das PlugIn auf dem Rechner

des Benutzers installiert, so kann es von der HTML-Seite, in der sich das Applet befindet, aktiviert werden.

5.1.3 PostgreSQL und JDBC – Anbindung einer Datenbank

Die Daten und Pläne des Diskussionsforums werden in Form von Dateiverweisen in einer relationalen Datenbank abgelegt. Als DBMS (Database Management System) wird PostgreSQL verwendet. PostgreSQL hat die Vorteile, dass es im Internet unter www.postgresql.org frei verfügbar ist, für fast alle Betriebssysteme erhältlich ist und komplett zusammen mit einem JDBC Treiber herunter geladen werden kann.

JDBC (Java Database Connectivity) ist eine im Java Standardsprachumfang enthaltene Bibliothek, die zusammen mit JDBC Treibern die Anbindung von Java Programmen an eine relationale Datenbank programmtechnisch ermöglicht [Sun JDBC 99]. In IRIS ist dies notwendig, um die Verbindung zwischen Java Applet und Datenbank herstellen zu können. Zur Kommunikation mit dem DBMS unterstützt JDBC alle SQL-Dialekte. SQL (Structured Query Language) ist eine Sprache zur Abfrage und Manipulation von Datenbankinhalten sowie zur Verwaltung von einem DBMS. Während der JDBC Sprachumfang allgemein gehalten ist und für jedes DBMS verwendet werden kann, ist der JDBC Treiber als Bindeglied zwischen Java und dem DBMS abhängig vom Hersteller. In der Regel kann der Treiber nachträglich angefordert werden, wenn er nicht schon zusammen mit dem DBMS geliefert wurde. PostgreSQL ist ein sehr leistungsfähiges kostenloses DBMS, das für die Belange in IRIS völlig ausreichend ist. Im Teleradiologiesystem CHILI wurden mit PostgreSQL am DKFZ bereits positive Erfahrungen gemacht [Werner 98].

5.1.4 Windows NetMeeting – Eine Software für Telekonferenzen

Windows NetMeeting ist eine einfache Telekonferenzsoftware von Microsoft, die im Internet unter www.microsoft.com kostenlos für die Windows Betriebssysteme ab Windows 95 verfügbar ist [Microsoft 01]. Ab Windows 2000 ist NetMeeting im Lieferumfang des Betriebssystems vorhanden. NetMeeting bietet die Möglichkeit einer Videokonferenz von zwei oder mehr Benutzern. Zur Kommunikation steht eine Video-/Audioübertragung mittels WebCam, Kopfhörer und Mikrofon zur Verfügung. Es kann aber auch ohne diese Hilfsmittel über Chat kommuniziert werden. Über ein Whiteboard können den anderen Teilnehmern Bilddaten zur Verfügung gestellt, und diese mit Hilfe von einfachen Zeichentools verändert werden. Application Sharing sowie der Austausch von Dateien über FTP (File Transfer Protocol) sind ebenfalls möglich. Unter Application Sharing versteht man die Möglichkeit, die Kontrolle über eine Anwendung zusammen mit anderen Sitzungsteilnehmern zu teilen. Mit NetMeeting können sowohl einzelne ausgewählte Anwendungen als auch das ganze Desktop geteilt werden. Grundvoraussetzung ist, dass die betreffende Applikation bei einem Sitzungsteilnehmer installiert und aktiviert ist, damit er diese den anderen Teilnehmern zur Verfügung stellen kann. Für die Video- und Audioübertragung unterstützt NetMeeting den H. 323 Standard der ITU-T (International Telecommunication Union – Telecom Standardization) und die darin enthaltene Video-Kodierung H.263 (siehe Seite 55, Abschnitt 5.4.4).

Es ist möglich, die Benutzeroberfläche von NetMeeting in eine HTML-Seite einzubinden und mit dem Herunterladen dieser Seite, NetMeeting automatisch zu aktivieren. Voraussetzung ist, dass der Benutzer NetMeeting bei sich installiert hat und den Microsoft Internet Explorer verwendet.

Im Rahmen dieser Arbeit wird NetMeeting auf eine mögliche Verwendbarkeit zur Realisierung der Telekonferenzfunktionalität von IRIS untersucht.

5.1.5 VIRTUOS und KonRad– Systeme zur 3D Bestrahlungsplanung

VIRTUOS (VIRTUal radiOtherapy Simulator) ist die an der Abteilung Medizinische Physik des DKFZ entwickelte Forschungsversion eines Bestrahlungsplanungssystems, das unter dem Namen VIRTUOSO¹ von Stryker-Leibinger kommerziell vertrieben wird. VIRTUOS bietet neben der Funktionalität zur konventionellen Erstellung eines Bestrahlungsplanes unter anderem die in Kapitel 4 auf Seite 34 erwähnten Möglichkeiten der Planevaluierung und des Vergleichs konkurrierender Bestrahlungspläne, wie Dosis-Volumen Histogramm, Beam's Eye View und Oberver's Eye View [Bendl 95].

Für die inverse Planung wurde an der Abteilung Medizinische Physik das Programm KonRad (Konformierende Radiotherapie) entwickelt [Preiser 97]. KonRad verfügt über einen Algorithmus zur Berechnung und Optimierung von Intensitätsmatrizen. Das Programm wird durch die Firma MRC Systems kommerziell vertrieben. Sowohl VIRTUOS als auch KonRad sind in C und C++ geschrieben.

Im derzeitigen Prototyp von IRIS werden ausgewählte Darstellungen zur Evaluierung von konventionell und invers erstellten Bestrahlungsplänen nachgebildet und erweitert. Hierfür wurden Algorithmen aus VIRTUOS umgeschrieben und in den IRIS Quellcode eingebunden. Des Weiteren verwendet IRIS Module aus VIRTUOS zum Lesen und Schreiben der Dateien eines Bestrahlungsplanes.

Die Integration von KonRad ist im Systementwurf von IRIS für die Berechnung von inversen Plänen vorgesehen.

5.1.6 TAPIR – Ein Tool zur automatischen Plangenerierung

TAPIR (Tool for Automatic Planning in Radiotherapy) ist direkt an IRIS angebunden. TAPIR ist ein wissensbasiertes System, das in der Lage ist, automatisch dreidimensionale Bestrahlungspläne zu generieren. Das System wurde an der Abteilung für Medizinische Physik des DKFZ entwickelt [Keller-Reichenbecher 97].

Ergebnis der Plangenerierung sind voroptimierte 3D Bestrahlungspläne zu einem gegebenen Behandlungsfall. Diese Pläne können von Therapeuten als Basis für eine weitere Optimierung herangezogen werden, so dass der Planungsprozess durch das wissensbasierte System nicht ersetzt, aber deutlich verkürzt werden kann.

Startwerte für den Plangenerierungsprozess sind die Tumorlokalisierung sowie Dateien mit CT- und Konturdaten des Patienten. Die Tumorlokalisierung wird in ICD-O Codierung angegeben. Tumorlokalisierung, Dateinamen und Dateipfade werden in einer Token-Datei abgelegt. Das Vorhandensein dieser Token-Datei in einem vorher festgelegten Verzeichnis ist das Startsignal für TAPIR zur Plangenerierung. TAPIR sucht in einer Wissensbasis nun nach Bestrahlungsplänen, die zur vorgegebenen Tumorlokalisierung passen. Diese in der Wissensbasis abgelegten Bestrahlungspläne werden als Skelettpläne bezeichnet. Zum Auffinden passender Skelettpläne ist die Wissensbasis in zwei Textdateien aufgeteilt. In der einen Datei steht, zu welchen Tumorlokalisationen Skelettpläne in der Wissensbasis abgelegt sind. In der zweiten Datei sind die Skelettpläne in Form von Frames abgelegt. Die Frames werden in TAPIR auch als Templates bezeichnet. Jedem Skelettplan sind Regeln zugeordnet, die angeben, wie dieser an die individuelle Anatomie des Patienten anzupassen ist bzw. welche anatomischen Opti-

¹ Dieses System hat nichts mit dem Teleplanungssystem VIRTUOSO aus Kapitel 3 gemeinsam.

mierungsmethoden hierfür anzuwenden sind. Auf die Optimierung wird weiter unten in diesem Abschnitt noch näher eingegangen. Die Regeln sind als Methoden fest in den Quellcode einprogrammiert. In der Wissensbasis werden die Methodennamen sowie deren Übergabeparameter in einem Frame zusammengefasst und dem Skelettplan über eine Templatenummer zugeordnet. In ähnlicher Weise werden auch die Bestrahlungsparameter in einem Frame zusammengefasst und mit einem Skelettplan verknüpft (Abbildung 5.1).

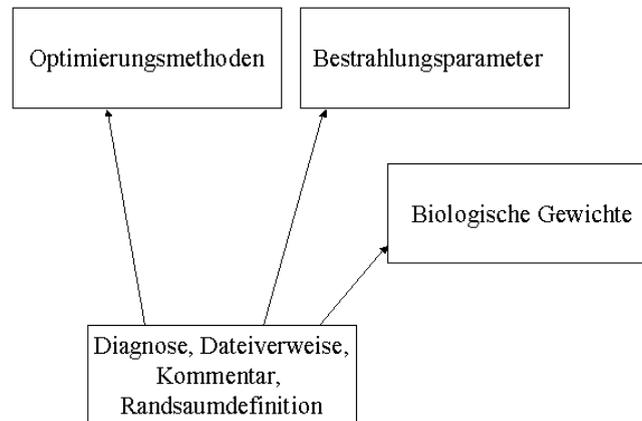


Abbildung 5.1 Templates in TAPIR. Die Abbildung zeigt, wie sich in TAPIR ein Skelettplan nach dem Baukastenprinzip aus mehreren Templates zusammen setzen kann. Einem Kernframe mit Angaben zur Diagnose können über Verweise beliebig verschiedene Templates hinzugefügt werden. Das Template mit den biologischen Gewichten legt fest, wie die Risikoorgane bei der Planoptimierung berücksichtigt werden sollen. In IRIS beinhaltet der Kernframe zusätzlich Verweise auf die Patientendaten (Bilder, Konturen, usw.).

Der Skelettplan dient nun als Ausgangspunkt für die Erzeugung neuer Pläne, passend zu den neuen Patientendaten wie sie in der Token Datei angegeben sind.

Abbildung 5.2 auf Seite 42 zeigt schematisch die automatische Plangenerierung in TAPIR. Zur Optimierung der im Skelettplan schon grob vorliegenden Einstrahlrichtungen verwendet TAPIR eine Weiterentwicklung des von Chen et al. vorgeschlagenen Verfahrens der Beam's-Eye-View-Volumetrie [Chen 92]. Bei dieser Methode wird die Größe der von den einzelnen Strahlenfeldern erfassten Teilvolumina der Risikoorgane minimiert. Der vorgegebene Plan wird also iterativ verfeinert, was der menschlichen Vorgehensweise entspricht.

Der Generierungsprozess wird wiederholt, solange zu der vorgegebenen Tumorlokalisierung passende Skelettpläne in der Wissensbasis gefunden werden.

Als Ausgabe generiert TAPIR für jeden erzeugten Plan Dateien mit Bestrahlungsparametern, Dosisverteilung und Feldkonturen. Ergänzend zu diesen Plandateien erzeugt das System noch eine Datei mit biologischen und physikalischen Parametern sowie einer Dosisstatistik. Der Inhalt dieser Datei gibt Auskunft über die Qualität des erzeugten Planes hinsichtlich der Strahlenbelastung im gesunden Gewebe und im Tumorgewebe.

Zur Dosisberechnung verwendet TAPIR den in Abschnitt 5.1.7 auf Seite 42 erwähnten Algorithmus DC09.

TAPIR ist so konzipiert, dass es jederzeit möglich ist, das genannte Optimierungsverfahren und den Algorithmus zur Dosisberechnung jederzeit durch andere Verfahren zu ersetzen.

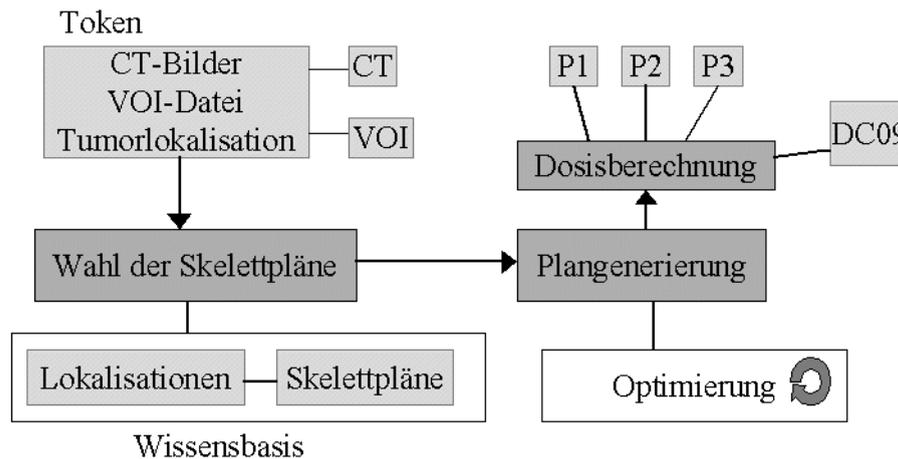


Abbildung 5.2 Plangenerierung in TAPIR. Die Token Datei dient als Startsignal. In ihr finden sich Angaben über Tumorklassifikation sowie Verweise auf die Dateien mit den CT Bildern und den Konturdaten der VOIs. Unter VOI (Volume Of Interest) werden Tumor und Risikoorgane verstanden. Anhand der Tumorklassifikation werden die geeigneten Skelettpläne aus der Wissensbasis herausgesucht. Die Plangenerierung ist ein iterativer Optimierungsprozess. Schließlich wird mit Hilfe des DC09 für jeden generierten Plan die Dosis berechnet und die Plandateien, hier P1, P2, P3 für Plan 1, Plan 2 und Plan 3, ausgegeben.

Das wissensbasierte System ist in C++ für die Betriebssysteme Linux und DEC Unix geschrieben. Zur Beschleunigung der rechenintensiven Plangenerierung ist das System in mehrere parallele Prozesse aufgeteilt. Für den Datenaustausch, die Synchronisation und die Verwaltung dieser Prozesse wird die C-Implementierung von PVM (siehe Abschnitt 5.2.8, Seite 48) verwendet.

TAPIR erwartet bzw. generiert Dateien im Datenformat des Bestrahlungsplanungssystems VIRTUOS (siehe Abschnitt 5.1.5, Seite 40). Zum Lesen und Schreiben dieser Dateien sind entsprechende Module aus VIRTUOS integriert.

Neben der Funktionalität von TAPIR werden von IRIS aber auch einzelne Module des wissensbasierten Systems genutzt, um die Wissensbasis lesen oder beschreiben zu können. Zur Berechnung der TCP/NTCP Parameter (siehe Abschnitt 4.3.2, Seite 34) werden ebenfalls Algorithmen von TAPIR verwendet. Diese Algorithmen basieren auf dem biologischen Modell von Webb zur Berechnung der Tumorkontrollwahrscheinlichkeit (TCP) bzw. auf dem Modell von Lyman zur Berechnung der Nebenwirkungswahrscheinlichkeit (NTCP) [Webb 93, Lyman 85].

5.1.7 DC09 – Ein Algorithmus zur Dosisberechnung

DC09 ist ein an der Abteilung für Medizinische Physik des Deutschen Krebsforschungszentrums entwickelter Algorithmus zur Dosisberechnung [Schulze 97]. Er wird sowohl von VIRTUOS und TAPIR als auch von IRIS verwendet. Als Eingabe erwartet das Programm die Konturdaten, CT-Daten und Bestrahlungsparameter des jeweiligen Plans. Aufgrund dieser Daten wird eine neue Datei erzeugt, die für jede CT-Schicht eine analoge Dosissschicht enthält, so dass letztendlich ein dem CT-Würfel entsprechender Dosiswürfel entsteht.

5.2 Programmiersprachen und Sprachbibliotheken

5.2.1 Verwendete Programmiersprachen

Die aus VIRTUOS eingebundenen Module sind in C und C++ geschrieben. Das wissensbasierte System TAPIR ist vollständig in C++ implementiert, verwendet aber, ebenso wie IRIS, Module von VIRTUOS in C sowie die in C vorliegende PVM-Bibliothek.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten IRIS-Module sind ausnahmslos in C++ und Java geschrieben. Die Wahl der Programmiersprache hängt dabei von der Funktionalität des jeweiligen Moduls ab. In IRIS lassen sich zwei grundlegende Arten von Modulen unterscheiden:

1. *Servermodule* sollen die Daten, die letztendlich im Internet präsentiert werden, generieren und verwalten. Im wesentlichen handelt es sich bei den Daten, die über das Netz zwischen Browser und Server übertragen werden, um Planungsdaten. Diese werden teilweise erst zur Laufzeit vom wissensbasierten System erzeugt und stellen programmtechnisch komplexe Datenstrukturen dar.
2. *Clientmodule*, die eine Benutzeroberfläche zur Verfügung stellen. Die vom Server erzeugten Datenstrukturen müssen von diesen Clientmodulen so aufbereitet werden, dass eine Darstellung und Bearbeitung im Internetbrowser möglich ist. Die Benutzeroberfläche verbindet die verschiedenen Funktionalitäten der einzelnen IRIS Komponenten miteinander.

Für die Realisierung der Benutzeroberfläche im Internetbrowser ist, aufgrund der komplexen Aufgabenstellung, die Verwendung einer Programmiersprache vom Umfang einer Hochsprache am geeignetsten. Daher sind die Clientmodule in einem Java Applet zusammengefasst und nicht in einer Skriptsprache implementiert, wie JavaScript. Aus ähnlichen Gründen kommen auch Lösungen, die auf der Verwendung von HTML (Hypertext Markup Language), XML (eXtensible Markup Language) und CGI (Common Gateway Interface) basieren nicht in Frage. Zudem ist ein homogenes Java Programm besser wartbar, als die anderen Lösungen [Sippel 98]. Daher wird in diesem Projekt die Benutzeroberfläche mit einem einzigen Java Applet gestaltet. Vergleiche zeigen, dass die in diesem Projekt im Zusammenhang mit Java gewählte Methodik des RPC (Remote Procedure Call) zum Datenaustausch zwischen Client und Server wesentlich effizienter und schneller als CGI ist [Orfali 97]. Auf RPC wird mit der Beschreibung von CORBA auf Seite 48 noch näher eingegangen werden.

Eine Alternative zu Java wäre allenfalls ActiveX Controls von Microsoft gewesen, mit dem sich ebenfalls komplexe Oberflächen gestalten und umfangreiche Anwendungen im Internet realisieren lassen. ActiveX bietet zusätzlich die Möglichkeit schon vorhandene Software, wie Microsoft Word oder ähnliche Programme, in das internetbasierte System einzubinden. Allerdings hat ActiveX den Nachteil, dass es im Internetbrowser von Netscape nur mit Hilfe eines zusätzlichen PlugIns lauffähig und nur für Windowsplattformen uneingeschränkt verfügbar ist. Zudem hat ActiveX einige Sicherheitsmängel und bietet daher eine gute Angriffsfläche für Computerviren [Dely 2000]. Dies führt dazu, dass viele Internetbenutzer ActiveX Anwendungen nicht trauen und ActiveX in ihrem Internetbrowser deaktivieren. Java dagegen kann aufgrund der eingebauten Sicherheitsmechanismen als vergleichsweise sicher und vertrauenswürdig eingestuft werden.

Bei Java handelt es sich um eine rein objektorientierte Programmiersprache, die eine umfangreiche und komfortable Klassenbibliothek zur Implementierung von verteilten und internetbasierten Anwendungen zur Verfügung stellt. Der Code, der bei der Compilierung von Java

Programmen entsteht, ist kein plattformabhängiger Maschinencode, sondern ein sogenannter Byte Code, der von einer Java Virtual Machine (JVM) interpretiert werden kann. Ein Java Applet ist ein in Java geschriebenes Programm, das in eine HTML-Seite integriert werden kann. Zusammen mit der HTML-Seite wird der Byte Code des Applets in den Internetbrowser geladen und von der im Browser integrierten JVM interpretiert. Auf diese Art ist es möglich, Java Programme innerhalb eines Internetbrowsers laufen zu lassen und über das Internet zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich bietet die Java Klassenbibliothek Objekte zur Kommunikation des Applets mit dem Internetbrowser bzw. dem Server, von dem die HTML Seite und das Applet herunter geladen wurden an. Bei der Benutzeroberfläche von IRIS handelt es sich um ein solches Java Applet. Dieses wird im Folgenden auch als Client bezeichnet.

Für die Implementierung der Server Module erweist sich C++ gegenüber Java als die geeignetere Programmiersprache. Erstens, weil diese Module die schon in C bzw. C++ implementierten VIRTUOS Module integrieren sollen. Zweitens, weil C++ schneller als Java und somit für rechenintensive Algorithmen besser geeignet ist. Der Geschwindigkeitsvorteil von C++ gegenüber Java ist durch den Umstand bedingt, dass der Java Byte Code interpretiert und erst während der Interpretation in Maschinencode übersetzt wird. Durch die Übersetzung während der Interpretation ist Java zwar schneller als eine reine Interpretersprache, aber langsamer als eine reine Compilersprache, wie C++.

In den folgenden Abschnitten werden Zusatzbibliotheken von Java beschrieben, die in IRIS verwendet werden.

5.2.2 Java Swing – Eine Bibliothek zur Oberflächenprogrammierung

Die Oberfläche des IRIS Applets ist mit Fenstern gestaltet. Zur Realisierung einer grafisch orientierten Benutzeroberfläche stehen in Java zwei Bibliotheken zur Verfügung, Swing und AWT (Abstract Window Toolkit). Während AWT im Java Standard enthalten ist und von allen Internetbrowsern interpretiert werden kann, ist Swing eine erst in Java 2 hinzugekommene Zusatzbibliothek, die vom Internet Explorer und Netscape 4.x nicht standardmäßig unterstützt wird. Damit Swing trotzdem eingesetzt werden kann, muss der Benutzer entweder das Java-PlugIn von Sun zusammen mit dem Browser installiert haben, oder die Swing-Bibliothek muss zusammen mit dem Applet in den Browser geladen werden.

Der Grund, weshalb in IRIS das neuere Swing anstatt AWT verwendet wird, ist vor allem der erweiterte Umfang an Komponenten und Ereignissen, die von Swing zur Verfügung gestellt werden.

5.2.3 Java Sound – Eine Bibliothek zur Audioverarbeitung

Bei Java Sound handelt es sich um eine zum Zeitpunkt der Entstehung dieser Arbeit noch sehr neue Klassenbibliothek. Die Bibliothek ist noch in Entwicklung und nicht vollständig implementiert, daher kann sie nur eingeschränkt verwendet werden. Trotzdem bietet sich in IRIS bei der Realisierung der Wiedergabe bzw. Aufnahme von Audiosignalen Java Sound an, da neben Schnittstellen zu MIDI Geräten auch Schnittstellen zu Ein- und Ausgabegeräten von Audiosignalen, wie Kopfhörer, Lautsprecher und Mikrophon angeboten werden.

Java Sound kann mittels einer JAR Datei (siehe auch Abschnitt 5.4.1, Seite 53) dem Browser zur Verfügung gestellt werden.

Für die Übertragung der Audiosignale mit Java Sound gibt es zwei Alternativen.

Zum Einen kann die Signalübertragung mit JSDT (Java Shared Data Toolkit) realisiert werden, zum Anderen mit JMF (Java Media Framework). In JMF ist Java Sound implizit enthalten.

Auf JSDT wird in Abschnitt 5.2.5 auf Seite 46 noch genauer eingegangen. JMF wird im folgenden Abschnitt vorgestellt. Ein Vergleich zwischen beiden Alternativen wird in Abschnitt 8.3.2 auf Seite 116 gezogen.

5.2.4 JMF – Eine Bibliothek für Audio- und Videoverarbeitung

Zum besseren Verständnis der beschriebenen Techniken, die zur Realisierung der Telekonferenz verwendet werden, soll hier kurz auf den Unterschied zwischen TCP (Transmission Control Protocol) und UDP (User Datagram Protocol) eingegangen werden. Beides sind Transportprotokolle und im TCP/IP Kommunikationsprotokoll definiert.

Der Unterschied besteht in der Zuverlässigkeit der Datenübertragung. TCP stellt Mechanismen bereit, die prüfen, ob die versendeten Daten vollständig ihr Ziel erreicht haben, oder ob Daten unterwegs verloren gegangen sind und korrigiert werden müssen. Bei UDP dagegen fehlen diese Mechanismen. Da Überprüfung und Korrektur Zeit kosten, ist UDP schneller als TCP und eignet sich somit vor allem zur Übertragung von großen Datenmengen, bei denen ein eventueller Datenverlust keine Rolle spielt, dafür aber die Übertragungszeit. Typische Daten, für deren Übertragung UDP verwendet wird, sind Audio- und Videosignale. Zur Übertragung von Kommandos, beispielsweise bei der Realisierung von Application Sharing, sollte TCP verwendet werden, da ein Datenverlust sich in diesem Falle negativ auf den weiteren Konferenzablauf auswirken würde.

JMF (Java Media Framework) ist eine Java Klassenbibliothek zur Darstellung von Audio- und Videodateien im Internet [Sun JMF 99]. Zusätzlich werden Möglichkeiten zur Übertragung von Audio- und Videodateien über das Internet angeboten. Für die Wiedergabe von Tondateien nutzt JMF die Java Bibliothek Java Sound. Die wichtigsten Audio- und Videoformate werden unterstützt. So können beispielsweise mit JMF unter anderem Dateien der Formate AVI, MIDI, MPEG, QuickTime, Sun Audio und Wave wiedergegeben werden. Für die Übertragung von Audio- bzw. Videosignalen verwendet JMF als Protokoll RTP (Real-Time Transport Protocol). Mehrere Datenkompressionsformate werden unterstützt, wie JPEG/RTP und H.263/RTP für Video oder GSM, G.723 und ULAW für Audio [Sun JMF 01].

RTP wurde von der Arbeitsgruppe Audio Video Transport (AVT) der Internet Engineering Task Force (IETF) spezifiziert. Das Protokoll ist zwar unabhängig vom verwendeten Netzwerkprotokoll, setzt aber in der Regel auf UDP auf, da zeitkritische Telekonferenzsignale übertragen werden sollen. Die Erweiterung von RTP zum Real-Time Control Protocol (RTCP) lässt es zu, die Qualität der gesendeten Daten zu überwachen. Hierfür bietet JMF zusätzliche Klassen an.

In IRIS bietet sich JMF sowohl zur Realisierung einer eigenen Videokonferenzkomponente als auch zur Realisierung eines integrierten Mediaplayers zur Wiedergabe von Audio- und Videodateien an.

Der Vorteil gegenüber der Nutzung von schon vorhandenen Fremdlösungen wie NetMeeting liegt in der Plattformunabhängigkeit, aber auch in der großen Auswahl an unterstützten Formaten und der Möglichkeit, die Wiedergabe besser an den Kontext von IRIS anpassen zu können.

Zur Nutzung von JMF in einem Internetbrowser genügt es allerdings ähnlich wie bei Java 3D nicht, die Klassenbibliothek als JAR Datei (siehe Abschnitt 5.4.1, Seite 53) zu laden, sondern

JMF muss auf dem Computer zusammen mit dem Internetbrowser installiert sein. JMF ist kostenlos bei Sun im Internet unter www.javasoft.com erhältlich und wird für Windows und Unix angeboten. Eine Version für Linux ist unter www.blackdown.org ebenfalls kostenlos beziehbar.

5.2.5 JSDT – Eine Bibliothek für Telekonferenzen

JSDT (Java Shared Data Toolkit) ist eine Bibliothek, mit deren Hilfe es möglich ist, Java Programmen die Funktionalität einer Telekonferenzsoftware zu verleihen [Sun JSDT 99]. Mit dieser Bibliothek kann also unter anderem Application Sharing (siehe Seite 140), ein Chatprogramm oder ein Whiteboard realisiert werden.

Die Bibliothek bietet hierfür Klassen, mit denen Sitzungen von zwei oder mehreren Teilnehmern verwaltet werden können. Zur Synchronisation gemeinsamer Aktionen innerhalb dieser Sitzung wird ein Token Mechanismus angeboten. Über spezielle Datenkanäle ist der asynchrone Austausch von Daten zwischen den einzelnen Teilnehmern möglich. Es können sowohl einfache Byte-Ströme als auch komplexe Java Objekte versendet werden. Die Kommunikation mit JSDT veranschaulicht Abbildung 5.3.

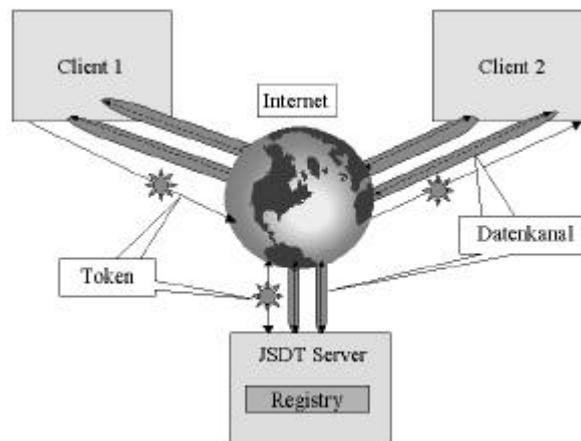


Abbildung 5.3 Kommunikation mit JSDT. Die Kommunikation zwischen zwei Sitzungsteilnehmern (Clients) läuft über einen Server, der die Sitzungen verwaltet. Innerhalb des Servers läuft die JSDT Registry, ein Thread, der die Kommunikation mit den Clients regelt. Zur Synchronisation von Aktionen werden Tokens verwendet, zum Austausch von Daten asynchrone Kanäle.

Für den Datenaustausch bietet JSDT drei unterschiedliche Implementierungen an:

LRMP

LRMP (Light weight Reliable Multicast Package) ist ein von Inria in Frankreich entwickeltes Multicasting Protokoll, das ein einfaches Interface zum TCP basierten Datenaustausch innerhalb von Multicasting Sessions zur Verfügung stellt [Liao 99]. Das Protokoll ist in Java implementiert und als JAR Datei (Abschnitt 5.4.1, Seite 53) bei Inria kostenlos herunterladbar¹. Zur Verwendung der JSDT Implementierung muss die JAR Datei installiert sein. JAR Archive werden in Abschnitt 5.4.1 auf Seite 53 noch genauer erklärt.

Sockets

Die Kommunikation über Sockets kann wahlweise als einzige der drei Implementierungen auch UDP zulassen. JSDT versucht, während der ganzen Sitzung Socketverbindungen soweit wie möglich offen zu lassen. Die Implementierung unterstützt das von Netscape entwickelte

¹ <http://webcanal.inria.fr/lrmp/index.html>

SSL (Secure Sockets Layer) als Sicherheitsprotokoll zur Übertragung verschlüsselter sensibler Daten. SSL wird in Abschnitt 5.5.1 auf Seite 57 noch genauer beschrieben.

HTTP

Die HTTP Implementierung versucht, zuerst eine direkte Socketverbindung basierend auf TCP herzustellen. Ist dies nicht möglich, beispielsweise aufgrund einer Firewall, so wird HTTP-Tunneling verwendet. Nach Versenden einer Nachricht und Empfang der Antwort wird die Verbindung wieder geschlossen.

HTTP-Tunneling bedeutet, daß als Kommunikationsprotokoll für den Datenaustausch HTTP verwendet wird. Der Datenaustausch findet somit über den für HTTP genutzten Port 80 statt. Dieser Port ist von Firewalls freigegeben (siehe auch Glossar, Seite 141).

In IRIS können wahlweise Sockets oder HTTP verwendet werden. LRMP findet keine Berücksichtigung, da die Verwendung dieser Implementierung keinen zusätzlichen Nutzen gebracht hätte. Die Verwendung von HTTP und Sockets sind in IRIS völlig ausreichend und problemlos. Die Wahl der Implementierung hängt von verschiedenen Faktoren ab. Durch das ständige Schließen und Öffnen einer Verbindung ist HTTP langsamer als eine Socketverbindung. Diese Tatsache macht sich vor allem bei der Übertragung von Zeichenoperationen bemerkbar, da in diesem Fall für jeden übertragenen Punkt die Verbindung erneut geöffnet werden muss. Dagegen erweist sich die HTTP Kommunikation für die Kommunikation durch eine Firewall als zuverlässiger und durch die Unterstützung von HTTP-Tunneling als besser geeignet.

Die JSDT Sprachbibliothek kann als JAR Datei (siehe Abschnitt 5.4.1, Seite 53) dem Browser zur Verfügung gestellt werden.

Eine Alternative zu JSDT wäre das an der Universität Heidelberg und der Universität Mannheim entwickelte Java Remote Control Tool [Fuhrmann 98]. Das Grundprinzip dieser Java Klassenbibliothek ist die Umwandlung von Komponenten aus der Java Klassenbibliothek AWT in Komponenten, die zum Application Sharing geeignet sind. In IRIS wird die grafische Benutzeroberfläche aber mit der Klassenbibliothek Swing realisiert und nicht mit AWT. Außerdem werden aus Gründen der Wartbarkeit bewusst möglichst ausschließlich Bibliotheken von Sun verwendet, sofern dies sinnvoll ist. Mit JSDT steht zur Realisierung von Telekonferenzen und Application Sharing eine sehr komfortable Bibliothek zur Verfügung.

5.2.6 Java 3D – Eine Bibliothek für 3D Grafiken

Für die Darstellung der dreidimensionalen Szenen wird in IRIS die erweiterte Java Klassenbibliothek Java 3D verwendet [Brown 99]. Java 3D setzt wahlweise direkt auf der Grafikkbibliotheken OpenGL oder Direct3D auf, so dass eine der beiden Bibliotheken installiert sein muss, damit Java 3D Szenen angezeigt werden können. Zusätzlich muss im Falle der Nutzung von Netscape 4.x oder Microsoft Internet Explorer 5.x als Internetbrowser das Java PlugIn von Sun installiert sein, da Java 3D nicht als JAR File in den Browser geladen werden kann. Bei Nutzung von Netscape 6.x ist diese zusätzliche Installation nicht mehr notwendig.

Java 3D stellt eine komfortable Klassenbibliothek zur Realisierung von 3D Szenen mit verschiedenen Beleuchtungsquellen, Texturen und interaktiver Handhabung zur Verfügung. Das Sprachkonzept lehnt sich den Bibliotheken OpenGL, Direct3D und der Beschreibungssprache VRML (Virtual Reality Meta Language) an.

Die Java 3D Bibliothek lässt sich problemlos in die restliche Java Umgebung von IRIS integrieren. Zusätzlich stellt sie unter anderem Klassen zur Verarbeitung von Dateien im VRML Format zur Verfügung.

5.2.7 JavaMail

JavaMail ist eine spezielle Java Bibliothek von Sun, die Klassen zur Verfügung stellt, mit denen ein Mail Client in Java auf komfortable Weise geschrieben werden kann [Sun Mail 98, Sun Mail 2000]. Um JavaMail nutzen zu können, muss zusätzlich noch die Java Bibliothek Java Beans Activation Framework (JAF), auf der die JavaMail Bibliothek basiert, installiert sein. In IRIS ist JavaMail für das Versenden von E-Mails vorgesehen. Für die digitale Signierung von Mails und die Verschlüsselung des Inhalts stehen ebenfalls Klassen in JavaMail zur Verfügung. In JavaMail sind die Internet Mail Standards RFC 822 für Textnachrichten und MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) für das Versenden von nicht textbasierten Dokumenten implementiert. Damit kann JavaMail zum Versenden von E-Mails über SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) genutzt werden.

5.2.8 PVM - Eine Methode zur Parallelisierung von Systemen

Zur Verkürzung der Rechen- und Antwortzeit, ist der IRIS Server in mehrere unabhängige Prozesse unterteilt worden. Zur Verwaltung dieser Prozesse wird PVM (Parallel Virtual Machine) verwendet.

PVM ist ein am Oak Ridge National Laboratory in den USA entwickeltes Programmiermodell [Geist 94], das es möglich macht, Applikationen in Form der MIMD - Architektur zu konzipieren. MIMD ist die Abkürzung für Multiple Instruction Stream Multiple Data Stream und bedeutet den höchsten Parallelisierungsgrad für Applikationen. Das heißt, dass mehrere Datenströme und mehrere Befehle zeitgleich ausgeführt werden können.

Es ist mittels PVM möglich, eine Applikation in mehrere parallele bzw. nebenläufige Prozesse aufzuteilen, und diese auf einem oder mehreren Rechnern innerhalb eines Netzwerkes zu verteilen. Die Leistung getrennter Prozessoren und Speicherbereiche kann auf diese Weise genutzt werden.

Ein Austausch einfacher Daten zwischen den PVM Prozessen ist über TCP-Sockets möglich. Die Sockets sind für den Benutzer als Messagebuffer sichtbar. Der Datenaustausch ist asynchron, das heißt der empfangende Prozess wird solange angehalten oder führt andere Operationen aus, bis der sendende Prozess Daten in den Datenpuffer geschrieben hat.

Das Starten und Beenden von Prozessen sowie deren Identifikation, die Überwachung des Versendens von Nachrichten, usw. wird von einem zentralen Prozessdämon, der vor jeder Sitzung als erstes gestartet werden muss, übernommen. Von diesem Dämon werden auch die Prozessidentifikationsnummern, über die einzelne Prozesse angesprochen werden, automatisch erzeugt. Mit Hilfe dieses PVM-Dämons ist es also möglich unabhängige Prozesse zu erzeugen, zu verwalten, zu synchronisieren und wieder zu beenden.

Zur Realisierung von PVM Programmen stehen Sprachbibliotheken in Perl, Fortran, C und Java zur Verfügung.

In IRIS wird die C Sprachbibliothek verwendet und die Dämonversion für Linux bzw. Unix. Es existiert aber mittlerweile auch eine Version des PVM-Dämons für Windows.

5.2.9 CORBA – Eine Methode zur Prozesskommunikation

CORBA (Common Object Request Broker Architecture) wurde von der Object Management Group (OMG) definiert und ist ein häufig verwendeter Standard für den Austausch von Daten zwischen unabhängigen Prozessen in einem heterogenen Netzwerk [OMG 96]. Der Datenaustausch beruht bei CORBA auf dem Prinzip des Remote Procedure Call (RPC). Durch den Aufruf von Methoden können über Rückgabewerte und Übergabeparameter Daten ausge-

tauscht werden. Hierbei spielt es keine Rolle, wo die aufgerufene Methode implementiert wurde. Der Methodenaufruf geht über Rechner- und Betriebssystemgrenzen hinweg. Im Falle von CORBA sind auch die Grenzen von Programmiersprachen aufgehoben. Hierfür stellt CORBA die Sprache IDL (Interface Definition Language) zur Verfügung. Es handelt sich dabei um eine Sprache mit der es möglich ist, Objekte, die Methoden zum Datenaustausch bereitstellen, zu deklarieren. Mit entsprechenden IDL Compilern kann diese Deklaration dann in eine andere Sprache übersetzt werden. Unterstützt werden unter anderem Java, C/C++, Smalltalk und HTML. Ein Prozess kann beispielsweise ein Objekt in C++ implementieren, während ein anderer Prozess, der in Java geschrieben ist, dieses Objekt verwendet. Zwischen den kommunizierenden Prozessen besteht eine Client-Server Beziehung. Der Server implementiert das Objekt. Der Client ruft Methoden des Objektes auf. Über den Methodenaufruf können mit CORBA beliebig komplexe Objekte in Form von Übergabeparametern und Rückgabewerten ausgetauscht werden. Die Kommunikation zwischen Client und Server wird durch den Object Request Broker (ORB), der als Middleware dient, realisiert. Das CORBA Netzwerkprotokoll IIOP (Internet Inter-ORB Protocol) definiert wie CORBA-Objekte über das Netzwerk miteinander kommunizieren. Ähnlich HTTP, ist IIOP im ISO/OSI Schichtenmodell (Abbildung 5.6, Seite 57) auf TCP/IP aufgesetzt. Abbildung 5.4 veranschaulicht die CORBA Kommunikation am Beispiel eines Java Applets und einer C++ Anwendung, wie es in IRIS der Fall ist.

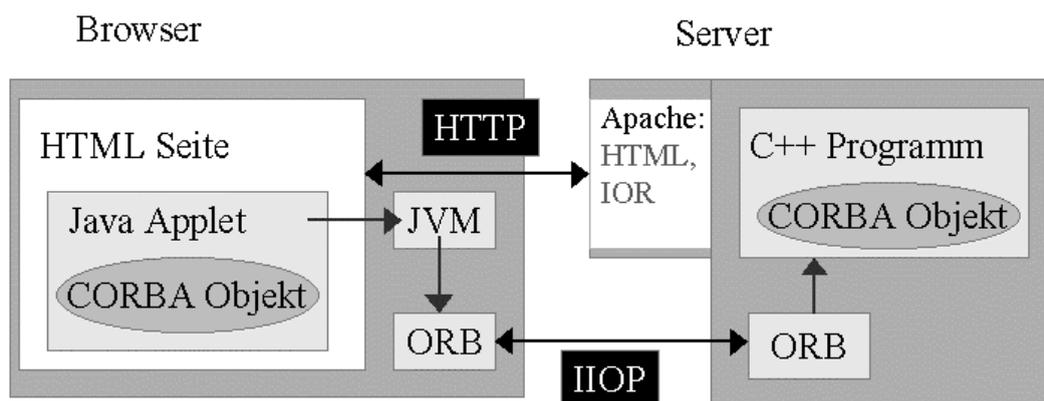


Abbildung 5.4 Kommunikation mit CORBA. Die Abbildung zeigt einen beispielhaften Nachrichtenaustausch zwischen Client (Internetbrowser) und Server mit Hilfe von CORBA. Das Java Applet ruft in diesem Fall Methoden des CORBA Objektes auf. Die Implementierung dieses Objektes befindet sich auf dem Server innerhalb des C++ Programmes. Das Java Applet bezieht die Objektidentifikation (IOR) über eine HTTP Verbindung aus einer Datei, die im Verzeichnis des Webservers abgelegt ist. Mit der IOR kann eine Verbindung zum Server hergestellt werden. Der Methodenaufruf selbst ist eine Kommunikation zwischen dem ORB im Internetbrowser und dem ORB auf dem Server. Kommunikationsprotokoll ist in diesem Fall IIOP.

Ein CORBA Objekt wird im Internet durch seine IOR (Interoperable Object Reference) eindeutig identifiziert. Die IOR ist eine Referenzzahl, die den Rechnernamen, Port und einen Objektschlüssel beinhaltet. Der verwendete Port kann bei der Konfiguration des ORB festgelegt werden, was bei der Kommunikation durch eine Firewall empfehlenswert ist. Wird der Port nicht durch den Anwender definiert, so wird er automatisch vom ORB gewählt.

Neben der Kommunikation von Objekten über ein heterogenes Netzwerk definiert der Standard noch einige Zusatzdienste, welche die Objektverwaltung vereinfachen sollen. Hier soll lediglich der Security Service Erwähnung finden. Dieser Dienst ermöglicht es über Kryptographie und Authentifizierung, sensible Daten zu schützen und den Zugriff auf Objekte zu kontrollieren.

Soll CORBA verwendet werden, so wird eine Implementierung des Standards benötigt. Es gibt zahlreiche nicht kommerzielle Implementierungen, die frei über das Internet herunterladbar sind. So auch die für diese Arbeit gewählte C++ Implementierung, die zusammen mit den IDL-Compilern für C++ und Java auf dem Server installiert ist. Das Applet des Clients verwendet die Implementierung des verwendeten Internetbrowsers. Dadurch, dass sowohl Netscape als auch der Microsoft Internet Explorer CORBA für Java implementieren, ist es nicht notwendig zusammen mit dem Applet für CORBA noch weitere Klassen herunter zu laden.

Abschließend sei noch erwähnt, dass OMG eine Arbeitsgruppe namens CORBAMED ins Leben gerufen hat, die Standards zum Austausch medizinischer Daten mit CORBA verbinden soll [OMG 98]. Zu diesen Standards zählen beispielsweise HL7 (Health Level 7) und DICOM (siehe Abschnitt 5.3.2, Seite 51).

Alternativen zu CORBA

Mit dem Einsatz von CORBA wird in IRIS der Datenaustausch zwischen Client und Server sowie zwischen den einzelnen Modulen auf dem Server realisiert. Dabei ist die Möglichkeit eines direkten Datenaustausches zwischen Modulen, die in Java implementiert sind und C/C++ Modulen von großer Bedeutung.

Für den Datenaustausch zwischen Client und Server würden sich neben CORBA noch andere Alternativen anbieten. Java RMI (Remote Method Invocation), Java RMI-IIOP und Microsoft DCOM (Distributed Component Object Model) haben alle gemeinsam, dass sie das Prinzip des Remote Procedure Call realisieren.

Java RMI ist eine Java Klassenbibliothek von Sun und im Java Standardsprachumfang enthalten [Sun RMI 99]. Anstatt IIOP nutzt es JRMP (Java Remote Method Protocol) zur Kommunikation über das Netz. Java RMI hat den Nachteil, dass es lediglich für die Kommunikation zwischen zwei Java Anwendungen nutzbar ist. Für die Anwendung in IRIS kommt RMI daher nicht in Frage. Als Alternative bietet Sun RMI-IIOP an [Sun RMI 01]. Bei dieser Variante von Java RMI wird als Kommunikationsprotokoll statt JRMP das CORBA Protokoll IIOP verwendet, so dass RMI Anwendungen mit CORBA Objekten, die in anderen Programmiersprachen geschrieben sind, kommunizieren können. Dadurch kann RMI mit CORBA verknüpft werden. Allerdings unterstützt der Microsoft Internet Explorer Java RMI nicht. Hierfür ist ein zusätzliches PlugIn notwendig. IRIS soll aber in den gängigsten Internetbrowsern, Netscape und Microsoft, möglichst ohne größere Zusatzinstallationen laufen.

Dies ist auch der Grund, weshalb DCOM nicht gewählt wurde. DCOM ist die Antwort von Microsoft auf CORBA [Microsoft 96].

Wie in CORBA, so ist auch in DCOM eine Kommunikation in einem heterogenen Netzwerk zwischen Modulen unterschiedlicher Programmiersprachen möglich. Als Protokoll wird ORPC (Object Remote Procedure Call) verwendet. Dieses Protokoll basiert wiederum auf dem Protokoll des DCE RPC (Distributed Computing Environment Remote Procedure Call). DCE RPC ist etwas älter als CORBA und beschreibt eine frühe, noch nicht objektorientierte Realisierung des RPC. DCOM dagegen ist, wie CORBA und Java RMI, ein rein objektorientierter Ansatz. Wie RMI und CORBA, so unterstützt auch DCOM zur Kommunikation durch eine Firewall HTTP-Tunneling. Gegenüber CORBA hat allerdings DCOM den Nachteil, kein internationaler Standard zu sein, der von mehreren Herstellern und Instituten implementiert wird. DCOM wird lediglich von einem Hersteller implementiert, Microsoft. Dies macht sich bei der mangelhaften Unterstützung anderer Plattformen außer Windows bemerkbar. Ausschlaggebend für die Ablehnung in dieser Arbeit ist aber eine kompliziertere Handhabung von

Java mit DCOM gegenüber der einfachen Handhabung mit CORBA [Block 2000], und vor allem die mangelnde Unterstützung von DCOM durch den Internetbrowser von Netscape. Neben den erwähnten Alternativen existieren noch zahlreiche kleinere Realisierungen des RPC, die für spezielle Bedürfnisse zugeschnitten sind und sich teilweise noch im Forschungsstadium befinden. Daher spielen sie für dieses Projekt keine Rolle. Ein Beispiel für solche Arbeiten wäre CORE, das in Java implementiert ist und sich an das CORBA-Konzept anlehnt [Jansen 01].

Warum CORBA ?

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass CORBA eine ideale Lösung ist, um Module von IRIS, die in den beiden Programmiersprachen Java und C/C++ implementiert sind, miteinander zu verbinden. Mit CORBA kann eine objektorientierte Kommunikation über ein heterogenes Netzwerk, wie es das Internet ist, zwischen den einzelnen Modulen des Systems realisiert werden. CORBA ist inzwischen ein weitverbreiteter Standard, dessen Java Implementierung Java IDL sowohl von Netscape als auch vom Microsoft Internet Explorer unterstützt wird. Hierzu ist kein zusätzliches PlugIn notwendig. Die Realisierung der Kommunikation ist sowohl in C/C++ als auch in Java relativ problemlos. Mit CORBA kann jedes beliebige Objekt über das Netz versendet werden.

5.3 Datenformate für Bestrahlungspläne

Sowohl IRIS als auch TAPIR lesen und schreiben die Dateien mit den relevanten Daten eines Bestrahlungsplanes im Format des Planungssystems VIRTUOS. Da VIRTUOS aber nur einem eingeschränkten Anwenderkreis zur Verfügung steht, genügt dies nicht dem Anspruch eines Systems, das über das Internet Pläne sammeln bzw. zu Verfügung stellen will. Da andererseits aber nicht für jedes erhältliche Planungssystem Konverter ins VIRTUOS Format zur Verfügung gestellt werden können, wird nach einem Standard gesucht, der von möglichst vielen Planungssystemen gelesen und geschrieben werden kann. Zur Problemlösung werden in dieser Arbeit verschiedene Ansätze unter Verwendung der unten beschriebenen Formate diskutiert.

5.3.1 Siemens LANTIS RTP Link

LANTIS RTP Link steht für Local Area Network Therapy Information System Radiation Therapy Planning Link. Es beschreibt ein Format für den Transfer von Planungsdaten an einen Linearbeschleuniger von Siemens [Siemens 96]. Allerdings betrifft diese Beschreibung lediglich die Bestrahlungsparameter, nicht aber Konturen, Bilder und Dosisverteilung. An der Abteilung für Medizinische Physik des DKFZ existieren Module, die nach der von Siemens definierten Schnittstelle Daten aus der Plandatei von VIRTUOS in das LANTIS Format konvertieren. LANTIS ist kein Standard, sondern an einen Hersteller gebunden. Trotzdem kommt dieses Format für den Datenaustausch in IRIS in Betracht, da Linearbeschleuniger von Siemens weltweit sehr verbreitet sind. So bieten auch andere kommerzielle Bestrahlungsplanungssysteme, wie zum Beispiel PLATO 3D von Nucletron, Schnittstellen zu LANTIS an.

5.3.2 DICOM

DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) ist ein Standard der NEMA (National Electrical Manufacturers Association) [NEMA 99a]. DICOM wurde für den Austausch von medizinischen Bilddaten, wie Röntgenbildern, CT- oder MR-Bildern konzipiert und be-

inhaltet unter anderem Dienste zur Versendung von Bildern über ein Datennetz sowie ein eigenes Dateiformat. Der Standard hat inzwischen, vor allem in der Radiologie, breite Anwendung gefunden. Konverter für das DICOM Format in das VIRTUOS Format sind schon am DKFZ vorhanden.

5.3.3 DICOM RT

DICOM RT (DICOM in Radiotherapy) ist die Erweiterung von DICOM hinsichtlich eines Datenaustausches in der Strahlentherapie [NEMA 99b]. DICOM RT stellt Dienste und Dateiformate zum Austausch von Strahlentherapieplänen zur Verfügung. Dabei wird zwischen vier wesentlichen Objekten unterschieden:

RT Structure Set beinhaltet die Konturen von Zielvolumen und Risikoorganen.

RT Plan verfügt über die technischen Parameter, wie Kollimatoreinstellungen, Daten über die einzelnen Strahlenfelder, usw.

RT Image beinhaltet Bilddaten, wie sie zum Beispiel bei der Behandlungsverifikation durch Portal Imaging Geräte oder Simulatoren entstehen.

RT Dose umfasst schließlich die Dosisverteilung.

Darüber hinaus existieren noch drei zusätzliche DICOM Objekte, die es ermöglichen, den Behandlungsablauf zu dokumentieren: *RT Beams Treatment Record*, *RT Brachy Treatment Record* und *RT Treatment Summary Record*. Für die vor der Bestrahlungsplanung gemachten Bilder des Patienten stehen Objekte aus dem oben erwähnten DICOM Standard zur Verfügung. Im Falle der CT Daten ist dies zum Beispiel *DICOM CT Image*. DICOM RT ist noch relativ jung. Die ersten vier Objekte wurden erst 1997 ratifiziert. Mittlerweile gibt es aber in den gängigsten Strahlentherapieplanungssystemen Exportmodule, die den Standard implementieren.

Der Import ist bei den meisten Herstellern noch in Arbeit, da er aufgrund der großen Anzahl von zu beachtenden Parametern sehr aufwendig zu implementieren ist.

5.3.4 RTOG

Das Format von RTOG (Radiation Therapy Oncology Group) bietet, wie DICOM RT, die Möglichkeit, einen kompletten Bestrahlungsplan zu definieren [Johansson 97]. Es werden sieben Dateien unterschieden:

Comments für Kommentare, *CT Scans* für CT Bilder, *Structures* für die Konturen von Risikoorganen und dem Zielvolumen, *Beam Geometry's* für die Bestrahlungsparameter, *Dose distributions* für die Dosisverteilung, *Digital Film Images* für Bildmaterial der Behandlungsüberwachung, wie zum Beispiel Portal Imaging und *Dose-Volume Histograms* für die Beschreibung von Dosis-Volumen Histogrammen.

Durch die Verwendung der Planungssoftware Helax-TMS von MDS Nordion am Universitätsklinikum Heidelberg, das mit dem DKFZ kooperiert, existieren für CT Bilder am DKFZ Konvertierungsroutinen von RTOG in das VIRTUOS Format. Helax-TMS unterstützt RTOG.

5.3.5 LANTIS, RTOG oder DICOM RT ?

LANTIS hat gegenüber RTOG und DICOM RT den Nachteil, dass es lediglich die Bestrahlungsparameter spezifiziert, nicht aber den kompletten Bestrahlungsplan. Soll ein kompletter Plan ausgetauscht werden, so müssen also noch weitere Formate gesucht werden. Ein weiterer Nachteil von LANTIS ist, dass das Format keine standardisierten Koordinatensysteme verwendet. Wie die Daten zu interpretieren sind, ist vom Beschleuniger abhängig.

Das heißt, dass es zusätzlich notwendig ist, Informationen über die verwendeten Koordinatensysteme auszutauschen. Diese Tatsache macht den Import von Daten eines unbekanntes Linearbeschleunigers unmöglich.

RTOG und DICOM RT dagegen sind von keinem Hersteller abhängig und beschreiben den Austausch eines kompletten Bestrahlungsplanes. RTOG unterstützt aber im Gegensatz zu DICOM RT als einziges bildgebendes Verfahren CT Bilder. Auch kann RTOG nur als Quasi-Standard bezeichnet werden. DICOM RT dagegen ist ein internationaler Standard, der in den letzten Jahren eine größere Verbreitung als RTOG gefunden hat, obwohl DICOM RT jünger als RTOG ist. Auch das erwähnte System Helax-TMS ist mit DICOM RT konform. Die breite Unterstützung von DICOM RT seitens der Hersteller von Planungssoftware spricht für den Einsatz von DICOM RT als Format zum internationalen Austausch von Bestrahlungsplänen in IRIS, obgleich der Implementierungsaufwand relativ hoch ist. Wegen des hohen Aufwandes einer DICOM RT Implementierung, werden zusätzlich schneller zu implementierende Übergangslösungen mit LANTIS und RTOG besprochen. DICOM RT bleibt aber die in dieser Arbeit favorisierte Lösung.

5.4 Methoden zur Datenkompression

Mit der Kompression von Daten wird in IRIS allgemein das Ziel verfolgt, die Netzbelastung durch Reduktion der übertragenen Datenmenge zu verringern und damit die Ladezeit zu verkürzen. Bei der Besprechung der verwendeten Kompressionsverfahren ist zwischen den verschiedenen Datenarten, die komprimiert werden sollen, zu unterscheiden. Dies sind Video- und Audiodaten, Bestrahlungspläne und Java Bytecode, also das Java Applet selbst. Im Folgenden werden die einzelnen Verfahren kurz vorgestellt.

5.4.1 JAR Java Archive

Java Klassenbibliotheken liegen oft in gepackter Form als sogenannte Java Archive mit der Dateierweiterung `.jar` vor. Dateien im JAR Format können zusammen mit einer HTML Seite in den Browser geladen, von diesem entpackt und interpretiert werden. Zum Packen und Entpacken von Java Archiven steht das im JDK (Java Development Kit) von Sun enthaltene Programm `jar` zur Verfügung.

5.4.2 ZIP

Das ZIP Format wird schon von VIRTUOS zum Packen der Dosisdateien verwendet. In IRIS ist ein Modul aus VIRTUOS eingebunden, das diese Dateien wiederum entpacken und lesen kann. Zusätzlich verfügt IRIS über ein vollkommen neu entwickeltes ZIP-Modul. Dieses Modul wird zur Kompression von Bestrahlungsplänen und allen Dateien, die dazu gehören, verwendet. Es entstehen sogenannte „IRIS Pakete“, die bei der Vorstellung des Systemkonzeptes in Kapitel 6, Abschnitt 6.19 auf Seite 93 eingehender erläutert werden. Die IRIS-Pakete können vom Benutzer hoch- bzw. heruntergeladen werden. Die Komprimierung bzw. Dekomprimierung von ZIP Dateien wird mit Hilfe von speziellen Klassen des Java Sprachumfangs realisiert. Diese Klassen unterstützen sowohl das ZIP Format für Windows als auch GZIP für Unix und Linux. Als Algorithmus für die Prüfsummenberechnung stehen in Java der CRC32 und Adler32 zur Verfügung. In IRIS findet Adler32 Verwendung, da der Algorithmus genauso sicher ist wie CRC32, aber schneller [Böttcher 2000].

5.4.3 Huffman-Code, RLE, LZW, BCT und EBCOT

Damit die Übertragung eines Schichtwürfels von Bilddaten im Internet zur Laufzeit von IRIS in einem zeitlich erträglichen Rahmen bleibt, müssen Verfahren zur Komprimierung der Daten gesucht werden. Einige Komprimierungsverfahren, die in Frage kommen, sollen hier vorgestellt werden.

Der Huffman Code ist ein 1952 von Huffman angegebenes, verlustfreies Komprimierungsverfahren. Das Verfahren nutzt eine Bit-Kodierung variabler Länge zur Komprimierung. Die Bitlänge, mit der ein Zeichen kodiert wird, hängt von der Zeichenhäufigkeit ab [Abele 2000]. Ein Beispiel für eine Kodierung, die auf Huffman basiert, zeigt Abbildung 5.5.

Alternative Verfahren für die Komprimierung von Bilddaten wären RLE (Run Length Encoding), BTC (Block Truncation Coding), LZW (Lempel-Ziv-Welch) und EBCOT (Embedded Block Coding with Optimization). BTC ist ein relativ simples Blockkodierungsverfahren speziell für Graustufenbilder, wie MR und CT Bilder. Allerdings ist BTC verlustbehaftet und daher für medizinische Bilder nicht besonders geeignet [Fränti 94].

Wahrscheinlichkeit der Zeichen:

$$p(B) = 0.1; p(L) = 0.2; p(A) = 0.3; p(T) = 0.3; p(S) = 0.1$$

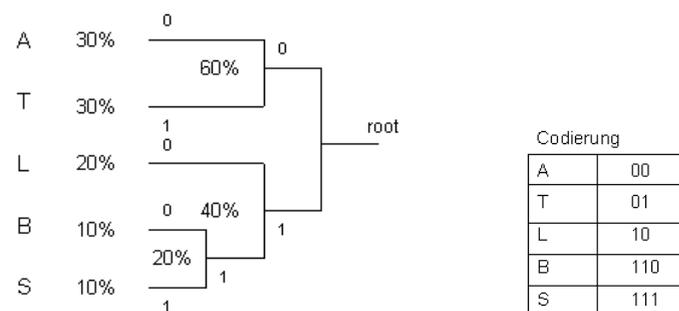


Abbildung 5.5 Kodierung nach Huffman. Dieses Beispiel zeigt die Kodierung des Wortes BLATTSALAT nach Huffman [Abele 2000]. Die einzelnen Zeichen sind nach Häufigkeit ihres Auftretens in Form eines Binärbaums sortiert. Jeder Ast repräsentiert ein Bit. Die Länge der Bitkodierung ist variabel. Je häufiger ein Zeichen vorkommt, desto kürzer ist dessen Bitkodierung. BLATTSALAT kann nach diesem Beispiel mit 22 bit kodiert werden. Unkodiert wäre die Länge 80 bit.

Die anderen Verfahren sind dagegen verlustfrei. Das einfachste ist die Lauflängenkodierung RLE. Hier wird nach jedem Zeichen eine Zahl mitgeschrieben, die angibt, wie oft sich das Zeichen hintereinander wiederholt hat. Die Lauflängenkodierung für BLATTSALAT aus dem in Abbildung 5.5 gezeigten Beispiel wäre demnach B1L1A1T2S1A1L1A1T1. Da diese Zeichenkette so gut wie keine Wiederholungen aufweist, ist die RLE hier sehr ineffektiv. Es kann also bei diesem Verfahren auch passieren, dass das kodierte Bild größer ist als das Original. Der Kompressionsgrad hängt bei diesem Verfahren sehr stark vom Bild ab. Am Höchsten ist er, wenn das Bild große Flächen gleicher Farbe beinhaltet.

Der EBCOT involviert die Lauflängenkodierung und bildet die Basis für den neuen JPEG2000 Standard (siehe unten) [Taubmann 2000]. Der Algorithmus ist gegenüber den anderen Verfahren am aufwendigsten zu implementieren, eignet sich aber gut für Bilder.

Der LZW findet seine Verwendung unter anderem im GIF Standard. Er ist relativ einfach zu implementieren [Nelson 89]. Beim LZW wird ein Wörterbuch zur Kodierung verwendet, das initial die verschiedenen Zeichen der Datei und deren Kodierung enthält. Das Wörterbuch wird während der Kodierung dynamisch um Teile des zu kodierenden Dateiinhaltes erweitert,

so dass im Laufe der Kodierung Teile der Datei durch die Kodierung eines bereits vorgekommenen identischen Teils aus dem Wörterbuch ersetzt werden können [Effelsberg 99]. Für die Verwendung in IRIS eignen sich Huffman, RLE und LZW, da sie einfach zu implementieren sind und effektiv komprimieren. EBCOT dagegen ist zu aufwendig, was in keinem Verhältnis zum Nutzen steht. BTC kommt aus schon genannten Gründen nicht in Frage.

5.4.4 H.263

H.263 ist ein Standard zur Komprimierung von Videodaten. Er gehört zur Empfehlungsserie H.323 der ITU-T und wurde zur Übertragung von Videosignalen über Netze mit geringer Bandbreite entwickelt. Das heißt, die Datenkompression ist sehr stark, so dass dieser Standard für Videokonferenzen häufig verwendet wird. Er ist mit dem Real Time Protocol kompatibel und wird in dieser Form von dem Java Media Framework zur Videoübertragung verwendet. In H.263 werden fünf Bildgrößen unterstützt: 128x96, 176x144, 352x288, 704x576, 1408x1152 [Cherriman 99].

5.4.5 JPEG, JPEG-LS, JPEG2000 und GIF

JPEG (Joint Picture Expert Group) ist ein Komprimierungsverfahren für Farbbilder, das die Huffman Kodierung einschließt. Der Standard ist bei ITU-T unter der Nummer T.81 zu finden. JPEG wird vom Java Media Framework als Alternative zu H.263 bei der Übertragung von Videobildern angeboten, eignet sich aber weniger für Netze mit geringer Bandbreite, da die Bilder größer sind. Dafür wird eine höhere Bildqualität erreicht und die Bildgröße ist flexibler. Es wird jede Bildgröße der Form $8*W \times 8*H$ unterstützt, das heißt Breite und Höhe müssen ein Vielfaches von 8 sein. Der JPEG Standard verkettet mehrere Kompressionsalgorithmen miteinander. Unter anderem verwendet er den Huffman-Code.

Statische Farbbilder können im JPEG Format von Java dargestellt werden. Eine Alternative wären noch GIF Bilder (Graphics Interchange Format). GIF wurde 1987 von CompuServe entwickelt und ist das für statische Farbbilder am meisten genutzte Format im Internet. Insbesondere bei Bildern mit langen Reihen von Pixeln gleicher Farbe erreicht GIF eine sehr hohe Kompression. GIF Bilder sind vom Datenumfang wesentlich kleiner als JPEG Bilder, können aber nur 256 Farben darstellen. JPEG Bilder dagegen haben eine Farbtiefe von 16 Millionen Farben. Der GIF Algorithmus beruht auf dem LZW Kompressionsverfahren. Im Gegensatz zu dem besprochenen JPEG Format ist GIF verlustfrei. Für die Darstellung von CT und MR Bildern würde sich GIF also hervorragend eignen.

Weitere Alternativen für die Kompression von Bildern wären die Formate JPEG-LS und das auf dem EBCOT Algorithmus basierende JPEG2000. Für JPEG2000 existiert bereits eine Java Implementierung [Onno 2000]. Beide Verfahren sind verlustfrei und haben ein besseres Kompressionsverhalten als JPEG. Insbesondere JPEG-LS schneidet bei Vergleichen sehr gut ab [Santa-Cruz 2000].

5.4.6 G.723

G.723 ist ein Standard der ITU-T zur Kodierung von Audiosignalen. Er gehört zu den Empfehlungsserien H.323 und H.324 der ITU. G.723 wird vom Java Media Framework unterstützt. Die Kodierung beruht auf Linear Predictive Coding, das heißt, es werden bei der Kodierung die Differenzen zu einem bestimmten Voraussagewert herangezogen. Das Verfahren ist mit resultierenden Datenraten von 5.3 und 6.4 Kbit/s angegeben [ITU 96]. Daher eignet es sich gut für die Audioübertragung in Netzen von geringer Bandbreite.

5.4.7 GSM

GSM (Global System for Mobile telecommunications) ist ein Kommunikationsprotokoll der ETSI (European Telecommunications Standards Institute) und beinhaltet ein weiteres Verfahren zur Kompression von Audiodaten, das vom Java Media Framework unterstützt wird. Das Verfahren ist in der ETSI Spezifikation unter der Bezeichnung GSM 06.10 RPE-LTP (Regular-Pulse Excitation Long-Term Predictor) zu finden. Es ist in der Literatur mit einer Datenrate von 13 Kbps angegeben und wird im Bereich der Mobiltelefonnetze verwendet [Degener 2000].

5.4.8 DVI, U-LAW, MPEG Audio

Es sei noch erwähnt, dass neben GSM und G.723 unter anderem auch die Audio-Kompressionsformate DVI, U-LAW und MPEG Audio vom Java Media Framework unterstützt werden.

U-LAW ist der internationale Telefon Standard und auch als ITU G.711 bekannt. Das Verfahren basiert auf PCM (Pulse Code Modulation).

DVI ist das auf ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) basierende Verfahren von IMA (Interactive Multimedia Association).

MPEG Audio ist das Audio Kompressionsverfahren der Motion Picture Experts Group und zeichnet sich durch eine sehr gute Klangqualität aus. Es wird für CDs und DVDs verwendet. Die Datenraten liegen für U-LAW bei 64 Kbps und für DVI bei 32 Kbps. Die Samplerate liegt jeweils bei 8KHz.

MPEG unterstützt mehrere Sampleraten. Die Datenrate für 32 KHz liegt bei 32 Kbps, die für 44 KHz bei 65 Kbps. 44 KHz hat schon die Klangqualität einer CD. Alle Angaben verstehen sich für Monosignale. Bei MPEG ist aber auch ein Stereowiedergabe möglich. Mit dem MPEG-4 Standard können niedrigere Datenraten von bis zu 8Kbps erreicht werden [Pam 97].

5.5 Methoden zur Sicherheit und Authentisierung

Zum Thema Sicherheit, sind in IRIS zwei Aspekte zu betrachten. Erstens, die verschlüsselte Übertragung sensibler Daten. Zweitens, die Gewährleistung für den Benutzer, dass er durch das Herunterladen der IRIS Software und den Austausch von Daten mit IRIS über das Internet nicht gefährdet wird. Das bedeutet vor allem den Schutz des Benutzers vor Internetviren und dem Zugriff Dritter.

Zusätzlich werden in IRIS noch Methoden zur Authentisierung des Benutzers benötigt. Dadurch soll gewährleistet werden, dass ausschließlich fachkundiges Personal Zugriff auf das System hat.

	ISO/OSI Schichtenmodell	TCP/IP
7	Anwendungsschicht Kommunikation auf Anwendungsebene	FTP, HTTP, SHTTP, SMTP
6	Darstellungsschicht Verschlüsselung und Datenkonvertierung	
5	Sitzungsschicht Koordination der Kommunikation	
4	Transportschicht Gewährleistet die Datenübertragung zwischen Prozessen	TCP, UDP
3	Vermittlungsschicht Verteilen von Daten an verschiedene Subnetze des Internet	IP
2	Sicherungsschicht Übertragung von Datenpaketen	
1	Physikalische Schicht Elektrische Signale, Verkabelung	

SSL, TLS

Abbildung 5.6 ISO/OSI Schichtenmodell. ISO steht für International Standards Organization, OSI für Open Systems Interconnection. Das Modell definiert sieben Schichten, die den Rahmen für die Spezifikation von standardisierten Protokollen im Bereich von verteilten Anwendungen bilden. Neben den einzelnen Schichten und deren Kurzbeschreibung ist als Beispiel noch die TCP/IP Protokollfolge abgebildet. In diesem Kapitel erwähnte TCP/IP Protokolle sind den einzelnen Schichten zugeordnet. Darüber hinaus ordnet die Darstellung auch die beiden erwähnten Verschlüsselungsverfahren SSL und TLS (siehe Abschnitt 5.5.1, unten) in das Modell ein.

5.5.1 SHTTP, SSL und TLS - Verschlüsselung von Daten

Zur Verschlüsselung von Daten haben im Internet drei Verfahren zunehmende Verbreitung gefunden: SHTTP (Secure HTTP), SSL (Secure Sockets Layer) und TLS (Transport Layer Security). Alle drei Verfahren werden sowohl von Netscape als auch vom Internet Explorer unterstützt. Da SHTTP eine Erweiterung von HTTP ist, ist das Verfahren von HTTP abhängig, während SSL und TLS im ISO/OSI Modell (Abbildung 5.6, oben) eine eigene Schicht zwischen Transportschicht und Anwendungsschicht bilden. Daher sind SSL und TLS nicht nur für HTTP, sondern auch für andere Protokolle, wie FTP oder IIOP anwendbar. Da TLS von SSL ausgehend entwickelt wurde, sind die beiden Protokolle sehr ähnlich. Während aber SSL aufgrund seiner großen Verbreitung lediglich ein De-facto-Standard ist, wurde TLS von der IETF (Internet Engineering Task Force) standardisiert und soll in Zukunft SSL ersetzen [Hungenberg 2000]. Wann und ob TLS SSL ablösen wird ist allerdings fraglich.

Sun unterstützt TLS und SSL für Java mit der Bibliothek JSSE (Java Secure Socket Extension). Diese Bibliothek wurde inzwischen in den Standard Sprachumfang aufgenommen [Sun JSSE 01].

Für CORBA gibt es SSL Implementierungen. Zusätzlich beinhaltet CORBA zwar auch einen Security Service, der umfangreicher als SSL ist, da aber die Kommunikation durch eine Firewall bei Nutzung des Security Service problematisch ist [Arndt 98] und SSL vollkommen für die Anforderungen in IRIS ausreicht, wird in dieser Arbeit SSL dem Security Service vorgezogen.

SSL und TLS bieten zusätzlich noch die Möglichkeit der Client Authentisierung. Das heißt, dass der Zugang zu der Serverapplikation nur für bestimmte Computer zugelassen ist, auf denen ein zuvor erteiltes Zertifikat installiert wurde. Mit Hilfe des Verfahrens der digitalen Unterschrift wird der Client als zugelassener Rechner identifiziert. Für eine genauere Be-

schreibung der SSL basierten Client Authentisierung wird auf die entsprechende Literatur verwiesen [Netscape 97]. In IRIS wird eine kleine Variante dieses Verfahrens entwickelt, die im Kapitel 6, Abschnitt 6.11.4 auf Seite 86 näher erläutert wird.

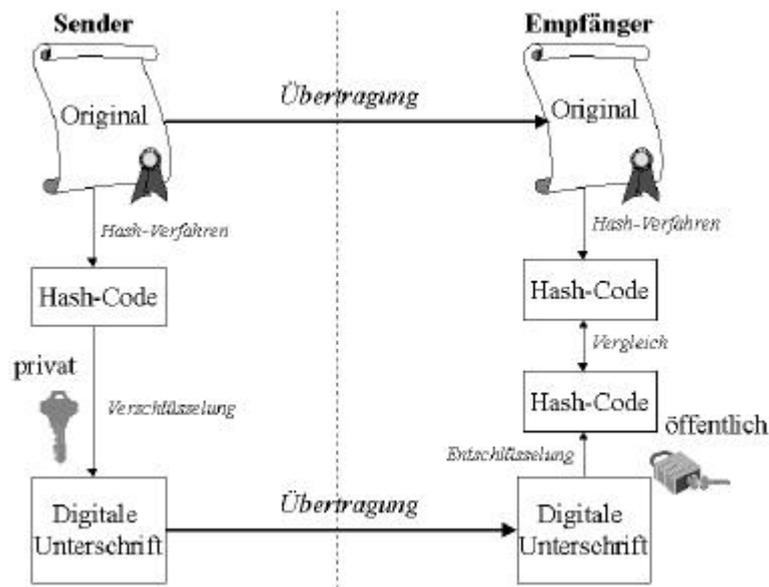


Abbildung 5.7 Digitale Unterschrift. Bei der digitalen Unterschrift wird aus den zu unterschreibenden Originaldaten mit einem Hash Algorithmus ein Hash-Code errechnet. Dieser Code ist für die Originaldaten eindeutig. Im nächsten Schritt wird der Hash-Code mit einem privaten Schlüssel verschlüsselt. Originaldaten und verschlüsselter Hash-Code werden nun versendet. Der Empfänger muss über den Hash-Algorithmus und einen öffentlichen Schlüssel des Senders verfügen. Mittels des Hash-Verfahrens kann der Empfänger nun aus den übersendeten Originaldaten den Hash-Code gewinnen. Mit dem öffentlichen Schlüssel wird der verschlüsselte Hash-Code des Senders entschlüsselt. Nun werden beide Hash-Codes verglichen. Stimmen sie überein, so ist die Unterschrift echt. Mit diesem Verfahren kann nicht nur die Authentizität eines Senders geprüft werden, sondern auch ob die übertragenen Daten während der Übertragung geändert wurden. Letztere Eigenschaft wird bei den Signed Applets ausgenutzt.

5.5.2 Signed Applets – Server-Authentisierung mit digitaler Unterschrift

Insbesondere bei Internetprogrammen, die spezielle Rechte auf dem Rechner des Benutzers verlangen, ist es wichtig garantieren zu können, dass der Quellcode vertrauenswürdig ist. Das beinhaltet die Garantie, dass der Code, im Falle von IRIS also das Java Applet, tatsächlich von dem Rechner heruntergeladen wird, der als Quelle für den Benutzer angegeben ist. Das bedeutet aber auch die Garantie, dass der Code während des Transfers über das Netz nicht von dritter Seite verändert wurde. Um dies gewährleisten zu können, bietet Sun die Möglichkeit an, Applets mit einer digitalen Unterschrift zu versehen. Diese speziellen Applets werden auch Signed Applets genannt. Bei Signed Applets wird die JAR Datei des Programmcodes mit Hilfe eines privaten Schlüssels signiert. Die Signatur kann dann mit Hilfe eines öffentlichen Schlüssels gelesen werden [Pawlan 98]. Für die Echtheit des öffentlichen Schlüssels bürgt ein Zertifikat, das zusammen mit dem privaten und öffentlichen Schlüssel generiert wird. Bei der Schlüsselgenerierung kann angegeben werden, wie lange der Schlüssel gültig sein soll. Sun stellt im JDK Programme zur Verfügung, mit denen die Schlüsselgenerierung, Zertifizierung und Signierung möglich ist. Mit dieser Methode kann weitestgehend die Echtheit eines heruntergeladenen Applets garantiert werden. Abbildung 5.7 auf Seite 58 zeigt schematisch das Prinzip der digitalen Unterschrift, wie es den Signed Applets und der Client Authentisierung zugrunde liegt.

5.5.3 Policy-Dateien und Security Dateien

Wie schon bei der Besprechung der Signed Applets angedeutet, verlangt IRIS in bestimmten Modi Rechte, die ein normales Applet gewöhnlich nicht hat. Dazu gehören das Öffnen einer TCP/IP Verbindung zu einem anderen Rechner als zu dem, von dem das Applet geladen wurde sowie der lesende und schreibende Zugriff auf Dateien des Benutzerrechners. Diese Rechte müssen dem Applet explizit durch den Benutzer gegeben werden. Vor der Rechtevergabe ist es aber notwendig zu wissen, dass das Applet vertrauenswürdig ist. Daher wurde das Verfahren der digitalen Unterschrift eingeführt. In einer speziellen Textdatei, der Policy-Datei, kann nun der Benutzer dem Applet die gewünschten Rechte erteilen. Beim Zugriff auf Dateien kann dabei exakt das Verzeichnis oder die Datei angegeben werden. Weiterhin ist es möglich die Rechte für alle heruntergeladenen Applets, für Applets von einer bestimmten Adresse oder für Applets mit einer bestimmten Signatur zu zulassen.

Es ist sowohl möglich, eigene Policy – Dateien zu verwalten, als auch fertige Policy – Dateien über das Internet herunter zu laden. Die URL der herunter zu ladenden Policy – Dateien wird in einer speziellen Security – Datei eingetragen. Hierfür ist allerdings ein gewisses Maß an Vertrauen nötig, da der Inhalt der heruntergeladenen Policy – Datei nicht eingesehen werden kann. Die Datei wird vom Internetbrowser gelesen, ohne dass der Benutzer etwas davon merkt. In IRIS wird dem Benutzer beispielsweise eine Policy-Datei zum Herunterladen angeboten, die dem Java Applet die Erlaubnis zum direkten Datenaustausch mit jedem einzelnen Serverrechner erteilt. Normalerweise ist dem Applet lediglich eine direkte Kommunikation mit dem Serverrechner erlaubt, von dem es heruntergeladen wurde.

5.6 Zusammenfassender Überblick

Tabelle 5.1 auf Seite 60 gibt noch einmal einen kurzen, zusammenfassenden Überblick über den Zweck der in IRIS verwendeten Methoden und Materialien gegeben werden. Dieser Überblick schließt sich im folgenden Abschnitt die Beschreibung der genutzten Hardware und die der für die Entwicklung des IRIS Prototypen installierten Software an.

Material/Methode	Verwendung in IRIS
Internetbrowser	Anzeige des Java Applets (Client) von IRIS
Java PlugIn	Einbindung von Java Bibliotheken in den Internetbrowser, damit dieser auch Bibliotheken interpretieren kann, die nicht im Standardsprachumfang von Java enthalten sind oder mittels JAR Dateien import werden können.
postgreSQL	Relationale Datenbank für die Archivierung von Beiträgen des Diskussionsforums.
NetMeeting	Telekonferenzsoftware
VIRTUOS	System für die konventionelle dreidimensionale Bestrahlungsplanung. Teile des Systems sind zur Darstellung und Evaluation der von IRIS gezeigten Pläne in IRIS eingebunden.
KonRad	System für die inverse dreidimensionale Bestrahlungsplanung. Das System dient in IRIS der Berechnung von inversen Bestrahlungsplänen.
TAPIR	Wissensbasiertes System zur automatischen Erstellung von Bestrahlungsplänen.
DC09	Algorithmus zur Berechnung der Dosisverteilung.
C++	Programmiersprache zur Realisierung von Teilen des IRIS Servers
Java	Programmiersprache zur Realisierung des Clients (Java Applet) und von Teilen des Servers.
Java Swing	Bibliothek für die Gestaltung der Oberfläche des Applets
JavaSound	Bibliothek für die Aufnahme und Wiedergabe von Audiosignalen in der Telekonferenz.
Java Media Framework (JMF)	Bibliothek für die Verarbeitung und Übertragung von Audio- und Videosignalen in der Telekonferenz. Auch Wiedergabe von Video- und Audiodateien.
Java Shared Data Toolkit (JSDT)	Bibliothek für die Realisierung von Application Sharing und Chat
Java 3D	Bibliothek für die Darstellung von 3D Szenen im Java Applet.
JavaMail	Bibliothek für die Realisierung einer E-Mail Funktionalität im Java Applet.
Java Database Connectivity (JDBC)	Bibliothek für die Kommunikation des Java Applets mit der relationalen PostgreSQL Datenbank.
Parallel Virtual Machine (PVM)	Bibliothek zur Verwaltung parallel laufender Prozesse im Servernetzwerk.
CORBA	Standard für den Datenaustausch zwischen Java Applet und Server bzw. zwischen Java Prozessen und C++ Prozessen im Servernetzwerk.
DICOM RT	Standard für den internationalen Austausch von Bestrahlungsplänen.
Java Archive (JAR)	Kompression des Java Programmcodes zum Herunterladen des Java Applets vom Server in den Internetbrowser
ZIP	Kompression der Benutzerdaten zum Herunterladen vom IRIS Server auf die Festplatte des Benutzers.
Huffman-Code	Kompression von medizinischen Bilddaten zur Übertragung der Schichtwürfel vom Server zur Anzeige im Java Applet.
H.263, JPEG (RTP)	Formate zur Übertragung von Videobildern mit dem Real Time Protocol (RTP)
G.723, GSM, U-LAW, DVI, MPEG Audio	Formate zur Übertragung von Audiosignalen mit dem Real Time Protocol (RTP)
SSL, TLS	Verschlüsselung von Patientendaten und Passwort
Digitale Unterschrift	Server- bzw. Client-Authentisierung
Signed Applets	Server-Authentisierung mittels digitaler Unterschrift
Policy- und Security Dateien	Vergabe von bestimmten Rechten an das Java Applet durch den Benutzer

Tabelle 5.1 Material und Methoden – Überblick

5.7 Verwendete Hard- und Software

5.7.1 Hardware

Rechner	Prozessor	Arbeitsspeicher	OS	OS Version
Server1	Pentium-MMX 200 MHz	128 MB	Linux	SuSE 6.3
Server2	Pentium II 300 MHz	64 MB	Linux	SuSE 7.1
Server3	DEC Chip 21164 500 Mhz	128 MB	Unix	Digital Unix V4.0D DEC Alpha
Client1	Pentium Pro S 200 Mhz	128 MB	Windows NT	4.0
Client2	Pentium III 500 Mhz	128 MB	Windows NT	4.0 SR 2
Client3	Pentium III 1000 Mhz	512 MB	Windows 2000	
Client4	Pentium II 400 Mhz	512 MB	Windows 2000	

Tabelle 5.2 Verwendete Hardware. OS = Operating System (das verwendete Betriebssystem)

Für den Test des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten und besprochenen Prototyps stehen insgesamt 6 PCs und eine Workstation zur Verfügung. Die Workstation und zwei PCs werden als Server Rechner verwendet. Die anderen vier PCs dienen zum Test des Java Applets auf der Client Seite.

Zum Test der Audio- und Videosignalübertragung werden die Rechner Client3 und Client4 verwendet. Beide sind mit Creative Soundblastern ausgestattet. Es werden zwei Headsets von Arowana und Intel verwendet. Zur Videosignalübertragung ist Client3 noch zusätzlich mit einer WinTV Videokarte und einer CCD-Farbkamera von Hauppauge ausgestattet. Die Videokamera hat eine Auflösung von 512x582 Pixel. An Client 4 ist die CCD-Farbkamera ToUcam Pro von Philips über einen USB Port angeschlossen. Die Kamera hat eine Auflösung von 640x480 Pixel.

Alle Rechner befinden sich innerhalb des DKFZ Intranets und sind über Ethernet Technologie miteinander verbunden. Die Bandbreite beträgt 10 Mbit/s. Tabelle 5.2 auf Seite 61 zeigt die verwendete Hardware im Detail.

5.7.2 Software

Für die Übersetzung des Java Quellcodes wird das JDK Version 1.3.1 von Sun Microsystems, Inc. verwendet. Als Interpreter für den Java Bytecode auf den Server Rechnern dient die Version 1.1.7B des JDK für DEC Unix bzw. Linux.

Von den Java Bibliotheken, die nicht zum JDK gehören, werden folgende Versionen verwendet: Java 3D 1.2, JSWT 2.0 und JMF 2.1.1.

Zum Übersetzen des C/C++ Quellcodes wird unter Unix (Server3) der GNU Compiler für C/C++ Version 2.95.2 verwendet und unter Linux egcs-2.91.66.

Auf den drei Serverrechnern ist der Web-Server von Apache in folgenden Versionen installiert: 1.3.9 (Server3 und Server1) und 1.3.14 (Server2).

Die für C++ verwendete CORBA Implementierung ist ORBacus 3.1.3 von Object Oriented Concepts, Inc. (OOC) [OOC 99]. Für Java wird die CORBA Implementierung des Java Standards, wie sie in den Internetbrowsern von Microsoft und Netscape zu finden ist, verwendet. Bei der zugrunde liegenden PVM Version handelt es sich um PVM3, in der Version 3.4.3. Zum Test des Java Applets stehen auf den Client Rechnern folgende Internetbrowser zur Verfügung: Netscape Communicator 4.73, Netscape 6, Netscape 6.1, Microsoft Internet Explorer 5 und Microsoft Internet Explorer 5.5. Zusätzlich ist auf den Client Rechnern das Java-PlugIn Version 1.2.2 zusammen mit dem HTML Konverter 1.2 von Sun installiert. Zur Erstellung der HTML Seiten wird Netscape Composer 4.73 verwendet.

Die in dieser Arbeit untersuchte Version von Microsoft NetMeeting ist Windows NetMeeting 3.01. In Tabelle 5.3 auf Seite 62 sind die Softwareinstallationen im Einzelnen angegeben.

Software	Version	Beschreibung	Rechner
Internet Explorer	5	Internetbrowser	Client 2
Internet Explorer	5.5	Internetbrowser	Client 1, Client 3, Client 4
Netscape	6	Internetbrowser	Client 1, Client 2, Client 3
Netscape	6.1	Internetbrowser	Client 4
Netscape Communicator	4.73	Internetbrowser	Alle Clients
Java PlugIn	1.2.2	PlugIn Software von Sun für erweiterte Java Bibliotheken	Client 1, Client 2, Client 3
NetMeeting	3.01	Telekonferenzsoftware von Microsoft	Alle Clients
PVM3	3.4.3	PVM Software und C Bibliothek	Server 1, Server 3
ORBacus	3.1.3	CORBA Implementierung für C++	Server 1, Server 3
Apache	1.3.14	Web Server	Server 2
Apache	1.3.9	Web Server	Server 1, Server 3
JMF	2.1.1	Java Bibliothek zur Realisierung der Videokonferenz sowie zur Medienwiedergabe	Alle Clients
JSDT	2.0	Java Bibliothek zur Realisierung der Telekonferenz	Server 1 (als JAR Datei zum Herunterladen)
Java 3D	1.2	Java Bibliothek zur Darstellung von 3D Szenen	Alle Clients
egcs	2.91.66	Übersetzung des C/C++ Quellcodes	Server 1
GNU C/C++	2.95.2	Übersetzung des C/C++ Quellcodes	Server 3
JDK	1.1.7B	Java Interpreter für Unix und Linux	Server 1, Server 3
JDK	1.3.1	Übersetzung des Java Quellcodes und Java Interpreter	Client 3, Server2

Tabelle 5.3 Verwendete Software.

KAPITEL 6

IRIS – Das Systemkonzept

Hier wird das Systemkonzept von IRIS beschrieben, wie es im Rahmen dieser Arbeit entworfen wurde. IRIS ist ein internetbasiertes Client-Server System mit Multiuser-Funktionalität. Der Client besteht aus einer grafischen Benutzeroberfläche, die alle verfügbaren Funktionalitäten in einem Java Applet integriert. Der Server besteht aus mehreren Prozessen, die verteilt in einem heterogenen Netzwerk laufen können. Diese Serverprozesse kommunizieren mit dem Applet über CORBA. Insgesamt ist IRIS in folgende funktionale Einheiten zu unterteilen: ein Isodosenatlas, ein Tutorial, ein Diskussionsforum, eine Telekonferenz, eine Planungskomponente, Wissensakquisition und Systemadministration. Einzelne Komponenten interagieren miteinander und ergänzen sich. Der Server besteht aus Rechenmodulen und Verwaltungsmodulen. Das wissensbasierte System TAPIR ist in den Gesamtaufbau eingebettet. Die von IRIS übermittelten Daten sind in der Regel anonym. Es besteht die Möglichkeit, Daten auch verschlüsselt zu übertragen. Es werden Lösungen zur zeiteffizienten Übermittlung von Bilddaten und zur Kommunikation durch eine Firewall erarbeitet. Verschiedene Alternativen der möglichen Systeminstallation werden aufgezeigt.

6.1 Allgemeines

6.1.1 Vorbemerkung

Dieses und die folgenden zwei Kapitel 7 und 8 beschreiben die Ergebnisse der Promotionsarbeit. Wesentlicher Teil der Ergebnisse ist das in diesem Kapitel erläuterte Systemkonzept von IRIS. Mit dem in Kapitel 7 ab Seite 98 beschriebenen Prototypen wird das erarbeitete Systemkonzept verifiziert. Hierzu wird das Konzept durch den Prototypen für die Verifikation in wesentlichen Teilen realisiert. Die durch den Prototypen realisierten Teile sind in diesem Kapitel in den Grafiken grün gekennzeichnet. Die gelb gerahmten Teile wurden getestet, sind aber noch nicht in den Prototypen eingebunden oder sie sind in Ansätzen realisiert. Die dunkelblau gerahmten Teile sind im Prototypen nicht implementiert sondern wurden in dieser Promotion als Entwurf erarbeitet. Im Text dienen, analog zu den Grafiken, grüne, gelbe und dunkelblaue Punkte an den Überschriften als Markierungen. Befindet sich ein farbiger Punkt mitten im Text, dann bezieht sich dieser auf den Realisierungsstatus des im vorangehenden Satz beschriebenen Konzeptteils.

Es war nicht Ziel der Promotion, den Entwurf vollständig zu implementieren. Der Schwerpunkt der Promotion lag vielmehr auf der Konzipierung des Systems und der Erarbeitung geeigneter Methoden zur Realisierung des Konzepts.

6.1.2 Gesichtspunkte der Konzeptentwicklung

IRIS ist ein Client-Server System, dessen Client aus einem Java Applet und mehreren HTML Seiten besteht. Applet und HTML Seiten werden in einem Internetbrowser ausgeführt.

Der Server besteht aus mehreren parallel ablaufenden Prozessen einzelner Servermodule, die auf einem oder auch mehreren verschiedenen Rechnern in einem heterogenen Netzwerk verteilt sein können. Primär sind als Plattform für die Serverprozesse Unix und Linux vorgesehen. Einige Serverprozesse können aber auch durchaus unter Windows NT oder Windows

2000 installiert werden. Auf die Serverprozesse wird noch in Abschnitt 6.15 auf Seite 89 genauer eingegangen werden.

IRIS ist als Multiusersystem konzipiert. Es können also mit dem Java Applet mehrere Benutzer gleichzeitig auf den Server zugreifen.

Bei der Entwicklung des Systemkonzepts von IRIS spielen folgende Gesichtspunkte eine Rolle:

- Ziel des Systems ist in erster Linie der Wissens- und Erfahrungsaustausch in der dreidimensionalen Strahlentherapieplanung über das Internet. Darüberhinaus soll das System aber auch direkt bei der Erstellung von Bestrahlungsplänen unterstützen und Möglichkeiten zur kooperativen Forschung und Behandlungsplanung bieten. Aus diesem Ziel leitet sich der Systemname ab: **I**nternetbased **R**adiotherapy **I**nformation and **P**lanning **S**ystem (IRIS).
- Das System soll für jeden, der in der Strahlentherapieplanung tätig ist, frei über das Internet zugänglich sein und mit möglichst geringem Aufwand betrieben werden können. Daher wird bei der Erstellung des Konzeptes nicht nur auf eine möglichst einfache Handhabung geachtet, sondern auch auf eine einfache Installation. Zur einfachen Installation gehört vor allem, dass das System auf den am meisten verbreiteten Internetbrowsern möglichst ohne große Zusatzinstallationen lauffähig ist. Als die gängigsten Internetbrowser werden die Produkte von Netscape für Unix, Linux und Windows sowie der Internetexplorer von Microsoft für Windows betrachtet. Zusätzlich muss die Kommunikation durch eine Firewall berücksichtigt werden, da die meisten Kliniken, Universitäten und Forschungseinrichtungen durch eine Firewall geschützt sind und daher nur eine eingeschränkte Kommunikation über das Internet zulassen.
- Das System soll im internationalen Rahmen einsetzbar sein. Es ist daher wichtig, für den gemeinsamen Austausch von Informationen, soweit vorhanden, internationale Standards zu verwenden. Dies bezieht sich nicht nur auf den Datenaustausch, sondern auch auf die Kodierung der Behandlungsfälle und die Wahl der Sprache als Kommunikationsmittel. Menüs, Meldungen und Anleitungen von IRIS sind daher ausschließlich in Englisch abgefasst.
- Schon vorhandene Software soll in das System integriert werden, so dass die Funktionalität dieser Software zum Erreichen der Ziele von IRIS optimal genutzt werden kann.
- Das System soll in ein KIS (Krankenhausinformationssystem) integriert werden können, auch wenn die Anwendung im Internet im Vordergrund steht.

6.2 Die funktionalen Module im Überblick

Um dem Ziel des Wissens- und Erfahrungsaustausches sowie der kooperativen Forschung und Therapieplanung gerecht zu werden, werden in IRIS mehrere verschiedene Komponenten entwickelt, die sich in ihrer Funktionalität gegenseitig ergänzen und daher entsprechend miteinander verbunden und in das Gesamtsystem integriert werden. Diese verschiedenen funktionalen Einheiten haben mit dem IRIS Java Applet eine gemeinsame Benutzeroberfläche. Im Folgenden sollen diese funktionalen Module kurz vorgestellt werden.

- Der *Isodosenatlas* ist zur geordneten Präsentation von Bestrahlungsplänen konzipiert. Aus Beispielpänen kann am besten der aktuelle Stand von Planungs- und Bestrahlungstechniken abgelesen werden. Daher kommt der Fähigkeit des Isodosenatlases, Pläne präsentie-

ren zu können, eine zentrale Rolle zu. Das Planpräsentationsmodul des Atlases wird von allen anderen Komponenten verwendet.

- Das *Diskussionsforum* bietet eine Basis für den gemeinsamen Gedankenaustausch oder für eventuelle Fragen an die anderen Benutzer von IRIS. Im Forum können kommentierte Pläne, Bilder, Videosequenzen, Audiosequenzen und Textbeiträge abgelegt werden. Einträge werden mit einer relationalen Datenbank verwaltet. Damit folgt die Grundfunktionalität des IRIS Diskussionsforums dem Konzept der im Internet sehr zahlreich anzutreffenden Newsgroups. Das Konzept des IRIS Diskussionsforums ist aber speziell auf die Bedürfnisse der Strahlentherapie zugeschnitten und verfolgt damit das Ziel, die anfallenden Daten systematisch zu ordnen, was über die chronologische Gliederung und grobe Ordnung der meisten Newsgroups hinausgeht. Über das Diskussionsforum können auch Beiträge für die Aufnahme in die TAPIR Wissensbasis vorgeschlagen werden.
- Das *Tutorial* vermittelt Grundlagen der Strahlentherapie. Darüber hinaus will es aber auch den aktuellen Stand der Forschung wiedergeben und über neue Bestrahlungs- und Planungstechniken Auskunft geben. Dabei werden Techniken, die derzeit in der Therapie am Patienten angewandt werden, von denen die sich noch im Forschungsstatus befinden deutlich abgegrenzt. Anhand von angeleiteten Beispielplänen können interaktiv Planungsweisen erlernt und getestet werden. Das Tutorial will damit sowohl Studierende und Anfänger als auch erfahrene Professionelle erreichen.
- Die *Planungskomponente* ist eigentlich kein separates Modul, sondern eine funktionale Erweiterung des Isdosenatlases, vom reinen Präsentationstool weg und hin zu einem Modul, mit dem es möglich ist, aktiv Pläne zu modifizieren bzw. zu erstellen.
- Die *Tele- bzw. Videokonferenzkomponente* dient zur Kommunikation mit Kommilitonen, Kooperationspartnern oder anderen Kontaktpersonen. Sie ermöglicht ein gemeinsames internetbasiertes Lernen, Bearbeiten und Diskutieren von Plänen bzw. Planungstechniken.
- Die *Wissensakquisitionskomponente* steht nur einem kleinen Benutzerkreis zur Verfügung. Dieses Gremium besteht aus Personen, die zur Aufnahme von Plänen in die Wissensbasis von TAPIR autorisiert sind. Mit Hilfe des Moduls können die von anderen Therapeuten vorgeschlagenen Pläne in die Wissensbasis geschrieben und mit Optimierungsanweisungen versehen werden. Um den verschiedenen Schulen der Bestrahlungstechniken gerecht zu werden, empfiehlt es sich, den autorisierten Personenkreis möglichst breit zu halten [Zink 89]. Damit Personen aus unterschiedlichen Instituten Zugriff auf die Wissensbasis haben, ist dieses Modul ebenfalls als Internet-Anwendung realisiert. Das bedeutet, dass dieses Modul ebenfalls im Java Applet eingebettet ist. Die Wissensakquisition ermöglicht es, therapeutisches Wissen im Internet zu sammeln, so dass jederzeit eine dynamische Aktualisierung des Systems möglich ist und der aktuelle Stand der Forschung präsentiert werden kann.
- Ein *Administrationsmodul* dient der Konfiguration und Administration von IRIS. Dieses Modul ist ebenfalls internetbasiert, damit dem Administrator ein ortsunabhängiger und schneller Zugriff auf das System gewährleistet wird.

6.3 Integration der Module im Internetbrowser

6.3.1 Das IRIS Java Applet ?

Die einzelnen Module von IRIS sind seitens des Internetbrowsers in einem einzigen Java Applet zusammengefasst. Dieses „zentrale“ Java Applet ist in einer HTML Seite, der IRIS Startseite, eingebunden. Die Startseite und das Applet können vom IRIS Server herunter geladen werden. Nach dem Herunterladen kommunizieren die einzelnen Module des Applets mit den entsprechenden Modulen des Servers. Abbildung 6.1 gibt einen groben Überblick über die im Applet integrierten Module und den entsprechenden Komponenten des Servers.

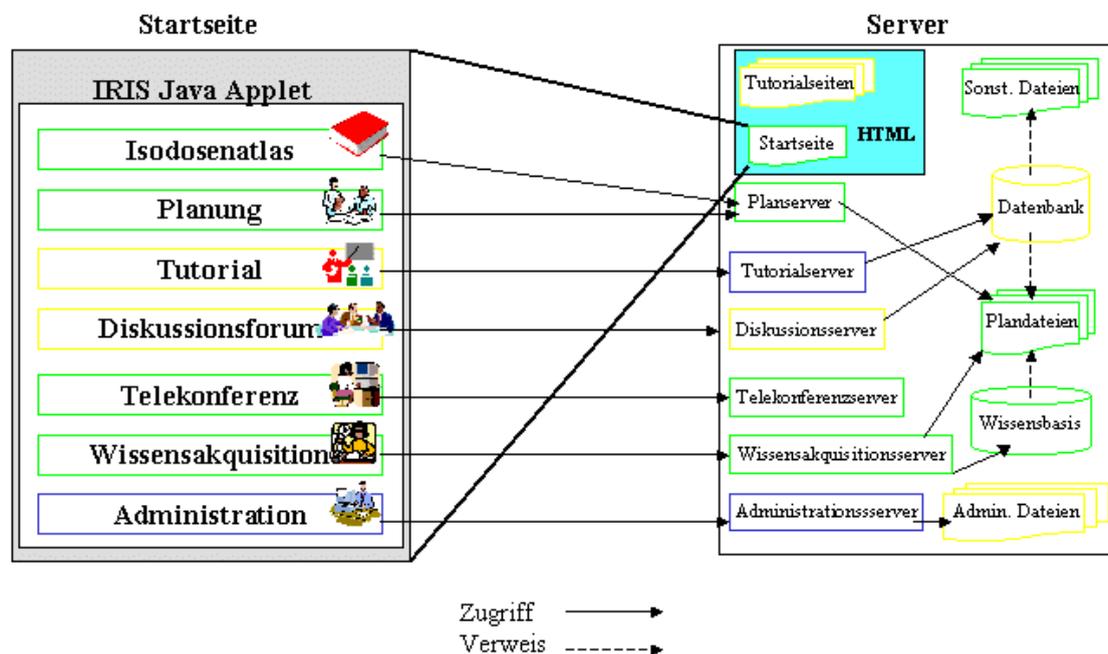


Abbildung 6.1 Integration der IRIS Module und Serverübersicht. Die Abbildung zeigt die Integration der funktionalen Module durch das IRIS Java Applet (links). Rechts sind die wichtigsten Komponenten des Servers dargestellt. Die HTML Seiten sind in der Abbildung des Servers (links) hellblau unterlegt. Die linke Darstellung mit den Modulen des Java Applets ist gleichzeitig eine Vergrößerung der im Server eingezeichneten HTML Seite "Startseite". Die "Tutorialeiten" beinhalten die kleineren Applets des Tutorials. Die grünen Teile sind durch den in Kapitel 7 beschriebenen Prototypen realisiert. Die Gelben sind in Ansätzen realisiert bzw. sind getestet, aber nicht im Prototypen eingebunden. Die anderen Teile sind als Konzept vorhanden.

Auf das genaue Zusammenspiel der gezeigten Komponenten und die Konzipierung der einzelnen funktionalen Module wird in den folgenden Abschnitten noch genauer eingegangen werden.

Neben dem zentralen Applet involviert IRIS noch mehrere kleinere Java Applets, die lediglich der Darstellung von Animation, Videos und kleinerer Interaktionen mit dem Benutzer im Tutorial dienen. Die Daten, die diese kleinen Applets vom Server beziehen, sind eher einfach. Die vom zentralen Java Applet angebotene Funktionalität sowie der Datenaustausch zwischen dem Applet und dem Server sind dagegen sehr komplex. Das zentrale Applet wird im Folgenden auch als IRIS Java Applet bezeichnet.

Die Integration der einzelnen Module in einem einzigen Applet ermöglicht das einfache Zusammenspiel und den direkten Datenaustausch der Module untereinander. Daten können über gemeinsam genutzte Datenstrukturen direkt untereinander ausgetauscht werden, ohne Umweg über den Server.

6.3.2 Die Benutzeroberfläche von IRIS ?

Um die komplexe Funktionalität von IRIS für den Benutzer so übersichtlich wie möglich zu machen, ist das Applet fensterorientiert gestaltet. Das Hauptfenster lässt über eine Menüzeile den Zugriff auf alle Module und Funktionen zu.

Die fensterbasierte Benutzeroberfläche dient nicht nur der Integration der einzelnen Module und der übersichtlichen Präsentation komplexer Strukturen und Funktionen, sondern ist vor allem dem Benutzer vertraut und macht das System damit einfacher bedienbar. Es besteht optisch und in der Bedienung kein Unterschied zwischen der internetbasierten Anwendung IRIS und einer beliebigen lokal installierten Applikation.

6.3.3 Die UML Modelle in diesem Kapitel

In den sich nun anschließenden Abschnitten werden die einzelnen Module sowie deren Funktionalität und technische Konzeption ausführlicher beschrieben. Für die Modellierung der Systemarchitektur wird UML (Unified Modeling Language) verwendet. Für eine genauere Erläuterung der verwendeten Syntax sei auf die Literatur verwiesen [Rational 97]. Jedem UML Modell ist noch einmal die Übersicht aus Abbildung 6.1 vorangestellt. Die rot gekennzeichneten Elemente der vorangestellten Übersichten werden in dem nachfolgenden UML Modell detaillierter dargestellt.

6.4 Der Isodosenatlas ?

6.4.1 Das Planpräsentationsmodul

Eine wesentliche Komponente des Isodosenatlases ist das Modul zur Planpräsentation. Es bietet verschiedene Darstellungen zur Betrachtung eines Bestrahlungsplanes an, wie sie dem Anwender weitestgehend aus gängigen Planungssystemen schon vertraut sind (siehe hierzu auch Abschnitt 4.3, Seite 34).

6.4.2 Quellen eines Bestrahlungsplanes

Der im Planpräsentationsmodul angezeigte Plan kann aus verschiedenen Quellen stammen:

1. Skelettplan aus der Wissensbasis von TAPIR
2. Ein von TAPIR zur Laufzeit generierter Beispielplan
3. Ein von TAPIR zur Laufzeit anhand von konkreten Falldaten generierter Plan.
4. Ein angeleiteter Beispielplan aus dem Tutorial. Dieser Plan kann durchaus gleichzeitig in der Wissensbasis stehen.
5. Ein Plan, der als Beitrag im Diskussionsforum abgelegt wurde
6. Ein Plan, der vom Benutzer selbst in das System geladen wurde
7. Für den Fall, dass IRIS im Rahmen eines KIS verwendet wird, Pläne aus der Patientenakte bzw. dem Fallarchiv der behandelnden Institution

Ein Isodosenatlas ist ein Referenzwerk mit beispielhaften Plänen zu bestimmten Behandlungsfällen. Somit werden im Isodosenatlas mit der Planpräsentation Pläne der Punkte 1-3 angezeigt.

Neben der Verwendung von bereits vorhandenen Plänen steht es dem Benutzer frei, auch eigene Daten durch die Planpräsentation anzeigen zu lassen. Für die Beschreibung der Handhabung von Plänen aus Punkt 4-7 wird auf spätere Abschnitte dieses Kapitels verwiesen.

Die Pläne der Punkte 1-5 sind vollkommen anonymisiert und beinhalten keine Daten, die auf den Patienten schließen lassen. Auch die Pläne aus Punkt 7 sind bei Nutzung im Intranet unproblematisch. Ein Problem des Datenschutzes kann sich lediglich bei Plänen aus Punkt 6 und 7 ergeben, wenn diese anderen Therapeuten über das öffentliche Netz zur Verfügung gestellt werden sollen. Auf diese Problematik soll in Abschnitt 6.17 auf Seite 92 noch näher eingegangen werden.

6.4.3 Auffinden eines Planes im Atlas?

In erster Linie können Pläne durch Spezifikation der Tumorlokalisation aufgefunden werden. Die Tumorlokalisation liegt sowohl in Form einer verbalen Beschreibung als auch kodiert vor. Die Suche kann durch Angabe der Tumormorphologie sowie der Tumorhistologie weiter eingeschränkt werden. Auch hier sind verbale und kodierte Formen parallel möglich. Eine weitere Einschränkung des Suchresultates kann durch die Wahl der Bestrahlungstechnik erreicht werden.

Von den in Abschnitt 4.4 auf Seite 36 aufgeführten Kodierungsmöglichkeiten der Tumorlokalisation eignen sich zur Verwendung in IRIS insbesondere der ICD-O und der ICRU Schlüssel, da es sich bei beiden um internationale Standards handelt. Für die Sortierung der Fälle im Isodosenatlas wird der ICD-O dem ICRU vorgezogen. Der Vorteil des ICD-O liegt vor allem in der zusätzlichen Beschreibungsmöglichkeit der Morphologie, was in Ergänzung mit dem TNM-System eine ziemlich genaue Beschreibung des Tumors zulässt. Dadurch wird eine differenzierte Fallsortierung und Fallauswahl möglich. Weiterhin spricht für die Wahl des ICD, dass er sowieso zur Abrechnung mit der Krankenkasse benötigt wird und somit die Diagnose häufig schon in dieser Kodierung vorliegt. Dies macht eine Verwendung des ICD leichter. In der topografischen Beschreibung ist der ICD-O gegenüber ICRU allerdings ungenauer.

Es sei angemerkt, dass der ICD-O und TNM nur Vorschläge sind, die jederzeit durch andere Kodierungen ersetzt oder erweitert werden können. Das System ist so konzipiert, dass es zwar eine Kodierung verlangt, welche aber letztendlich verwendet wird hat auf die Arbeitsweise des Systems keine Auswirkung. So kann beispielsweise unter anderem der ICRU dort eingesetzt werden, wo der ICD-O in seiner topografischen Angabe zu ungenau ist.

6.4.4 Darstellung von Plänen ?

Zur Beurteilung der Pläne werden, wie eingangs schon erwähnt, verschiedene Darstellungen angeboten. Screenshots zu diesen Darstellungen aus dem Prototyp von IRIS finden sich im nächsten Kapitel auf Seite 98ff. Weitere Abbildungen sind in Kapitel 4 auf Seite 34ff zu finden.

Der Benutzer kann die einzelnen Schichten der Bildwürfel des Planes als zweidimensionale Bilder betrachten. In diesen Schichtbildern sind die Dosisverteilung sowie die Konturen von Zielvolumen, Risikoorganen und Strahlenfeldern eingezeichnet. Als Bilddaten können CT, MR und PET Würfel mit beliebiger Anzahl von Schichten wahlweise in transversaler, frontaler oder sagittaler Sicht dargestellt werden. Die Bestrahlungsparameter werden in tabellarischer Form für jedes einzelne Strahlenfeld angezeigt. Zur weiteren Beurteilung wird ein Dosis-Volumen Histogramm mit tabellarischer Statistik über die Dosisverteilung im Zielvolu-

men und den Risikoorganen dargestellt. Um einen besseren Eindruck über die Lage der Strahlenfelder, des Zielvolumens und der Risikoorgane zueinander im dreidimensionalen Raum zu gewinnen, wird vom Isodosenatlas die Observer's Eye View angeboten. Die Beam's Eye View gibt als weitere 3D Szene einen Eindruck, welche Teile der Volumina in einem bestimmten Strahlenfeld liegen. Als Hilfe für eine bessere Orientierung innerhalb der 3D Szenen und der zweidimensionalen Schichtbilder besteht zusätzlich die Möglichkeit zweidimensionale Bilddaten in die dreidimensionale Szene einzublenden (Abbildung 6.2). Auf diese Weise können zweidimensionale und dreidimensionale Darstellung zueinander in Bezug gesetzt werden.

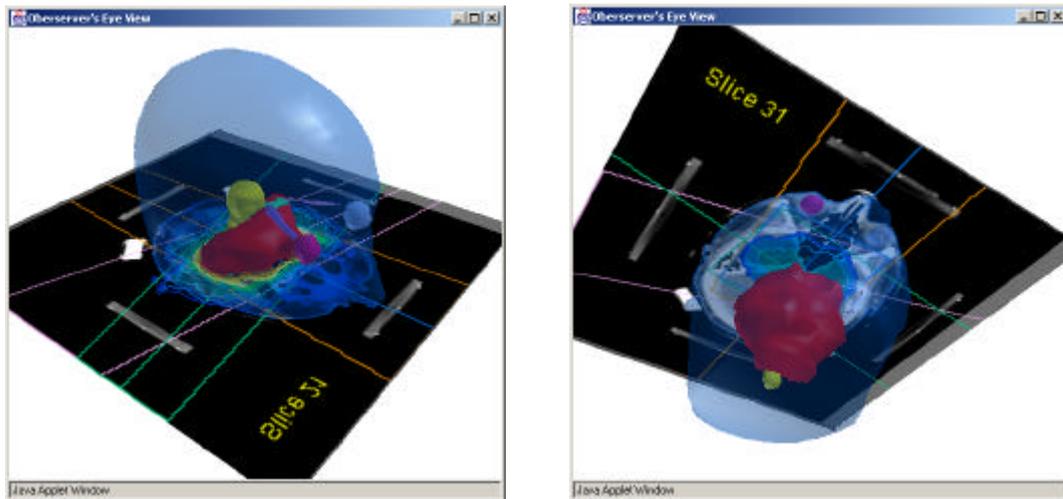


Abbildung 6.2 Observer's View in IRIS. Die Bilder zeigen zwei verschiedene Perspektiven der mit Java 3D realisierten Observer's View im IRIS Prototypen (siehe auch Abbildung 7.3, Seite 101). Die Szene ist frei im Raum drehbar, bewegbar und zoombar. Zur besseren Orientierung können wahlweise Schichten des Bildwürfels, hier CT Schichten, mit eingezeichneter Dosisverteilung und eingezeichneten Konturen von Tumor, Risikoorganen und Feldern eingeblendet werden. Die 3D Szene wird in einem separaten Applet Window, das im IRIS Hauptfenster geöffnet wird, angezeigt.

Damit ein direkter Vergleich von Plänen möglich ist, können für die einzelnen Volumina TCP und NTCP Werte angezeigt werden. Zusätzlich besteht auch die Möglichkeit der Ansicht von Kommentaren zu dem angezeigten Plan in Form von einfachen Bilddaten, Textdateien, HTML Dateien, aber auch Audio- und Videosequenzen.

6.4.5 Temporäre Plannummern

Pläne, die während einer Sitzung im Internetbrowser mit Hilfe der Oberfläche des Isodosenatlases dargestellt werden, erhalten automatisch eine temporäre Plannummer zugewiesen. Unter dieser Bezeichnung ist der Plan dem System, dem Benutzer und etwaigen Telekonferenzpartnern bekannt. Aus der Bezeichnung ist ersichtlich, welcher Benutzer den Plan als erstes geladen hat. Die Plannummer ist nur gültig solange der Benutzer eingeloggt ist bzw. solange die Telekonferenzsitzung besteht. Für eine dauerhafte Speicherung des Planes muss daher ein anderer Name vom Benutzer gewählt werden.

6.4.6 Implementierung - Einbindung von Algorithmen aus VIRTUOS und TAPIR?

Für die Realisierung des Isodosenatlases wird auf Algorithmen des Planungssystems VIRTUOS zurückgegriffen. Außerdem wird das wissensbasierte System TAPIR für die Interaktion mit dem Isodosenatlas angepasst.

Zuerst soll näher auf die Verwendung der Algorithmen aus VIRTUOS eingegangen werden. In IRIS werden Algorithmen aus VIRTUOS zum Lesen der Bilddaten, Planparameter, Konturen und der Dosisverteilung verwendet. Weiterhin werden Algorithmen integriert, die diese ausgelesenen Daten so aufbereiten, dass eine grafische Darstellung im Internetbrowser möglich ist. Hierzu müssen die C bzw. C++ Algorithmen aus dem Kontext des VIRTUOS Quellcodes gelöst und für die Verwendung in IRIS angepasst werden. Der neu entstandene Quellcode ist aus Gründen der besseren Wartbarkeit sowie der Kompatibilität mit Java und CORBA (siehe unten) ausschließlich in C++ geschrieben. Das bedeutet, dass die C Algorithmen aus VIRTUOS in objektorientierte Form gebracht werden müssen. Des Weiteren ist eine Schaffung neuer, objektorientierter Datenstrukturen notwendig, damit ein direkter Datenaustausch zwischen Server und Java Applet möglich wird. Auf diese Weise entsteht ein selbständiger Serverprozess, der für jeden Benutzer die Daten aus den Plandateien ausliest und diese verwaltet (siehe Abbildung 6.3, Seite 71). Algorithmen aus TAPIR zur Berechnung von TCP/NTCP Werten werden in ähnlicher Weise für den Gebrauch in IRIS angepasst.

6.4.7 Implementierung - Kommunikation zwischen Client und Server?

Der Datenaustausch zwischen Internetbrowser und Server ist generell in IRIS mit CORBA realisiert. Damit lässt sich ein direkter Objektaustausch zwischen den zwei Programmiersprachen Java und C++ herstellen.

6.4.8 Implementierung – Die Anbindung von TAPIR?

Grundlegendes

Neben der Darstellung des Wissens ist für die Realisierung von IRIS natürlich noch der Bezug dieses Wissens wichtig. Wie schon erwähnt, dient das wissensbasierte System TAPIR dem Isodosenatlas als Wissensquelle. Damit liegt ein „intelligenter“ Wissenspeicher vor, der es zulässt, aus dem gespeicherten Wissen neues Wissen mittels der Anwendung von vordefinierten Regeln abzuleiten. Zur Arbeitsweise von TAPIR wird auf das Kapitel 5, Abschnitt 5.1.6, Seite 40, verwiesen bzw. auf die Dissertation, in deren Rahmen das System entwickelt wurde [Keller-Reichenbecher 97]. TAPIR ist ein selbständiges System, das nicht von vornherein zum Wissensaustausch mit anderen Systemen entwickelt wurde. Es müssen also Möglichkeiten der Interaktion von IRIS mit TAPIR geschaffen werden. Dabei werden größere Eingriffe und Veränderungen im Quellcode von TAPIR möglichst vermieden, damit TAPIR noch ein selbständiges Programm bleibt. In IRIS wird auf die Realisierung einer möglichst einfachen und schmalen Kommunikationsschnittstelle geachtet, damit ein eventueller Austausch von TAPIR gegen ein anderes System keine großen Änderungen im Quellcode von IRIS verursacht. Da TAPIR in C++ geschrieben ist, wird auch in diesem Fall der Datenaustausch und die Kommunikation mit dem Java Applet über CORBA realisiert. Als Betriebssystem für TAPIR kommen sowohl Linux als auch DEC Unix in Frage.

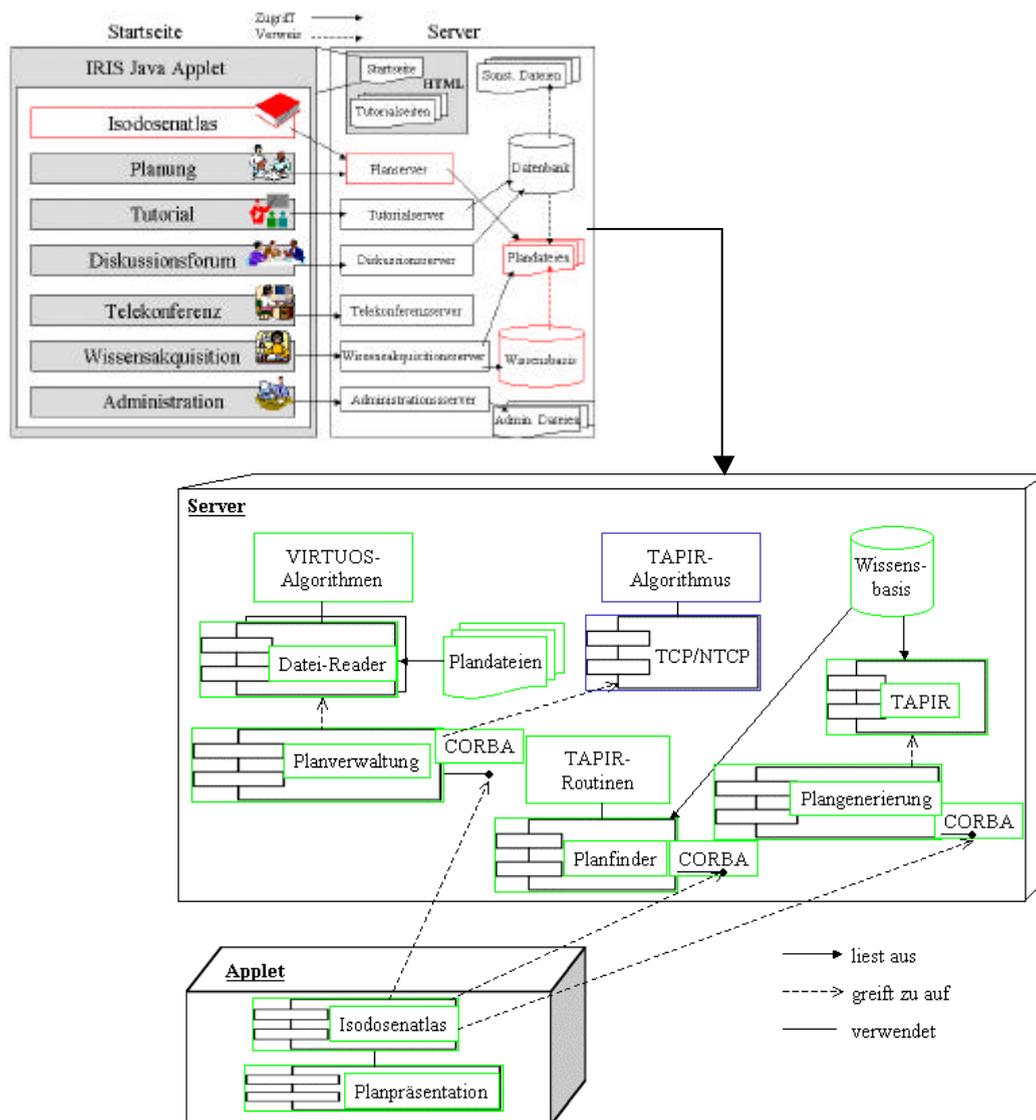


Abbildung 6.3 Modell des Isodosenatlasses. Das UML Modell zeigt die drei Komponenten Planverwaltung, Planfinder und Plangenerierung des Isodosenatlasses. Sie tauschen über eine CORBA Schnittstelle Daten mit dem Java Applet über das Internet aus. Die Planverwaltung liest Daten aus den verschiedenen Dateien eines Planes aus, bereitet sie zur Anzeige auf und verwaltet die während einer Sitzung geladenen Pläne. Hierzu werden verschiedene Dateilesemodule verwendet. Jeweils eines für Bilddaten, Konturdaten, Dosis usw. Für die Berechnung der TCP/NTCP Werte gibt es ebenfalls ein eigenes Modul. Der Planfinder sucht in der Wissensbasis von TAPIR nach Skelettplänen zur Anzeige. Die Plangenerierung steuert die automatische Generierung voroptimierter Pläne durch TAPIR.

Anzeige des Inhalts der Wissensbasis ?

Bei der Anbindung von TAPIR an IRIS muss zwischen zwei Arten von präsentiertem Wissen unterschieden werden.

1. Skelettplänen, wie sie in der Wissensbasis stehen.
2. Automatisch generierte Bestrahlungspläne.

Für die Anzeige der Skelettpläne wird nur der Zugriff auf die Wissensbasis benötigt. Bei der automatischen Generierung von Bestrahlungsplänen dagegen muss das komplette TAPIR System einbezogen werden.

TAPIR stellt bereits Routinen zum Auslesen und Einlesen der Wissensbasis bereit. Für den Isodosenatlas wird ein Modul entwickelt, das Abfragen zum Suchen in der Wissensbasis definiert (siehe Abbildung 6.3). Des Weiteren muss das Modul geeignete Datenstrukturen sowie

eine CORBA Schnittstelle zur Kommunikation zwischen TAPIR und dem Internetbrowser bieten.

Die Skelettpläne in der Wissensbasis von TAPIR enthalten lediglich Angaben, die zur automatischen Plangenerierung wichtig sind. Im Wesentlichen sind dies die Bestrahlungsparameter. Weitergehende Informationen zu dem ursprünglich zugrundeliegenden Tumor fehlen, abgesehen von der Lokalisationsangabe. Soll aber ein Skelettplan in IRIS als vollwertiger Beispielpfad angezeigt werden, so ist die Verfügbarkeit von medizinischem Bildmaterial, Konturdaten und der Dosisverteilung wünschenswert. Daher muss für die Verwendung in IRIS die Wissensbasis so abgeändert werden, dass diese Informationen in Form von Dateien zur Verfügung stehen.

TAPIR sortiert die Skelettpläne ausschließlich nach topologischen Gesichtspunkten. In IRIS soll aber eine zusätzliche Klassifizierung nach Morphologie, Histologie, Malignität und Bestrahlungstechniken möglich sein. Daher werden die Skelettplan-Frames hinsichtlich dieser Angaben um zusätzliche Slots erweitert.

Automatische Plangenerierung – bisherige Arbeitsweise von TAPIR

Für das bessere Verständnis des Konzeptes von IRIS sei hier kurz noch einmal auf die Arbeitsweise von TAPIR als selbständiges System eingegangen (siehe hierzu auch Kapitel 5, Abschnitt 5.1.6 auf Seite 40).

Nach dem Systemstart wartet TAPIR auf das Vorhandensein der Tokendatei in einem bestimmten, bei der Installation festgelegten, Verzeichnis. Befindet sich die Tokendatei in dem Verzeichnis, so startet TAPIR die Prozesse zur automatischen Plangenerierung. Pro Skelettplan, der zu der in der Tokendatei angegebenen Tumorlokalisierung existiert, wird eine Prozessreihe gestartet. Sind alle Pläne generiert, so beendet sich TAPIR nicht, sondern kehrt wieder in eine Systemschleife zurück.

Für die Einbindung von TAPIR in IRIS muss nun ein Modul entwickelt werden, das für jede Benutzeranfrage automatisch die Tokendatei generiert und in das definierte Verzeichnis kopiert. Außerdem muss das IRIS Modul TAPIR starten, beenden und die von TAPIR generierten Ergebnisdateien weiter verarbeiten.

Automatische Plangenerierung – Einbindung von TAPIR in IRIS ?

TAPIR ist in IRIS als parallel ablaufender Subprozess eingebunden (Abbildung 6.3, Seite 71). Für die Prozessverwaltung nutzt IRIS generell PVM. Die Prozessverwaltung wird in Abschnitt 6.15 auf Seite 89 erläutert. Die Arbeitsweise des IRIS Moduls, das zur Einbindung von TAPIR entwickelt wurde kann wie folgt beschrieben werden:

Um Pläne für einen individuellen Patientendatensatz zu generieren, muss ein Benutzer verschiedene Dateien zur Verfügung stellen. Diese Patientendaten bestehen aus einem CT-Bildwürfel und Konturdaten von Zielvolumen und Risikoorganen. Zu diesen Daten sollen neue Pläne generiert werden. Das IRIS Modul muss die Tokendatei generieren und diese in das Verzeichnis kopieren, in dem sie von TAPIR erwartet wird. Daraufhin wird TAPIR von dem Modul gestartet und IRIS wartet bis die Plangenerierung beendet ist. Die automatische Erkennung der Beendigung der Plangenerierung ist problematisch, da TAPIR auch nach der Plangenerierung in keinen Haltezustand übergeht. Daher wurde TAPIR so abgeändert, dass nach der Plangenerierung eine Datei erzeugt wird, die signalisiert, dass alle Plandateien generiert wurden. Daraufhin wird TAPIR durch IRIS beendet und der Inhalt der Ergebnisdateien zur grafischen Darstellung an den Internetbrowser übertragen. Für die Präsentation der Ergebnisse wird das Planpräsentationsmodul genutzt.

Analog hierzu funktioniert auch die automatische Plangenerierung anhand von Beispieldaten. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass die zugrundeliegenden Daten nicht vom Benutzer stammen, sondern aus Beispieldateien von IRIS.

Eine schematische Darstellung der automatischen Plangenerierung in IRIS ist in Abbildung 6.4 gegeben.

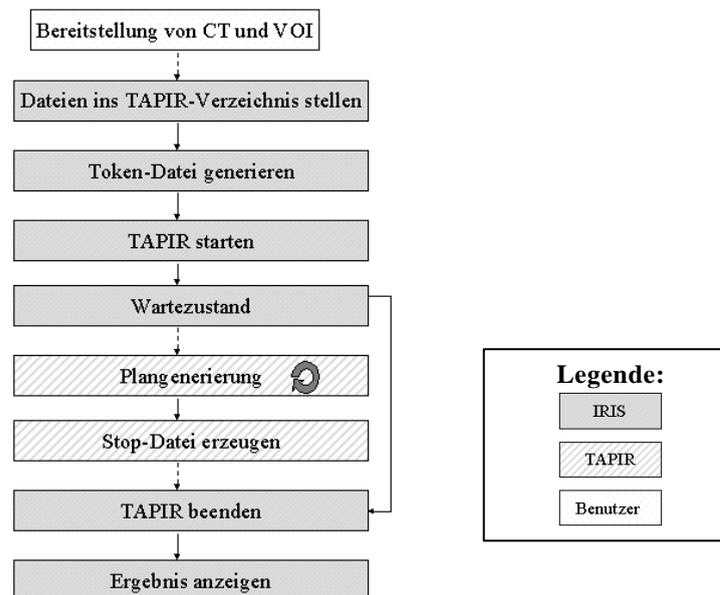


Abbildung 6.4 Automatische Plangenerierung in IRIS. Die Abbildung zeigt schematisch die automatische Plangenerierung in IRIS. Für die Darstellung der Plangenerierung in TAPIR wird auf Abbildung 5.2, Seite 42 verwiesen. Unter VOI (Volume of Interest) werden die Konturen von Zielvolumen und Risikoorganen verstanden. IRIS geht nach dem Start von TAPIR in einen Wartezustand solange bis die Stop-Datei vorhanden ist.

6.4.9 Implementierung der Darstellungen – Nutzung von Java 3D und JMF

Für die Realisierung der verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten im Planpräsentationsmodul werden ausschließlich Java Bibliotheken von Sun verwendet. Dadurch entsteht auf Client Seite ein homogenes Java Applet, das eingebettet in einer HTML Seite läuft. Mit Java 3D wird die Darstellung der 3D Szenen realisiert. Mit Hilfe von Texturen lassen sich die zweidimensionalen Bilddaten in die dreidimensionale Szene hinein projizieren (siehe Abbildung 6.2, Seite 69). Java 3D bietet auch Möglichkeiten zur transparenten Darstellung der Objekte und zur Realisierung von Benutzerinteraktionen, wie Zoom, Rotation und Translation der Szene.

Für die Wiedergabe von Audio- und Videodateien existiert ein mit JMF realisierter Media-Player. Der Inhalt der gewünschten Mediendatei wird vom Server heruntergeladen und im Applet abgespielt. So können beispielsweise Kommentare zu Plänen auch als gesprochener Text eingefügt oder durch Videosequenzen verdeutlicht werden. Der Media-Player findet aber auch bei der Wiedergabe von Lehrvideos im Tutorial seine Anwendung (Abschnitt 6.7, Seite 77).

Für die Anzeige von HTML Texten wird jeweils ein neues Browser Fenster mit dem gewünschten Text geöffnet. Hierfür stellt der Standardsprachumfang von Java Möglichkeiten zur Verfügung. Für die Darstellung von einfachen Bilddaten in den Formaten GIF und JPEG bietet Java ebenfalls Funktionen, mit denen ein Applet-Fenster zur Bildbetrachtung realisiert ist.

6.5 Die Planungskomponente ?

6.5.1 Allgemeine Funktionalität

IRIS soll kein Planungssystem ersetzen. Trotzdem bietet es eine eingeschränkte Planungsfunktionalität an. Die mit IRIS erstellten bzw. modifizierten Pläne können schließlich in einem Planungssystem weiterverarbeitet werden.

Mit der Planungskomponente steht unter anderem Auszubildenden ein Übungswerkzeug zur praktischen Vertiefung des durch das IRIS Tutorial vermittelten Wissens zur Verfügung.

6.5.2 Protokollierung der Änderungen ?

Wird ein geladener Plan mit Hilfe der Planungskomponente modifiziert, so werden diese Aktionen automatisch von IRIS protokolliert. Zusätzlich kann der Benutzer aber auch manuelle Eintragungen in diesem Protokoll vornehmen. Das Protokoll wird zusammen mit dem Plan als Text- oder HTML Datei abgespeichert. Für die Umwandlung von Text- in HTML Dateien existiert in IRIS ein eigens zu diesem Zweck entwickeltes Modul. Das Protokoll kann damit in einem eigenen Browserfenster angezeigt werden und dem Benutzer stehen Druck- sowie Speicherfunktionen des Browsers zur Verfügung.

6.5.3 Implementierung

Die Planungskomponente wird unter Verwendung von Algorithmen aus dem Planungssystem VIRTUOS realisiert. Die Algorithmen werden entsprechend dem Bedarf in IRIS angepasst.

Zur Dosisberechnung ist in IRIS als selbständiger Serverprozess der am DKFZ entwickelte Algorithmus DC09 integriert.

Auf der Seite des Internetbrowsers verfügt die Planungskomponente über keine eigene Benutzeroberfläche, sondern nutzt dafür das Planpräsentationsmodul.

6.6 Das Diskussionsforum ?

6.6.1 Allgemeine Architektur

Das Diskussionsforum bietet die Möglichkeit, Pläne, Kommentare und sonstige Beiträge dem IRIS System zur Verfügung zu stellen. Hierfür werden die entsprechenden Dateien hochgeladen und im IRIS Servernetzwerk abgelegt. Die Dateiverweise werden zusammen mit Informationen über Art und Herkunft der Daten sowie deren Bezug zu anderen Daten in einer relationalen Datenbank abgelegt. Die Kommunikation zwischen der Datenbank auf dem Server und dem Java Applet im Internetbrowser ist mit der Java Bibliothek JDBC realisiert. Durch JDBC ist es möglich, vom Applet aus mit SQL Kommandos den Datenbankinhalt zu manipulieren, die Datenbank zu verwalten und zu durchsuchen.

6.6.2 Inhaltliche Ordnung

Der Inhalt der Datenbank ist nach verschiedenen Kriterien sortiert. Es gibt drei verschiedene Kategorien, zu denen Daten gehören können. Entsprechend den Kategorien kann die Datenbank in mehrere Teilbereiche unterteilt werden, die je nachdem eine unterschiedliche Behandlung bezüglich des Aufbaus, der Verwaltung und der Zugriffsrechte erfordern.

1. Anfragen zu bestimmten Problemen, die allgemein an Strahlentherapeuten gerichtet sind. Dies können einfache Texte sein, aber auch Pläne, Planausschnitte und Bilddaten, die mit Texten, Audiosequenzen oder Videosequenzen kommentiert sein können.
2. Vorschläge für Veröffentlichungen in IRIS. Diese Vorschläge können Beiträge für das Tutorial in Form von HTML Seiten, didaktisch aufbereiteten Beispielplänen, Texten sowie Audio- und Videosequenzen sein. Andererseits können aber auch Pläne für die Aufnahme in die Wissensbasis des wissensbasierten Systems vorgeschlagen werden. Über die Annahme dieser Vorschläge entscheidet ein Fachgremium. Ist ein Vorschlag angenommen worden, wird er aus der Datenbank des Diskussionsforums gelöscht und in das Tutorial bzw. die Wissensbasis übertragen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Vorschläge vorerst zur freien Diskussion im Forum zu lassen, falls dies vom Beitragsteller gewünscht wird.
3. Diskussionsbeiträge zu bestimmten Themen. Es können im Diskussionsforum Diskussionsgruppen zu bestimmten Themen eröffnet werden. Diese Gruppen können öffentlich oder nur über ein Passwort zugänglich sein. So können beispielsweise Leitlinien zur Bestrahlungsplanung oder Qualitätskriterien erarbeitet werden.

Innerhalb der genannten Kategorien können Dateien, die zu einem bestimmten Behandlungsfall gehören, nach den gleichen Kriterien sortiert werden wie die Plandateien im Isodosenatlas. Es kann also gegebenenfalls nach Tumorlokalisation, Morphologie, Malignität und Bestrahlungstechnik gesucht werden. Im Falle von Beiträgen der Kategorie 3 kann jede Diskussionsgruppe aber auch ihre eigene Sortierung bestimmen. Des Weiteren werden die Einträge chronologisch nach Eingangsdatum sortiert. Eventuelle Antworten und Kommentare zu den Beiträgen von anderen Benutzern, werden dem jeweiligen Beitrag direkt zugeordnet.

Als weiteres Suchkriterium können alle Beiträge mit Stichwörtern indiziert und Themengruppen zugeordnet werden. Hierfür können eigene Begriffe verwendet werden. Das Diskussionsforum bietet aber auch Begriffe aus dem MeSH Code (Medical Subject Headings) als standardisierte Formen zur Auswahl an. MeSH beinhaltet in geordneter Form Stichwörter, mit denen medizinische Texte indiziert werden können. Bewährte Systeme zur Literaturrecherche in der Medizin wie z.B. Medline sind mit Hilfe dieses Codes indiziert.

6.6.3 Kommunikation per E-Mail ?

Die Beiträge werden jeweils mit einer genauen Kontaktadresse des Absenders in der Datenbank abgelegt, insbesondere die E-Mail Adresse ist wichtig. Wird ein Beitrag der Kategorie 1 beantwortet oder ein Beitrag einer anderen Kategorie von einem anderen Benutzer kommentiert, so bekommt der Absender des Beitrags vom IRIS System eine Nachricht zugesandt. Außerdem werden die Absender nach einem bestimmten Zeitraum vom System benachrichtigt und gefragt, ob ihr Beitrag gelöscht werden soll. Dies soll verhindern, dass die Datenbank mit veralteten Beiträgen überfüllt wird. Die E-Mail Adresse kann auch dazu dienen, einen Beitragsteller direkt zu kontaktieren. Hierfür stellt das Diskussionsforum eine eigene E-Mail Funktion zur Verfügung.

6.6.4 Art der gespeicherten Daten und deren Darstellung

Die Daten, die im Diskussionsforum abgelegt werden, können von ganz unterschiedlicher Gestalt sein: einfache Textdateien, HTML Dateien, Audio- und Videosequenzen, Planausschnitte, einzelne Bilder, aber auch ganze Pläne oder gar Pakete, die aus einer oder mehreren

Dateien bestehen. Der Inhalt der einzelnen Dateien kann mit der grafischen Benutzeroberfläche des Isodosenatlases angezeigt werden.

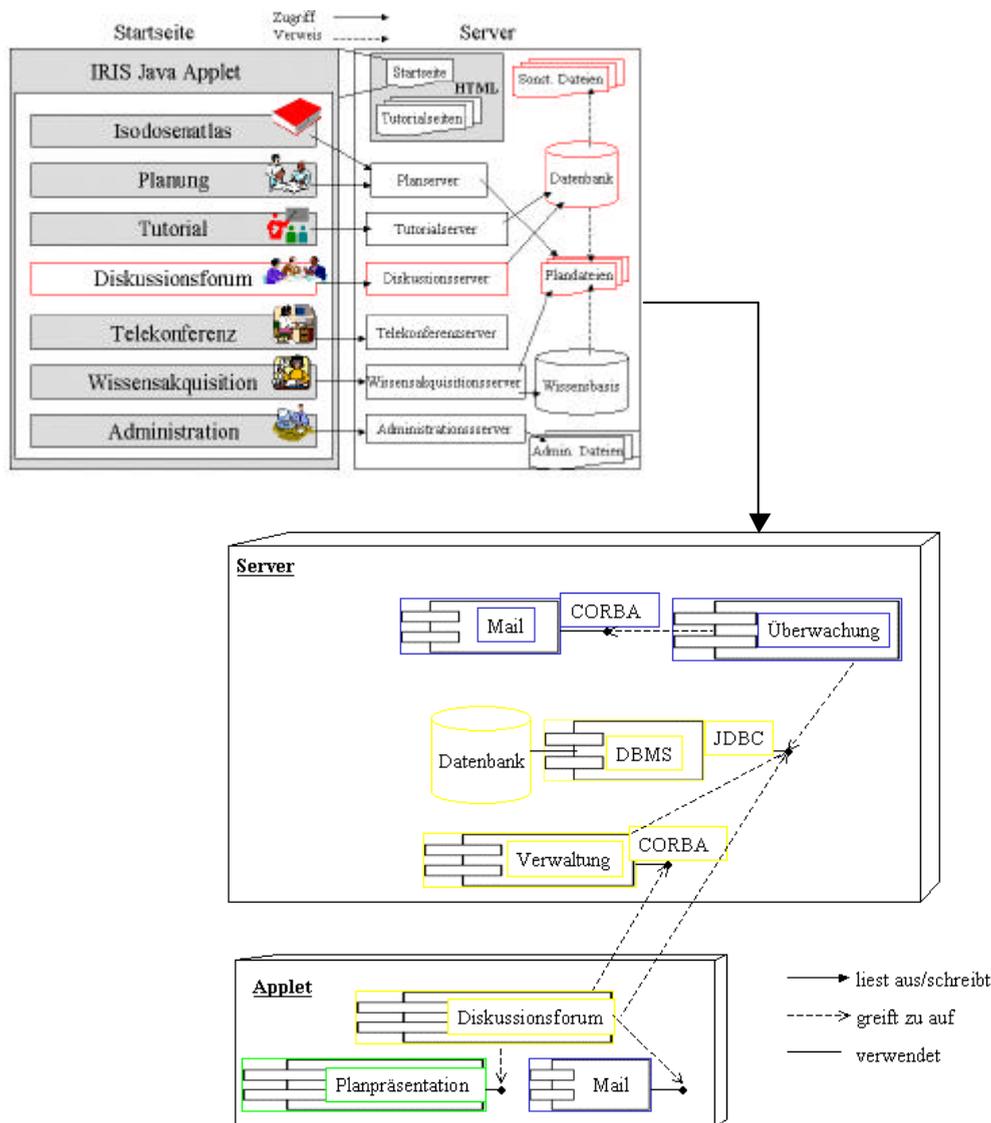


Abbildung 6.5 Diskussionsforum. Das Modell zeigt die einzelnen Komponenten des Diskussionsforums. Im Applet nutzt das Forum das Planpräsentationsmodul zur Darstellung der Datenbankinhalte sowie die Mailfunktionalität, die in allen funktionalen Modulen von IRIS zur Verfügung steht. Die Überwachungskomponente kontrolliert die Datenbank auf veraltete Einträge. Die Verwaltungskomponente kopiert die vom Benutzer hochgeladenen Beiträge in Dateien und nimmt entsprechende Einträge in der Datenbank vor. Über die JDBC Schnittstelle kann mittels SQL Kommandos der Datenbankinhalt direkt von Java Modulen aus gelesen und geschrieben werden.

6.6.5 Implementierung

Für den Datenaustausch mit dem Isodosenatlas und den anderen Teilen des Java Applets werden gemeinsame Datenstrukturen verwendet. Zum Austausch der Datenstrukturen gibt es eine Schnittstelle zwischen Diskussionsforum und den anderen Modulen.

Zum Austausch der Dateinhalte mit dem Server wird CORBA verwendet, sofern die Inhalte nicht direkt über eine HTTP Verbindung ausgelesen werden können, wie dies bei Bildern, Audio- und Videosequenzen sowie HTML Dateien der Fall ist. Hochgeladene Dateien werden von einer Verwaltungskomponente im Servernetzwerk an einen geeigneten Ort kopiert.

Diese Dateilokalisation wird in Form eines Dateiverweises von der Verwaltungskomponente in die Datenbank eingetragen. Die Kommunikation hierfür wird mittels JDBC realisiert. Für das Suchen in der Datenbank wurden entsprechende SQL Abfragen formuliert, die mittels JDBC der Datenbank übermittelt werden können.

Eine eigens für das Diskussionsforum entwickelte Überwachungskomponente sucht alte Datenbankeinträge heraus. Sie kommuniziert mit der Datenbank ebenfalls über eine JDBC Anbindung.

Die Mail-Komponente ist mit der Sun Java Bibliothek JavaMail realisiert [?](#). Sie ist ebenfalls ein Serverprozess und steht mit dem Gesamtsystem über eine CORBA Schnittstelle in Verbindung. Die Architektur des Diskussionsforums ist in Abbildung 6.5 auf Seite 76 dargestellt.

6.7 Das Tutorial [?](#)

6.7.1 Tutorial als multimediales Hypertext-Lehrwerk [?](#)

Das Tutorial ist als interaktive Multimediaanwendung konzipiert. Die einzelnen Kapitel sind als HTML Dokumente abgefasst und bedienen sich zur Präsentation der Inhalte neben Text Java Applets, Bildern im JPEG oder GIF Format und Audio- bzw. Videosequenzen. Am Ende eines jeden Abschnitts befinden sich ein oder mehrere Tests mit deren Hilfe das gelernte Wissen überprüft werden kann. Neben didaktisch aufbereiteten Kapiteln finden sich in dem Tutorial in einem gesonderten Teil Beiträge zum aktuellen Stand der Forschung und der Therapie bzw. der Therapieplanung. Auf die Forschungsbeiträge kann in den einzelnen Kapiteln per Link verwiesen werden. Sie sind aber auch durch direktes Anklicken einer Auswahlliste erreichbar. Innerhalb dieser Auswahlliste sind die Beiträge ähnlich den Kategorien aus dem Diskussionsforum geordnet.

Wer wann welche Einträge in das Tutorial vorgenommen hat wird automatisch protokolliert.

6.7.2 Tutorial als kontextsensitive Hilfe [?](#)

Das Tutorial kann als eigenständiges Programm unabhängig von den restlichen IRIS Modulen ausgeführt werden. Es bestehen aber auch Verbindungen zu anderen Modulen. So ist es z.B. möglich, über das Anklicken einzelner Darstellungen der Planpräsentation zu den entsprechenden Abschnitten im Tutorial zu gelangen. Dadurch wird eine kontextsensitive Anleitung zu den einzelnen Darstellungen im Isodosenatlas realisiert.

6.7.3 Wiedergabe der Darstellungen [?](#)

Zur Wiedergabe von Mediendateien im Multimediateil des Tutorials dienen Java Applets. Die Applets verwenden den im Rahmen der Planpräsentation entwickelten Media Player zur Wiedergabe von Video- und Audiodateien. Dadurch ist der Benutzer von zusätzlichen PlugIns oder plattformabhängigen Zusatzinstallationen unabhängig.

6.7.4 Angeleitete Beispielpläne zum interaktiven Lernen [?](#)

Neben der beschriebenen Multimediaanwendung befinden sich in IRIS noch dokumentierte Beispielpläne, die als Lernbeispiele zu bestimmten Planungsmethoden dienen sollen. Der Lernende soll anhand dieser exemplarischen Problemstellungen das theoretisch vermittelte Wissen des Tutorials praktisch vertiefen können. Der Lernende kann sich den abgelegten Beispielplan als Musterlösung ansehen und die dazugehörige Dokumentation anhand von Text-,

Audio-, oder Videodateien abrufen. Interessant kann aber auch die Generierung einer Lösung durch TAPIR sein, indem die CT Daten aus der Aufgabenstellung dem wissensbasierten System zur Verfügung gestellt werden.

Zusätzlich kann dem Lernenden anhand von Beispielplänen der typische Workflow einer Bestrahlungsplanung vermittelt werden. Hierfür wird er von dem System schrittweise durch eine exemplarische Bestrahlungsplanung geführt. Abhängig von den durchgeführten Benutzeraktionen gibt das System Hinweise bzw. macht Vorschläge für die nächsten durchzuführenden Aktionen.

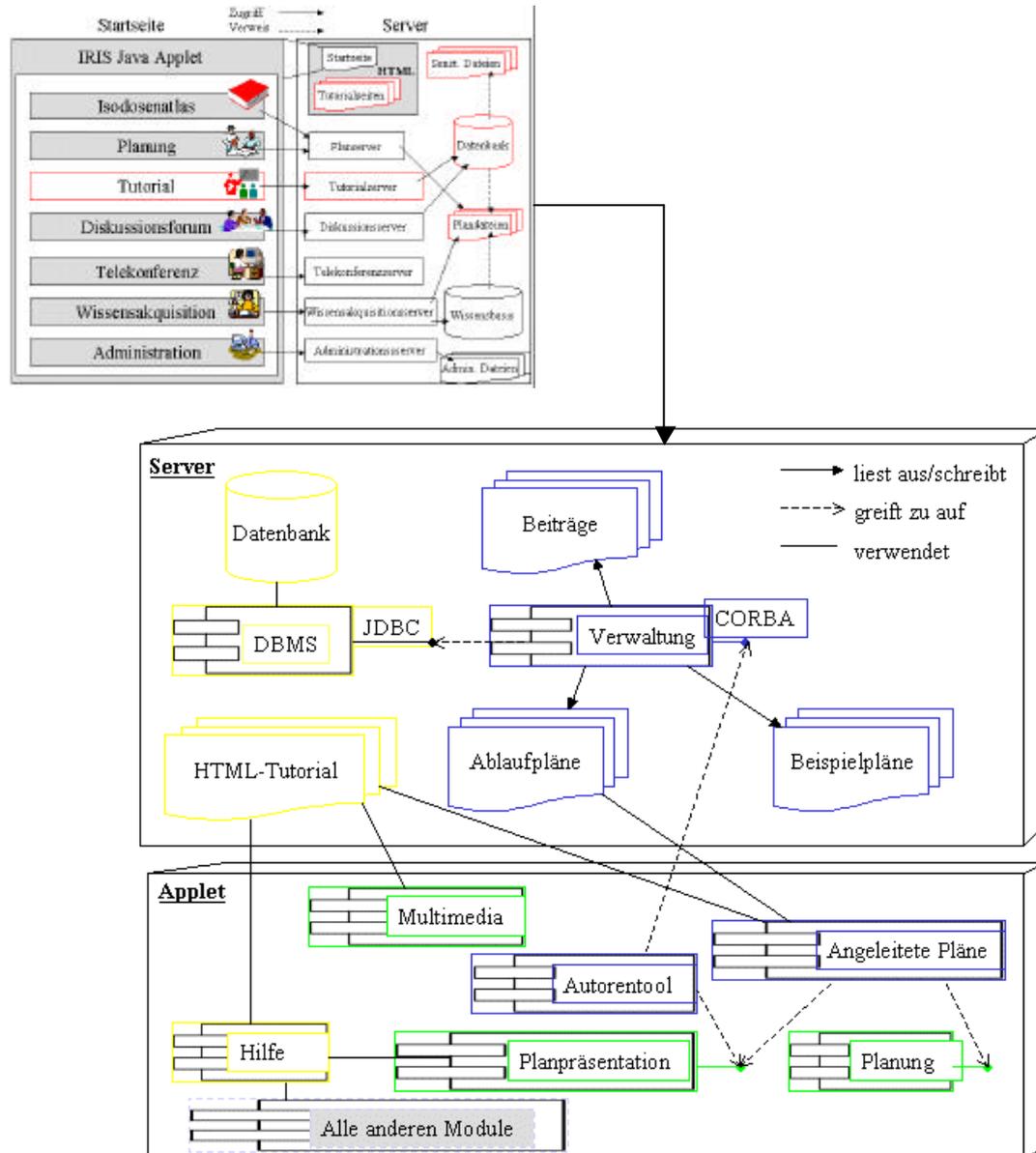


Abbildung 6.6 Tutorial. Das hier dargestellte Tutorial besteht im Applet aus vier Komponenten. „Multimedia“ ruft die HTML-Seiten des Tutorials und damit den multimedialen Teil des Tutorials auf. „Hilfe“ ermöglicht den Aufruf der HTML-Seiten derart, dass diese von den IRIS Modulen als kontextsensitive Hilfe genutzt werden können. Das „Autorentool“ ermöglicht den Eintrag von Beiträgen für das Tutorial. Hierfür nutzt es auf Server-Seite die „Verwaltung“, die Eintragungen in der Datenbank vornimmt und die Beitragsdateien abspeichert. Unter „Angeleitete Pläne“ wird das Durcharbeiten von Übungsplänen verstanden. Entsprechende Handlungsanweisungen für den Ablauf der Übung finden sich in „Ablaufpläne“. Für die Darstellung von Plänen und Übungsaufgaben sowie die Ansicht von Beitragsvorschlägen nutzt das Tutorial das Planpräsentationsmodul. Für die Bearbeitung der Übungen wird auf die Planungskomponente zugegriffen.

6.7.5 Implementierung ?

Die kontextsensitive Einbindung der Multimediaanwendung in IRIS wird über das Öffnen der Tutorialseiten in einem separaten Browserfenster durch das Java Applet realisiert. Die angeleitete Planung dagegen ist ein Modul, das in das Java Applet integriert ist. Treten für den Lernenden bei der Aufgabenbearbeitung Fragen auf, so kann er über die kontextsensitive Hilfe wiederum zu den entsprechenden Seiten der Multimediaanwendung gelangen. Der angeleitete Plan verwendet als Oberfläche das Planpräsentationsmodul sowie die Möglichkeit der automatischen Plangenerierung für einen bestimmten Patientenfall. Für die Bearbeitung der Aufgaben wird die Funktionalität der Planungskomponente zur Erstellung von Bestrahlungsplänen verwendet.

Für die Realisierung des unten beschriebenen Application Sharing werden von der Telekonferenzkomponente die durchgeführten Benutzeraktionen als Aktionscodes ermittelt (siehe Seite 81). Diese werden auch zur Realisierung der angeleiteten Planung im Tutorial verwendet.

Wichtig für das Tutorial ist auch die Möglichkeit zur Aufnahme von neuem Wissen, das beispielsweise von anderen Benutzern über das Diskussionsforum den Administratoren des Tutorials vorgeschlagen wird. Die Administratoren entscheiden über die Aufnahme und Einbindung des Wissens. Handelt es sich um Kapitel für den Multimediateil, so können diese mit den restlichen HTML Seiten über Links verbunden werden. Für die Aufnahme von weiteren angeleiteten Beispielplänen oder Forschungsbeiträgen ist eine Autorenkomponente vorgesehen. Zur Implementierung des Tutorials siehe auch Abbildung 6.6 auf Seite 78.

6.8 Die Telekonferenz und Videokonferenz ?

6.8.1 Die Begriffe Telekonferenz und Videokonferenz

Vorweg sei kurz erklärt, was in dieser Arbeit unter Telekonferenz und was unter Videokonferenz verstanden wird.

- Videokonferenz: Unter Videokonferenz wird im Folgenden die computergestützte, zwischenmenschliche Kommunikation mittels der Übertragung von Video- und Audiosignalen verstanden. Die Konferenzteilnehmer benötigen als zusätzliche Hardware eine Kamera, ein Mikrofon und einen Kopfhörer bzw. Lautsprecher.
- Telekonferenz: Unter Telekonferenz wird im Folgenden die Möglichkeit verstanden, über das Internet mittels Application Sharing und Chat-Funktion miteinander zu kommunizieren. Unterstützend kann als weitere Kommunikationsmöglichkeit die oben beschriebene Videokonferenz mit einbezogen werden.

6.8.2 Allgemeine Funktionalität

Alle Komponenten von IRIS sind so konzipiert, dass sie im Rahmen einer Telekonferenz mit anderen Benutzern zusammen verwendet werden können. Als Kommunikationsmöglichkeiten stehen Chat sowie Video- und Audioübertragung zur Verfügung. Zusätzlich existiert ein Sitzungsprotokoll, das gemeinsam mit den anderen Teilnehmern geführt werden kann. Änderungen an gemeinsam bearbeiteten Plänen werden automatisch protokolliert. Das Chat-Dokument kann als Text- oder HTML Datei abgelegt werden, ebenso ein privater Notizblock, den jeder Teilnehmer für sich führen kann.

Neben der schriftlichen Protokollierung ist auch die Aufzeichnung von Audiodateien möglich. Benutzeraktionen können in Form von Videosequenzen mitgeschnitten werden.

Einzelne Bilder sowie andere Planausschnitte, können in einem für alle sichtbaren Clipboard angezeigt werden (siehe Abbildung 6.7, Seite 80). Mit diesem Clipboard ist auch das Anfertigen von Skizzen möglich. Damit steht es den Teilnehmern frei, den Konferenzpartnern ganze Pläne oder nur Ausschnitte des gerade geladenen Planes zu zeigen. Über das Clipboard können Planausschnitte besprochen und bearbeitet werden. Mit der Application Sharing Funktion der Telekonferenzkomponente können ganze Pläne besprochen und bearbeitet werden.

Es können aber nicht nur Pläne gemeinsam diskutiert werden, sondern auch Multimediadateien und andere Darstellungen von IRIS können anderen Teilnehmern zugänglich gemacht werden.

Mit der Telekonferenzkomponente ist ein Durcharbeiten des Tutorials mit anderen Studierenden, eine Falldiskussion zwischen Studierenden und Professor bzw. zwischen Experten, oder eine gemeinsame Bearbeitung der Wissensbasis von TAPIR möglich.

Im Unterschied zu anderen Application Sharing Systemen kann jeder Teilnehmer Teile der grafischen Benutzeroberfläche als „privat“ deklarieren. Das heißt, dass sich die Aktionen nicht auf die Bildschirme anderer auswirken. Dies kann nützlich sein, um beispielsweise Pläne nach Details zu durchsuchen, ohne den Ablauf der Gesamtkonferenz zu stören. Jeder Konferenzteilnehmer kann also selbst bestimmen, was er seinen Partnern sichtbar macht und in welchem Maß er an der Telekonferenz teilnimmt bzw. für sich allein arbeitet.

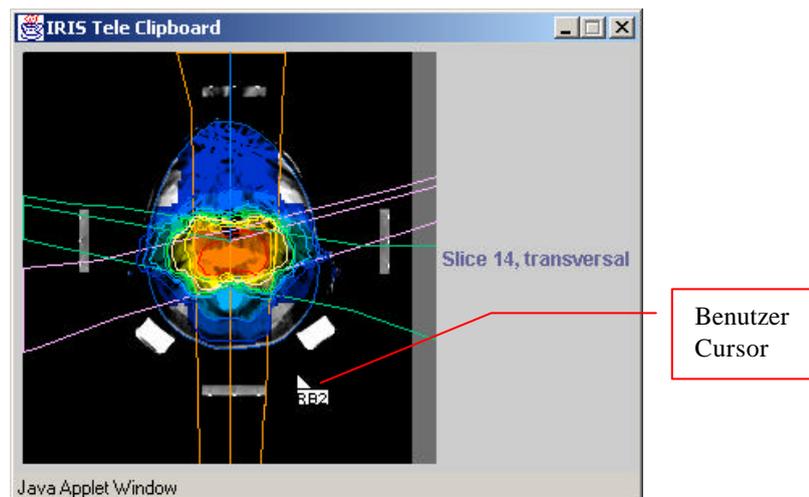


Abbildung 6.7 IRIS Tele Clipboard. Das Bild zeigt das Clipboard der integrierten Telekonferenzkomponente des IRIS Prototypen. In diesem Clipboard können nicht nur Schichtbilder, sondern allgemein Tabellen, Bilder und Grafiken angezeigt und mit anderen Teilnehmern bearbeitet werden. Hierfür wird eine Zeichenfunktion angeboten. Zu sehen ist weiterhin der Cursor eines Teilnehmers. Jeder Teilnehmer hat seinen eigenen Cursor mit Benutzererkennung. Clipboards eignen sich vor allem dann, wenn anderen Teilnehmern nur wichtige Planausschnitte und nicht der ganze Plan gezeigt werden sollen.

6.8.3 Anmelden einer Sitzung ?

Die Telekonferenzsitzung muss von einem der Teilnehmer eröffnet werden. Die anderen Teilnehmer wählen sich in diese Sitzung durch Angabe der EMail Adresse eines Sitzungsteilnehmers ein. Will auf diese Art ein Benutzer zu einer Sitzung nachträglich hinzustoßen, können die Teilnehmer darüber abstimmen, ob der Benutzer angenommen werden soll oder nicht. Dies soll als Schutz vor ungelegenen Störungen einer Sitzung dienen sowie für die Teilnehmer der jeweiligen Sitzung als Kontrolle darüber, wer sich gerade zusammen mit ihnen in einer Sitzung befindet.

6.8.4 Kennzeichnung der Teilnehmer ?

Jeder Benutzer hat einen eigenen Mauszeiger, der für die anderen Teilnehmer sichtbar ist und die Kürzel des jeweiligen Benutzers trägt (siehe Abbildung 6.7). Eine Liste mit den Kürzeln der aktuellen Sitzungsteilnehmer gibt Aufschluss darüber, wer sich genau hinter dem Kürzel verbirgt. Damit sind die Mausbewegungen eines Benutzers für die anderen Teilnehmer jederzeit sichtbar. Der eigene Cursor kann aber auch für die anderen Teilnehmer unsichtbar gemacht werden. Andererseits hat auch jeder Teilnehmer die Möglichkeit, den Cursor der anderen auf seinem Bildschirm auszublenden.

Die Kürzel setzen sich aus den Initialen des Benutzers sowie einer fortlaufenden Nummer, die automatisch vom System vergeben wird, zusammen.

6.8.5 Implementierung ?

Im IRIS Java Applet ist die Telekonferenzfunktionalität direkt in den jeweiligen Modulen vorhanden, so dass vom Quellcode her eigentlich nicht von einem selbständigen Telekonferenzmodul gesprochen werden kann. Lediglich für das An- und Abmelden eines Teilnehmers sowie die Verwaltung der Sitzung existiert eine separate Verwaltungskomponente.

Zur Realisierung der Telekonferenz wird JSDT verwendet. Die Java Bibliothek JSDT wurde von Sun speziell für die Realisierung von Application Sharing und Telekonferenzen entwickelt. Die Telekonferenzfunktionalität der einzelnen IRIS Module im Java Applet beruht auf der Kommunikation der Oberflächenkomponenten mit dem Server über die von JSDT bereitgestellten asynchronen Datenkanäle (siehe dazu auch Abbildung 5.3 auf Seite 46). Als Übertragungsart kann wahlweise eine Socketverbindung oder HTTP verwendet werden. Die Entscheidung ist dem Benutzer überlassen und davon abhängig, ob durch eine Firewall hindurch kommuniziert werden soll oder nicht (siehe dazu auch Abschnitt 6.22, Seite 96). Die Aktionen eines Benutzers werden an die anderen Teilnehmer in Form von Aktionscodes weitergegeben. Mausbewegungen werden durch die Übermittlung von Mauskoordinaten mitgeteilt. Änderungen in den dreidimensionalen Szenen werden in Form von Transformationsmatrizen übertragen. Die Veränderungen in der Szene werden dann nach der Übertragung relativ zu einem festen Ausgangszustand berechnet. Dadurch wird die über das Netz übertragene Datenmenge klein gehalten.

Die Synchronisation der gemeinsamen Benutzeraktionen ist durch eine Tokentechnik realisiert.

Auf der Seite des Servers ist eine klare Abgrenzung gegenüber der anderen Serverprozesse durch ein separates Telekonferenzmodul vorhanden. Dieser Telekonferenzserver verwaltet die einzelnen Sitzungen und ermöglicht die Kommunikation bzw. den Datenaustausch und die Synchronisation zwischen den einzelnen Teilnehmern. Er speichert den aktuellen Status der gemeinsam genutzten Oberfläche, damit gewährleistet ist, dass nachträglich hinzugekommene Teilnehmer das gleiche Bild der Oberfläche sehen wie die anderen Benutzer auch. Der Server ist ebenfalls mit JSDT realisiert.

Die Video- und Audioübertragung wird mit Hilfe der Java Bibliothek JMF von Sun realisiert. Nach Erfahrungen aus anderen Arbeiten mit dem Java Media Framework kann bei mehr als fünf Teilnehmern die Bild- und Tonwiedergabe beeinträchtigt werden [Abdel-Wahab 99]. Daher muss gewährleistet werden, dass nicht für mehr als fünf Teilnehmer gleichzeitig Verbindungen mit JMF geöffnet sind. Dies kann, ähnlich wie die Synchronisation der Telekonferenz, mit einem JSDT Token erreicht werden. Der Erhalt des Tokens berechtigt den anfor-

dernden Teilnehmer zur Bild- und Tonwiedergabe. Diese Lösung dient auch dazu, ein wildes durcheinander Reden in einer Konferenz zu verhindern.

Mit JMF werden auch die Module entwickelt, mit denen der Verlauf der Konferenz in Videosequenzen festgehalten werden kann. Dies können Mitschnitte der übertragenen Audio- und Videosignale sein, aber auch einzelne Bildschirmzustände oder einzelne Benutzeraktionen. Die Realisierung der Telekonferenz ist in Abbildung 6.8 grafisch dargestellt.

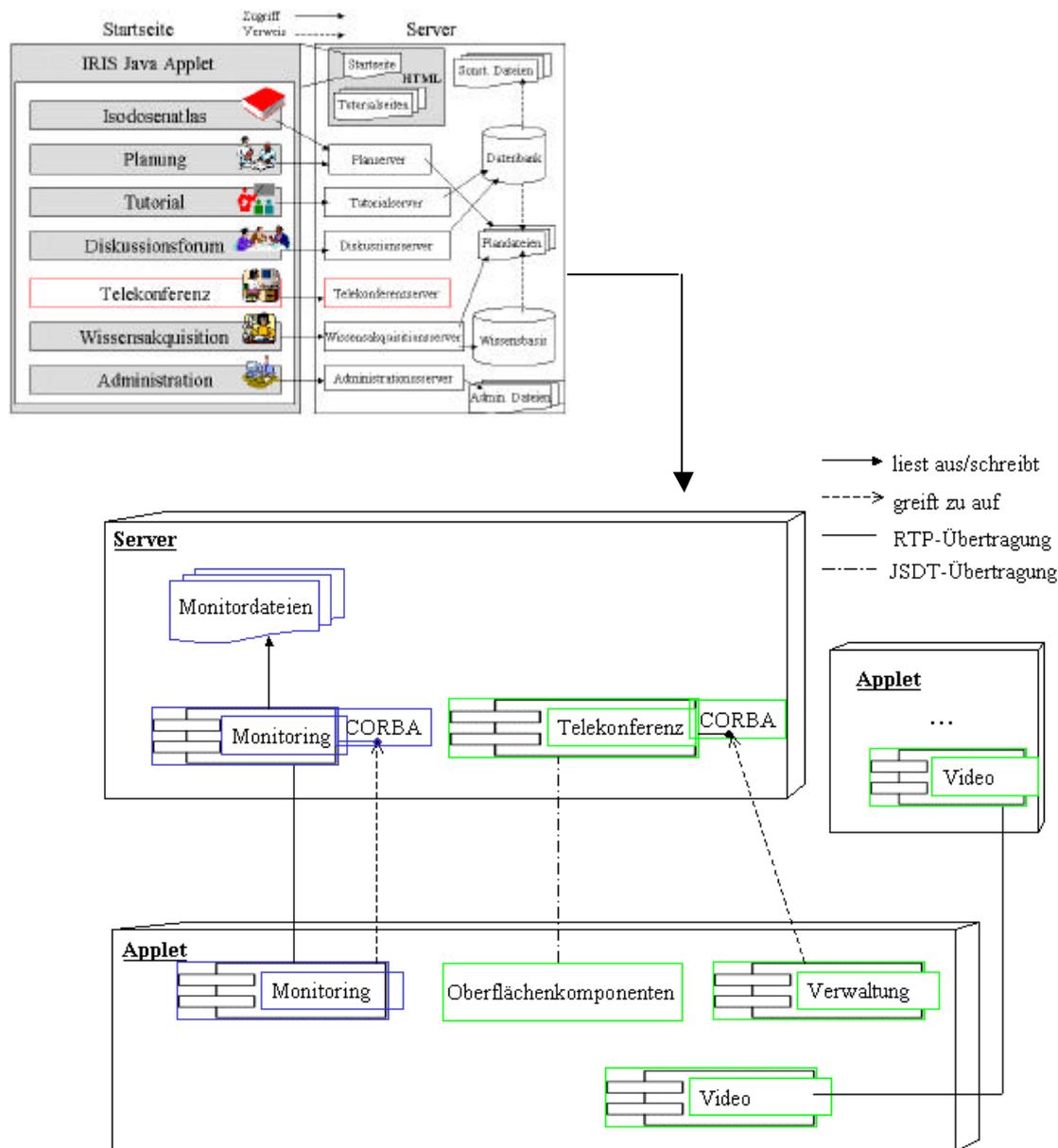


Abbildung 6.8 Telekonferenz. Das Modell zeigt die Realisierung der Telekonferenz. „Verwaltung“ ist die Komponente im Java Applet, die eine Sitzung für den Benutzer eröffnet, verwaltet und wieder schließt. Während der Sitzung geht der Datenaustausch über die asynchronen Datenkanäle von JSDT. Die gesendeten Daten beinhalten Benutzeraktionen auf den Oberflächenkomponenten, wie Buttonbetätigung, Mausbewegung, usw. Die Monitoring-Komponente ermöglicht das Aufzeichnen von Teilen der Konferenz in Form von Videos, die auf dem Server als sogenannte Monitordateien abgelegt werden. Die Videokonferenzkomponente tauscht keine Daten mit dem Server aus, sondern kommuniziert direkt mit den Applets der anderen Teilnehmer.

6.9 Die Wissensakquisition ?

Die Wissensakquisition ermöglicht die internetbasierte Aufnahme von Bestrahlungsplänen als Skelettpläne in die Wissensbasis von TAPIR. Als Eingabe fordert die Wissensakquisitionskomponente die Dateinamen für Bilddaten, Dosisverteilung und Konturdaten, soweit vorhanden. Die Bestrahlungsparameter des Planes können manuell eingegeben werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, eine vorhandene Plandatei anzugeben. Das System liest den Inhalt der Plandatei automatisch aus und schreibt ihn in die Wissensbasis. Dadurch wird ein schnelles und einfaches Aufnehmen von Plänen ermöglicht.



Abbildung 6.9 Inhalt der Wissensbasis. Dieser Screenshot aus dem IRIS Prototyp zeigt die Darstellung der in der Wissensbasis vorhandenen Pläne als Dateibaum, wie er von der Wissensakquisitionskomponente dargestellt wird. Der Inhalt ist hier nach der ICD-10 Klassifikation sortiert.

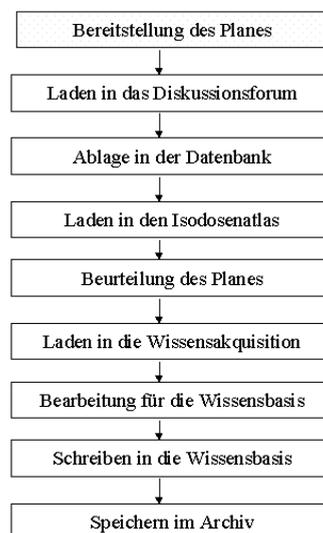


Abbildung 6.10 Vorgang der Wissensakquisition. Die Grafik veranschaulicht den Vorgang der Wissensakquisition. Der Benutzer schlägt über das Diskussionsforum einen Plan für die Wissensbasis vor. Mit der Wissensakquisitionskomponente kann er für den Eintrag in die Wissensbasis bearbeitet und aufgenommen werden. Anschließend werden die dazugehörigen Dateien in einem Dateiarchiv abgelegt.

einzuklinken und mit seinem Kollegen zusammen die Wissensbasis zu bearbeiten. Wer wann welche Einträge in die Wissensbasis gemacht hat, wird automatisch in Form eines entsprechenden Eintrages in der Wissensbasis protokolliert.

Die Oberfläche der Komponente ist sowohl als eigenständige Java Applikation bzw. eigenständiges Java Applet als auch als integriertes Modul in IRIS konzipiert. Das in C++ geschriebene Servermodul der Wissensakquisitionskomponente kommuniziert mit dem Java Teil über CORBA und schreibt bzw. liest den Inhalt der Wissensbasis. Für das Schreiben und Lesen sind entsprechende Module aus TAPIR integriert worden. Abbildung 6.11 gibt einen Überblick.

6.10 Die Systemadministration ?

Der Hauptteil der IRIS Systemkonfiguration betrifft Angaben darüber, wo das Java Applet die einzelnen Serverprozesse und Serverdateien findet. Hierfür existieren Parameter, welche die genaue Konfiguration des Servernetzwerkes beinhalten. Diese Parameter werden bei der Initialisierung des Servers aus Textdateien ausgelesen und dem Java Applet bei dessen Start übermittelt. Der Inhalt dieser Textdateien kann entweder direkt am Server, oder internetbasiert über das Systemadministrationsmodul des IRIS Java Applets verändert werden.

6.11 Zugangsbeschränkung ?

6.11.1 Grund der Zugangsbeschränkung

IRIS ist zwar als ein im Internet offen zugängliches System konzipiert, wendet sich aber trotzdem an einen bestimmten Benutzerkreis. Dieser Kreis besteht aus Auszubildenden und Berufstätigen im Bereich der Strahlentherapie und Strahlentherapieplanung. Anderen Personen soll der Zugang zu dem System verwehrt bleiben. Dies soll vor allem einem Missbrauch des Systems vorbeugen. So könnten beispielsweise in das Diskussionsforum Beiträge hineingestellt werden, die fachlich nicht kompetent sind. Daher ist es wichtig, die Quelle von Beiträgen und den Benutzerkreis genau nachvollziehen zu können. Um dies zu gewährleisten ist in IRIS eine kontrollierte Benutzerzulassung vorgesehen.

6.11.2 Antrag auf Zulassung ?

Jeder der IRIS nutzen will, muss zuerst bei der Systemadministration eine Zugangsberechtigung beantragen. Anhand von Angaben zur Person und Tätigkeit kann geprüft werden, ob der Antragsteller vertrauenswürdig ist oder nicht. Je nach dem wird er dann in eine der IRIS Benutzergruppen eingetragen und eine Zugangsberechtigung erteilt. Auf die unterschiedlichen Benutzergruppen wird noch in dem nächsten Abschnitt genauer eingegangen. Neben dem Eintrag in eine Benutzergruppe kann der Angemeldete auch in eine Diskussionsgruppe des Diskussionsforums eingetragen werden. Die Kontaktadresse des neu Eingetragenen steht damit den anderen Benutzern für Fragen zur Verfügung.

Für die Registrierung gibt es zwei Antragsformulare in Form von HTML Seiten. Eine ist für die Beantragung des Systemzuges vorgesehen, die andere für die Beantragung einer Diskussionsgruppe bzw. die Zulassung zu einer solchen.

Das jeweilige Formular wird über SHTTP an den Benutzerverwalter bzw. den Administrator des Diskussionsforums verschickt. Für die Eintragung des Benutzers in die IRIS Benutzerdatenbank steht dem Administrator eine lokal installierte Benutzerverwaltung als selbständiges Programm zur Verfügung.

6.11.3 Passwortschutz ?

Als Zugangsberechtigung wird ein zeitlich begrenztes Passwort erteilt. Nach dessen Ablauf wird die Zugangsberechtigung auf Antrag neu geprüft.

Wenn sich der Benutzer im System anmeldet, wird zur verschlüsselten Übertragung des Passwortes SSL verwendet.

Für die Implementierung der Verschlüsselung im Java Applet steht die Java Bibliothek Java Secure Socket Extension (JSSE) zur Verfügung. Als eindeutiger Login-Name wird die E-Mail Adresse des Benutzers verwendet.

Ein einfacher Passwortschutz wird für IRIS als ausreichend angesehen, da das System lediglich anonymisierte Patientendaten enthält und ein mutwilliger Missbrauch des Systems als eher unwahrscheinlich eingeschätzt werden kann. Trotzdem beinhaltet das Konzept von IRIS zusätzlich zu dem einfachen Passwortschutz noch eine weitere Zugangskontrolle als zusätzliche Hürde, um die Vertrauenswürdigkeit der Daten zu erhöhen. Dies soll durch die Verwendung von digitalen Zertifikaten und Unterschriften in IRIS erreicht werden.

6.11.4 Ein Zusatz zum Passwortschutz – die digitale Unterschrift ?

Es gibt Anstrengungen im medizinischen Bereich, den Zugang zu Anwendungen mittels elektronischer Zertifikate zu kontrollieren [Mavridis 01]. In Anlehnung daran wurde für IRIS ein eigenes Konzept der Benutzerauthentisierung entwickelt, das die digitale Unterschrift als Grundprinzip beinhaltet. Zur prinzipiellen Funktionsweise der digitalen Unterschrift sei auf Abbildung 5.7 und die Erläuterungen in Kapitel 5 auf Seite 58 verwiesen.

Neben dem Passwort bekommt nun der registrierte Benutzer von IRIS ein elektronisches Zertifikat, zusammen mit einem privaten Schlüssel und einem öffentlichen Schlüssel, ausgestellt. Das erstellte Zertifikat enthält eine digitale Unterschrift des Erstellers, den öffentlichen Schlüssel des Benutzers und ein Datum, das angibt wann das Zertifikat ungültig wird. Hat sich ein Benutzer mit seinem Passwort in IRIS eingeloggt, so muss er dem Zugangskontrollserver zuerst das Zertifikat senden. Der Server prüft das Ablaufdatum des Zertifikats. Ist das Zertifikat noch gültig, wird die digitale Unterschrift des Zertifikaterstellers untersucht. Ist auch die Unterschrift gültig, so wird das Zertifikat als echt anerkannt und der öffentliche Schlüssel des Benutzers ausgelesen.

Nun besteht aber noch die Möglichkeit, dass das Zertifikat von dritten kopiert wurde. Daher wird im Anschluss an die Zertifikatsüberprüfung vom Benutzer noch eine verschlüsselte Nachricht versendet. Diese Nachricht dient als digitale Unterschrift des Benutzers und beinhaltet Datum und Uhrzeit der Ausstellung der Nachricht. Der Server entschlüsselt nun die Nachricht mit dem öffentlichen Schlüssel aus dem Zertifikat, der durch die vorangegangene Überprüfung als zu dem Benutzer gehörig anerkannt wurde. Es wird getestet, ob Datum und Uhrzeit aus der Nachricht aktuell sind und höchstens um eine vorgegebene Summe von der Serverzeit abweichen. Je nach Aufenthaltsort des Benutzers wird dabei die Zeitverschiebung berücksichtigt. War auch diese Überprüfung erfolgreich, so ist der Benutzer zugelassen.

Die Zeitüberprüfung soll verhindern, dass sich dritte die digitale Signatur kopieren und sie später verwenden können. Der Benutzer muss daher jedesmal vor dem Einwählen erneut mit seinem privaten Schlüssel eine Nachricht kodieren.

Technisch kann diese Art der Client Authentisierung mit SSL verwirklicht werden [Netscape 97]. Für die Realisierung mit SSL bietet die Java-Bibliothek JSSE Klassen an. Zertifikate können mit Hilfe von spezieller Software, wie beispielsweise dem Certificate Server von Netscape, ausgestellt werden. Es existieren aber auch öffentliche Behörden, die von staatlicher Seite aus zur elektronischen Zertifizierung berechtigt sind. Die gesetzliche Grundlage hierfür bildet in Deutschland das Signaturgesetz [Bundestag 97].

6.12 Benutzergruppen

Je nach den Rechten, die ein Benutzer besitzt, wird in IRIS zwischen verschiedenen Benutzergruppen unterschieden. Jeder Benutzer muss sich zuerst nach dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Verfahren registrieren und einwählen. Jede Benutzergruppe kann aus einem oder mehreren Benutzern bestehen.

- Der *normale Benutzer* kann Pläne aus dem Isodosenatlas lesen, bearbeiten und auf seine Festplatte herunter laden. Er kann Einträge ins Diskussionsforum vornehmen, Vorschläge für Wissensbasis und Tutorial unterbreiten, mit dem Tutorial arbeiten und über die Telekonferenzfunktion mit anderen Benutzern kommunizieren. Im Diskussionsforum kann der Benutzer zu einer oder mehreren privaten Diskussionsgruppen gehören.
- Der *Wissensakquisitor* hat zusätzlich zu den Rechten des normalen Benutzers Zugang zu der Wissensakquisitionskomponente. Er ist somit berechtigt, Pläne in die Wissensbasis aufzunehmen und die Wissensbasis zu verändern. Zusätzlich ist er berechtigt, Pläne aus der Datenbank des Diskussionsforums zu löschen. Die Rechte des Wissensakquisitors können an ein Gremium, das aus Experten verschiedener Institutionen besteht, vergeben werden.
- Der *Administrator des Tutorials* ist für die Aufnahme neuer Beiträge in das Tutorial zuständig. Ähnlich wie der Wissensakquisitor ist er berechtigt, die Vorschläge aus dem Diskussionsforum zu löschen. Auf die Datenbank, in der die Tutorialbeiträge abgelegt sind, hat er volle Zugriffsrechte. Wie die Wissensakquisition kann auch die Administration des Tutorials von einem Fachgremium übernommen werden.
- Der *Administrator des Diskussionsforums* hat volle Zugriffsrechte auf die Datenbank des Diskussionsforums, mit Ausnahme der Datenbankteile, die Vorschläge für die Wissensbasis und das Tutorial beinhalten, da diese in den Aufgabenbereich des Wissensakquisitors bzw. des Tutorialadministrators fallen. Der Administrator des Diskussionsforums ist auch für das Einrichten der privaten Diskussionsgruppen zuständig.
- Der *Benutzerverwalter* ist für die Registrierung von Benutzern zuständig. Er vergibt die Zugriffsrechte und trägt die Benutzer in die einzelnen Benutzergruppen ein. Er ist auch für die Verteilung von Passwörtern, Zertifikaten und elektronischen Schlüsseln zuständig sowie für die Identitätsprüfung der einzelnen Antragsteller.
- Der *Systemadministrator* ist für die Konfiguration von IRIS zuständig. Dies betrifft vor allem die Einrichtung der einzelnen Prozesse im Servernetzwerk, so dass diese untereinander und zusammen mit dem Internetbrowser kommunizieren können.

6.13 Multiuserfunktionalität ?

In IRIS können sich mehrere Benutzer gleichzeitig einwählen und das System benutzen. Vom System aus bestehen hierbei keine Beschränkungen. Lediglich bei der Wissensakquisitionskomponente kann sich nur ein Benutzer zur selben Zeit einwählen. Weitere Teilnehmer müssen über Telekonferenz mit ihm zusammen arbeiten. Dieser Ausschluss ist aus Gründen der Konsistenz des Inhaltes der Wissensbasis vorgesehen. In diesem Abschnitt sollen nun weitere wichtige Aspekte der Realisierung der Multiuserfunktionalität in IRIS aufgezeigt werden.

Nach dem Einwählvorgang erhält jeder Benutzer eine Identifikation, die sich aus seinen Initialen und einer fortlaufenden Nummer zusammensetzt. Dieses Kürzel wird zur Kennzeichnung des Benutzer cursors bei der Telekonferenz (siehe Abbildung 6.7, Seite 80) und zur Kennzeichnung der Pläne des Benutzers (siehe Abschnitt 6.4.5, Seite 69) verwendet.

Zum temporären Abspeichern von Dateien, die während einer Sitzung entstehen, wird für jeden Benutzer automatisch ein Arbeitsverzeichnis angelegt. Die Dateien aus diesem Verzeichnis kann der Benutzer für eine permanente Speicherung auf seinem Rechner herunterladen. Loggt sich der Benutzer aus, so wird dieses Verzeichnis samt Inhalt wieder gelöscht. Genauso wird auch für jede Telekonferenzsitzung bei der Eröffnung automatisch ein temporäres Arbeitsverzeichnis angelegt, auf das alle Konferenzteilnehmer Zugriff haben. IRIS kann mehrere Telekonferenzsitzungen nebeneinander verwalten.

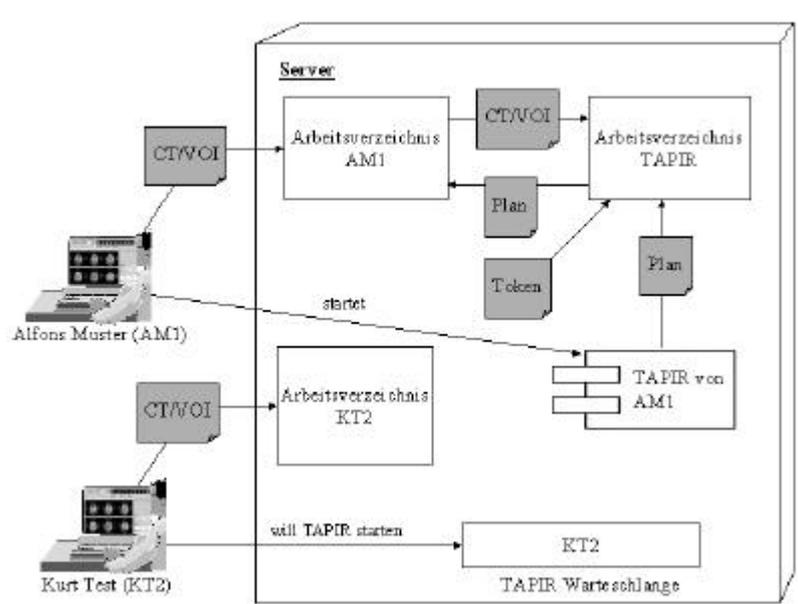


Abbildung 6.12 Multiuserfunktionalität. Die Abbildung zeigt die Arbeitsverzeichnisse von zwei Benutzern, die gemeinsam auf TAPIR zugreifen. AM1 und KT2 sind die Kürzel der Benutzer.

Abbildung 6.12 zeigt anhand eines Beispiels die Arbeitsweise von IRIS mit mehreren Benutzern. Im Beispiel wollen zwei Benutzer gleichzeitig auf TAPIR zugreifen. TAPIR ist ursprünglich nicht für eine Multiuserumgebung konzipiert worden. Es erwartet die Benutzerdaten in einem bei der Installation festgelegten Verzeichnis. Seine Ergebnisse schreibt es ebenfalls dorthin. Soll TAPIR als Prozess in der Multiuserumgebung von IRIS verwendet werden, so kann es nicht gleichzeitig von zwei Benutzern aufgerufen werden. Bevor der nächste Benutzer TAPIR verwenden kann, muss zuerst das TAPIR Verzeichnis geleert werden. IRIS kopiert daher die Ergebnisse in das Arbeitsverzeichnis des jeweiligen Benutzers. Erst dann wird TAPIR für den nächsten Benutzer, der in der automatisch verwalteten Warte-

schlange steht, gestartet. Um lange Wartezeiten zu vermeiden bietet IRIS die Möglichkeit, Prozesse wie TAPIR auf mehreren Rechnern zu installieren. IRIS sucht sich dann für jeden Benutzer den Rechner aus, der mit den wenigsten Anfragen belastet ist.

6.14 Das Servernetzwerk ?

In IRIS werden zur Laufzeit teilweise rechenintensive Algorithmen angestoßen. So benötigt beispielsweise TAPIR zur Generierung eines Planes auf einer DEC Unix Workstation mit 500 MHz 13 Sekunden [Keller-Reichenbecher 97]. Insbesondere bei der Nutzung durch mehrere Benutzer gleichzeitig kann dies das System verlangsamen.

Zur Entlastung des Servers ist es ratsam, die einzelnen Serverprozesse auf mehrere Rechner zu verteilen. Die verschiedenen Rechner und Prozesse kommunizieren im lokalen Servernetzwerk über CORBA. Diese Kommunikation ermöglicht es, auch auf verteilte Datenbestände zuzugreifen. Wird die Java Klassenbibliothek JDBC mit einbezogen, ist über das Netzwerk auch ein Zugriff auf Datenbanken möglich. Dadurch kann beispielsweise auf Archive im lokalen Netzwerk zugegriffen werden.

Herz des IRIS Servernetzwerkes ist ein Rechner, auf dem zentrale Steuerungsprozesse laufen, welche die anderen Prozesse im Netzwerk integrieren. Dieser Rechner dient auch gleichzeitig als Tor zum Internet. Er stellt das IRIS Java Applet mittels eines Web Servers zur Verfügung. Das Servernetzwerk kann mit dem IRIS Serveradministrationsmodul konfiguriert werden.

6.15 Die Serverprozesse ?

Die Funktionalität der einzelnen Java Module des Applets ist auf Serverseite in mehrere selbständige Prozesse unterteilt, die jeweils mit dem Java Applet im Internetbrowser kommunizieren. Je nach dem zu welchem Zeitpunkt die Prozesse gestartet werden und wo sie installiert sind, können mehrere Arten von Prozessen in IRIS unterschieden werden.

1. *Zentrale Prozesse* werden zusammen mit dem IRIS Server auf einem zentralen Serverrechner gestartet und erst bei dessen Herunterfahren wieder beendet. Sie sind im Servernetzwerk auf einem einzigen Rechner installiert und werden jeweils nur in einer Ausprägung gestartet. Zu diesen Prozessen zählen die Prozesse zur Benutzerverwaltung, der Wissensakquisitionsserver, der Systemadministrationsprozess, der Telekonferenzserver, der Datenbankserver und die zentralen Prozesse zur Netzwerkkommunikation. Die Prozesse zur Netzwerkkommunikation nehmen Anfragen für den Start von anderen Prozessen entgegen und leiten diese an die anderen Rechner weiter. Auf ähnliche Art und Weise werden auch Dateiinhalte entgegen genommen und auf die jeweils zuständigen Rechner verteilt. Die Kommunikationsprozesse bilden die zentrale Schaltstelle für die Verteilung von Anfragen und Daten im Servernetzwerk.
2. *Lokale Prozesse* werden entweder von den zentralen Serverprozessen beim Start des Servers gestartet oder aber manuell durch den Systemadministrator. Dies ermöglicht eine nachträgliche Installation, ohne den gesamten Server neu starten zu müssen. Dadurch können beispielsweise zusätzliche Rechner dem Servernetzwerk hinzu gefügt werden. Die lokalen Prozesse können auf verschiedene Rechner im Servernetzwerk aufgeteilt werden. Auf jedem Rechner befindet sich aber jeweils nur eine Ausprägung des Prozesses. Zu dieser Kategorie zählen Prozesse zur Verwaltung und Synchronisation der anderen Prozesse auf dem jeweiligen Serverrechner. Für die Realisierung dieses Prozessmanagements wird die C Sprachbibliothek PVM (Parallel Virtual Machine) verwendet. Hierzu muss auf dem

jeweiligen Rechner zusätzlich ein separater PVM Prozess, der sogenannte Dämon, gestartet werden. Ein Beispiel zur Verwendung von PVM in IRIS gibt Abbildung 6.13. Für weitere Informationen zu PVM sei auf Abschnitt 5.2.8, Seite 48 verwiesen.

Weitere lokale Prozesse sind die Module zum Lesen und Schreiben von Dateien auf dem jeweiligen Rechner. Der Prozess zum Auslesen der Wissensbasis von TAPIR ist ebenfalls ein lokaler Prozess. Er wird zusammen mit der Wissensbasis auf dem Rechner installiert. Auf welchen Rechnern sich die Wissensbasis befindet muss der Wissensakquisitionskomponente per Konfigurationsdatei mitgeteilt werden, damit diese bei Änderungen der Wissensbasis die verschiedenen Ausprägungen auf den jeweiligen Rechnern aktualisieren kann. Eine kleine Abwandlung der lokalen Prozesse stellen der Dosisberechnungsalgorithmus DC09 und das wissensbasierte System TAPIR selbst dar. Diese zwei Prozesse können zwar auf jedem Serverrechner installiert sein, werden aber erst auf Anforderung des Benutzers hin gestartet und nicht gleich beim Serverstart. Auf welchem Rechner die Prozesse gestartet werden, richtet sich nach der momentanen Auslastung des jeweiligen Serverrechners.

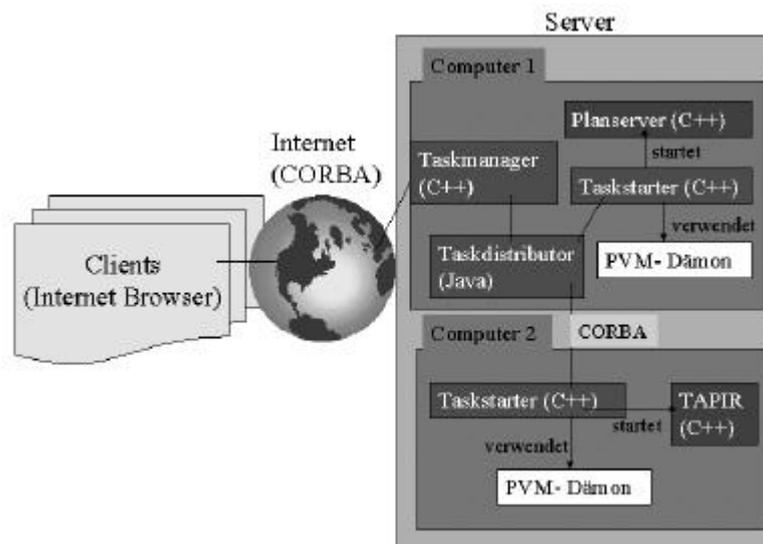


Abbildung 6.13 Prozessverwaltung mit PVM. Die Abbildung zeigt ein Beispiel für verschiedene Prozessarten und deren Steuerung mit PVM in IRIS. Das Servernetzwerk besteht in diesem Fall aus zwei Rechnern. Computer 1 ist der zentrale Rechner, von dem das Applet heruntergeladen wurde, und auf dem als zentraler Prozess in diesem Beispiel der Taskmanager installiert ist. Dieser Prozess nimmt in diesem Fall die Anforderung des Applets zum Start der Planverwaltung und von TAPIR entgegen. Er entscheidet auch auf welchem Rechner die beiden Benutzerprozesse gestartet werden sollen. Der Taskdistributor verwaltet als zentraler Prozess die einzelnen Rechner im Servernetzwerk und gibt den Befehl zum Start der Prozesse auf dem jeweiligen Rechner. Der Taskstarter startet, verwaltet und beendet als lokaler Prozess die auf dem jeweiligen Rechner laufenden Prozesse. Hierzu wird PVM verwendet. Der PVM-Dämon bietet als weiterer lokaler Prozess die PVM Dienste auf den einzelnen Rechnern an.

3. *Benutzerprozesse* können wie die lokalen Prozesse auf jedem Serverrechner installiert sein. Jedoch werden die Prozesse erst gestartet, wenn sich der Benutzer in das System eingewählt hat. Der Start kann entweder sofort beim Einwählen oder erst bei Bedarf erfolgen. Spätestens wenn sich der Benutzer abmeldet, werden diese Prozesse wieder beendet. Pro Benutzer wird mindestens eine Ausprägung des jeweiligen Benutzerprozesses gestartet. Auf welchem Rechner dies geschehen soll, wird vom System entschieden. Die Entscheidung ist von der momentanen Auslastung der Serverrechner abhängig. Ein Beispiel für einen Benutzerprozess ist der Planverwaltungsprozess (in Abbildung 6.13 als Planserver bezeichnet). Jede Ausprägung dieses Prozesses verwaltet für den jeweiligen Benutzer

die derzeit geladenen Pläne und die dazugehörigen Daten. Ein weiteres Beispiel ist der Tutorialprozess. Er wird gestartet, wenn der Benutzer interaktiv einen Beispielplan erarbeiten möchte. Der Telekonferenzprozess dagegen ist eine Abwandlung eines Benutzerprozesses. Er verwaltet die Daten einer Telekonferenzsitzung und wird daher nicht für jeden Benutzer gestartet, sondern pro Telekonferenzsitzung.

6.16 Das Kopieren von Dateien ?

6.16.1 Zwei Arten des Kopierens von Dateien in IRIS

Das Kopieren von Dateien in IRIS ist aus zweierlei Gründen notwendig. Zum einen müssen Dateien innerhalb des Servernetzwerkes umkopiert werden. Beispielsweise müssen die Ergebnisse vom Plangenerierungsprozess aus dem Arbeitsverzeichnis des wissensbasierten Systems in das Benutzerverzeichnis umkopiert werden. Nach dem Konzept des Serveraufbaus können sich die beiden Verzeichnisse auf verschiedenen Rechnern innerhalb des Servernetzwerkes befinden. Zum Anderen soll sich der Benutzer über das Internet Dateien vom Server herunterladen bzw. auf den Server hochladen können.

6.16.2 Umkopieren von Dateien im Servernetzwerk ?

Für das Umkopieren der Dateiinhalte innerhalb des Servernetzwerkes existieren spezielle Java und C++ Module in IRIS, die Daten unter Verwendung von CORBA zwischen den einzelnen Rechnern austauschen können.

Für das Umkopieren von Dateien auf der Festplatte eines Rechners wird auf Systemroutinen von Unix und Linux zurückgegriffen.

6.16.3 Herunterladen von Dateien ?

Für das Herunterladen von HTML Dateien wird die Funktionalität des Internetbrowsers genutzt. Dies betrifft auch Dateien, die sich in einem über einen Webserver zugänglichen Verzeichnis befinden. Daher muss auf Serverseite ein Webserver installiert sein, der den Zugang zu dem Arbeitsverzeichnis des Benutzers bzw. der Telekonferenzgruppe ermöglicht. Der Inhalt dieses Verzeichnisses kann dann im Internetbrowser als HTML Seite dem Benutzer angeboten und über FTP heruntergeladen werden.

6.16.4 Hochladen von Dateien ?

Für das Hochladen von Dateien existieren zwei alternative Konzepte. Zum Einen kann auch hier eine Übertragung mittels FTP genutzt werden. Es wird hierfür ein Benutzerverzeichnis im öffentlichen FTP Bereich angelegt und die Dateien werden nach der Übertragung in das Arbeitsverzeichnis umkopiert. Dies hat allerdings den Nachteil, dass andere Benutzer das Verzeichnis im öffentlichen FTP Bereich einsehen können. Ist dies nicht erwünscht, so kann alternativ gewählt werden, dass das IRIS Java Applet berechtigt ist, direkt Dateien von der lokalen Festplatte des Benutzers zu lesen und an den Server weiter zu leiten. Dort werden sie direkt in das Arbeitsverzeichnis geschrieben. Dies hat auch den Vorteil, dass der Dateiinhalt verschlüsselt werden kann, was bei der anderen Lösung nicht der Fall ist.

Allerdings können Java Applets nicht standardmäßig von der Festplatte des Benutzers lesen. Hierfür muss der Benutzer dem Applet explizit das Recht erteilen. Dabei kann er das Leserecht auf ein bestimmtes Verzeichnis oder gar eine bestimmte Datei einschränken.

Dies wird durch entsprechende Eintragungen in der Java Policy Datei des Internetbrowsers geregelt.

Der Nachteil dieser Lösung besteht darin, dass der Benutzer einer Internetanwendung Zugriffsrechte auf seine Festplatte erteilen muss, was eine Angriffsfläche für mögliche Viren bieten kann. Daher muss gewährleistet werden, dass der Benutzer dem heruntergeladenen IRIS Applet trauen kann. Das heisst das Applet muss garantieren, dass es das ist was es scheint, dass der Programmcode nicht verändert wurde, und dass es tatsächlich von der Institution stammt, die IRIS zur Verfügung stellt und damit vertrauenswürdig ist. Um dies sicherstellen zu können, ist das IRIS Applet als sogenanntes Signed Applet konzipiert. Das bedeutet, dass das Applet mit einer digitalen Unterschrift und einem Zertifikat versehen ist, die Authentizität und Herkunft des Applets garantieren (siehe dazu auch Abschnitt 5.5.2 auf Seite 58). Nun können die Rechte in der Policy Datei ausschließlich für das Applet mit einer speziellen digitalen Unterschrift vergeben werden. Ein Beispiel hierfür gibt Abbildung 6.14.

```
grant SignedBy "IRIS 2734"  
{  
  permission java.io.FilePermission "c:\\Iris\\*", "read,write";  
};
```

Abbildung 6.14 Policy-Datei. Diese beispielhafte Eintragung in eine Policy-Datei gibt dem Applet mit dem Zertifikat IRIS 2734 die Erlaubnis, auf das Verzeichnis `c:\Iris\` des Benutzers schreibend und lesend zu greifen. Dadurch können direkt IRIS-Dateien des Benutzers mit dem Applet hoch- bzw. heruntergeladen werden.

Das Zertifikat bürgt für die Echtheit des öffentlichen Schlüssels, mit dem das signierte Applet gelesen werden kann. Das Zertifikat wird dem Benutzer, sobald er zu IRIS zugelassen ist (siehe auch Abschnitt 6.11.4, Seite 86), zugeschickt.

Sollen Dateien verschlüsselt heruntergeladen werden, kommt diese Lösung ebenfalls in Frage. In diesem Fall befindet sich das Arbeitsverzeichnis nicht im Zugangsbereich des Webservers und ist damit vor dem Zugriff anderer Benutzer geschützt.

6.17 Datenschutz ?

Mit IRIS werden in erster Linie nur Daten übermittelt, die Wissen und Erfahrung vermitteln sollen. Hierfür sind private Patientendaten belanglos, so dass alle Pläne anonymisiert abgespeichert und übertragen werden. Problematisch ist lediglich die dreidimensionale Darstellung der Konturen des Patientenkopfes. Diese Darstellung kann aber unabhängig von den anderen Elementen der 3D Szene bei der Serverkonfiguration an- und ausgeschaltet werden. Wollen Kooperationspartner mit IRIS doch einmal sensible Daten austauschen, dann besteht die Möglichkeit, diese Daten mit Hilfe von SSL zu verschlüsseln. Die Verschlüsselung wird mit der Java Klassenbibliothek JSSE realisiert.

6.18 Der Datenaustausch zur Laufzeit ?

6.18.1 Problematik

Dem Austausch von Daten zwischen Internetbrowser und Server mittels CORBA soll nun ein eigener Abschnitt gewidmet werden, da die auszutauschenden Daten zur Darstellung eines Bestrahlungsplanes im Browser nicht nur sehr komplex, sondern vom Volumen auch sehr umfangreich sein können. Diese Tatsache kann, je nach Netzbelastung, die Performance von IRIS senken. Den größten Anteil am übertragenen Datenvolumen haben dabei die

medizinischen Bilddaten, so dass nach einer Möglichkeit gesucht werden muss, um das zu übertragende Datenvolumen der Bilddaten möglichst klein zu halten. Das Volumen der anderen Daten ist dem gegenüber unproblematisch.

6.18.2 Reduktion des Volumens der Bilddaten ?

Bei der Auswahl der Verfahren für die Datenkompression muss beachtet werden, dass die für die Komprimierung benötigte Zeit möglichst kurz ist, aber trotzdem eine möglichst hohe Komprimierungsrate erreicht wird. Es werden also einfache und doch möglichst effiziente Algorithmen gesucht. In IRIS werden sequentiell mehrere Verfahren angewandt.

1. Die Graustufenbilder werden auf eine Codierung von 8 bit pro Pixel gebracht. ? Da in CT Bildern jedes Pixel durch einen 16 bit Hounsfieldwert kodiert ist, muss dieser also auf einen Grauwert umgerechnet werden. Hierfür wird aus dem Hounsfield-Datenbereich durch Angabe einer Mitte und einer Weite ein Fenster so definiert, dass der interessierende Bereich im Bild optimal kontrastiert dargestellt werden kann. Dieses Fenster wird dann auf die 256 Grauwerte abgebildet. ? Das Fenster kann in IRIS vom Benutzer selbst festgelegt werden, damit eine für die speziellen medizinischen Anforderungen adäquate Bildqualität gewährleistet ist. ? Bei MR Bildern ist die Umrechnung der 16 bit Intensitätswerte den CT Bildern analog.
2. Jedes Bild hat einen Randbereich, der medizinisch irrelevant ist und zum Großteil aus einem Grauwert mit geringen Abweichungen besteht. Dieser Randbereich wird durch Konturfindung identifiziert und abgeschnitten. ?
3. Im dritten Schritt werden die Bilder mittels des Verfahrens nach Huffman komprimiert. ?

6.19 IRIS Datenpakete ?

Ein Bestrahlungsplan besteht nicht nur aus einer Datei, sondern aus einer Sammlung von Dateien. Im Wesentlichen sind dies insgesamt sechs Dateien für die Bestrahlungsparameter und die Konturdaten sowie für die Bilddaten und die Dosisverteilung. In IRIS können darüber hinaus zu jedem Bestrahlungsplan noch weitere Dateien existieren, beispielsweise Textdateien mit Kommentaren, aber auch HTML, Video-, Audio- oder Bilddateien. Zu jeden Plan in IRIS gehört noch eine Informationsdatei mit der Kontaktadresse für eventuelle Ansprechpartner oder mit Informationen, die Auskunft über den Ursprung des Planes geben. Alle Dateien stehen in IRIS dem Benutzer wahlweise in Form von Einzeldateien oder als Pakete zur Verfügung.

Als Packalgorithmus zum Erstellen der Pakete wird der von Java bereitgestellte Zip-Algorithmus verwendet. Damit ist IRIS in der Lage sowohl Zip Dateien für Windows als auch für Unix bzw. Linux zu erstellen. Zum Entpacken der Pakete kann jedes gängige Zip-Programm verwendet werden. IRIS ist aber auch in der Lage, die Pakete eigenständig wieder zu entpacken.

Jedem Paket wird eine Informationsdatei angehängt, die Auskunft über Grösse und Inhalt des Paketes gibt.

Die Zusammenfassung der Plandateien zu Paketen wird eingeführt, um den Datentransfer übersichtlicher zu machen und das übertragene Datenvolumen beim Hoch- bzw. Herunterladen durch den Benutzer mit Hilfe eines Kompressionsverfahrens zu verringern.

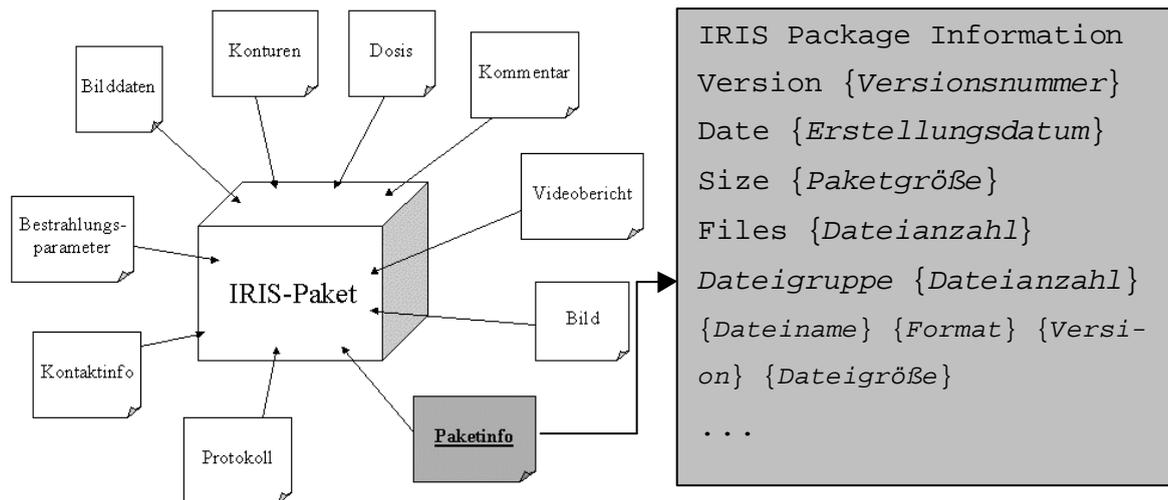


Abbildung 6.15 IRIS Datenpaket. Die Abbildung links zeigt ein Beispiel für den Inhalt eines IRIS Datenpaketes. Rechts ist ein Beispiel für die dem Paket angehängte Informationsdatei „Paketinfo“ zu finden. Das Beispiel gibt prinzipiellen Aufbau einer solchen Datei wieder. Es wird die Version von IRIS, das Erstellungsdatum des Paketes, die Gesamtgröße des unkomprimierten Paketes in Kilobyte und die Anzahl der enthaltenen Dateien angegeben. Als nächstes werden zu jeder vertretenen Dateigruppe die vorhandenen Dateien aufgelistet. Am Anfang der Liste wird jeweils angegeben, wie viele Dateien zu der jeweiligen Gruppe existieren. Für jede Datei folgt der Dateiname, das Format, die Version und die Größe in Kilobyte. Beispiele für mögliche Dateigruppen wären etwa Bilddaten eines Planes, Videodateien, Audiodateien, Konturdaten, usw.

Dies ist nicht zu verwechseln mit dem im vorigen Abschnitt behandelten Datenaustausch zur Laufzeit. Im vorigen Abschnitt war der interne Datenaustausch zwischen Server und Internetbrowser zur Anzeige von Daten in der IRIS Benutzeroberfläche gemeint. Die IRIS Pakete beziehen sich dagegen auf den externen Datenaustausch zwischen Benutzer und IRIS vor bzw. nach einer Sitzung. Des Weiteren dienen die Pakete der Kommunikation mit externen Fremdsystemen.

Vor allem die dem Paket angehängte Informationsdatei ist für den Datenaustausch von IRIS mit Fremdsystemen konzipiert, beispielsweise bei der Integration in ein Krankenhaus Informationssystem (KIS) (Abbildung 6.15).

6.20 Unterstützung von Standards für den internationalen Planaustausch ?

Da sowohl IRIS als auch TAPIR zum Lesen und Schreiben von Planungsdateien Algorithmen aus dem Planungssystem VIRTUOS verwenden, ist das System von dem Datenformat, das in VIRTUOS verwendet wird, abhängig. Daten die von IRIS generiert werden, sollen aber in beliebigen anderen Planungssystemen weiter verarbeitet werden können. Umgekehrt soll es möglich sein, aus anderen Planungssystemen stammende Bestrahlungspläne in IRIS zu verwenden. Daher werden Konvertierungsmodule entwickelt, die das VIRTUOS Format in ein international verwendetes Datenformat umwandeln und umgekehrt. Wie schon im Kapitel 5, Abschnitt 5.3.5 auf Seite 52 beschrieben, eignet sich DICOM RT als Standard zum Datenaustausch am besten, da die gängigsten Planungssysteme dieses Format unterstützen. Zudem existiert mit DICOM RT ein Standard, der zur Übertragung sämtlicher Daten eines Bestrahlungsplanes verwendet werden kann. Es spielt also keine Rolle, ob es sich um Kontur-, Bilddaten oder Bestrahlungsparameter handelt.

Zusätzlich zu DICOM RT sind in IRIS Konvertierungsmodule für LANTIS und RTOG vorgesehen, da diese am DKFZ schon implementiert vorliegen und nur noch in

IRIS eingebunden werden müssen?. Die Einbindung ist unproblematisch, da die Konvertierungsmodule als selbständige Serverprozesse gestartet werden können. Als Eingabe werden die Pfade der zu konvertierenden Dateien verlangt, ausgegeben werden die konvertierten Dateien. Die Konvertierungsmodule für DICOM RT werden analog konzipiert.

LANTIS und RTOG sind nicht als Alternativen zu DICOM RT gedacht, sondern als Zusätze für Benutzer, die Daten dieser Formate vorliegen haben. Bei beiden Lösungen handelt es sich zwar um weit verbreitete Formate, aber nicht um internationale Standards. Daher wird DICOM RT für IRIS als unerlässlich angesehen. Zudem können mit LANTIS lediglich Bestrahlungsparameter übertragen werden, nicht aber andere Daten eines Plans.

6.21 Mögliche Varianten der Serverinstallation ?

Es ist möglich, den IRIS Server in verschiedenen Konstellationen zu installieren. Alle Prozesse können auf einem Rechner installiert, aber auch auf mehrere Rechner in einem Netzwerk aufgeteilt werden, um eventuell die Antwortzeit des Servers zu verkürzen.

Eine weitere Variante der Serverinstallation betrifft die Anzahl der Serverrechner, die direkt vom Benutzer angesprochen werden können. Nach den Sicherheitsbestimmungen von Sun für Java Applets kann dies nur der Rechner sein, von dem das Applet heruntergeladen wurde. Auf diesem Rechner sind in IRIS alle zentralen Prozesse installiert, die mit dem restlichen Servernetzwerk in Verbindung stehen (Abbildung 6.16).

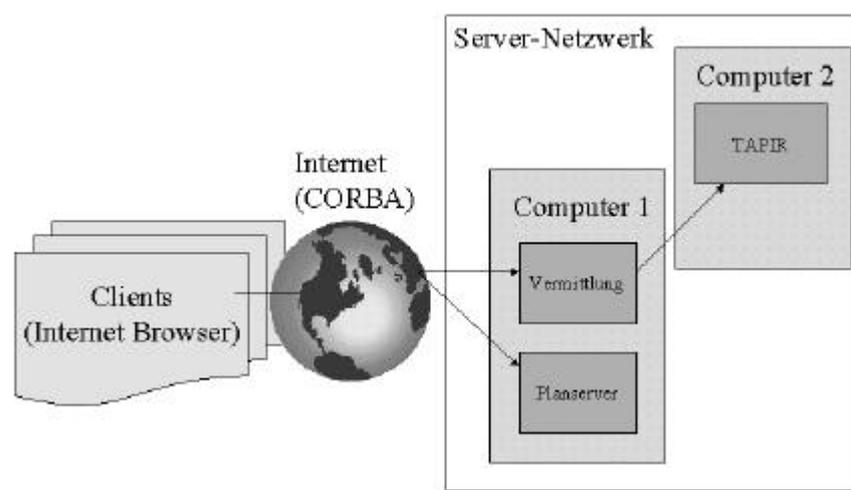


Abbildung 6.16 Serverinstallation Variante 1. Die Abbildung zeigt anhand eines Beispiels die direkte Kommunikation des Applets mit dem Rechner, von dem es heruntergeladen wurde. Dieser zentrale Serverrechner dient als Gateway zum Servernetzwerk. Jede Kommunikation des Applets mit einem Prozess, der nicht auf dem zentralen Rechner läuft, muss durch einen passenden Prozess auf dem Zentralrechner vermittelt werden, da das Applet keinen direkten Zugriff auf die anderen Serverrechner hat. Aus Sicherheitsgründen kann diese Lösung durchaus sinnvoll sein. Nachteilig ist aber, dass bei Ausfall des Zentralrechners IRIS nicht mehr funktionsfähig ist. Zudem bilden die Vermittlungsprozesse ein Nadelöhr, das sich bei einer hohen Anzahl an Benutzern negativ auswirken kann.

Jedoch gibt es eine Möglichkeit diese Restriktion zu umgehen. Durch entsprechende Eintragungen in einer Java Policy Datei, die dem Benutzer zur Verfügung gestellt wird, ist die direkte Kommunikation mit weiteren Serverrechnern möglich. Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass die Anfragen des Applets nicht mehr zuerst über einen Vermittlungsprozess auf dem Zentralrechner laufen müssen, der dadurch zu einem Nadelöhr wird, sondern direkt an den jeweiligen Zielrechner gehen (Abbildung 6.17, Seite 96). Die notwendige Policy Datei wird automatisch beim Start des Internetbrowsers vom IRIS Zentralrechner heruntergeladen,

wenn der Benutzer entsprechende Eintragungen in seiner Java Security Datei vorgenommen hat. Dies erfordert wiederum das Vertrauen des Benutzers in das Java Applet. Das Vertrauen kann durch die Signierung des Applets geschaffen werden.

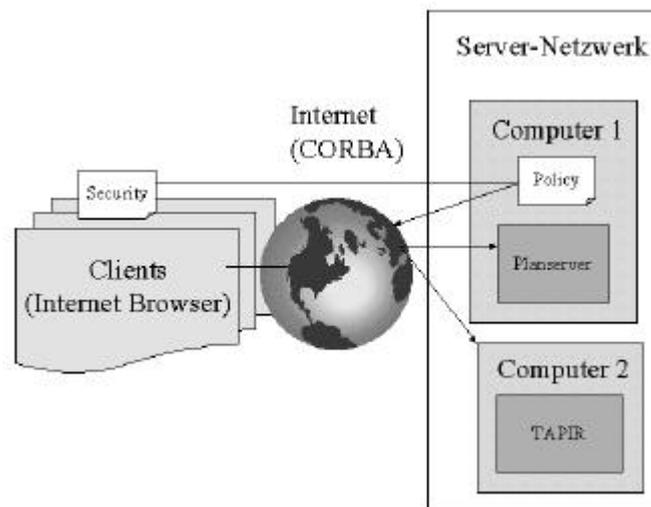


Abbildung 6.17 Serverinstallation Variante 2. Bei der in diesem Beispiel gezeigten Variante der Serverinstallation kann jeder Serverrechner unmittelbar vom Applet angesprochen werden. Es ist also eine direkte Kommunikation zwischen den Serverprozessen und dem Applet möglich. Dies kann zur Entlastung des Systems bei hoher Benutzerzahl beitragen. Damit das Applet auch auf die Rechner zugreifen kann, von denen es nicht heruntergeladen wurde, müssen ihm in einer Policy-Datei Rechte erteilt werden. Diese Datei wird vom IRIS Server zur Verfügung gestellt. Damit die Datei vom Internetbrowser zur Ausführung heruntergeladen werden kann, muss der Benutzer in der Security-Datei des Browsers die URL der Policy-Datei eintragen.

6.22 Kommunikation durch eine Firewall ?

Gerade Kliniken, Universitäten und größere Forschungseinrichtungen schützen ihre lokalen Netzwerke mit einer Firewall vor fremden Zugriffen. Je nach Konfiguration der Firewall können dadurch internetbasierte Anwendungen beim Datenaustausch zwischen Internetbrowser und Server behindert werden. Daher stellt sich die Frage, wie in IRIS der Datenaustausch zwischen Internetbrowser und Server gewährleistet werden kann, wenn der Rechner des Benutzers oder das IRIS Servernetzwerk sich jeweils hinter einer Firewall befinden.

Als unproblematisch für Kommunikationen durch Firewalls kann generell eine HTTP Verbindung angesehen werden, da diese immer über den festen Port 80 frei geschaltet ist. HTTP ist in IRIS auch das im Wesentlichen genutzte Protokoll. Allerdings kann in zwei Fällen HTTP nicht verwendet werden. Dies ist zum Einen bei der Kommunikation mit CORBA der Fall, zum Anderen beim Austausch von Audio- und Videosignalen. CORBA verwendet als Protokoll IIOP. Der Austausch von Audio- und Videodaten benutzt dagegen RTP. Sowohl bei IIOP als auch mit RTP kann es zu Problemen bei der Kommunikation durch eine Firewall kommen.

Die Kommunikation mit IIOP durch Firewalls wird in der Literatur ausführlich diskutiert [Ingham 99, OMG 98b]. Für IRIS sind zwei mögliche Lösungen vorgesehen. Es wird bei der Systemkonfiguration ein fester Port definiert, der stets bei dem Objektaustausch mit CORBA von dem ORB verwendet wird. Dieser Port müsste in der Firewall freigeschaltet werden. Eine alternative Lösung ist das HTTP-Tunneling, wie es für einige CORBA Implementierungen angeboten wird [Arndt 98]. Hier wird die eigentliche IIOP Nachricht über den HTTP Port durch die Firewall geschleust. Diese Lösung ist insbesondere dann sehr nützlich, wenn der

Benutzer sich mit dem Internetbrowser hinter einer Firewall befindet, die er nicht beliebig konfigurieren kann. In diesem Fall nutzt der CORBA ORB automatisch HTTP-Tunneling, wenn eine direkte IIOP Verbindung fehl schlägt. Dieses Konzept wird auch von der Java Bibliothek JSDT verwendet. Mit ihr ist die Telekonferenzkommunikation in IRIS realisiert. Die Problematik bei der Kommunikation mit JSDT ist der bei CORBA ähnlich. Als Standard wird vom Telekonferenzserver versucht eine direkte Socketverbindung aufzubauen. Schlägt die Socketverbindung fehl, so wird HTTP-Tunneling verwendet.

Beim Austausch von Audio- und Videosignalen wird dagegen auf die Vergabe von festen Portnummern zurückgegriffen. Diese Portnummern liegen in dem Wertebereich, der von üblichen Videokonferenzanwendungen, wie beispielsweise Microsoft NetMeeting, verwendet wird [Microsoft 01b]. Damit kann davon ausgegangen werden, dass diese Ports in der Regel freigeschaltet sind.

KAPITEL 7

IRIS – Der Prototyp

Der Prototyp soll zeigen, dass mit dem Systementwurf die Realisierung des Systems möglich ist und über das Internet effizient mit dem System gearbeitet werden kann. Der Prototyp legt den Grundstein für spätere Systemtests im klinischen Alltag. Das Kapitel beschreibt die derzeit realisierten Teile des Systementwurfs. Es zeigt Lücken und Ansatzpunkte für spätere Arbeiten. Vollständig realisiert sind unter anderem der Isodosenatlas, die Telekonferenz, Videokonferenz und Wissensakquisition sowie Schnittstellen zu Tutorial und Diskussionsforum. Das wissensbasierte System TAPIR ist vollständig eingebettet.

7.1 Einleitung

Der hier beschriebene Prototyp von IRIS¹ bildet nach dem Systementwurf den zweiten Teil der Ergebnisse. Der Prototyp soll die wesentlichen Teile des im vorigen Kapitel beschriebenen Systementwurfs verifizieren. Er implementiert die wichtigsten Funktionen, so dass eine erste Version des Systems entsteht, die im klinischen Anwendungsbereich getestet werden kann.

Die Testumgebung beschränkt sich in der ersten Phase auf das Intranet des Deutschen Krebsforschungszentrums. In der zweiten Phase soll der Prototyp mit Kooperationspartnern des DKFZ, wie dem Universitätsklinikum Heidelberg und dem Universitätsklinikum Mannheim getestet werden. In der dritten Phase soll IRIS im Internet veröffentlicht werden. Parallel zu den Tests wird der Prototyp weiterentwickelt und verfeinert bis das komplette Systemkonzept praktisch umgesetzt ist.

Bei Abschluss dieser Dissertation befindet sich der Prototyp in der ersten Testphase und läuft im Intranet des DKFZ. Die zweite Testphase wurde im Rahmen dieser Arbeit vorbereitet.

Um dieses Kapitel nicht durch unnötige Wiederholungen aufzublähen, werden Details, die schon im vorigen Kapitel 6 beschrieben wurden nicht mehr erläutert. Die Einbeziehung der in Kapitel 6 gelb und grün markierten Abschnitte sind daher unbedingt notwendig, um ein vollständiges Bild des aktuellen Entwicklungsstandes vom Prototypen zu erhalten.

7.2 Der Isodosenatlas

Der Isodosenatlas wurde zusammen mit dem Planpräsentationsmodul als erste Komponente implementiert.

Der Prototyp bietet derzeit drei verschiedene Bildschirmseiten für die Darstellung von Bestrahlungsplänen an. Die drei Bildschirmseiten werden in Abbildung 7.1, Abbildung 7.3 und Abbildung 7.2 auf den Seiten 99 bis 100 gezeigt. Diese Ansichten können abwechselnd im Hauptfenster des IRIS Java Applets angezeigt werden. In der ersten Ansicht (Abbildung 7.1) werden die zweidimensionalen Schichtbilder verkleinert angezeigt. Die Bilder sind wie auf einem Leuchtschirm in Reihe angeordnet. Beim Anklicken einer Schicht wird diese vergrößert angezeigt und kann beliebig gezoomt werden. Dosisverteilung sowie Konturen von Zielvolumen, Risikoorganen und Strahlenfeldern sind in der vergrößerten Darstellung eingezeich-

¹ Homepage des Protoyps: <http://www.dkfz.de/fs05/e0403/IRIS.html>

net. Die Dosisverteilung wird als Colorwash und in Form von Isodosenlinien angezeigt. Damit das Bild übersichtlicher wird, können einzelne Strukturen in den Schichtbildern wahlweise aus- und wieder eingeblendet werden.

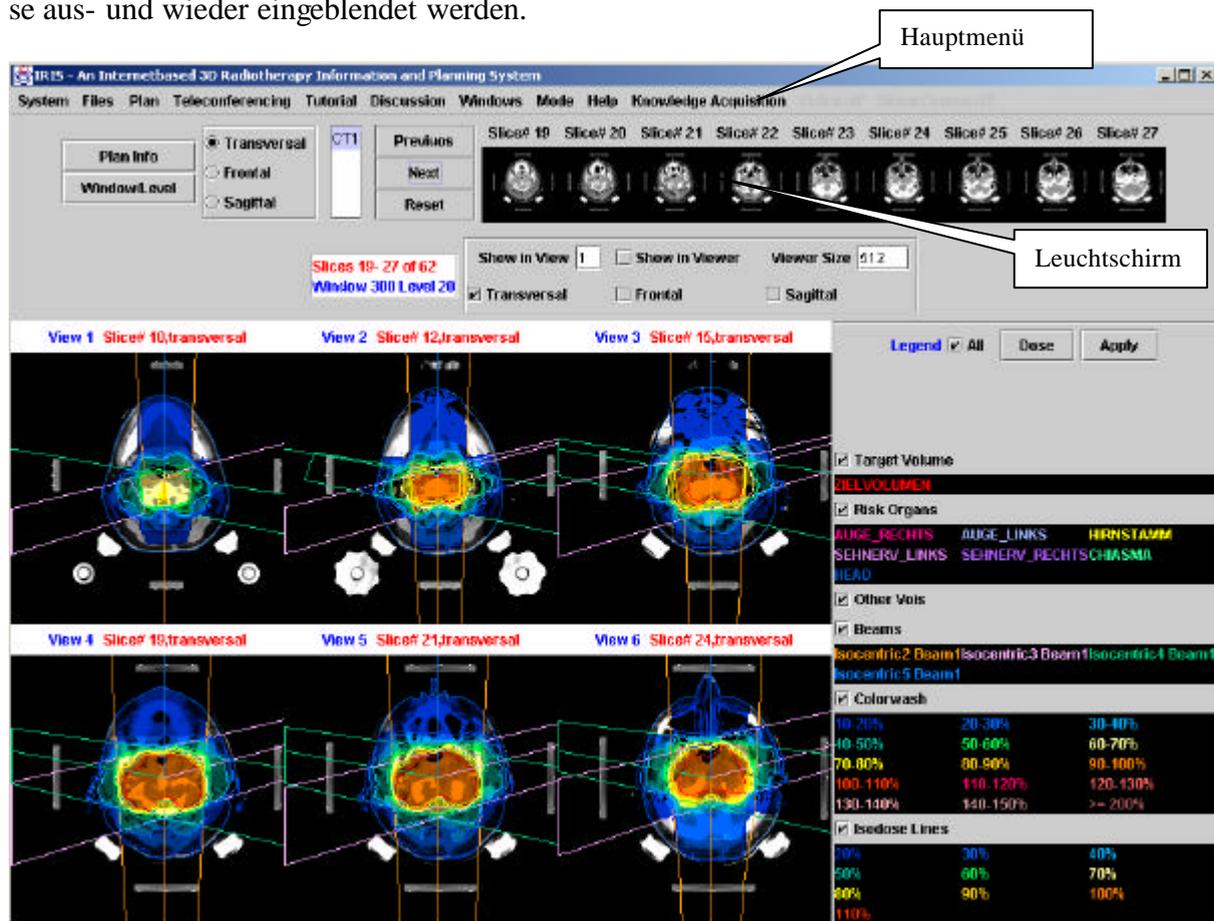


Abbildung 7.1 Isodosenatlas, 2D Ansicht. Der Screenshot zeigt die 2D Ansicht des Isodosenatlases. Sie wird im Hauptfenster des IRIS Applikations angezeigt. Über das Menü kann auf alle funktionalen Module von IRIS zugegriffen werden. Die abgebildete 2D Ansicht zeigt exemplarisch die Schichten eines CT-Würfels. Der Benutzer hat einen Überblick über alle vorhandenen Schichten anhand einer Leuchtschirmdarstellung. In den vergrößerten Schichtbildern werden die Konturen mit der Dosisverteilung dargestellt.

Möglichst sinnvolle Farbwerte werden von dem System automatisch vorgegeben, wobei das Zielvolumen immer rot dargestellt wird. Eine Veränderung der vorgegebenen Grauwertdarstellung des zugrundeliegenden medizinischen Bilddatensatzes durch den Benutzer ist möglich. Die Grauwertdarstellung kann so gewählt werden, dass einzelne Organstrukturen besser zur Geltung kommen.

Die zweite Bildschirmseite (Abbildung 7.2, Seite 100) zeigt die Bestrahlungsparameter, das Dosis-Volumen-Histogramm (DVH) und die Statistik zum DVH.

Die dritte Bildschirmseite (Abbildung 7.3, Seite 101) zeigt die dreidimensionalen Szenen. Bisher wurde die Observer's View realisiert, die den räumlichen Zusammenhang von Zielvolumen, Risikoorganen und Strahlenfeldern verdeutlicht. Zweidimensionale transversale Schichtbilder können in die Szene hinein projiziert werden (Abbildung 6.2, Seite 69). Die Auswahl der einzublendenden transversalen Schicht kann wahlweise durch die Angabe der Schichtnummer oder durch das Anklicken der entsprechenden Schichtposition in den Frontal- bzw. Sagittalschnitten erfolgen.

In den Isodosenatlas können Pläne aus der Wissensbasis von TAPIR geladen werden. Auch das automatische Generieren von Plänen zu vorgegebenen Falldaten ist möglich. Die derzeitige Implementierung von TAPIR sortiert die Skelettpläne in der Wissensbasis nach Tumorlo-

kalisationen, kodiert mit ICD-O. Der Isodosenatlas ist den Möglichkeiten von TAPIR angepasst. Durch Angabe der angewandten Technik ist zusätzlich eine Auswahl der Pläne nach der Bestrahlungstechnik möglich. Eine weitere Differenzierung nach histologischen und morphologischen Gesichtspunkten ist im Quellcode des Prototyps bereits berücksichtigt.

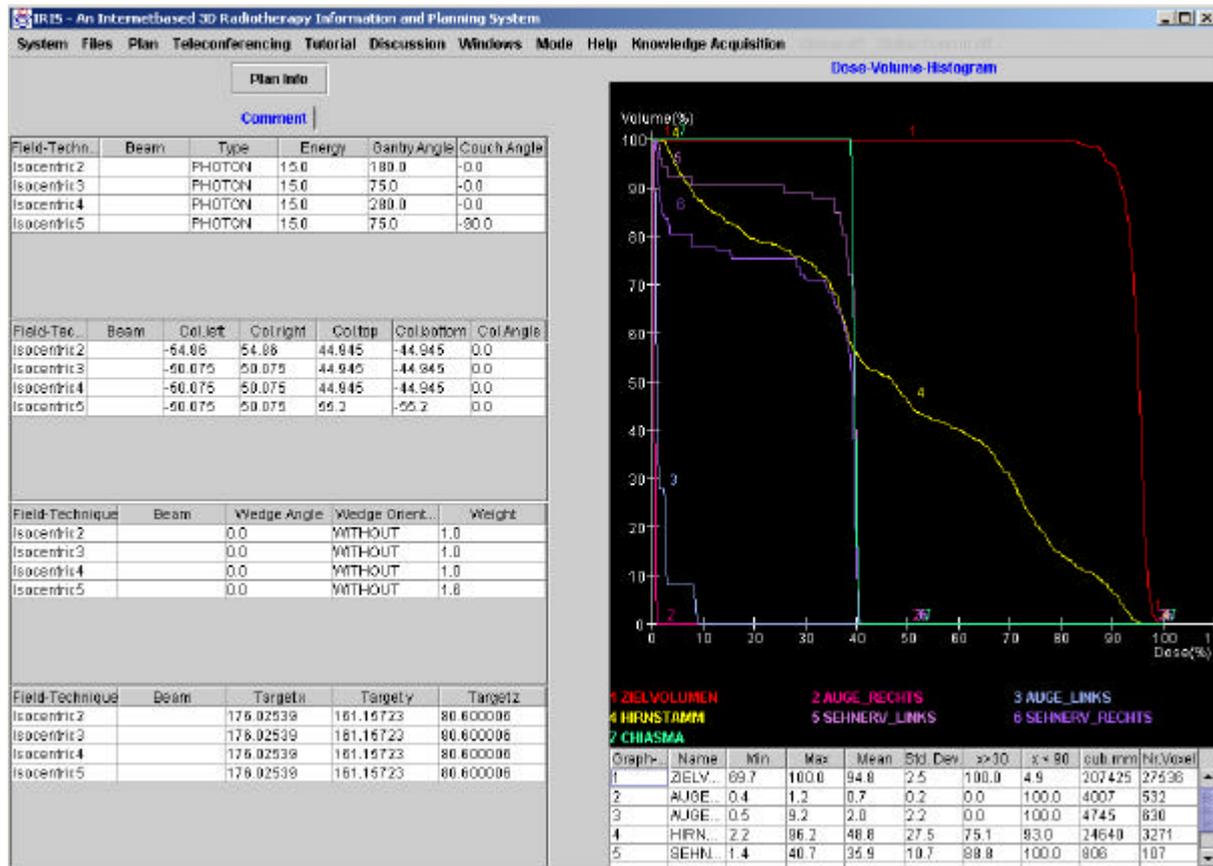


Abbildung 7.2 Isodosenatlas, technische Ansicht. Der Screenshot zeigt die Darstellung der Bestrahlungsparameter in tabellarischer Form, sortiert nach Strahlenfeldern (links). Rechts wird das DVH und darunter die entsprechende statistische Auswertung gezeigt.

Für die automatische Generierung von Plänen können dem System Dateien mit den Bild- und Konturdaten bereitgestellt werden. Aus den Angaben wird die Token Datei für TAPIR von IRIS automatisch generiert und in das Arbeitsverzeichnis von TAPIR kopiert. Dadurch wird der Generierungsprozess angestoßen. Die Ergebnisdateien werden abschließend in das Arbeitsverzeichnis des Benutzers kopiert und stehen zur weiteren Bearbeitung oder zum Herunterladen zur Verfügung.

Bei der Realisierung der Planpräsentation bestand das Problem, alle notwendigen Darstellungen eines Bestrahlungsplanungssystems möglichst übersichtlich mit einem Java Applet anzeigen zu können. Daher gliedert sich die Planpräsentation in drei Darstellungsmodi, die thematisch geordnet sind und abwechselnd über die Hauptmenüzeile in das Hauptfenster von IRIS geladen werden können. Die Implementierung der Observer's View zeigt, dass es möglich ist mit Hilfe von Java 3D dreidimensionale Szenen in einem Java Applet zu integrieren, ohne zusätzliche PlugIns installieren zu müssen.

Für die 3D Darstellung verfügt der Prototyp über Java Objekte, die eine individuelle Einstellung von Beleuchtungsquellen und Transparenzen sowie Farben der verschiedenen Objekte zulassen. Schichtbilder beliebiger Art können als Texturen in die Szenen eingefügt werden. Die Koordinaten der 3D Objekte müssen zur Darstellung in triangulierter Form vorliegen. Ist

dies nicht möglich, so steht in IRIS ein von der Java 3D Bibliothek bereitgestellter Triangulationsalgorithmus zur Verfügung.

Die für die einzelnen Darstellungen benötigten Daten eines Planes werden von einem Planverwaltungsprozess auf Serverseite aus den Dateien gelesen und aufbereitet. Hierzu kann der Prozess auf mehrere Module zugreifen. Das heißt, es gibt jeweils eigene Module für Bestrahlungsparameter, Dosisverteilung, Bilddaten und Konturdaten (siehe hierzu auch Abbildung 6.3, Seite 71).

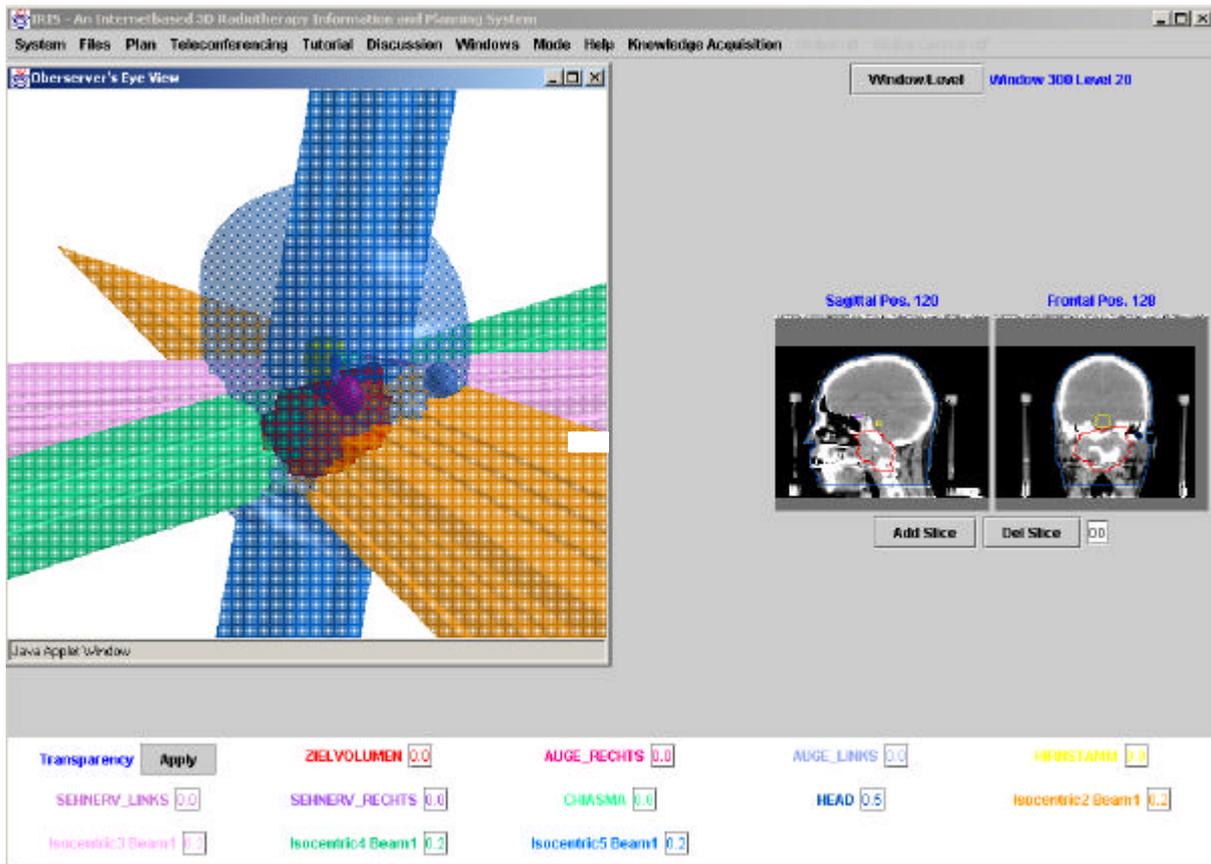


Abbildung 7.3 Isodosenatlas, 3D Ansicht. Der Screenshot zeigt mit Java 3D implementierte Observer's View. Durch Klicken in die gezeigte sagittale oder frontale Schicht, kann die entsprechende Transversalschicht in die Szene projiziert werden (siehe hierzu auch Abbildung 6.2, Seite 69). Die 3D Szene kann frei rotiert, verschoben und gezoomt werden. Die Transparenz der einzelnen Objekte ist frei wählbar. Dadurch können einzelne Objekte auch ausgeblendet werden.

7.3 Das Diskussionsforum

Für das Diskussionsforum wurde eine grafische Benutzeroberfläche implementiert, die vorerst in einer separaten Testumgebung existiert. In dieser Testumgebung wurde die Kommunikation der Java Oberfläche mit der relationalen Datenbank PostgreSQL erprobt. Bei diesem Test wurden Möglichkeiten der Bearbeitung und Administration einer PostgreSQL Datenbank über das Internet berücksichtigt. Als Kommunikationsbasis wurde hierfür gemäß dem Systementwurf JDBC mit SQL verwendet. Die verwendete Testumgebung besteht aus einem Java Applet, das im Internetbrowser mit der PostgreSQL Datenbank auf Serverseite kommuniziert. Die Tests zeigen, zusammen mit den Erfahrungen die das CHILI Projekt am DKFZ mit PostgreSQL gemacht hat [Werner 98], dass PostgreSQL für die Realisierung des Diskussionsforums in IRIS geeignet ist.

Der IRIS Prototyp sieht in seiner derzeitigen Fassung eine Kommunikationsschnittstelle zur Einbindung eines fertigen Prototyps vor. Die Schnittstelle ist einfach gehalten und erlaubt das Einfügen des Diskussionsforums als separates Modul in die Gesamtstruktur des Systems. Die Schnittstelle sieht einen Austausch von gemeinsamen Datenstrukturen vor, so dass Inhalte des Diskussionsforums mit den Darstellungsmöglichkeiten von IRIS angezeigt und bearbeitet werden können. Auch der umgekehrte Fall wird durch die Schnittstelle ermöglicht. Es können in IRIS wiedergegebene Darstellungen in das Diskussionsforum aufgenommen werden. Derzeit stehen für die Anzeige von Daten die schon erwähnten Darstellungsmöglichkeiten der Planpräsentation zur Verfügung. Zusätzlich bietet die momentane Version des IRIS Prototyps noch weitere Möglichkeiten zur Präsentation der Inhalte des Diskussionsforums. Dazu gehört die Darstellung von HTML Seiten in einem separaten Browserfenster. Für die Wiedergabe von Audio- und Videodateien existiert der mit JMF realisierte Media-Player. Der Media-Player bietet normale Grundfunktionen, wie Wiedergabe, Stop und Fortsetzung der Wiedergabe sowie Wiedergabewiederholung, an.

7.4 Das Tutorial

Im Prototyp von IRIS wurde das Tutorial bisher in Form von beispielhaften HTML Seiten vorbereitet (Abbildung 7.4, Seite 103). Diese Seiten sind direkt von den einzelnen IRIS Modulen des Prototyps aus erreichbar. Es besteht die Möglichkeit, die Anfangsseite des Tutorials über einen separaten Menüpunkt des IRIS Hauptfensters zu starten. Exemplarisch sind passende Inhalte aus der am DKFZ entstandenen CD-ROM zur Strahlentherapie eingefügt worden [Schlegel 01]. Diese Multimedia CD-ROM präsentiert Forschungsergebnisse aus der Abteilung für Medizinische Physik des DKFZ und wird über den Springer Verlag Heidelberg vertrieben. Audio- und Videosequenzen des Tutorials können in einem Media-Player wiedergegeben werden (siehe Seite 73).

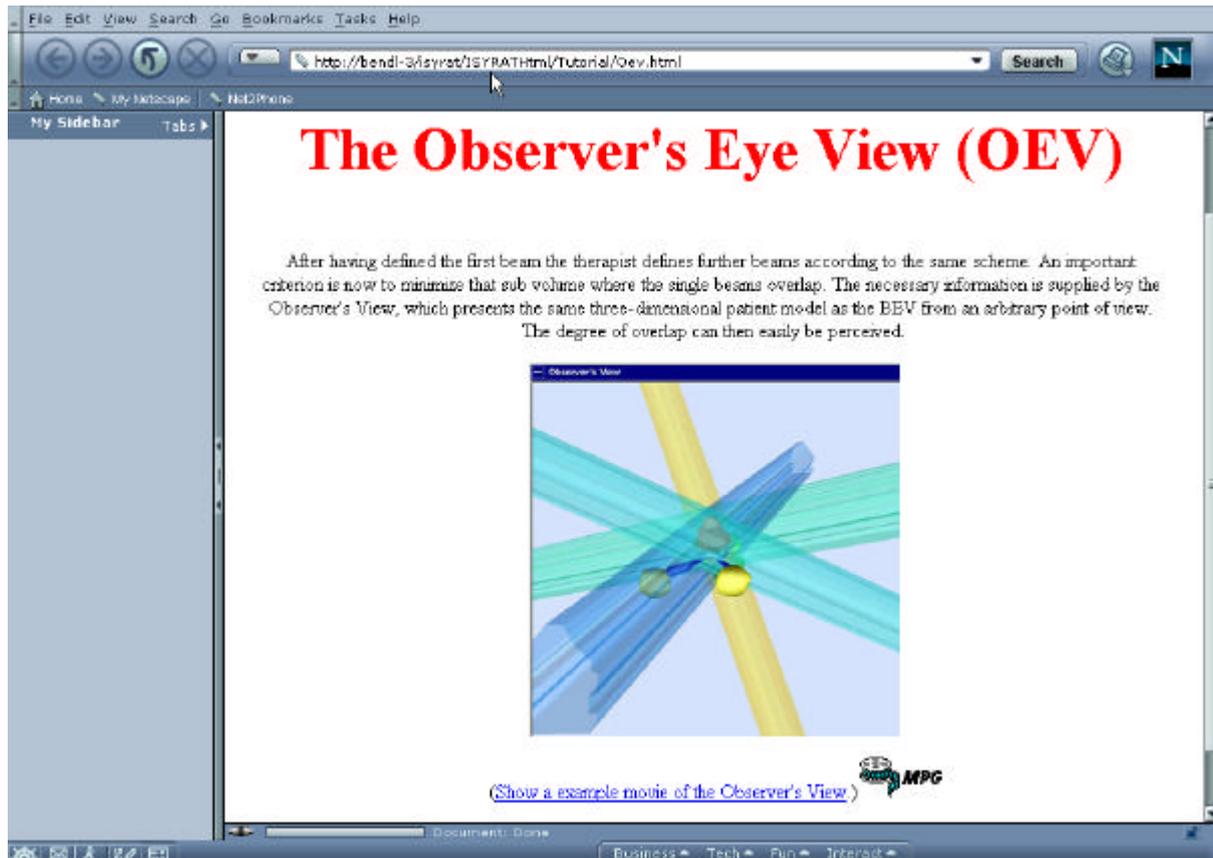


Abbildung 7.4 Tutorial, Seite der Observer's View. Der Screenshot zeigt ein Beispiel für eine Tutorialseite. Sie erläutert die Funktionalität der Observer's View.

7.5 Die Planungskomponente

Bestrahlungsparameter können in einem interaktiven Spreadsheet verändert werden (Abbildung 7.5, Seite 103). Diese Änderungen werden in einem Protokoll vom System automatisch mit protokolliert. Für die Umwandlung der so entstandenen Textdatei in eine HTML Datei verfügt der Prototyp über ein eigenständiges Java Modul, das die konvertierte Datei im Arbeitsverzeichnis des Benutzers ablegt und den Inhalt in einem separaten Browserfenster anzeigt (Abbildung 7.6, Seite 105).

Für die Neuberechnung der Dosisverteilung enthält der Prototyp auf Serverseite einen automatischen Aufruf des Dosisberechnungsalgorithmus DC09 als selbständigen Serverprozess.

Field-Tec...	Beam	Col.left	Col.right	Col.top	Col.bottom	Col.Angle
Isocentric2		-54.86	54.86	44.945	-44.945	0.0
Isocentric3		-50.075	50.075	47.0	-44.945	0.0
Isocentric4		-50.075	50.075	44.945	-44.945	0.0
Isocentric5		-50.075	50.075	55.2	-55.2	0.0

Abbildung 7.5 Planungskomponente. Der Screenshot zeigt die Änderung der Bestrahlungsparameter innerhalb einer Telekonferenz. Der Parameter wird von dem Benutzer RB2 geändert. Das Bild zeigt den Vorgang aus der Sicht der anderen Teilnehmer. Der Cursor des Benutzers ist an der Stelle, die geändert wird sichtbar. Die Zeile des geänderten Strahlenfeldes färbt sich rot. Zusätzlich wird der Vorgang im Sitzungsprotokoll automatisch eingetragen (Abbildung 7.6, Seite 105).

7.6 Die Telekonferenz und Videokonferenz

Neben der Implementierung des Isodosenatlases und der Planpräsentation bildet die Entwicklung der Tele- und Videokonferenzkomponente den zweiten großen Schwerpunkt des Prototyps.

Der Prototyp verfügt über alle wichtigen Funktionen einer Tele- und Videokonferenz. Zur Kommunikation stehen Chat, Videoübertragung und Audioübertragung bereit. Die Führung eines gemeinsamen Sitzungsprotokolls (Abbildung 7.6, Seite 105) ist ebenfalls realisiert, genauso wie die wesentlichen Bestandteile der Plandiskussion innerhalb einer Telekonferenz. Damit ist das in Abschnitt 6.8 auf Seite 79 erläuterte Systemkonzept im Prototyp fast vollständig umgesetzt und getestet worden.

Im Rahmen einer Plandiskussion können gemeinsame Skizzen und Notizen angefertigt werden (siehe dazu auch Abbildung 6.7 auf Seite 80 und die Erläuterungen von Seite 80).

Die im Rahmen der Telekonferenz vorgenommenen Änderungen der Bestrahlungsparameter werden mit einer automatischen Eintragung im gemeinsamen Sitzungsprotokoll festgehalten. Chat, Protokoll und Application Sharing sind mit JSDT realisiert, die Videokonferenz mit JMF. Für die Wiedergabe der übertragenen Video- und Audiosignale wurde der besprochene Media-Player leicht modifiziert. Anstatt der Entgegennahme von über HTTP übertragenen Dateiinhalt werden bei der Videokonferenz Daten von der Videokamera bzw. dem Mikrofon eines anderen Rechners wiedergegeben. Das hierfür verwendete Übertragungsprotokoll ist RTP. Für die Verwaltung der einzelnen Übertragungskanäle sind im Java Applet und im Telekonferenzserver des Prototyps entsprechende Routinen entwickelt worden. Jedem Kanal wird ein Media-Player zur Ton- bzw. Bildwiedergabe zugeordnet, so dass pro Konferenzteilnehmer zwei Player geöffnet werden, aber nur der Player zur Bildwiedergabe sichtbar ist. Durch diese Lösung werden Ton und Bild unabhängig von einander an- und ausschaltbar. Das Videobild eines jeden Teilnehmers wird in einem eigenen Applet-Fenster angezeigt. Zu Testzwecken ist die Anzahl der gleichzeitig geöffneten Video- und Audioverbindungen im Prototyp vorerst noch nicht beschränkt (siehe dazu auch Seite 81).

Mit den Bibliotheken JSDT und JMF ist es möglich, umfangreiche Tele- und Videokonferenz Funktionalitäten zu realisieren. Jedoch sind beide Bibliotheken bei Sun noch in Entwicklung, so dass der volle Bibliotheksumfang von Sun noch nicht implementiert ist, aber für zukünftige Versionen angekündigt wird. Dadurch bieten diese Bibliotheken auch zukünftigen Versionen von IRIS gute Möglichkeiten zur Erweiterung und Verbesserung der derzeitigen Video- und Telekonferenz Funktionalität.

Zu Testzwecken befinden sich im Prototyp neben der oben beschriebenen Lösung weitere alternative Realisierungsvarianten für eine Telekonferenz:

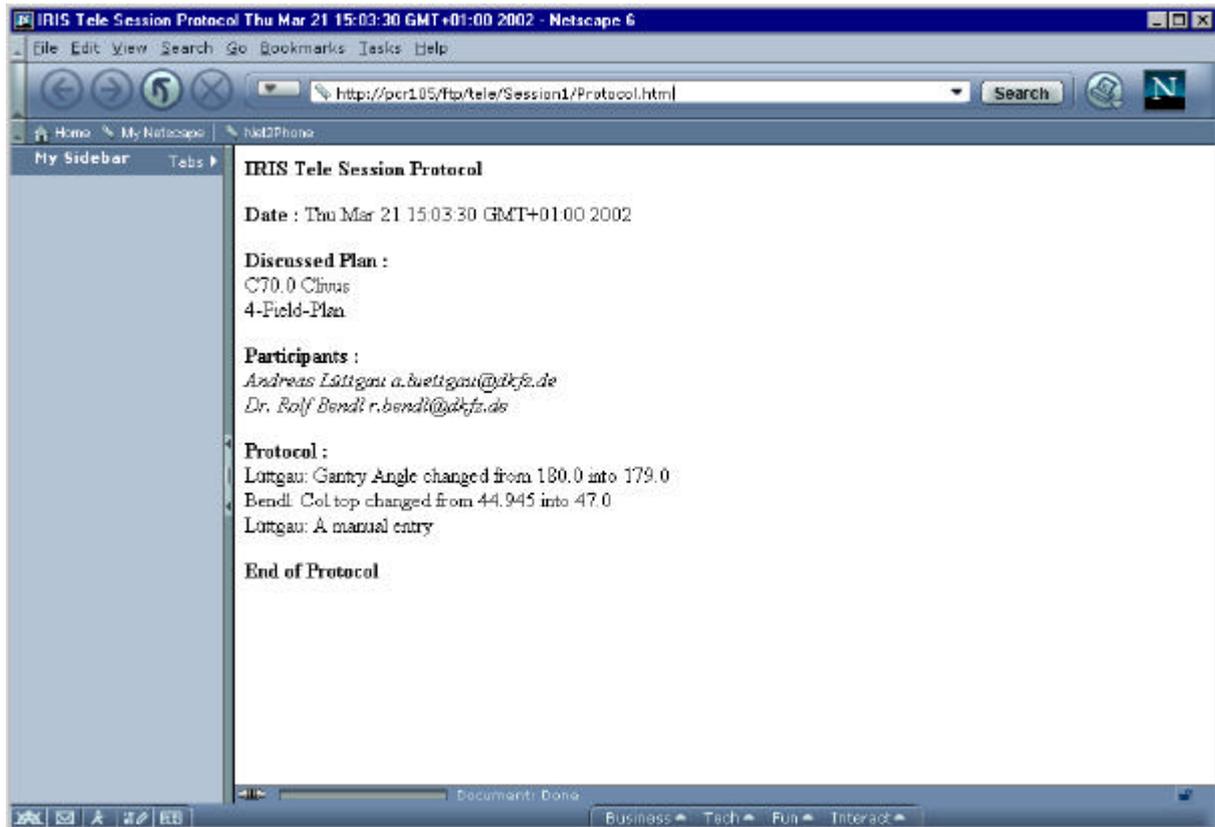


Abbildung 7.6 Telekonferenz, Sitzungsprotokoll. Die Abbildung zeigt die HTML Seite des Protokolls einer Telekonferenzsitzung. Im vom System generierten HTML Dokument werden Sitzungsteilnehmer, Konferenzzeit, der diskutierte Fall und alle vorgenommenen Veränderungen automatisch eingetragen.

- Alternative für die Audioübertragung: Die Übertragung von Audiosignalen vom Mikrophon des Benutzers zu den Lautsprechern der anderen Sitzungsteilnehmer kann alternativ zu JMF in Java mit Hilfe der Java Klassenbibliothek Java Sound und JSDT hergestellt werden.
- Alternative für die gesamte Videokonferenz: Mit der Einbindung von NetMeeting wird für IRIS auf einfache Weise die vollständige Funktionalität einer Videokonferenz erreicht. Die Einbindung von NetMeeting wurde über ein HTML Tag realisiert, das den Start der lokalen NetMeeting-Installation auslöst. Die dazugehörige HTML Seite kann in einem separaten Browserfenster geöffnet werden. Das Benutzerinterface von NetMeeting wird in dieser HTML Seite angezeigt und der Funktionsumfang von NetMeeting für Whiteboard, Chat, Application Sharing und Videoconferencing steht dem Anwender zur Verfügung. NetMeeting könnte also gegebenenfalls die oben beschriebene selbstentwickelte Java Lösung überflüssig machen. Dass dies nicht der Fall ist, zeigen die im folgenden Kapitel 8 auf Seite 112 diskutierten Testergebnisse des Prototyps. Im Gegensatz zur Eigenentwicklung mit Java kann mit NetMeeting keine Videokonferenz realisiert werden, die unabhängig vom Betriebssystem ist. Zudem bietet die Eigenentwicklung ein hohes Maß an Flexibilität. So ist beispielsweise für jeden Konferenzteilnehmer immer noch eine Bedienung von IRIS unabhängig von den anderen Partnern möglich. Dies ist in NetMeeting nicht der Fall. Auf weitere Vorteile der Eigenentwicklung wird in Kapitel 8 eingegangen.

7.7 Die Wissensakquisition

Die Entwicklung der Wissensakquisitionskomponente erfolgte im Rahmen einer Studienarbeit [Billewitz 01]. Es entstand ein Prototyp, der in das Gesamtsystem eingebunden wurde. Grundlage der Studienarbeit war der Systementwurf von Abschnitt 6.9 auf Seite 83.

Für die Integration des Prototyps der Studienarbeit in den IRIS Prototypen wurde eine Schnittstelle zwischen der grafischen Oberfläche des Isodosenatlases und der Wissensakquisition geschaffen. Diese Schnittstelle ermöglicht die Übernahme der im Isodosenatlas angezeigten Pläne in die Wissensbasis.

Für die Wissensakquisitionskomponente wurde ergänzend zu der Studienarbeit eine Benutzerverwaltung realisiert, die mehrere Personen zur Modifikation der Wissensbasis autorisieren kann.

Ein Kontrollmodul lässt gleichzeitig jeweils nur einen Wissensakquisitor oder eine per Telekonferenz kooperierende Gruppe zur Bearbeitung zu. Dadurch soll die Konsistenz der Wissensbasis gewährleistet werden.

Neben der in IRIS integrierten Fassung kann die Wissensakquisitionskomponente als selbständige Java Applikation oder als Java Applet verwendet werden.

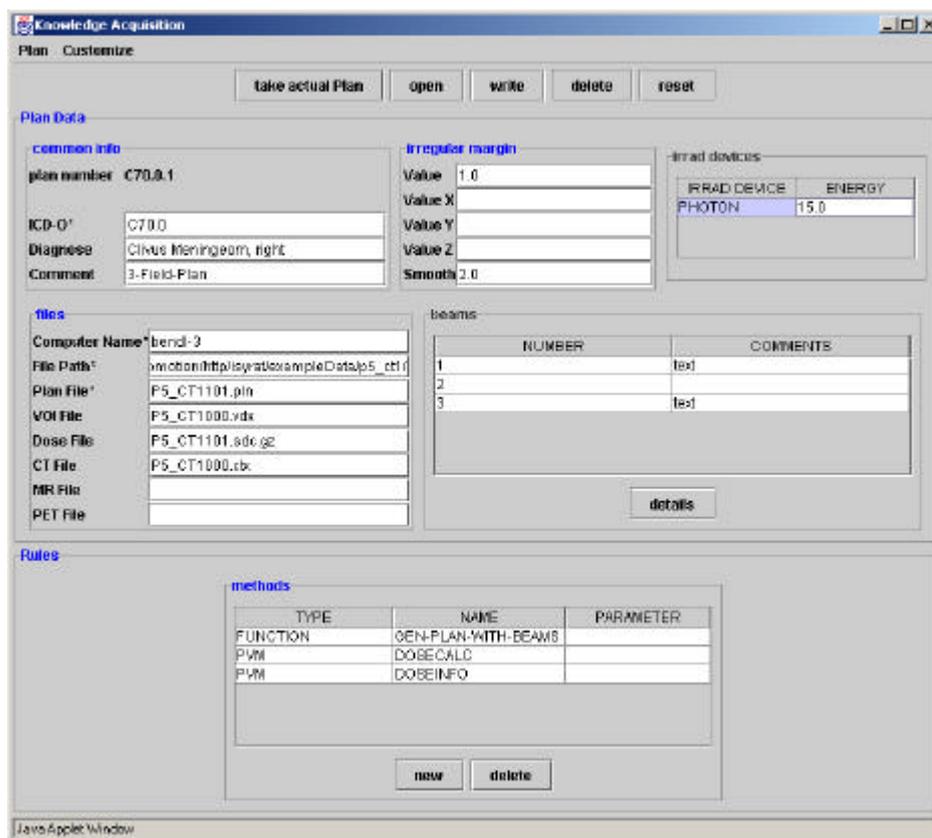


Abbildung 7.7 Wissensakquisitionskomponente. Im gezeigten Hauptfenster der Wissensakquisitionskomponente können alle Parameter für die Wissensbasis eingetragen werden. Wesentlich ist die Angabe der Tumorklassifikation und der Datei mit den Bestrahlungsparametern. Weiterhin ist die Auswahl von Optimierungsmethoden in dem Feld Methods möglich. Ein weiterer Screenshot zur Wissensakquisition befindet sich auf Seite 83.

Der Prototyp der Studienarbeit umfasst die Möglichkeit der Aufnahme von Plänen in die Wissensbasis und der Planmodifikation. Optimierungsregeln für die Pläne können aus einer Liste der in TAPIR vorhandenen Algorithmen ausgewählt und kombiniert werden.

7.8 Die Systemadministration

Der Prototyp sieht für die Systemkonfiguration noch keine Dateien vor. Es existiert auch noch keine Benutzeroberfläche zur Systemverwaltung. Die Konfiguration des Servernetzwerkes muss im Prototyp noch direkt in spezielle Quellcode-Dateien eingetragen werden. Für die bisherigen Testzwecke ist diese vorläufige Lösung ausreichend.

7.9 Integration der Module im Internetbrowser

Die einzelnen Module von sind in einem gemeinsamen Java Applet integriert. Sie verwenden für den Datenaustausch untereinander gemeinsame Datenstrukturen. Über die Menüzeile des Hauptfensters können die einzelnen Komponente gestartet und bei Bedarf gleichzeitig oder im Wechsel verwendet werden.

7.10 Zugangsbeschränkung

Der Prototyp führt die Zugangskontrolle über einen Passwortschutz aus. Für die Beantragung eines Passwortes bietet der Prototyp ein Registrierungsformular an.

Für eine zuverlässigere und strengere Kontrolle muss das im Kapitel 6 auf Seite 86, Abschnitt 6.11.4 erläuterte Konzept der Zertifizierung implementiert werden.

7.11 Multiuserfunktionalität

Das Konzept der auf Seite 88, Abschnitt 6.13 beschriebenen Multiuserfunktionalität ist im Prototyp vollständig umgesetzt und erfolgreich getestet worden.

Lediglich bei der Wissensakquisitionskomponente fehlt noch die Möglichkeit für mehrere Anwender, über Telekonferenz die Wissensbasis gemeinsam zu bearbeiten. Diese Funktionalität kann analog zu der im derzeitigen Prototypen gezeigten Implementierung einer Telekonferenz problemlos hinzugefügt werden.

7.12 Das Kopieren von Dateien

Für das Kopieren von Dateien wurden nach dem in Abschnitt 6.16 auf Seite 91ff beschriebenen Systemkonzept im Prototypen einige Routinen und Module entwickelt. Sie ermöglichen das Kopieren von Dateien innerhalb des Servernetzwerkes, aber auch lokal auf einzelnen Serverrechnern. Auch Module für das Herunterladen bzw. Heraufladen von Daten zwischen Anwender und IRIS Server sind vorhanden und getestet. Für den Datenaustausch zwischen Anwender und Server sind Java Module direkt im Applet integriert. Sie greifen auf die Festplatte des Benutzers zu, sofern sie durch Eintragungen in der Policy Datei dazu berechtigt sind und lesen bzw. schreiben die entsprechenden Daten. Die Daten werden über eine CORBA Verbindung zwischen Browser und Server ausgetauscht. Die Dateien im Servernetzwerk werden ebenfalls als CORBA Objekte zwischen den einzelnen Serverrechnern kopiert. Für die Ausführung von lokalen Dateioperationen greifen die C++ Module auf Serverseite aus Effizienzgründen auf allgemeine Unix Systembefehle zurück.

7.13 Datenschutz

Da alle in IRIS abgelegten Daten anonymisiert sind, muss außer der implementierten Zugangsbeschränkung vorerst keine weitere Maßnahme getroffen werden. Erst bei Anwendungen von IRIS mit nicht anonymisierten Daten muss das auf Seite 92 in Abschnitt 6.17 erläuterte Konzept zum Datenschutz praktisch umgesetzt werden.

7.14 Der Datenaustausch zur Laufzeit

Derzeit werden die Bilddaten der Pläne unkomprimiert übertragen. Das heißt, es wird der komplette Schichtwürfel in 16 bit Kodierung pro Pixel versandt. Diese vom Systementwurf abweichende Version wurde gewählt, um die Rechenbelastung des Servers möglichst gering zu halten, und individuelle Berechnungen zur Bilddarstellung direkt unter Verwendung der Ressourcen des Anwenders durchführen zu können.

7.15 IRIS Datenpakete

Der Prototyp verfügt derzeit über Java Routinen, die Datenarchive im ZIP Format anlegen und wieder entpacken können. Mit diesen Routinen können IRIS Pakete erstellt werden. Das Format einer Informationsdatei für ein Datenpaket legt der Prototyp gemäß Abbildung 6.15 auf Seite 94 beispielhaft fest.

7.16 Unterstützung von Standards für den internationalen Planaustausch

Der IRIS Prototyp wird derzeit ausschließlich im Intranet des DKFZ eingesetzt. Daher ist es ausreichend, wenn Plandateien im VIRTUOS Format gelesen werden können. Konvertierungsroutinen für LANTIS und RTOG existieren, sind aber in der aktuellen Version nicht eingebunden. DICOM RT muss noch implementiert werden.

7.17 Das Servernetzwerk

Das Servernetzwerk ist entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 6.14 auf Seite 89 im Prototyp realisiert. Beide im vorigen Kapitel beschriebenen Varianten der Installation des Servernetzwerkes wurden im Prototyp getestet. Für die Variante der direkten Kommunikation des Applets mit allen Serverrechnern verfügt der Prototyp über eine entsprechend vorgefertigte Policy Datei, die vom Anwender heruntergeladen werden kann. Für die Variante der Kommunikation über einen zentralen Rechner wurde ein Vermittlungsprozess entwickelt. Der Prozess zeigt, wie die CORBA Anfrage des Clients an den jeweiligen Serverrechner weitergeleitet werden kann.

7.18 Kommunikation durch eine Firewall

Für die Kommunikation durch eine Firewall sind im IRIS Prototyp zwei Lösungen vorgesehen:

1. Die Kommunikation über freigeschaltene Ports
2. HTTP-Tunneling

Bei der Serverkonfiguration können bestimmte Ports definiert werden. Diese Ports müssen vom Administrator der Firewall freigeschaltet werden. Da das Freischalten von zusätzlichen

Ports immer ein Sicherheitsrisiko darstellt, ist in IRIS als zweite Lösung HTTP-Tunneling vorgesehen. Das heißt, dass die Kommunikation stets über den HTTP Port 80 läuft. Dieser Port ist in jeder Firewall freigeschaltet. HTTP-Tunneling hat den weiteren Vorteil, dass der IRIS Benutzer, sofern er sich hinter einer Firewall befindet, seine Firewall nicht umkonfigurieren lassen muss.

Arbeitet im Prototyp die auf JSDT basierte Kommunikation wahlweise mit HTTP-Tunneling oder mit vordefinierten Ports, so unterstützt die verwendete kostenlose CORBA Implementierung Orbacus HTTP-Tunneling noch nicht. Der Server muss also derzeit mit einem festen Port für den Datenaustausch über IIOP konfiguriert werden. Für die Testphase von IRIS ist dies ausreichend.

Im Internet-Einsatz kann der Verzicht auf HTTP-Tunneling bei CORBA zu Problemen führen, wenn Firewalls IIOP blockieren. Für diese Fälle müsste die Implementierung durch eine der kommerziellen Lösungen, die HTTP-Tunneling unterstützen, ersetzt werden. [Hirukawa 01, Rothkugel 99]. Damit ein Austausch der CORBA Implementierung problemlos möglich ist, wurde die CORBA Schnittstelle im Prototyp möglichst schmal und allgemein gehalten.

Resultate aus der erwähnten Literatur und die entsprechende Anwendung der JSDT Implementierung im IRIS Prototypen zeigen, dass die Kommunikation durch eine Firewall mittels HTTP-Tunneling problemlos funktioniert.

JMF bietet für die Videokonferenz über RTP kein HTTP-Tunneling an. Daher ist, wie im Systemkonzept vorgeschlagen, ein fester Bereich an Ports für die Kommunikation vorgesehen. Aus diesem Bereich wählt das System automatisch Portnummern für den Datenaustausch aus. Der dynamische Bereich des Prototyps umfasst die Nummern 6970 – 7170, wie sie in der Literatur für Real Audio und Video Anwendungen angegeben sind und in den meisten Firewalls freigeschaltet sein müssten [Akerman 01].

KAPITEL 8

Test des Prototyps

Dieses Kapitel zeigt einige Ergebnisse des Prototypentests im Intranet des DKFZ. Es liegt eine Bandbreite von 10 Mbit/s vor. Das Gesamtverhalten des Systems zeigt, dass auf gängigen Pentium Rechnern ein effektives Arbeiten möglich ist. Für ein Arbeiten im Internet über ISDN sollte die komprimierte Übertragung von Bilddaten implementiert werden. Weiterhin zeigt ein Vergleich von NetMeeting mit der Eigenentwicklung der Telekonferenz, dass die Eigenentwicklung in der Handhabung und Darstellung NetMeeting überlegen ist. Im Bereich der Videokonferenz erweist sich die Lösung mit JMF als sehr gut brauchbar, wenn auch diese Java Bibliothek noch ein paar Schwächen aufweist. Am Anfang dieses Kapitels werden außerdem die Installation des Prototyps und die verwendete Testumgebung genauer beschrieben.

8.1 Testvorbereitung-Installation des Prototyps

Die Installation gliedert sich in zwei Teile. Zum Einen müssen Daten und Systemteile, die vom Benutzer heruntergeladen werden können auf einem Serverrechner bereitgestellt werden. Zum Anderen müssen die Serverprozesse auf die zur Verfügung stehenden Serverrechner verteilt und das Servernetzwerk konfiguriert werden. Im Folgenden werden die Einzelnen Schritte zur Serverinstallation aufgeführt:

- Definition der Verbindungsart zwischen Client und Server: Bei der Einrichtung des Servernetzwerkes muss entschieden werden, ob vom Benutzer aus eine direkte Verbindung zu allen Rechnern im Netz möglich sein soll, oder ob die Kommunikation ausschließlich über einen Serverrechner, der als Gateway dient, laufen soll. Mit dem Prototypen werden beide Varianten getestet.
- Installation eines Web Servers auf jedem Serverrechner für die HTTP Kommunikation.
- Installation von PVM auf jedem Serverrechner für das Prozessmanagement. Der jeweilige PVM Dämonprozess wird dann beim Hochfahren automatisch vom IRIS Server gestartet.
- Aufteilen der einzelnen Prozesse auf die Serverrechner.
- Registrierung der Serverrechner: In den Konfigurationsdateien muss eingetragen werden, welche Rechner zum Servernetzwerk gehören.
- Registrierung der Prozesse: In den Konfigurationsdateien muss eingetragen werden, welcher Prozess auf welchem Rechner läuft. und auf welchem Rechner sich die zentralen Prozesse befinden.
- Registrierung der Arbeitsverzeichnisse: In den Konfigurationsdateien muss eingetragen werden, wo die jeweiligen Benutzerverzeichnisse vom System eingerichtet werden sollen.
- CORBA Registrierung: In den Konfigurationsdateien muss eingetragen werden, wo die Objektidentifikationen der einzelnen CORBA Objekte zu finden sind.
- Definition der Optionen für die Firewall: In den Konfigurationsdateien muss eingetragen werden, ob HTTP Tunneling verwendet werden soll und welche Ports für die Kommunikation mit JSDT, RTP und CORBA belegt werden sollen.

Der Benutzer von IRIS muss auf seinem Rechner einen Internetbrowser installiert haben, um die Benutzeroberfläche herunterladen und verwenden zu können. Der Prototyp ist

so konzipiert, dass weitere Zusatzinstallationen keinen großen Aufwand verursachen. Ganz vermeiden ließen sie sich nicht, aber sie konnten auf maximal drei Zusätze beschränkt werden. Bei diesen Zusätzen handelt es sich ausschließlich um Java Produkte von Sun Microsystems, die problemlos zu installieren sind. Der erste Zusatz besteht aus sechs Dateien von Java 3D, die vom IRIS Server herunter geladen werden können. Ohne diese Dateien ist eine Darstellung der dreidimensionalen Szenen nicht möglich. Bei Nutzung des Microsoft Internet Explorers ist noch eine zusätzliche Installation der Java PlugIn Software für die 3D Darstellung notwendig.

Sollen die integrierten Media-Player sowie die Videokonferenz genutzt werden können, muss der Benutzer Teile des Java Media Frameworks bei sich installieren. NetMeeting ist in der Regel bei der Installation des Windows Betriebssystems schon dabei, kann aber auch kostenlos von der Microsoft-Homepage heruntergeladen werden. Das Java PlugIn und das Java Media Framework können vom IRIS Server bezogen werden. Die Installation von JMF betrifft die Wiedergabe von Audio- und Videosequenzen sowie die Übertragung von Audio- und Videosignalen, nicht aber die Telekonferenz mit JSST. Diese ist auch ohne Zusatzinstallation möglich.

8.2 Die Testumgebung

Zum Test des Prototyps im DKFZ-Intranet werden drei Serverrechner und zwei Client Rechner verwendet. Die Clients sind PCs mit Windows Plattformen, wobei die Systeme Windows 95, Windows NT und Windows 2000 getestet wurden. Zwei Serverrechner sind PCs mit Linux als Betriebssystem, ein Serverrechner ist eine Workstation mit DEC Unix.

Auf den Clientrechnern sind die Internetbrowser Netscape 6, Netscape Communicator 4.73 und Microsoft Internet Explorer 5.x getestet worden. Genauere Angaben über die Rechner und die installierte Software sind im Kapitel 5, Abschnitt 5.7 auf Seite 60 zu finden.

Hier soll näher auf die Verteilung der wichtigsten Serverprozesse im Testnetzwerk eingegangen werden. Ein Linux Rechner fungiert als zentraler Zugangsrechner für die Benutzer von IRIS. Er stellt die HTML Seiten von IRIS und das Applet zur Verfügung. Die zentralen Prozesse für den Login sowie für die Benutzerverwaltung sind auf diesem Rechner installiert, zusammen mit dem Telekonferenzserver, den zentralen Prozessen für das Kopieren von Daten und für die Prozessverwaltung. Zusätzlich wird auf dem Linux-Rechner noch für jeden Benutzer eine Ausprägung des Prozesses zur Planverwaltung gestartet.

TAPIR, die Wissensakquisitionskomponente, der Dosisberechnungsalgorithmus DC09 und der Prozess zur Abfrage der Wissensbasis befinden sich auf der Workstation, könnten aber genauso gut unter Linux installiert werden. Gleiches gilt auch für die PostgreSQL Datenbank, die ebenfalls auf der Workstation getestet wird. Auf dem zweiten Linux Rechner befinden sich Benutzerverzeichnisse, von denen der Benutzer seine Daten herunterladen kann.

Auf jedem der drei Serverrechner sind Prozesse zum Ein- und Auslesen von Dateien, die über das Netzwerk kopiert wurden, zum lokalen Kopieren von Dateien und zur lokalen Prozessverwaltung installiert.

8.3 Testergebnisse

Der Prototyp zeigt, dass mit dem in Kapitel 6 ab Seite 63 vorgeschlagenen Systementwurf ein klinisch einsetzbares, internetbasiertes System realisiert werden kann.

8.3.1 Verhalten in den Internetbrowsern

Beim Test des IRIS Applets in den drei Internetbrowsern fielen zum Teil gravierende Unterschiede der in den Browsern implementierten Java Virtual Machine auf. Netscape 4.7 konnte beispielsweise einige Komponenten der Swing Bibliothek, die zur Implementierung der Benutzeroberfläche verwendet wird, nicht richtig darstellen. Damit ist IRIS in Netscape 4.7 nicht richtig anwendbar. Die weitere Entwicklung des Prototyps baute auf eine Verbesserung der Java Virtual Machine von Netscape. Diese kam mit Netscape 6. Bis zur Veröffentlichung von Netscape 6 wurde IRIS ausschließlich mit dem Microsoft Internetexplorer getestet. IRIS läuft in Netscape 6 und dem Internetexplorer gleichermaßen stabil und effizient. Netscape 6 hat den Vorteil, dass es auf Java 2 aufbaut und der Benutzer somit kein Java PlugIn zusätzlich installieren muss, hat aber den Nachteil, dass der Browser vom Umfang sehr mächtig ist und gegenüber dem Internetexplorer einiges an Ressourcen braucht. Dafür bietet Netscape 6 die Möglichkeit, IRIS auch unter Linux und Unix zu verwenden.

8.3.2 Die Videokonferenz und die Telekonferenz

Für die Videokonferenz werden die drei verschiedenen im Prototyp enthaltenen Alternativen Microsoft NetMeeting, JMF und JSDT/JavaSound miteinander verglichen. Für die Telekonferenz wiederum können die zwei Alternativen JSDT und Microsoft NetMeeting miteinander verglichen werden.

Von der Funktionalität her erweisen sich die Java Lösungen (Abbildung 8.2, Seite 113) gegenüber NetMeeting (Abbildung 8.1, Seite 113) als flexibler und damit brauchbarer. Sie sind auf die individuellen Bedürfnisse der Strahlentherapieplanung abgestimmt und unabhängig von dem verwendeten Betriebssystem bzw. Internetbrowser. NetMeeting dagegen ist nur im Microsoft Internet Explorer anwendbar (siehe dazu auch Seite 39, Abschnitt 5.1.4).

Ein großer Nachteil von NetMeeting ist, dass beim Application Sharing die 3D Szene nicht sichtbar ist. Bei der integrierten Java Lösung dagegen kann die 3D Szene in vollem Umfang mit den anderen Sitzungsteilnehmern geteilt werden. Zudem kann in NetMeeting die geteilte Anwendung immer nur abwechselnd von jedem einzelnen Teilnehmer bedient werden. Alle Aktionen sind auch bei den anderen Teilnehmern sichtbar. IRIS wird also von NetMeeting komplett freigegeben, was dazu führt, dass andere Teilnehmer auch die Kontrolle über das Hauptmenü von NetMeeting des jeweiligen Benutzers bekommen. Dies ist ein unerwünschter Seiteneffekt, da dadurch die Kontrolle über den gesamten fremden Rechner möglich wird und sich eine zusätzliche Fehlerquelle bezüglich eines koordinierten Ablaufes der Sitzung ergibt.

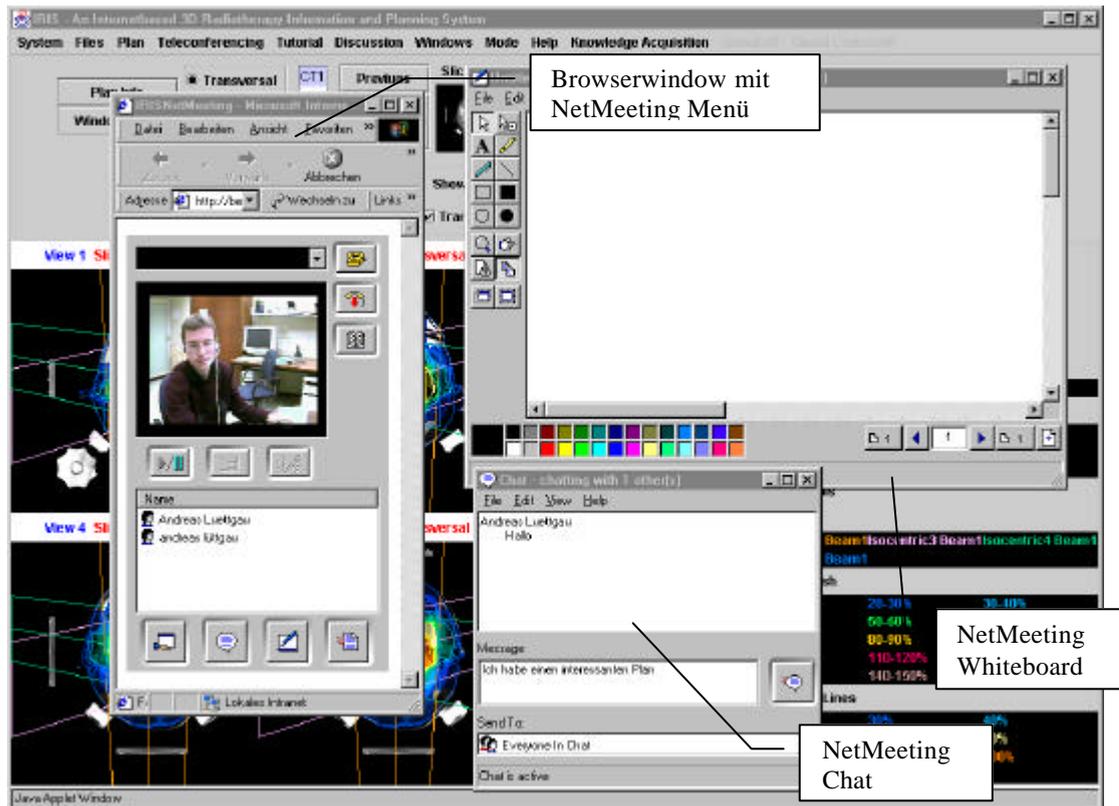


Abbildung 8.1 Microsoft NetMeeting in IRIS. Vom Hauptmenü des IRIS Prototypen aus kann Microsoft NetMeeting aufgerufen werden. Das Programm öffnet sich in einem separaten Browserfenster, wie gezeigt. Neben den gezeigten Funktionen Whiteboard, Chat und Videokonferenz, ist auch Application Sharing mit Netmeeting möglich. Allerdings werden hierbei die 3D Szenen von IRIS nicht mit übertragen.

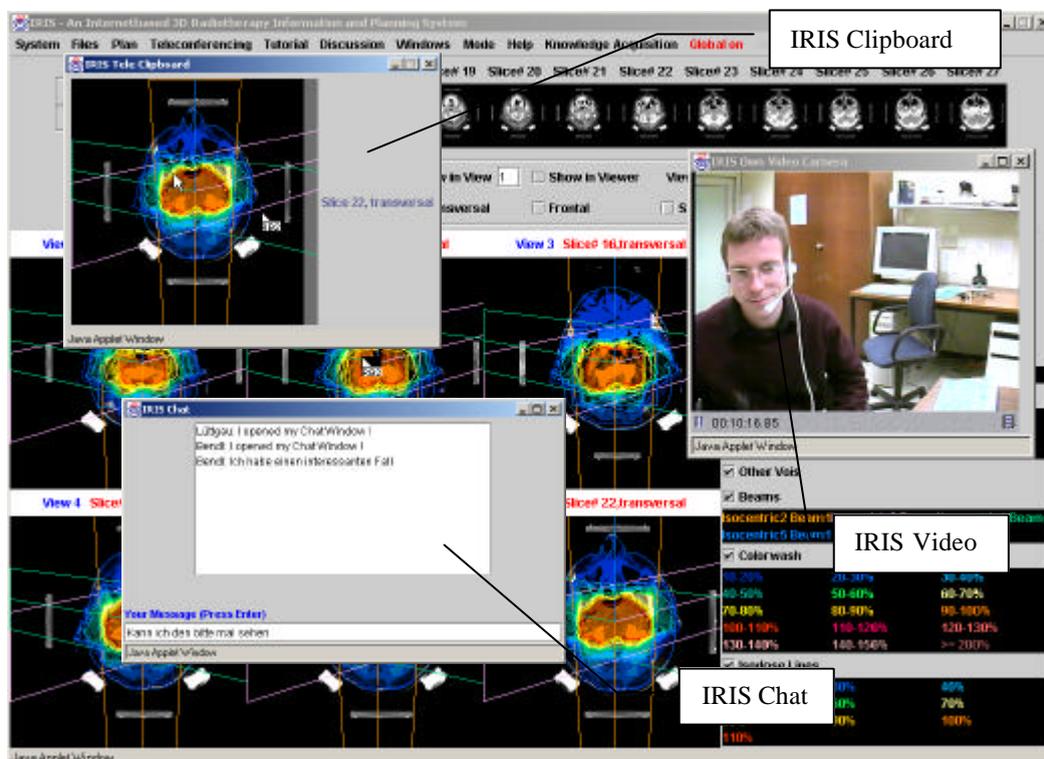


Abbildung 8.2 Integrierte IRIS Video- und Telekonferenz. Die Abbildung zeigt die mit JMF realisierte Videokonferenz in IRIS. Das Videosignal des Benutzers wird in einem separaten Applet Window angezeigt.

Die integrierte Telekonferenzkomponente von IRIS dagegen lässt nur die Kontrolle über ausgewählte Aktionen zu. Dadurch wird erreicht, dass der Sitzungsteilnehmer zu jedem Zeitpunkt der Telekonferenz die Kontrolle über seinen Rechner und IRIS hat. Es ist möglich, innerhalb einer Telekonferenz den für die anderen Teilnehmer sichtbaren Cursor an- und aus zu schalten. Damit können individuelle Aktionen durchgeführt werden, ohne dass die anderen Teilnehmer etwas davon mitbekommen oder diese Vorgänge durch die Aktionen anderer gestört werden. So kann beispielsweise während einer Telekonferenz ein Plan nach interessanten Elementen durchgesehen und erst später den anderen Sitzungsteilnehmern ausschnittsweise oder ganz zur Verfügung gestellt werden. Dies ist auch dann möglich, wenn die anderen Sitzungsteilnehmer gemeinsam mit einem anderen Plan arbeiten. Die Telekonferenzkomponente von IRIS bietet damit ausreichend Funktionalität zur gemeinsamen Kooperation bei gleichzeitiger Wahrung einer gewissen Privatsphäre und eines gewissen Grades an Unabhängigkeit von den Aktionen anderer Sitzungsteilnehmer.

Bei der Video- und Audiosignalübertragung kann mit der Java Lösung eine gute Klang- und Bildqualität erreicht werden. Die verfügbare Testumgebung ließ allerdings noch keinen Test der Videokonferenz mit mehr als zwei Teilnehmern zu. Daher konnten die Ergebnisse aus der Literatur (siehe Seite 81), wonach die Performance der Videoübertragung mit JMF bei mehr als fünf Teilnehmern nachlassen soll, noch nicht bestätigt werden. [Abdel-Wahab 99]. Dies wird sich erst in der zweiten Testphase von IRIS mit Kooperationspartnern des DKFZ zeigen (siehe dazu auch Abschnitt 7.1, Seite 98).

Die Videoübertragung lief im Intranet des DKFZ bei optimaler Einstellung nahezu synchron. Bei der Audioübertragung wurde eine Verzögerung von 0.3 Sekunden gemessen, bei einer flüssigen Sprachübertragung. Allgemein hängt der auftretende Zeitversatz von folgenden Faktoren ab:

1. der Netzbelastung
2. der Bandbreite des Netzes
3. der Größe der Datenpuffer
4. der verwendeten Kodierungs- bzw. Packalgorithmen
5. der Bildgröße (bei Videosignalen)

Von der Bildgröße und dem Netzzustand hängt schließlich auch ab, mit welcher Framerate das Videosignal übertragen wird. Bei einer Framerate unter 10 Frames pro Sekunde kann ein deutlich sichtbarer Zeitversatz von 0.5 Sekunden gemessen werden. In Tabelle 8.1 und Tabelle 8.2 auf Seite 116 sind einige Messergebnisse der Audio- und Videoübertragung dargestellt. Für die Videoübertragung wurden mehrere Kodierungen, die JMF anbietet, miteinander verglichen. Die Zahlen bei dem Übertragungsformat JPEG/RTP bedeuten die eingestellte JPEG Qualität. Die Qualität für H.263 war dagegen in der verwendeten Version von JMF nicht variabel. Der Wertebereich der JPEG Qualität reicht von 0.0 bis 1.0 und ist bei 0.3 noch durchaus gut (siehe Abbildung 8.3, Seite 115). 0.0 bezeichnet die niedrigste, 1.0 die höchste Qualität. Ab 0.2 ist eine deutliche Verschlechterung des Bildes erkennbar. Die Zeitangaben der Verzögerung sind aufgrund der oben genannten Abhängigkeiten nur ungefähre Werte. Der Wert 0 besagt, dass keine erkennbare Verzögerung auftritt.

Bei NetMeeting war die Framerate nicht bekannt. Für Videosignale verwendet es die Kodierung H.263.



Abbildung 8.3 Videokonferenz JPEG. Die zwei Screenshots zeigen das Videobild der integrierten Videokonferenzkomponente. Übertragungsformat ist hier JPEG/RTP. Das linke Bild hat die JPEG-Qualität 0.3, das rechte Bild hat 0.1. Die benötigte Bandbreite beträgt bei einer Bildgröße von 320x240 und einer Qualität von 0.3 915 Kbps. Bei einer Qualität von 0.1 sind es dagegen 420 Kbps bei gleicher Bildgröße (siehe auch Tabelle 8.1, Seite 116). Es ist zu beachten, dass die notwendige Bandbreite unter anderem von Kontrast und Bewegung im Bild abhängig ist.



Abbildung 8.4 Videokonferenz H.263. Der Screenshot zeigt ein Videobild der integrierten Videokonferenzkomponente von IRIS mit dem Übertragungsformat H.263/RTP. Bei einer Bildgröße von 176x144 wird eine Bandbreite von 80 Kbps benötigt, um Bildsequenzen mit 15 F/s übertragen zu können.. JPEG/RTP benötigt dagegen bei gleicher Bildgröße eine Bandbreite von 500 Kbps (siehe auch Tabelle 8.1, Seite 116).

Bei JMF erweist sich JPEG/RTP mit einer Bildgröße von 320x240 Pixel und einer Qualität von 0.5 als optimale Einstellung. Bei größeren Werten als 0.5 konnte keine wesentliche Verbesserung in der Bildqualität festgestellt werden, wohl aber eine zunehmende zeitliche Verzögerung bei der Bildwiedergabe. 320x240 ist eine Größe, die ein gutes Erkennen der übertragenen Daten zulässt. Eine zeitliche Verzögerung ist in dieser Einstellung nicht erkennbar. Die notwendige Bandbreite ist allerdings mit 1100 Kbps relativ hoch. Im Intranet des DKFZ spielt dies keine Rolle, wohl aber im Internet, wo mit geringeren Bandbreiten gerechnet werden muss. Für die Übertragung in Netzwerken mit geringerer Bandbreite eignet sich das Übertragungsformat H.263 (Abbildung 8.4) schon eher. Wie aus Tabelle 8.1 auf Seite 116 ersichtlich, ist die benötigte Bandbreite bei vergleichbarer Bildgröße hier wesentlich niedriger als bei JPEG. Jedoch ist in der derzeit erhältlichen Version von JMF die H.263 Implementierung noch nicht optimal umgesetzt. Erst bei der kleinen Bildgröße 176x144 ist keine zeitliche

Verzögerung mehr erkennbar. 176x144 ist zwar nicht die optimale, aber durchaus noch eine akzeptable Bildgröße.

NetMeeting dagegen überträgt auch größere Bilder ohne erkennbaren Zeitversatz.

Abschließend kann gesagt werden, dass ein gutes Arbeiten mit der integrierten JMF-Lösung von IRIS im Videobereich möglich ist. Bei größeren Bandbreiten mit JPEG und 320x240 Pixeln, bei niedrigeren Bandbreiten mit H.263 und 176x144 Pixeln.

Kodierung	Bildgröße Pixel	Framerate F/s	notwendige Bandbreite Kbps	Zeitversatz s
NetMeeting	320x240	-	480	0
JPEG/RTP 0.5	176x144	15	500	0
H.263	176x144	15	80	0
H.263	352x288	10	228	1
JPEG/RTP 0.5	758x576	4	3000	3.5
JPEG/RTP 0.8	320x240	7 – 10	8000	0.5
JPEG/RTP 0.7	320x240	15	2351	0
JPEG/RTP 0.5	320x240	15	1100	0
JPEG/RTP 0.3	320x240	15	915	0

Tabelle 8.1 Getestete Videoformate. Die Tabelle stellt die in IRIS getesteten Videoformate der Videokonferenz dar. Die Zahl unter den JPEG Formaten gibt die JPEG Qualität (0.0 - 1.0) an.

Kodierung	Sample Rate Hz	Bits pro Sample	notwendige Bandbreite Kbps	Zeitversatz s
PCM (JSDT)	22050	16	800	0.5
NetMeeting	-	-	21.6	0
DVI/RTP	8000	8	32	1
G723/RTP	8000	8	6.3	2
GSM/RTP	8000	8	13.4	0.5
ULAW/RTP	8000	8	65	0.5
MPEGAUDIO/RTP	48000	16	64	0.3

Tabelle 8.2 Getestete Audioformate. Die Tabelle stellt die in IRIS getesteten Audioformate der Videokonferenz dar. Einziger Nachteil der integrierten Java Lösung von IRIS gegenüber NetMeeting ist der Zeitversatz in der Signalübertragung.

Die Tabelle 8.2 vergleicht NetMeeting, die verschiedenen JMF Einstellungen und die JSDT/Java Sound Lösung für die Übertragung von Audiosignalen miteinander. Für NetMeeting liegen keine Sampleraten vor. Auch die verwendete Kodierung ist nicht bekannt. Die JSDT Lösung verwendet reine Pulse Code Modulation (PCM). Die Messergebnisse zeigen, dass die Lösung mit JSDT und Java Sound von der benötigten Bandbreite her indiskutabel ist. Der Vorteil dieser Lösung gegenüber JMF liegt lediglich im schnelleren Verbindungsaufbau. Die von JMF angebotenen Audioformate eignen sich dagegen auch für Netzwerke mit vergleichsweise geringen Bandbreiten. Berücksichtigt man noch die Klangqualität, dann erweist sich GSM/RTP als optimale Einstellung. Dieses Ergebnis findet sich zusammen mit den gemessenen notwendigen Bandbreiten in der Literatur bestätigt [Zhu 01]. Im Vergleich mit NetMeeting schneidet die integrierte Java Lösung von IRIS gut ab.

8.3.3 Datenaustausch zwischen Client und Server zur Laufzeit

Neben dem Datenaufkommen der Videokonferenz wurde auch die Netzbelastung, die durch den Datenaustausch zwischen Client und Server vom Prototyp verursacht wird, gemessen. Getestet wurde ein Plan mit 41 CT- Schichten. Soll dieser im Applet des Prototyps angezeigt werden, müssen ca. 5 MB Bilddaten heruntergeladen werden. Das Volumen der anderen Daten für Bestrahlungsparameter und DVH Darstellung ist dem gegenüber mit 40 KB zu vernachlässigen. Die Übertragung der Bilddaten allein dauert im Intranet des DKFZ 4 s. Hinzu kommen bei Client 3 (siehe Tabelle 5.2, Seite 61) 6 s für die Aufbereitung der Daten zur Anzeige am Bildschirm. Der langsamste Testcomputer, Client 1 (siehe Tabelle 5.2, Seite 61), benötigt hierfür 20s. Diese Zeit ist durchaus noch akzeptabel und lässt ein vernünftiges Arbeiten zu. Bei der Nutzung von ISDN mit einer Bandbreite von 64 Kbit/s, beträgt die Zeit zum Herunterladen der Daten allerdings schon 10 Minuten. Selbst bei Bündelung der zwei ISDN Kanäle kommt man noch auf 5 Minuten. Etwas besser sieht es bei dem RWE PowerNet aus, das eine Bandbreite von 2 Mbit/s zur Verfügung stellt [RWE 2001]. Dieses Netz bietet den Internetanschluss über das Stromnetz und soll Ende 2002 ca. 130000 Haushalte in Mannheim versorgen. Aufgrund des allgemein zunehmenden Datenaufkommens im Internet ist zu erwarten, dass es in den nächsten Jahren weitere Verbereitungen finden wird. Im PowerNet würde das Herunterladen des Testplanes 20 s dauern. Diese Zeit ist akzeptabel, aber nicht optimal. Daher sollte auf jeden Fall das im Systemkonzept auf Seite 93 in Abschnitt 6.18.2 vorgeschlagene Verfahren zur Reduktion der Bilddaten implementiert werden. Vor allem, weil zu erwarten ist, dass ISDN häufig für die Übertragung von Daten in IRIS genutzt werden wird. Die folgenden Berechnungen beziehen sich auf ISDN und PowerNet, da dies wohl die für IRIS am meisten genutzten Netze mit niedriger Bandbreite sein werden. Übertragungsverfahren mit höheren Bandbreiten sind nach den mit IRIS gemachten Tests zeitlich unkritisch. Als Beispiel für ein Netz mit größerer Bandbreite, das sogar für den privaten Bereich nutzbar ist, wäre hier ADSL zu nennen. Dieses Verfahren hat im normalen Telefonnetz eine Bandbreite von bis zu 6 Mbit/s.

Nach dem vorgeschlagenen Verfahren kann allein durch die Reduktion der Bildkodierung von 16 bit auf 8 bit die Übertragungszeit halbiert werden. Durch das Abschneiden des irrelevanten schwarzen Randbereiches kann das Datenvolumen bei CT-Bildern ebenfalls durchschnittlich um die Hälfte verringert werden. In der Literatur wird bei der Komprimierung von Ultraschallbildern mit Huffman eine Kompressionsrate von 1:3 angegeben [Ferrer-Roca 01]. Da Ultraschallbilder als Graustufenbilder in etwa mit CT-Bildern vergleichbar sind, ist eine ähnliche Kompressionsrate auch in IRIS zu erwarten. Insgesamt kann also erwartet werden, dass mit der beschriebenen Programmänderung das Datenvolumen auf ca. 8 % seiner ursprünglichen Größe reduziert werden kann. Im PowerNet würde das Herunterladen des Planes dann nur noch 1,5 s dauern, bei ISDN mit Kanalbündelung 24 s.

Eine weitere Reduzierung der Übertragungszeit kann dadurch erreicht werden, dass zuerst nur die vermutlich wichtigsten Schichten übertragen werden.

8.3.4 Ladezeit des Applets

Das Laden des Java Applets zum Start der Benutzeroberfläche dauert derzeit im Intranet des DKFZ 1 s. Der heruntergeladene Code hat etwa einen Umfang von 1 MB. Bei ISDN würde dies mit 64 Kbit/s 2 Min. dauern, im PowerNet 5 s. Die Ladezeit kann aber durch das Packen des Applets in eine JAR Datei reduziert werden. Es besteht die Möglichkeit, das Java Applet einmal herunter zu laden und lokal zu installieren. Es muss dann lediglich vom Benutzer die

Policy-Datei des IRIS Servers verwendet werden, die dem Applet Zugriffsrechte auf alle Serverrechner gewährt. Damit ist auch bei einer lokalen Installation auf Benutzerseite die Kommunikationsfähigkeit des Applets mit dem Server gewährleistet.

8.3.5 Das Kopieren von Dateien

Für das Kopieren der Dateien im Servernetzwerk erweist sich die C++ Lösung gegenüber Java als vorteilhaft, da bei Nutzung der Java Lösung vor Start des Servers festgelegt werden muss, wie groß das maximal kopierbare Datenvolumen sein kann. Da diese Größe aber nicht genau vorhergesagt werden kann, birgt dies immer das Risiko, dass Dateien mit der Java-Lösung nicht kopiert werden können.

8.3.6 HTTP-Tunneling

HTTP-Tunneling wurde im Prototypen mit der HTTP Implementierung der Java Bibliothek JSDT getestet und mit der direkten Kommunikation über Sockets verglichen. Die HTTP Kommunikation funktioniert einwandfrei. Sie ist gegenüber der Socketlösung zuverlässiger, da in jedem Fall eine HTTP Verbindung hergestellt werden kann, wenn ein Verbindungsaufbau über Sockets scheitert.

8.3.7 Reaktion auf Ausnahmesituationen

Schwierigkeiten treten auf, wenn der Internetbrowser abstürzt. In diesem Fall kann es sein, dass das Applet dies nicht merkt und der Server die vom Benutzer belegten Ressourcen nicht freigeben kann. Daher muss der Systementwurf noch erweitert werden.

Es wird für jeden Benutzer auf Serverseite ein Kontrollprozess gestartet, der überwacht, ob der angemeldete Benutzer noch existiert oder nicht. Erhält der Prozess keine Antwort mehr, werden die Ressourcen des Benutzers freigegeben und gegebenenfalls die Partner seiner Telekonferenzsitzung benachrichtigt.

Für den Fall des Serverausfalls sind im Prototyp einige Routinen eingebaut, die den Benutzer benachrichtigen und den dadurch aufgetretenen Fehler abhängig vom Kontext behandeln. Da in der Regel nicht alle Serverrechner und Serverprozesse des Netzwerkes gleichzeitig ausfallen, kann mit IRIS oft eingeschränkt weiter gearbeitet werden.

KAPITEL 9

Diskussion und Ausblick

In diesem Kapitel wird der konkrete Bedarf des Systems in den Bereichen Therapieplanung, Ausbildung, Forschung und Dokumentation gezeigt. Es werden Vergleiche zu anderen Arbeiten gezogen. Diese Vergleiche ergeben die Neuartigkeit der Konzeption von IRIS. Anschließend werden aus den Testergebnissen des Prototyps und der Betrachtung des Konzepts kritische Schlüsse gezogen. Diese ergeben, dass mit IRIS ein effizient einsetzbares System vorliegt, das gut wartbar und einfach zu erweitern ist. Das Kapitel endet mit den Schlussfolgerungen, die aus dieser Arbeit gezogen werden können.

9.1 Einleitung

In dieser Arbeit wurde der Entwurf eines internetbasierten Informations- und Planungssystems für die dreidimensionale Strahlentherapieplanung erarbeitet. Mit der Entwicklung eines Prototyps namens IRIS (Internet Based Radiotherapy Information and Planning System) konnten wesentliche Teile des Systementwurfs im praktischen Einsatz getestet und verifiziert werden. Dieses Kapitel will nun Vor- und Nachteile des Systems aufzeigen und, soweit möglich, Vergleiche zu ähnlichen Systemen ziehen, wie sie am Anfang dieser Arbeit vorgestellt wurden. Perspektiven des Systems und notwendige zukünftige Arbeiten sollen hier ebenfalls erwähnt werden.

9.2 Gibt es Bedarf für das System ?

In Kapitel 2 auf Seite 13 wurden einige mögliche Einsatzgebiete von IRIS aufgezeigt. Hier sollen nun noch einmal die möglichen Anwendungen von IRIS aufgeführt werden, aus denen sich der praktische Bedarf und damit die Notwendigkeit der Entwicklung von IRIS herleiten. Dies wurde bei der Präsentation des Prototyps in Gesprächen mit Ärzten aus dem DKFZ oder auf nationalen und internationalen Konferenzen bestätigt:

- Primärer Anlass für die Entwicklung von IRIS war der Bedarf eines Computersystems, das bei der Therapieplanung unterstützend wirken und zur Verkürzung der Planungszeit beitragen kann. Darunter wird im engeren Sinne der Einsatz von IRIS als Isodosenatlas für die dreidimensionale Strahlentherapieplanung verstanden. Der Isodosenatlas dient dabei als Medium zum Wissens- und Erfahrungsaustausch.
- Des Weiteren besteht Bedarf an einem Informationssystem für niedergelassene Ärzte und kleinere Kliniken, die sich über den aktuellen Stand der Forschung von Therapie und Therapieplanung informieren möchten.
- Es besteht eine Nachfrage nach dem Austausch von Informationen bzw. nach der Möglichkeit für eine gemeinsame Therapieplanung zwischen kooperierenden Institutionen. Dies ist beispielsweise der Fall bei der Kooperation zwischen dem DKFZ, dem Universitätsklinikum Mannheim, dem Universitätsklinikum Heidelberg und der GSI (Gesellschaft für Schwerionentherapie) in Darmstadt. Im Umfeld dieser Kooperationen ist IRIS entstanden.

Aufgrund der Bedeutung der ersten drei Punkte wurde im IRIS Prototyp der Entwicklung des Isodosenatlases mit der Planpräsentation und der Telekonferenzkomponente vorrangige Priorität eingeräumt.

- Schließlich wird von Medizinern noch Bedarf in der gemeinsamen Erarbeitung von Behandlungsstandards, wie den Leitlinien zur Krebstherapie, gesehen. Hier kann IRIS ebenfalls vereinfachend helfen. Für diesen Einsatz ist die Entwicklung des Diskussionsforums als Plattform des Meinungsaustauschs wichtig.

9.3 Vergleich mit anderen Arbeiten

Wie das Kapitel 3 auf Seite 17 gezeigt hat, existieren keine Systeme, die direkt mit IRIS vergleichbar wären. Lediglich Teile und damit verbundene Einsatzgebiete lassen sich vergleichen.

Der Isodosenatlas kann mit anderen internetbasierten Anwendungen zur Präsentation von dreidimensionalen Strahlentherapieplänen verglichen werden [Bosch 97, Baier 2000 und Petrascu 2000]. Bei diesen Werken handelt es sich jedoch nicht um ausgesprochene Isodosenatlanten, sondern um Fallarchive. Diese lassen gespeicherte Fälle nicht differenziert durch internationale Kodierungen auffinden, sondern sie verwenden eigene Fallnummern. Das präsentierte Wissen ist nicht dynamisch, sondern statisch. Die Plandaten werden in Form von einfachen Bilddateien präsentiert. Das hält den Entwicklungsaufwand gering, führt aber zu einer Einbuße an Flexibilität und Anwendungsmöglichkeiten. Die Darstellung dynamischen Wissens in IRIS erfordert zwar einen hohen Entwicklungsaufwand, bringt aber den Vorteil, dass mit dem wissensbasierten System eine andere Qualität von Wissen präsentiert werden kann. Das Wissen kann sich stetig aktualisieren und es können die präsentierten Pläne automatisch auf einen vorliegenden Behandlungsfall übertragen werden. Die Veränderbarkeit der präsentierten Pläne in IRIS ermöglicht es zusätzlich den Isodosenatlas auch für die Teleplanung bzw. als praktisches Übungswerkzeug in der Ausbildung zu nutzen.

IRPS [Tozer-Loft 99] ist ein Beispiel für ein Lernsystem in der Strahlentherapieplanung, das nicht nur theoretisches Wissen vermittelt, sondern auch als Übungswerkzeug fungiert. Eine dreidimensionale bildgestützte Planung wird nicht unterstützt. IRIS hat den Vorteil, dass das Systemkonzept neben der Präsentation von Ergebnissen und Wissen der dreidimensionalen konventionellen Planung auch die der inversen Planung zulässt und damit eine der neuesten Technologien unterstützen kann. Darüber hinaus können in IRIS medizinische Bilddaten adäquat dargestellt werden.

In erster Linie will IRIS ein System zur Weiterbildung, Information und Forschung sein. Deshalb sind in IRIS die verschiedenen Funktionen eines Isodosenatlases, eines Diskussionsforums, eines Tutorials, einer Telekonferenz und einer Videokonferenz zu einem System, das den Wissensaustausch in der Strahlentherapie unterstützt, verschmolzen.

Aus technischer Sicht schließt sich IRIS mit der Verwendung von CORBA den positiven Erfahrungen zahlreicher anderer Systeme an. Weniger verbreitet ist dagegen PVM als Technik für das Prozessmanagement. Hier wurde auf Erfahrungen, die am DKFZ gemacht wurden zurückgegriffen [Keller-Reichenbecher 97]. Zusammen mit CORBA erweist sich diese Technik als komfortable Lösung für die Verwaltung von unabhängigen, parallelen Prozessen in einem heterogenen Netzwerk.

Zu den relativ jungen Java Bibliotheken JSWT und JMF gibt es neben IRIS ebenfalls noch andere internetbasierte Systeme, die diese Technologien verwenden [de Boer 2000, Zhu 01].

Zusammen mit IRIS zeigen diese Systeme, dass beide Technologien die Realisierung von sehr leistungsfähigen Tele- und Videokonferenzsystemen zulassen. JSDT ist ausgereift, während die Erfahrungen aus der Entwicklung des IRIS Prototyps zeigen, dass JMF eher noch im Anfangsstadium steckt. Allerdings soll auch JMF von Sun in den nächsten Jahren weiterentwickelt werden, was sich aus der Internetseite¹ von Sun ablesen lässt.

Andere telemedizinische Systeme verwenden zur Übertragung größerer Datenmengen Satellitensysteme [Dobrosavljevic 01]. Dies wäre sicherlich auch für IRIS eine gute Lösung. Jedoch sind Satellitensysteme kostspielig und kommen für Studierende, niedergelassene Ärzte und kleinere Einrichtungen nicht in Frage.

9.4 Kritische Betrachtung des Systems

9.4.1 Allgemeines

Der Test des Prototyps zeigt, dass das erarbeitete Systemkonzept erfolgreich in der Praxis umgesetzt werden kann.

Bei Beendigung dieser Arbeit ist der Prototyp soweit, dass Isodosenatlas, Planungskomponente, Telekonferenz, Videokonferenz und das angebundene wissensbasierte System samt internetbasierter Wissensakquisitionskomponente im klinischen Einsatz getestet werden können. Tutorial und Diskussionsforum bestehen aus einzelnen Testmodulen.

9.4.2 Vorkehrungen für den internationalen Datenaustausch

Der Prototyp kann bis jetzt Formate des Planungssystems VIRTUOS lesen und schreiben. Weiterhin sind Routinen vorhanden, die LANTIS RTP Link und RTOG unterstützen. Durch die Verwendung von DICOM RT im Systementwurf wird der internationale Austausch von Bestrahlungsplänen möglich. Bei der Nutzung von DICOM RT spielt es keine Rolle, in welchem Planungssystem der Plan entstanden ist, da ein internationaler Standard für den Austausch von Bestrahlungsplänen vorliegt.

9.4.3 Verringerung der Ladezeiten im Internet

Das Internet ist kein besonders schnelles Netzwerk. Trotz der kommenden Einführung der Datenübertragung über das Stromnetz mit dem PowerNet (siehe Abschnitt 3.3.4, Seite 19), muss derzeit mit einer Bandbreite von 64 Kbit/s bei der Nutzung von ISDN gerechnet werden. Da zwischen Internetbrowser und Server große Datenmengen ausgetauscht werden, kann dies dazu führen, dass die Performance von IRIS bei Herauslösung des Systems aus dem 10 Mbit/s Testnetz des DKFZ nachlässt und ein sinnvolles Arbeiten durch zu lange Ladezeiten nicht mehr möglich ist. Daher wurde im Systementwurf von IRIS ein Verfahren zur Reduktion des Datenvolumens beim Planaustausch zwischen Client und Server vorgestellt. Damit wird das System dann auch für den Einsatz im derzeitigen Internetverkehr nutzbar. Die Wahl des Kompressionsverfahrens nach Huffman basiert auf theoretischen Überlegungen aus der Literatur.

Für die Verringerung der Ladezeit beim Herunterladen bzw. Hochladen von Daten durch den Benutzer wurden die in Abschnitt 6.19 auf Seite 93 vorgestellten IRIS Datenpakete entwickelt.

¹ www.javasoft.com

9.4.4 Vorkehrungen für den Datenschutz

Für die Präsentation von Bestrahlungsplänen im Internet verwendet IRIS ausschließlich anonymisierte Daten. Eine Betrachtung der weiteren Einsatzmöglichkeiten von IRIS zeigt, dass in manchen Fällen eine Übertragung von sensiblen Daten doch wünschenswert wäre. Daher wurde in dieser Arbeit für den Datenschutz auf Seite 92 in Abschnitt 6.17 eine theoretische Lösung erarbeitet, die bei Bedarf implementiert und getestet werden kann.

9.4.5 Kompatibilität des Programmcodes

Da der Java Programmcode von der Java Virtual Machine des Internetbrowsers interpretiert und während der Interpretation kompiliert wird, ist die Benutzeroberfläche von IRIS stark vom verwendeten Internetbrowser abhängig. Dies zeigt auch das Testergebnis von Seite 112, Abschnitt 8.3.1 mit der unterschiedlichen Darstellung von Oberflächenkomponenten in Netscape Communicator 4.7x und Netscape 6. Erst recht sind Diskrepanzen bei unterschiedlichen Browserherstellern zu bemerken. Untersucht wurden in dieser Arbeit die Produkte von Netscape und Microsoft als die am häufigsten eingesetzten Browser und die wichtigsten Konkurrenten. Während Netscape in seinen Browsern die JVM der Java Entwicklungsfirma Sun einsetzt, entwickelt Microsoft seine eigene JVM, die nicht unbedingt alle Java Klassenbibliotheken unterstützt. So wird beispielsweise Java RMI nicht unterstützt. Eine Abhilfe bietet der Einsatz von PlugIns mit denen die ursprüngliche JVM des Browserherstellers überschrieben werden kann. Doch muss jedes PlugIn vom Benutzer extra installiert werden, was eher als bedienungsunfreundlich angesehen werden kann.

Der Programmcode von IRIS ist daher so geschrieben, dass das Applet sowohl in Browsern von Netscape als auch in Browsern von Microsoft ausführbar ist. Im schlimmsten Fall ist die Installation eines einzigen PlugIns notwendig. Bei der Benutzung von Netscape 6 wird gar kein zusätzliches PlugIn gebraucht.

9.4.6 Zukunftsfähigkeit des Programmcodes

Es stellt sich weiterhin die Frage, inwieweit der Java Teil von IRIS zukunftsfähig ist. Das heißt, ob auch zukünftige Browserversionen den Quellcode interpretieren können. Bewusst basiert der Java Quellcode ausschließlich auf Bibliotheken von Sun. Damit ist gewährleistet, dass zumindest zukünftige Browser von Netscape den Code interpretieren können. Dies macht IRIS gleichzeitig für alle gängigen Betriebssysteme zugänglich, da Netscape Browser für Windows, Unix und Linux Plattformen existieren. Gleichzeitig baut IRIS damit auf eine umfangreiche Klassenbibliothek auf, die es ermöglicht, komplexe internetbasierte Applikationen zu verwirklichen. Neben den in IRIS verwendeten Zusatzbibliotheken existieren noch zahlreiche andere Bibliotheken, wie beispielsweise solche zur Sprachsteuerung eines Applets. Wie die Arbeit am IRIS Prototyp gezeigt hat, sind diese Bibliotheken teilweise ausgereift, teilweise aber noch in den Anfängen. Dies macht eine Applikationsentwicklung mit diesen Bibliotheken zwar nicht einfach, bietet aber für die Zukunft noch gute Erweiterungsmöglichkeiten. Die Erfahrung aus dieser Arbeit zeigt, dass Java und die Zusatzbibliotheken von Sun sich in den letzten Jahren stets den aktuellen Bedürfnissen von Internetanwendungen angepasst haben. Durch dem Einsatz des Sun Java PlugIns sowie der Umgehung von Bibliotheken wie RMI, die vom Microsoft Internet Explorer nicht unterstützt werden, dürfte auch die Laufbarkeit im Internet Explorer für die Zukunft gesichert sein.

9.4.7 Wartbarkeit und Aktualisierbarkeit

Die ausschließliche Verwendung der objektorientierten Programmiersprachen Java und C++ sowie der modulare Aufbau von IRIS machen das System trotz seiner Komplexität übersichtlich und einfach wartbar.

Hinsichtlich der Kommunikation durch eine Firewall mit HTTP-Tunneling empfiehlt es sich die im Prototyp verwendete CORBA Implementierung gegen eine neuere Version auszutauschen. Die CORBA Schnittstellen in IRIS sind bewusst einfach gehalten. Dies macht einen Austausch und eine Aktualisierung der von IRIS verwendeten CORBA Implementierung unproblematisch.

Ebenso einfach gehalten sind auch die Schnittstellen zu dem wissensbasierten System TAPIR und dem Dosisberechnungsalgorithmus DC09, so dass auch hier ein Austausch zu neueren Versionen oder anderen Systemen hin problemlos möglich ist. Da IRIS das zu präsentierende Wissen aus Dateien herausliest, spielt letztendlich die Quelle dieses Wissens keine Rolle. Schon vom Konzept aus sind verschiedene Arten von Quellen vorgesehen, wie Planungssysteme, TAPIR, die Datenbank des Diskussionsforums oder Archivierungssysteme.

9.5 Wie geht es weiter ?

Das in dieser Dissertation beschriebenen Projekt soll in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Heidelberg und dem Universitätsklinikum Mannheim weiter geführt werden. Im Rahmen eines Folgeprojektes soll das Systemkonzept vollständig umgesetzt und IRIS in der Routine eingesetzt werden. Nachfolgend werden die wichtigsten Arbeitsschritte des Folgeprojektes nach Prioritäten geordnet kurz aufgeführt.

- Am Wichtigsten für die Präsentation im Internet ist die Aufnahme von Wissen in Form von Beispielpläne in die Wissensbasis von TAPIR.
- Die Implementierung der DICOM RT Konvertierungsroutinen ist eine wichtige Voraussetzung für den überregionalen Austausch von Bestrahlungsplänen.
- Test des Prototyps im klinischen Alltag
- Vollständige Implementierung des Tutorials und des Diskussionsforums.

9.6 Zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten von IRIS

9.6.1 Einbindung in einem KIS oder RIS

Neben dem freien Einsatz im Internet als Informationssystem und planungsunterstützendes Werkzeug für die Strahlentherapie, wäre auch die Einbindung von IRIS in ein Radiologieinformationssystem (RIS) bzw. Krankenhausinformationssystem (KIS) denkbar. Hierfür müssen Kommunikationsschnittstellen für den Datenaustausch mit den anderen Systemen in einem RIS bzw. KIS geschaffen werden. Ein erster Schritt in diese Richtung wurde mit den IRIS Datenpaketen gemacht (siehe Abschnitt 6.19, Seite 93). Das Universitätsklinikum Heidelberg hat in den letzten Jahren die elektronische Patientenakte eingeführt und entwickelt diese in verschiedenen Projekten nun weiter. Für IRIS ist das Projekt ePA-Tumor (elektronische Patientenakte für Tumorpatienten) interessant [Wolff 2000]. Dieses Projekt versucht die Integration von behandlungsrelevanten Zusatzinformationen in die Patientenakte. Neben dem Zugriff auf Literatur ist auch an Leitlinien für die Behandlung gedacht. Wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits ausgeführt kann IRIS anhand von Beispielen solche Leitlinien präsentieren, aber auch bei der Erstellung von Leitlinien unterstützen.

9.6.2 Nutzung im Mobilfunknetz

Eine andere Richtung, in die IRIS erweitert werden könnte, ist die Schaffung der Möglichkeit, das System auch von mobilen Rechnern aus über das Mobilfunknetz oder andere kabellose Netze zu bedienen. Hierfür besteht bei Medizinern durchaus Nachfrage, was von Arbeiten bestätigt wird, die sich mit der Einführung mobiler Werkzeuge in einem Klinikum beschäftigen [Buchauer 98]. Allerdings wird nicht in allen Bereichen eine sinnvolle Anwendung mobiler Rechner gesehen. Das Hauptanwendungsgebiet von IRIS wäre in diesem Fall die Dokumentation. Auch als Informations- und Kommunikationswerkzeug für unterwegs könnte das System durchaus eingesetzt werden. Wieweit ein effizientes Arbeiten mit IRIS auf einem Mobilrechner möglich ist, müsste allerdings erst noch untersucht werden. Mit Sicherheit ist ein neuer Entwurf der Benutzeroberfläche notwendig, da die Bildschirme der Mobilrechner mit etwa 3,5 Zoll für die derzeitige Darstellungsweise zu klein sein dürften [Sharp 01]. Zudem müsste noch ein WAP-Gateway geschaffen werden, das die Kommunikation zwischen dem IRIS Client im Mobilfunknetz und dem IRIS Server im Festnetz ermöglicht (siehe Abschnitt 3.3.4, Seite 19).

9.6.3 Übertragung des Konzeptes auf andere Bereiche

In erster Linie wurde das Systemkonzept von IRIS dazu entworfen, Pläne und Methoden der konventionellen dreidimensionalen Strahlentherapieplanung über das Internet zu vermitteln und die Planung von Bestrahlungen zu unterstützen. Bei Betrachtung des Konzeptes wird auch deutlich, dass Wissen der inversen Planung mit IRIS genauso vermittelt werden kann, ohne Änderungen vornehmen zu müssen.

Die Einbindung bzw. Anbindung von Modulen aus dem Planungssystem KonRad, nach dem anhand von TAPIR gezeigten Muster, könnte IRIS hinsichtlich der inversen Planung weitere Funktionalitäten eröffnen.

Das Systemkonzept von IRIS könnte auch auf andere Bereiche übertragen werden. Beispielsweise auf der Strahlentherapie verwandte Therapieformen wie der Thermo-therapie [Roggan 2000]. Im Gegensatz zur inversen Planung müssten in diesem Fall aber Änderungen an den internen Datenstrukturen vorgenommen werden.

9.7 Schlussfolgerung

Der Prototyp von IRIS zeigt, dass das Systemkonzept zu einem internetbasierten System umgesetzt werden kann, mit dem ein effizientes Arbeiten auch bei den derzeitigen Bandbreiten im Internet möglich ist.

Das System integriert die verschiedensten Möglichkeiten des Internets für die Wissensvermittlung und den Wissensaustausch. Ein Multimediales Tutorial, ein datenbankbasiertes Diskussionsforum, Telekonferenz, Videokonferenz und ein digitaler Isdosenatlas ergänzen sich gegenseitig zu einem vielseitig einsetzbaren System für die Strahlentherapie.

Nach der auf Seite 22 in Kapitel 3 vorgestellten Einteilung von telemedizinischen Anwendungen in der Strahlentherapie lässt sich IRIS mit seiner Teleplanungsfunktionalität in die Kategorie 3 einordnen. Im Bereich der auf Seite 24 in Kapitel 3 vorgestellten Lernsoftware beinhaltet IRIS Elemente aller drei genannten Arten: Übungssoftware, Tutorial und Simulation.

Alle Komponenten lassen sich in einem homogenen Java Applet realisieren, das mit Hilfe von CORBA an den C++ und Java basierten Server angebunden ist. Der modulare Aufbau des

Systems und das objektorientierte Konzept machen IRIS gut wartbar und ermöglichen das problemlose Hinzufügen und Entfernen von Komponenten. Dadurch wird der Code auch für zukünftige Anforderungen verwertbar. Gleichzeitig zeigt das Java Applet, dass die Realisierung eines komplexen Systems im Internet möglich ist. Hierfür sind fast keine Zusatzinstallationen notwendig, die über den Internetbrowser hinausgehen. Neben einer gut bedienbaren und übersichtlichen Benutzeroberfläche sowie der schnellen Auffindbarkeit von gespeichertem Wissen trägt dies letztendlich zur Benutzerfreundlichkeit der Anwendung bei.

Die schnelle Auffindbarkeit des Wissens wird in IRIS vor allem durch die Klassifizierung des Wissens mit Hilfe von international standardisierten Kodierungsverfahren aus der Medizin, wie dem ICD-O, TNM oder MeSH, erreicht.

Der Prototyp zeigt auch, dass die in dem Qualitätskriterienkatalog der GMDS genannten Kriterien für elektronische Publikationen in der Medizin von IRIS erfüllt werden können [Schulz 99]. Die genannten Kriterien betreffen vor allem die Übersichtlichkeit des präsentierten Wissens, die Qualität des präsentierten Wissens und die benutzerfreundliche Installation des Systems.

Der Server ist in einzelne Prozesse aufgeteilt, die innerhalb eines heterogenen Netzwerkes auf verschiedene Rechner und Betriebssysteme verteilt werden können. Dies kann nicht nur die Belastung des Servers bei vielen Nutzern reduzieren, sondern ermöglicht auch die auf verschiedene lokal voneinander getrennte Einrichtungen verteilte Installation des Servers. Auf diese Weise können die Ressourcen und auch das Personal verschiedener Einrichtungen genutzt werden.

Mit Microsoft NetMeeting konnte ein fertiges Videokonferenzsystem eingebunden werden, Versuche zeigen aber, dass die in dieser Arbeit realisierte Eigenentwicklung wesentlich effizienter ist. Damit werden frühere Untersuchungen am DKFZ zur Einführung von Videokonferenzsystemen in die Strahlentherapieplanung erneut bestätigt [Frank 97].

Durch die Realisierung einer webbasierten Wissensakquisition für TAPIR und einer webbasierten Administration der Falldatenbank ist das hierfür zuständige Personal vom Installationsort des Systems unabhängig.

Das Internet, dessen technische Möglichkeiten von IRIS genutzt werden, eignet sich hervorragend zur Wissensverbreitung an ein breites Publikum. Das vermittelte Wissen kann stets auf dem aktuellsten Stand gehalten werden. Damit ist IRIS eine ideale Ergänzung zu Büchern, CD-ROMs und Fachzeitschriften.

Im Internet sind lediglich reine Tutorials oder reine Diskussionsforen anzutreffen. Durch die Idee der Kombination verschiedener Funktionalitäten in IRIS können Auszubildende beim Lernen direkt an Diskussionen von Experten teilhaben. Als Lehrbeispiele können neben ausgesprochenen Lernbestrahlungsplänen auch Probleme aus der täglichen Praxis gezeigt werden. Damit kann IRIS seinen Beitrag nicht nur in der Unterstützung von Planung, Behandlung und Forschung, sondern auch in der Ausbildung leisten.

Für die Routine-Anwendung von IRIS im Internet sind zwar noch mehrere Entwicklungsschritte notwendig, die Nachfrage nach einem solchen System und die Ergebnisse aus dem Test des Prototyps zeigen, dass sich eine Weiterentwicklung des Systems in jedem Fall lohnt.

KAPITEL 10

Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation entstand an der Abteilung für Medizinische Physik des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ) Heidelberg. Es wurde in der Arbeit ein Konzept für ein internetbasiertes Informations- und Planungssystem entwickelt. Das System wendet sich an alle in der Strahlentherapie tätigen Personen und soll die Ausbildung, den Wissensaustausch und die Forschung auf dem Gebiet der Strahlentherapie unterstützen. Weiterhin hat es die Zielsetzung, den komplexen Prozess der dreidimensionalen Strahlentherapieplanung zu beschleunigen und zu vereinfachen. Das System bietet außerdem eine Plattform zur Diskussion von Problemen und zur gemeinsamen Erarbeitung von Behandlungsrichtlinien bzw. Bestrahlungsplänen zu speziellen Patientendaten. Mit der zusätzlichen Anbindung eines wissensbasierten Systems ist das System in der Lage, automatisch voroptimierte Behandlungspläne, passend zu vorliegenden Fällen, zu generieren. Das dazu benötigte Wissen kann mit Hilfe des Systems über das Internet in Form von Beispielpänen gesammelt und von einem Fachgremium bearbeitet werden.

Die Dissertation stellt einen Prototypen des Systems vor, der das in der Arbeit vorgestellte Systemkonzept verifizieren soll. Der Name des Prototyps ist IRIS (Internet Based Radiotherapy Planning and Information System). Testergebnisse des Prototyps zeigen, dass das System effektiv als Java Applet in einem Internetbrowser laufen kann, und dass ein effizientes Arbeiten mit dem System im Internet möglich ist.

IRIS integriert ein Tutorial, ein Diskussionsforum, einen Isodosenatlas, ein Planungsmodul sowie ein Video- und Telekonferenzsystem zu einem Gesamtsystem. Diese Komponenten interagieren miteinander und ergänzen sich zu einem vielseitig einsetzbaren System.

IRIS ist als Client-Server Applikation realisiert. Die Benutzeroberfläche, der Client, ist ein Java Applet und stellt alle Funktionalitäten des Systems zur Verfügung. Voraussetzung für die Nutzung ist lediglich die Installation eines Internetbrowsers mit einer kleinen Zusatzinstallation, die zusammen mit dem IRIS Applet heruntergeladen werden kann. Durch die Verwendung von Java ist IRIS unabhängig vom Betriebssystem. Die Verwendung des Internets macht das System international für jeden verfügbar. Der Server von IRIS ist in Java und C++ implementiert und über CORBA mit dem Client verbunden. Der Server ist in einzelne Prozesse unterteilt, die in einem heterogenen Netzwerk auf verschiedene Rechner verteilt werden können. Diese parallele Datenverarbeitung ermöglicht die Beschleunigung der teilweise sehr rechenintensiven Operationen und ermöglicht die gleichzeitige Nutzung von Rechnerressourcen mehrerer Institutionen.

Im Prototyp sind sowohl ein fertiges Videokonferenzmodul als auch eine im Rahmen dieser Arbeit entstandene Eigenentwicklung eingebunden. In Vergleichen zeigt sich die Java basierte Eigenentwicklung als vorteilhafter für die Bedürfnisse des Systems. Sie ermöglicht in IRIS Videokonferenzen, Telelearning und Teleplanung. Durch die Integration der Videokonferenz beschränkt sich IRIS nicht nur auf die passive Wissenspräsentation und Kommunikation über ein allgemeines Diskussionsforum, sondern ermöglicht auch eine aktive Diskussion und Zusammenarbeit von räumlich getrennten Personen. Die Möglichkeit der Veränderung von Plänen lässt sowohl ein Planen mit anderen Therapeuten zu, als auch ein Experimentieren und Üben mit dem von IRIS vermittelten Wissen zu.

ANHANG A

Publikationen

Im Rahmen dieser Arbeit sind folgende Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften und Kongressbänden erschienen. Die Auflistung ist chronologisch geordnet.

Am Ende der Liste ist die Studienarbeit aufgeführt, die ebenfalls im Rahmen dieses Projektes entstanden ist.

1. Lüttgau A, Keller-Reichenbecher MA, Schlegel W, Bendl R (2000)
Ein intelligenter internetbasierter 3D Isodosenatlas für die Strahlentherapieplanung
In: Strahlentherapie und Onkologie, 176 (Sondernr. 1): 3
2. Lüttgau A, Keller-Reichenbecher MA, Schlegel W, Bendl R (2000)
Ein intelligenter internetbasierter 3D Isodosenatlas für die Strahlentherapieplanung
In: Kneschaurek P (ed.), Medizinische Physik 2000, Tagungsband 31. Wissenschaftliche Tagung der DGMP, München: 10-11
3. Lüttgau A, Keller-Reichenbecher MA, Schlegel W, Bendl R (2000)
IRIS: An Internet Based 3D Radiotherapy Planning and Information System
In: Technology and Health Care, Vol. 8 (3-4): 168–169
4. Lüttgau A, Keller-Reichenbecher MA, Schlegel W, Bendl R (2000)
IRIS: An Internet Based 3D Radiotherapy Planning and Information System
In: Nyssen M, Thienpont G, Woodall J, Arvanitis TN (eds.), Real World Medical Applications, Proc of MEDNET 2000, 5th World Congress on the Internet in Medicine, Brüssel: 168–169
5. Lüttgau A, Keller-Reichenbecher MA, Schlegel W, Bendl R (2001)
Network Communication in a Radiotherapy Information System
In: Schilling K, Roth H (eds.), Telematics Applications in Automation and Robotics, Proc. of 1st IFAC Conference, Weingarten: 167–172
6. Lüttgau A, Bendl R (2001)
Technical Aspects of Internet Based Knowledge Presentation in Radiotherapy
In: Medical Informatics and the Internet in Medicine, 26 (4): 265-281
7. Billewitz H. (2001)
Entwicklung einer Wissensakquisitionskomponente in der 3D Strahlentherapieplanung
Studienarbeit, Universität Heidelberg/Fachhochschule Heilbronn

ANHANG B

Verzeichnisse

B.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 IRIS im Internet	14
Abbildung 2.2 IRIS in der Dokumentation.	15
Abbildung 3.1 Beispiel eines 2D Isodosenatlases.	18
Abbildung 3.2 Beispiele für mobile Werkzeuge.	20
Abbildung 3.3 Screenshot aus dem Tutorsystem „Strahlentherapie	25
Abbildung 3.4 IRPS	26
Abbildung 4.1 Linearbeschleuniger	32
Abbildung 4.2 Konventionelle Planung (links) und inverse Planung (rechts)	33
Abbildung 4.3 Kumulatives Dosis-Volumen-Histogramm	34
Abbildung 4.4 CT Schichtbilder	35
Abbildung 4.5 Observer’s View und Beam’s Eye View	35
Abbildung 4.6 Isodosenbänder.	36
Abbildung 5.1 Templates in TAPIR	41
Abbildung 5.2 Plangenerierung in TAPIR	42
Abbildung 5.3 Kommunikation mit JSDT	46
Abbildung 5.4 Kommunikation mit CORBA	49
Abbildung 5.5 Kodierung nach Huffman	54
Abbildung 5.6 ISO/OSI Schichtenmodell	57
Abbildung 5.7 Digitale Unterschrift	58
Abbildung 6.1 Integration der IRIS Module und Serverübersicht	66
Abbildung 6.2 Observer’s View in IRIS	69
Abbildung 6.3 Modell des Isodosenatlases.	71
Abbildung 6.4 Automatische Plangenerierung in IRIS	73
Abbildung 6.5 Diskussionsforum	76
Abbildung 6.6 Tutorial	78
Abbildung 6.7 IRIS Tele Clipboard	80
Abbildung 6.8 Telekonferenz	82
Abbildung 6.9 Inhalt der Wissensbasis	83
Abbildung 6.10 Vorgang der Wissensakquisition.	83
Abbildung 6.11 Wissensakquisitionskomponente.	84
Abbildung 6.12 Multiuserfunktionalität	88
Abbildung 6.13 Prozessverwaltung mit PVM	90
Abbildung 6.14 Policy-Datei	92
Abbildung 6.15 IRIS Datenpaket	94
Abbildung 6.16 Serverinstallation Variante1.	95
Abbildung 6.17 Serverinstallation Variante 2	96
Abbildung 7.1 Isodosenatlas, 2D Ansicht.	99
Abbildung 7.2 Isodosenatlas, technische Ansicht.	100
Abbildung 7.3 Isodosenatlas, 3D Ansicht	101
Abbildung 7.4 Tutorial, Seite der Observer’s View	103
Abbildung 7.5 Planungskomponente	103
Abbildung 7.6 Telekonferenz, Sitzungsprotokoll.	105
Abbildung 7.7 Wissensakquisitionskomponente	106
Abbildung 8.1 Microsoft NetMeeting in IRIS.	113
Abbildung 8.2 Integrierte IRIS Video- und Telekonferenz	113
Abbildung 8.3 Videokonferenz JPEG	115
Abbildung 8.4 Videokonferenz H.263	115

B.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1 Material und Methoden – Überblick	60
Tabelle 5.2 Verwendete Hardware	61
Tabelle 5.3 Verwendete Software	62
Tabelle 8.1 Getestete Videoformate	116
Tabelle 8.2 Getestete Audioformate	116

B.3 Literaturverzeichnis

- [Abdel-Wahab 99] Abdel-Wahab H, Kim O, Kabore P, Favreau JP (1999)
Java-based Multimedia Collaboration and Application Sharing Environment
In: Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles CFIP '99, Nancy
- [Abele 2000] Abele H (2000)
Medienschichtliche Grundlagen des Internet
Vorlesung Sommersemester 2000, Universität Tübingen
- [Agfa 2000] AGFA Medical Imaging (2000)
IMPAX WEB 1000
Produktbeschreibung (<http://www.agfamedical.com>)
- [Akerman 01] Akerman R (2001)
Ports for Internet Services
In: Chebucto Community Net, Dalhousie University, Kanada
(<http://www.chebucto.ns.ca/~rakerman/>)
- [Appelt 99] Appelt W (1999)
WWW Based Collaboration with the BSCW System
In: Proc. of SOFSEM'99, Springer Lecture Notes in Computer Science 1725: 66-78
(<http://bscw.gmd.de/Papers/>)
- [Appelt 01] Appelt W (2001)
What Groupware Functionality Do Users Really Use ? Analysis of the Usage of the BSCW System
In: Proc. of the 9th Euromicro Workshop on PDP 2001 (<http://bscw.gmd.de/Papers/>)
- [Arndt 98] Arndt J, Österdahl T (1998)
Network security in distributed systems using CORBA
Thesis Work, Ericsson Hewlett-Packard Telecommunications AB, Chalmers University of Technology
- [Baier 2000] Baier K, Willner J, Neumann M, Flentje M (2000)
Internetbasierte Qualitätssicherung in der Radioonkologie bei multizentrischen Studien
In: Strahlenther Onkol 2000; 176: Sondernr 1:1-7
- [Bendl 95] Bendl R (1995)
Virtuelle Strahlentherapiesimulation mit VIRTUOS
In: Schlegel W, Bortfeld T, Stein J (eds.), Dreidimensionale Strahlentherapieplanung, Tagungsband 3D Workshop '95, Heidelberg: 31-41
- [Billewitz 01] Billewitz H. (2001)
Entwicklung einer Wissensakquisitionskomponente in der 3D Strahlentherapieplanung
Studienarbeit, Universität Heidelberg/Fachhochschule Heilbronn
- [Block 2000] Block B, Brunning J (2000)
Java to COM+: Making Cross-Platform Accessibility Work
Online Artikel (<http://www.devx.com>)

- [Böttcher 2000] Böttcher U, Frischalowski D (2000)
Java 1.2 Grundlagen
HERDT-Verlag, Nackenheim
- [Bortfeld 98] Bortfeld T, Stein J, Schlegel W (1998)
Inverse Planung und Bestrahlungstechniken mit intensitätsmodulierten Feldern
In: Richter J, Flentje M (eds.), *Strahlenphysik für die Radioonkologie*, Buch, Georg Thieme Verlag 1998: 121-129
- [Bosch 97] Bosch WR, Lakanen TL, Kahn MG, Harms WB, Purdy JA (1997)
An Image/Clinical Database for Multi-Institutional Clinical Trials in 3D Conformal Radiation Therapy
In: Leavitt DD, Starkschall G (eds.), *The Use of Computers in Radiation Therapy*, Proc of the 12th ICCR 97, Salt Lake City: 455-457
- [Brown 99] Brown K, Peterson D (1999)
Ready-to-Run Java 3D
Wiley Computer Publishing
- [Buchauer 98] Buchauer A (1998)
Integration mobiler Informationswerkzeuge in heterogene Krankenhausinformationssysteme
Dissertation, Universität Heidelberg
- [Bundestag 97] Deutscher Bundestag (1997)
Gesetz zur Regelung der Rahmenbedingungen für Informations- und Kommunikationsdienste
BT-Drs. 13/7934 vom 11.06.1997
- [Cai 2000] Cai W, Sakas G (2000)
VIRTUOSO Virtual Simulation and Treatment via Telematics Applications in Clinical Radiooncology
Projektbeschreibung (<http://www.igd.fhg.de/igd-a7/projects/virtuoso/virtuoso.html>)
- [Cherriman 99] Cherriman P (1999)
H.263 Video Coding
(<http://www-mobile.ecs.soton.ac.uk/peter/h263/h263.html>)
- [de Boer 2000] de Boer MW (2000)
WebTed Ein System für Webbasierte Telediagnostik
Dissertation, Universität Mannheim
- [Degener 2000] Degener J (2000)
GSM 06.10 lossy speech compression
(<http://kbs.cs.tu-berlin.de/~jutta/toast.html>)
- [Dely 2000] Dely P (2000)
Sicherheit im Internet
(<http://www.auhof.asn-linz.ac.at/dely82/texte/activex.htm>)
- [Dobrosavljevic 01] Dobrosavljevic S, Welter R (2001)
TeleMEDiana-Telesurgery & Telemedicine via Satellite Networks
In: Lemke HU, Vannier MW, Inamura K, Farman AG, Doi K (eds.), *Proc. of CARS 2001*, Berlin: 1003-1007

- [Effelsberg 97] Effelsberg W, Geyer W, Eckert A (1997)
Project TeleTeaching Mannheim – Heidelberg
In: Proc. of 21st Annual Conference of the Society for Classification e.V., Potsdam
- [Effelsberg 99] Effelsberg W (1999)
Multimedia-Technik
Vorlesungsunterlagen des Lehrstuhls für Praktische Informatik V, Universität Mannheim
- [Engelmann 99] Engelmann U, Schroeter A, Schwab M, Eisenmann U, Vetter M, Lorenz K, Quiles J, Wolf I, Evers H, Meinzer HP (1999)
Borderless Teleradiology with CHILI
In: Journal of Medical Internet Research 1999;1(2):e8
- [Ferrer-Roca 01] Ferrer-Roca O, Vilarchao-Cavia J, Troyano-Luque JM, Clavijo M (2001)
Virtual Sonography Through the Internet: Volume Compression Issues
In: Journal of Medical Internet Research 2001;3(2):e21
- [Fränti 94] Fränti P, Nevalainen O, Kaukoranta T (1994)
Compression of Digital Images by Block Truncation Coding: A Survey
In: The Computer Journal 1994; 37(4): 308-332
- [Frank 97] Frank C (1997)
Integration eines Videokonferenzsystems in ein bestehendes 3D-Therapieplanungssystem
Diplomarbeit, Fachhochschule Trier
- [Fritz 2000] Fritz A, Percy C (2000)
Implementing ICD-O-3: Impact of the New Edition
Artikel, SEER, National Cancer Institute, USA
(http://training.seer.cancer.gov/module_icdo3/implementation.html)
- [Frenzel 99] Frenzel T, Krüll A, Schmidt R, Dobrucki W, Malys B, Box W (1999)
Ein Computerlernprogramm für die Strahlentherapie
In: Zeitschrift für Medizinische Physik 9: 56-59
- [Fonkeu 01] Fonkeu KY (2001)
Die Telekommunikation verändert die Arbeitswelt: Telemedizin und Telelearning
Proseminar, Universität Siegen
- [Fuhrmann 98] Fuhrmann TT, Kuhmünch C, Schöppe G (1998)
Java Teachware – The Java Remote Control Tool and its Applications
In: Proc. of ED-Media/ED-Telecom '98, AACE Association for the Advancement of computing in Education, Freiburg
- [Geist 94] Geist A, Beguelin A, Dongarra J, Jiang J, Manchek R, Sunderam V (1994)
PVM: Parallel Virtual Machine - A Users' Guide and Tutorial for Networked Parallel Computing
The MIT Press, Cambridge, Massachusetts,
(<http://www.netlib.org/pvm3/book/pvm-book.html>)
- [Götz 01] Götz U, Schwab FJ, Bratengeier K, Schicker B, Kiricuta IC (2001)
Konformations-Bestrahlungstechnik für den Peri- und Retrobulbärraum bei endokriner Orbitopathie
In: Zeitschrift für Medizinische Physik, 11: 201-204

- [Grossmann 2000] Grossmann M, Lomax AJ, Goitein M (2000)
Network-wide application sharing as part of an electronic patient referral system
In: Schlegel W, Bortfeld T (eds.), *The Use of Computers in Radiation Therapy*, Proc. of the 13th ICCR 2000, Heidelberg: 85-86
- [Hirukawa 01] Hirukawa H (2001)
Distributed Robots on the Web
In: IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Workshop on Distributed Robotics and Automation
- [Hungenberg 2000] Hungenberg T, Neerfeld C (2000)
Verschlüsselte Datenübertragung im WWW mittels SHTTP/SSL
Seminar Informationssicherheit, Fachhochschule Rhein-Sieg
- [Holz 01] Holz E, Schaale D, Dollny G, Schwarz J, Schlichter J, Römer D
DFN-Projekt Diana Distance Learning im Gigabit-Testbed Süd/Berlin
Abschlussbericht
(<http://www.informatik.hu-berlin.de/Institut/struktur/systemanalyse/DIANA/Bericht4/>)
- [ICRU 93] ICRU (1993)
Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy
International Commission on Radiation Units and Measurements, Inc., Report 50
- [ICRU 99] ICRU (1999)
Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy
International Commission on Radiation Units and Measurements, Inc., Report 62
- [Ingham 99] Ingham D, Rees O, Norman A (1999)
CORBA Transactions Through Firewalls
Hewlett-Packard Company, HPL-1999-50, April 1999
- [ITU 96] International Telecommunication Union (1996)
New Standards for the Global Information Highway
Presseveröffentlichung, ITU/96-3
- [Jansen 01] Jansen M, Klaver E, Verkaik P, van Steen M, Tanenbaum AS (2001)
Encapsulating distribution by remote objects
In: *Information and Software Technology* 43: 353-363
- [Johansson 97] Johansson T (1997)
Helax-TMS 4.0 to RTOG Export Program - Pilot Release User's Manual
Helax Dokument (TMS40P_UM_RTOG/Name: RTO40P1)
- [John 2000a] John NW, Phillips N (2000)
Surgical Simulators Using the WWW
In: Proc. of MMVR 2000, Newport Beach, California
- [John 2000b] John NW (2000)
WebSET Project Presentation
Projekt Dokument
(<http://www.hoise.com/vmwc/projects/webset/docs/projectpresentation.pdf>)

- [Kallinowski 01] Kallinowski F, Mehrabi A, Schwarzer H, Bayer A, Herfarth C (2001)
Lebenslanges Lernen – Die Virtuelle Fakultät der Medizin
In: Deutsches Ärzteblatt 2001, 98: A 1538-1540 [Heft 23]
- [Keller-Reichenbecher 97] Keller-Reichenbecher M A (1997)
Ein Wissensbasiertes System für die tumorkonforme Strahlentherapieplanung
Dissertation, Universität Heidelberg
- [Leiner 97] Leiner F, Gaus W, Haux R (1997)
Medizinische Dokumentation
Schattauer, 2. Auflage
- [Liao 99] Liao T (1999)
Light-weight Reliable Multicast Protocol
Technical Paper (<http://webcanal.inria.fr/lrmp/index.html>)
- [Lin 01] Lin CC, Chen HS, Chen CY, Hou SM (2001)
Implementation and evaluation of a multifunctional telemedicine system in NTUH
In: International Journal of Medical Informatics 61: 175-187
- [Linke 01] Linke A (2001)
Industrial Control Applications using the Wireless Application Protocol (WAP)
In: Schilling K, Roth H (eds.), Telematics Applications in Automation and Robotics,
Proc. of 1st IFAC Conference TA 2001, Weingarten: 53-58
- [Lyman 85] Lyman JT (1985)
Complication probability as assessed from dose-volume histograms
In: Radiation Research Supplement. 8(9): 13-19
- [Mavridis 01] Mavridis I, Georgiadis C, Pangalos G, Khair M (2001)
Access Control based on Attribute Certificates for Medical Intranet Applications
In: Journal of Medical Internet Research 3(1):e9
- [Microsoft 96] Microsoft Corporation (1996)
Microsoft Windows NT Server - DCOM Technical Overview
White Paper
(http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?URL=/library/backgrnd/html/msdn_dcomtec.htm)
- [Microsoft 01] Microsoft Corporation (2001)
Microsoft Windows NetMeeting
Produktinformation (<http://www.microsoft.com>)
- [Microsoft 01b] Microsoft Corporation (2001)
How to Establish NetMeeting Connections Through a Firewall
Microsoft Artikel (<http://www.microsoft.com>)
- [Nelson 89] Nelson M (1989)
LZW Data Compression
In: Dr. Dobb's Journal 10/89 (<http://www.dogma.net/markn/articles/lzw/lzw.htm>)
- [Nelson 2000] Nelson S (2000)
Medical Subject Headings (MeSH)
Fact Sheet, United States National Library of Medicine (NLM)
(<http://www.nlm.nih.gov/pubs/factsheets/mesh.html>)

- [NEMA 99a] NEMA (1999)
Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)
NEMA Dokumentation
- [NEMA 99b] NEMA (1999)
DICOM in Radiotherapy.
NEMA Document (<http://medical.nema.org/Dicom/docs.html>)
- [Nemeth 81] Nemeth G, Kutting H (1981)
Isodose Atlas for Use in Radiotherapy
Kluwer Academic Publishers
- [Netscape 97] Netscape Communications Corporation (1997)
Netscape's Use of Public-Key Cryptography
<http://developer.netscape.com/docs/manuals/security/SSO/crypt.htm>
- [Nokia 01] Nokia (2001)
Nokia 9290 Communicator
Produktinformation, Nokia
(<http://www.nokia.com/phones/9290/>)
- [Olsen 2000] Olsen DR, Bruland OS, Davis BJ (2000)
Telemedicine in radiotherapy treatment planning: requirements and applications
In: *Radiotherapy and Oncology* 54: 255-259
- [OOC 99] OOC (1999)
ORBacus For C++ and Java Version 3.1.3 – User Manual
Object-Oriented Concepts, Inc. (<http://www.ooc.com>)
- [OMG 96] Object Management Group (1996)
The Common Object Request Broker: Architecture and Specification
OMG Dokument 97-02-25
- [OMG 98] Object Management Group (1998)
The CORBAmed Roadmap
OMG Dokument corbamed/xx-xx-xx
(http://www.acl.lanl.gov/OMG/CORBAmed/ROADMAP_1_0c.PDF)
- [OMG 98b] Object Management Group (1998)
Joint Revised Submission CORBA/Firewall Security+Errata
OMG Dokument orbos/98-07-03
- [Onno 2000] Onno P, Ebrahimi T, Askelöf J (2000)
JJ2000 A Java implementation of JPEG 2000
White Paper (http://jj2000.epfl.ch/jj_whitepaper/index.html)
- [Orfali 97] Orfali R, Edwards J, Harkey D (1997)
CORBA, Java, and the Object Web
In: *Software Development Magazine* 4/97 (<http://www.sdmagazine.com>)
- [Pam 97] Pam A, Hemming B (1997)
A comparison of Internet audio compression formats
Serious Cybernetics (<http://www.sericyb.com.au/sc/audio.html>)
- [Pawlan 98] Pawlan M, Dodda S (1998)

- Signed Applets, Browsers, and File Access*
Java Developer Connection Articles (<http://developer.java.sun.com>)
- [Percy 90] Percy C, Van Holten V, Muir C (eds.) (1990)
International Classification of Diseases for Oncology, Second Edition
Geneva: World Health Organization
- [Petrascu 2000] Petrascu O, Bel A, Verellen D, Storme G (2000)
The creation of radiotherapy archive using Internet technology
In: Schlegel W, Bortfeld T (eds.), *The Use of Computers in Radiation Therapy, Proc. of the 13th ICCR 2000, Heidelberg*: 119
- [Preiser 97] Preiser K (1997)
Ein neues Programm zur Einführung der inversen Strahlentherapieplanung in die klinische Praxis
Dissertation, Universität Heidelberg
- [Rational 97] Rational Software Corporation (1997)
UML Notation Guide Version 1.1
Rational Dokument
(<http://www.rational.com>)
- [Roggan 2000] Roggan A, Knappe V, Ritz JP, Germer CT, Isbert C, Wacker F, Müller G (2000)
3D-Bestrahlungsplanung für die laserinduzierte Thermotheapie (LITT)
In: *Zeitschrift für Medizinische Physik*, 10 (2000): 157-167
- [Rothkugel 99] Rothkugel S, Sturm P (1999)
CORBA, Java, C++ and ODBMS for Distributed Web Computing
In: ARCS '99 Architektur von Rechnersystemen, GI/ITG Fachtagung, Jena
- [RWE 2001] RWE Powerline GmbH (2001)
RWE PowerNet Internet aus der Steckdose
Produktinformation, <http://www.rwe-powerline.de>
- [Schulz 99] Schulz S, Klar R, Auhuber T, Schrader U, Koop A, Kreutz R, Oppermann R, Simm H (1999)
Qualitätskriterienkatalog für Elektronische Publikationen in der Medizin
GMDS Publikation (<http://www.imbi.uni-freiburg.de/medinf/gmdsqc/d.htm>)
- [Schulze 97] Schulze C, Pijpelink J, Linton N, Bortfeld T, Schlegel W (1997)
3D Photon Dose Calculation: From a Scientific Tool to Routine Planning
In: Leavitt DD, Starkschall G (eds.), *The Use of Computers in Radiation Therapy, Proc of the 12th ICCR 97, Salt Lake City*: 43-45
- [Schlegel 01] Schlegel W, Mahr A (2001)
3D Conformal Radiation Therapy - A multimedia intrduction to methods and techniques
CD-ROM, Springer Verlag
- [Santa-Cruz 2000] Santa-Cruz D, Ebrahimi T (2000)

- A Study of JPEG 2000 Still Image Coding versus other Standards*
In: Proc. of the X European Signal Processing Conference 2, Tampere: 673-676
- [Sharp 01] Sharp (2001)
Sharp Personal Mobile Tool SL-5000
Produktinformation, Sharp
(<http://www.sharp.de>)
- [Shirmohammadi 01] Shirmohammadi S, El Saddik A, Georganas N, Steinmetz R (2001)
Web-Based Multimedia Tools for Sharing Educational Resources
In: ACM Journal on Educational Resources in Computing 1 (9)
- [Shirmohammadi 02] Shirmohammadi S, Ding L, Georganas N (2002)
An Approach for Recording Multimedia Collaborative Sessions: Design and Implementation
In: Journal of Multimedia Tools and Applications 19 (1)
- [Siebrecht 2000] Siebrecht D, Lax H, Popp W, Ruenzi M, Joeckel K.-H (2000)
Use of the Internet in Medicine
In: Nyssen M, Thienpont G, Woodall J (eds.), Real World Medical Applications, Proc. of MEDNET 2000, 5th World Congress on the Internet in Medicine, Brüssel: 217-218
- [Siemens 96] Siemens Medical Systems (1996)
LANTIS RTP Link Interface Guide
Dokumentation, Siemens Medical Systems, Inc.
- [Singer 99] Singer R, Riedel J, Leven FJ
Innovative Medical Education in an Integrated Framework of Case-Based Learning and Web-Based Training
In: Arvantis TN, Eysenbach G, Woodall J (eds.), Towards the Millenium of Cybermedicine, Proc. of MEDNET `99, 4th World Congress on the Internet in Medicine, Heidelberg: 52-53
- [Sippel 98] Sippel H, Eich HP, Ohmann C (1998)
Data Collection in Multi-center Clinical Trials via Internet-A Generic System in Java
In: Medinfo 1998; 9(1): 93-97
- [Slowinski 01] Slowinski M, Kennedy T, Kennedy T (2001)
SMIL: Adding Multimedia to the Web
Sams Publishing
- [Spiessl 93] Spiessl B, Beahrs OH, Hermanek P, Hutter RUP, Scheibe O, Sobin LH, Wagner G (1993)
TNM-Atlas
Union Internationale contre le cancer (UICC), Springer, 3.Auflage
- [Stehling 2000] Stehling MK, Liu L, Weimer B, Nitz C, Djomotschko J, Gercke LD (2000)
MRT-PET Bildfusion erhöht Tumordetektionsrate
In: Neue Radiologische Praxis, 8(5)
- [Sun Mail 98] Sun Microsystems (1998)
JavaMail Guide for Service Providers
Sun Microsystems, Inc. (<http://www.javasoft.com>)
- [Sun JDBC 99] Sun Microsystems (1999)

- Getting Started with the JDBC API*
Sun Microsystems, Inc. (<http://www.javasoft.com>)
- [Sun JSDT 99] Sun Microsystems (1999)
Java Shared Data Toolkit User Guide
Sun Microsystems, Inc. (<http://www.javasoft.com>)
- [Sun JMF 99] Sun Microsystems (1999)
Java Media Framework API Guide, JMF 2.0 FCS
Sun Microsystems, Inc. (<http://www.javasoft.com>)
- [Sun RMI 99] Sun Microsystems (1999)
Java Remote Method Invocation Specification
Sun Microsystems, Inc. (<http://www.javasoft.com>)
- [Sun Mail 2000] Sun Microsystems (2000)
JavaMail API Design Specification, Version 1.2
Sun Microsystems, Inc. (<http://www.javasoft.com>)
- [Sun JMF 01] Sun Microsystems (2001)
Supported Media Formats and Capture Devices
Sun Microsystems, Inc.
(<http://java.sun.com/products/java-media/jmf/2.1.1/formats.html>)
- [Sun RMI 01] Sun Microsystems (2001)
Java RMI-IIOP Documentation
Sun Microsystems, Inc.
(<http://java.sun.com/j2se/1.4/docs/guide/rmi-iiop/index.html>)
- [Sun JSSE 01] Sun Microsystems (2001)
Java Secure Socket Extension (JSSE)
Sun Microsystems, Inc. (<http://www.javasoft.com>)
- [Sung 2000] Sung MY, Kim MS, Kim EJ, Yoo JH, Sung MW (2000)
CoMed: a real-time collaboration medicine system
In: International Journal of Medical Informatics, 57: 117-126
- [Taubmann 2000] Taubmann D (2000)
High Performance Scalable Image Compression with EBCOT
In: IEEE Transactions on Image Processing 2000, 9(7): 1158-1170
- [Tozer-Loft 99] Tozer-Loft S (1999)
Interactive Radiotherapy Planning for Students
Projekt Homepage (<http://www.shef.ac.uk/training/irps/>)
- [Vogel 2000] Vogel J (2000)
ANETTE (Applications and Network Technology for TEleteaching)
Projektbeschreibung
(<http://www.informatik.uni-mannheim.de/informatik/pi4/projects/ANETTE/anetteProject1.html>)
- [Wagner 93] Wagner G (1993)
Tumorlokalisationsschlüssel
Springer, 5. Auflage
- [Webb 93] Webb S, Nahum AE (1993)

A model for calculating tumour control probability in radiotherapy including the effects of inhomogeneous distributions of dose and clonogenic cell density
In: Physics in Medicine and Biology 38: 653-666

[Werner 98] Werner O (1998)

Chili-Datenbank Kochbuch

Steinbeis Transferzentrum für Medizinische Informatik, Heidelberg

[WHO 95] WHO (1993-1995)

International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, Tenth Revision, Vols 1-3

Geneva: World Health Organization

[Wolff 2000] Wolff AC, Haux R (2000)

ePA-Tumor: elektronische Patientenakte für Tumorpatienten

Projektbeschreibung, Medizinische Informatik, Universitätsklinikum Heidelberg

(<http://www.med.uni-heidelberg.de/mi/research/mdoc/epa/>)

[Zhu 01] Zhu W, Georganas ND (2001)

JQoS: Design and Implementation of a QoS-based Internet Videoconferencing System using Java Media Framework (JMF)

In: Proc. of Can. Conf. on Electr. and Comp. Eng. CCECE 2001, Toronto

[Zink 89] Zink S (1989)

The promise of a new technology: knowledge-based systems in radiation oncology and diagnostic radiology.

In: Computerized Medical Imaging and Graphics 13(3): 281-293

ANHANG C

Glossar

Hier werden die wichtigsten Abkürzungen und Begriffe, die in der Arbeit Verwendung finden, kurz erklärt.

ADSL = Asymmetric Digital Subscriber Line

Übertragungsverfahren für die Datenübertragung über das Internet mit einer Bandbreite von bis zu 6 Mbit/s bei Nutzung normaler Telefonkabel (siehe auch ISDN und PowerNet).

Application Sharing

Begriff aus dem Bereich der Telekonferenz. Meint, dass alle Konferenzteilnehmer Kontrolle über eine gemeinsam genutzte Anwendung haben. Sie „teilen“ sich die Anwendung.

ATM = Asynchronous Transfer Mode

Übertragungsverfahren, das in Wide Area Networks (WAN) genutzt wird und Bandbreiten von 155 Mbit/s bzw. 622 Mbit/s bietet. Es kann aber durchaus auch eine Geschwindigkeit von bis zu 10 Gbit/s erreicht werden. ATM wird auch in B-ISDN verwendet.

BEV = Beam's Eye View

Darstellungsart von VIRTUOS, die das dreidimensionale Patientenmodell aus der Sicht der Strahlenquelle darstellt und somit veranschaulicht, welche Organe und Strukturen in dem Strahlenfeld liegen.

CGI = Common Gateway Interface

Skript-Sprache zur Kommunikation zwischen einer Internetseite im Internetbrowser und einem Server. Wird häufig zum Austausch einfacher Datenstrukturen und einfacher Anfragen mit einem Server verwendet.

CORBA = Common Object Request Broker Architecture

Ein spezielles standardisiertes Programmiermodell, das es Anwendungen, die in unterschiedlichen Programmiersprachen realisiert sind, ermöglicht, über ein heterogenes Netzwerk mittels des Prinzips Remote Procedure Call miteinander zu kommunizieren (siehe auch Java RMI).

CT = Computertomographie

Bildgebungsverfahren der Medizin. Aus den einzelnen CT-Schichten wird das dreidimensionale Patientenmodell errechnet. Die Darstellung der CT-Schichten in Form von Röntgenabsorptionskoeffizienten, den Hounsfieldwerten, eignet sich besonders als Grundlage zur Berechnung der Dosisverteilung im Körper.

DBMS = Database Management System

Programm, das der Verwaltung von Datenbanken dient.

DEC = Digital Equipment Corporation

Firma die zu Compaq Computer Corporation in Houston, Texas, USA gehört und von der in dieser Arbeit das Unix-Derivat DEC-Unix als Serverplattform verwendet wurde.

DICOM = Digital Imaging and Communication in Medicine

Von der NEMA veröffentlichter Standard zur Übertragung medizinischer Bilddaten.

DICOM RT = DICOM in Radiotherapy

Erweiterung des DICOM Standards zur Übertragung von Strahlentherapieplänen.

DKFZ = Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg**DVH = Dosis Volumen Histogramm**

Histogramm zur quantitativen Bewertung der Dosisverteilung eines Bestrahlungsplanes in dem Patienten. Dargestellt wird die Dosisverteilung im Zielvolumen und den Risikoorganen.

Firewall

Software, die den Datenstrom aus bzw. in ein Intranet überwacht und so Schutz vor Hackern und auch Viren bieten soll.

FTP = File Transfer Protocol

Protokoll zur Übertragung von Dateien über das Internet.

Gateway

Rechner eines lokalen Netzwerkes über den die Daten aus dem Netzwerk hinaus in das Internet fließen. Sozusagen das Tor eines Netzwerkes zur Außenwelt.

GSI = Gesellschaft für Schwerionenforschung Darmstadt**Hounsfield-Wert**

Die Absorption der Röntgenstrahlen bei Aufnahme eines CT-Würfels wird relativ zu Wasser in Hounsfield-Werten angegeben. Der Wertebereich liegt etwa bei -1024 bis $+3000$.

HTML = Hypertext Markup Language

Sprache zur Beschreibung von Internetseiten im Festnetz, in die man mittels des Befehles `<APPLET>` Java-Applets einfügen kann. Die in `< >` stehenden HTML-Befehle werden auch als Tags bezeichnet.

HTTP = HyperText Transport Protocol

Kommunikationsprotokoll für den Datenaustausch über das Internet (Festnetz).

HTTP-Tunneling

HTTP-Tunneling ist ein Verfahren für den Datenaustausch durch Firewalls. Jede Firewall ist in der Regel so konfiguriert, dass der von HTTP genutzte Port 80 freigeschaltet ist. Ein Datenaustausch über HTTP wird also auf jeden Fall durch die Firewall gelassen. Dies wird ausgenutzt, um auch Daten die ursprünglich nicht HTTP nutzen durch Firewalls zu schleusen. Ein Beispiel hierfür wäre die in dieser Arbeit verwendete CORBA-Kommunikation, die für den Datenaustausch IIOP als Protokoll (siehe unten) verwendet. Für den Austausch von Daten durch eine Firewall werden beim HTTP-Tunneling nun die IIOP Anweisungen in HTTP An-

weisungen „gepackt“ und so durch die Firewall geschleust. Die Daten anderer Protokolle bekommen beim HTTP-Tunneling sozusagen einen „HTTP-Mantel“.

Huffman-Kodierung

Verfahren zur Datenkompression nach Huffman [Abele 2000].

IIOP = Internet Inter-ORB Protocol

Das von CORBA genutzte Protokoll zur Kommunikation zwischen den einzelnen Objekten über das Netzwerk.

IMRT = Intensity Modulated Radio Therapy

Bestrahlungsverfahren, bei dem die Strahlenintensität innerhalb der einzelnen Strahlenfelder nicht homogen ist. Die IMRT wird invers geplant.

Intranet

Geschlossenes Netzwerk einer Institution. Meist durch eine Firewall geschützt.

IOR = Interoperable Object Reference

Referenzzahl, die von CORBA zur Identifizierung der einzelnen Objekte im Netzwerk verwendet wird. Die Zahl besteht aus dem Rechnernamen, dem Port und einem eindeutigen Objektschlüssel.

IRIS = Internet Based Radiotherapy Planning and Information System

Der Name des in dieser Arbeit besprochenen Prototyps.

ISDN = Integrated Services Digital Network

Digitales Datennetz, das sowohl zum Telefonieren als auch zur Anbindung an das Internet verwendet wird. Der Zugang besteht aus zwei Kanälen mit einer Bandbreite von je 64 Kbit/s. Die Kanäle können zu 128 Kbit/s gebündelt werden.

ITU-T International Telecommunication Union – Telecom Standardization

ITU ist eine Teilorganisation der Vereinten Nationen zur weltweiten Standardisierung des Fernmeldewesens. Die Teilgruppe ITU-T beschäftigt sich mit der Erarbeitung von Standards im Bereich Telekommunikation.

Java Applet

Java Programm das in einer HTML-Seite integriert ist, mit dieser zusammen in den Internetbrowser geladen wird und von der Java Virtual Machine des Browsers interpretiert wird.

Java 3D

Java Sprachbibliothek zur Darstellung von 3D Szenen in Java Programmen.

JDBC = Java Database Connectivity

Java Sprachbibliothek, die die Anbindung von Java Programmen an SQL Datenbanken ermöglicht.

JDK = Java Development Kit

Hierunter versteht man die Entwicklungsumgebung für Java-Applets und Java-Applications der Firma Sun. In ihr enthalten sind die Komponenten der JRE, ein Debugger, ein Compiler der den Quellcode in den Systemunabhängigen Java Bytecode übersetzt und entsprechende Generatoren zur Erzeugung der HTML-Dokumentation, der speziellen RMI-Klassen, usw.

Java Mail

Java Sprachbibliothek, die es ermöglicht, Mail-Programme zu schreiben.

JMF = Java Media Framework

Spezielle Java Sprachbibliothek zur Darstellung und Übertragung von Audio- und Videodaten in einem Java Programm.

Java PlugIn

Zusatzsoftware von Sun zur Einbindung in einem Internetbrowser. Sie überschreibt die Standard-JVM des Internetbrowsers, damit dieser Zusatzbibliotheken von Java interpretieren kann. Die Microsoft JVM des Internet Explorers kann auf diese Art durch die aktuelle JVM von Sun ersetzt werden, so dass die Nutzung des aktuellen Java Sprachstandards von Sun im Microsoft Internet Explorer möglich ist.

JRE = Java Runtime Environment

Unter der JRE versteht man die wichtigsten Komponenten des JDK, die dazu benötigt werden, Java-Applikationen auf einem Rechner auszuführen. Die Komponenten der JRE dürfen zusammen mit der jeweiligen Applikation frei verteilt werden.

Java RMI = Java Remote Method Invocation

Java Sprachbibliothek die es zwei Java Anwendungen ermöglicht, mittels Remote Method Invocation über ein Netzwerk miteinander zu kommunizieren (siehe auch CORBA).

Remote Method Invocation bedeutet, dass die Kommunikation über einen gegenseitigen Methodenaufruf funktioniert. Eine der Anwendungen ruft also Methoden eines Objektes auf, das in der anderen Anwendung implementiert ist. Dieses Prinzip des Aufrufs entfernter Methoden wird allgemein als Remote Procedure Call (RPC) bezeichnet.

JSDT = Java Shared Data Toolkit

Spezielle Java Sprachbibliothek, die zur Realisierung von Telekonferenzsystemen verwendet werden kann.

Java Sound

Java Sprachbibliothek, mit der die Wiedergabe von Audiosignalen möglich ist.

JSSE = Java Secure Socket Extension

Java Sprachbibliothek, die TLS und SSL zur Verschlüsselung von Daten unterstützt.

JVM = Java Virtual Machine

Software, die den Java Bytecode interpretiert und zeitgleich mit der Interpretation auch kompiliert. Sie ist Bestandteil des Internetbrowsers, damit ein Java Applet ausgeführt werden kann.

KB

Kilo Byte

Kbit/s

Kilo Bit pro Sekunde

KBS = Knowledge Based System

Englischer Fachausdruck für Wissensbasiertes System

KIS = Krankenhaus InformationSystem

Integration einzelner Softwarekomponenten im LAN eines Krankenhauses, vorwiegend zur

Verwaltung und Dokumentation der Patientendaten, aber auch zur Abrechnung, Behandlung und Überwachung.

LAN = Local Area Network

Lokales Netzwerk, das sich über eine kleine Distanz von maximal 10 km erstreckt. Das Intranet einer Institution ist z.B ein LAN.

MB

Mega Byte

Mbit/s

Mega Bit pro Sekunde

Min.

Minuten

MR = Magnetresonanztomographie

Ein medizinisches Bildgebungsverfahren, das gegenüber dem CT wesentliche Vorteile in der kontrastreicheren Darstellung der Weichteile hat.

NetMeeting

Kostenlose Software von Microsoft für Telekonferenzen und Videokonferenzen. Hat Funktionalitäten wie Application Sharing, Chat, Whiteboard, FTP, Video- und Audioübertragung

NEMA = National Electrical Manufacturers Association

US -Amerikanische Organisation, die sich mit der Entwicklung von Standards beschäftigt.

OEV = Observer's Eye View

3D Darstellung in VIRTUOS. Gibt einen Überblick über die räumliche Anordnung von Zielvolumen, Risikoorganen und applizierten Strahlenfeldern.

OMG = Object Management Group

Organisation, die den CORBA-Standard definiert.

ORB = Object Request Broker

Die von CORBA genutzte Middleware zur Objekt-Kommunikation über das Netzwerk.

PET = Positronenemissionstomographie

Ein medizinisches Bildgebungsverfahren mit dem sich vor allem Stoffwechselvorgänge visualisieren lassen.

PlugIn

Zusatzsoftware, die in ein Programm eingebunden werden kann, um das Programm mit bestimmten Funktionen zu erweitern, die vorher noch nicht vorhanden waren. Beispielsweise zur Wiedergabe von 3D Szenen in einem Internetbrowser mit VRML oder zur Nutzung von Java RMI im Microsoft Internet Explorer.

PowerNet

Das Netz ermöglicht die Datenübertragung über das Stromnetz und bietet damit den Zugriff auf das Internet über die Steckdose. Die Bandbreite beträgt 2 Mbit/s.

PVM = Parallel Virtual Machine

Sprachbibliothek für C und Java, die es ermöglicht, parallel ablaufende Prozesse in einem Netzwerk zu verwalten und zu synchronisieren.

RTOG = Radiation Therapy Oncology Group

RTOG beschreibt ein Format zur Speicherung und Übertragung von Bestrahlungsplänen (siehe dazu auch DICOM RT). RTOG ist aber kein Standard.

RTP = Real-Time Transport Protocol

Kommunikationsprotokoll zur Übertragung von Audio- und Videosignalen über ein Netzwerk.

s

Sekunde

SHTTP = Secure HTTP

Verfahren zur verschlüsselten Übertragung von Daten über das Internet. Basiert direkt auf HTTP und ist von diesem Protokoll auch abhängig.

SQL = Structured Query Language

Sprache, die zur Abfrage, Modifikation und Administration von relationalen Datenbanken dient.

SSL = Secure Sockets Layer

Verfahren zur verschlüsselten Übermittlung von Daten. Unterstützt auch die Nutzung von digitalen Unterschriften und der Client Authentisierung mittels digitaler Zertifikate.

TAPIR = Tool for Automatic Planning in Radiotherapy

Das am DKFZ entwickelte wissensbasierte System zur automatischen Plangenerierung. Es ist in IRIS eingebunden.

TCP = Transmission Control Protocol

Transportprotokoll zur Übermittlung von Daten über das Internet. Stellt Mechanismen bereit, die überprüfen, ob die übermittelten Daten auch vollständig angekommen sind (siehe auch UDP).

TLS = Transport Layer Security

Verfahren zur Verschlüsselung von Daten. Das Verfahren ist SSL sehr ähnlich, aber neuer. Es wird auch als Nachfolger von SSL angesehen.

UDP = User Datagram Protocol

Transportprotokoll zur Übermittlung von Daten im Internet. Ist analog zu TCP, stellt aber im Gegensatz zu diesem Protokoll, keine Mechanismen zur Kontrolle der vollständigen Datenübermittlung bereit. Dafür ist die Datenübertragung schneller als bei TCP. Wird vor allem bei der Übertragung von Audio- und Videosignalen verwendet.

URL = Unified Resource Locator

Bezeichnung für die Internetadresse.

VOI = Volume of Interest

In einem Bestrahlungsplan die zweidimensionalen und dreidimensionalen Strukturen von Risikoorganen und Zielvolumen. Aber auch die CT-Kontur kann in einer VOI-Datei hinterlegt sein.

VOXELPLAN

Am DKFZ entwickeltes Strahlentherapieplanungssystem für die tumorkonforme dreidimensionale Strahlentherapieplanung

VIRTUOS = Virtual Radiotherapy Simulator

Benutzeroberfläche von VOXELPLAN zur Einstellung der Bestrahlungsparameter und der Simulation ihrer Auswirkungen.

VIRTUOSO

Kommerzielle Version von VIRTUOS, vertrieben durch die Firma Leibinger-Stryker.

VRML = Virtual Reality Meta Language

Sprache zur Darstellung von 3D Szenen. Mit VRML werden häufig 3D Szenen im Internet dargestellt. Hierfür wird ein sogenannter VRML-Browser als PlugIn in den Internetbrowser eingebunden.

WAN = Wide Area Network

Netzwerk das lokal begrenzt ist, aber sich durchaus über größere Distanzen erstrecken kann.

WAP = Wireless Application Protocol

Kommunikationsprotokoll für die Datenübertragung im Mobilfunknetz. Analogon zu HTTP im Festnetz.

WBS = Wissensbasiertes System**WML = Wireless Markup Language**

Sprache zur Beschreibung von Internetseiten im Mobilfunknetz. Das Analogon zu HTML im Festnetz. WML basiert direkt auf XML.

X3D = eXtensible 3D

Sprache zur Beschreibung von 3D Szenen in Internetseiten, die auf XML basieren. Diese Seiten können dann von einem VRML-Browser interpretiert werden.

XML = eXtensible Markup Language

Wie HTML eine Sprache zur Beschreibung von Internetseiten. Im Gegensatz zu HTML ermöglicht XML aber das Erstellen von dynamischen Internetseiten, die einen flexiblen Datenaustausch zulassen.

ANHANG D

Lebenslauf

Personalien

Name und Vorname: Lüttgau, Andreas
Geburtsdatum: 01. August 1973
Geburtsort: Weinheim/Bergstr.
Familienstand: verheiratet
Vater: Jürgen Lüttgau
Geschäftsleiter am Landgericht Heilbronn
Mutter: Gerda Lüttgau, geb. Albert
Justizfachwirtin

Schulischer Werdegang

1980 - 1984 Grundschule Multschule (Gesamtschule) Weinheim
1984 - 1986 Gymnasium Albertus Magnus Schule (AMS) Viernheim
1986 - 1993 Gymnasium Elly-Heuss Knapp Gymnasium (EHKG) Heilbronn
18. Mai 1993 Allgemeine Hochschulreife (Note 1,3)

Wehrdienst

1993 - 1994 Grundwehrdienst 1. Panzerbeobachtungsbataillon 121
Tauberbischofsheim
Tätigkeit: Büroarbeit, Verwaltung

Universitärer Werdegang

Oktober 1994 Beginn des Studiums der Medizinischen Informatik an der
Universität Heidelberg/ Fachhochschule Heilbronn
7. Oktober 1996 Vordiplom (Note „sehr gut“)
4. Juni 1999 Abschluß zum Diplom-Informatiker der Medizin (Dipl.-Inform. Med.)
(Note „gut“)

ANHANG E

Danksagung

Mein Dank gilt allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Herrn Prof. Dr. Reinhard Männer danke ich für die hervorragende Betreuung und freundliche Unterstützung der Arbeit an der Fakultät für Mathematik und Informatik der Universität Mannheim.

Herrn Prof. Dr. Wolfgang Schlegel danke ich für die Ermöglichung der Arbeit und die guten Arbeitsbedingungen an der Abteilung für Medizinische Physik am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) Heidelberg.

Meinem Arbeitsgruppenleiter, Herrn Dr. Rolf Bendl, der mir stets hilfreich mit Rat und Tat beiseite stand, möchte ich ganz herzlich für die hervorragende Betreuung und gute Atmosphäre in seiner Arbeitsgruppe danken.

Herrn Dr. Mark-Alexi Keller-Reichenbecher danke ich für die Überlassung des TAPIR-Quellcodes und für die Beratung in Fragen des wissensbasierten Systems.

Herrn Privatdozent Dr. Dr. Jürgen Debus danke ich für die freundliche Unterstützung dieser Arbeit von medizinischer Seite. In diesem Zusammenhang gilt mein besonderer Dank auch Herrn Dr. Bernd Didinger für die anregenden Diskussionen.

Herrn Dr. Michael Partridge danke ich für das Korrekturlesen meiner englischen Paper, die im Rahmen dieser Arbeit entstanden sind, hinsichtlich der englischen Sprache.

Unserem Netzwerkadministrator, Herrn Dipl.-Ing. Wilfried Müller, danke ich für die freundliche Unterstützung in Fragen der vorhandenen Computersysteme.

Meiner Seminaristin Frau Helene Billewitz danke ich für die gute und produktive Zuarbeit.

Außerdem möchte ich mich bei all meinen Arbeitskolleginnen und –kollegen für das angenehme Arbeitsklima und die freundliche Unterstützung bedanken.

Meinen Eltern danke ich für die Ermöglichung des Studiums, das Voraussetzung für diese Arbeit war.

Meiner Frau danke ich für die liebe Unterstützung, die konstruktive Kritik und das mir entgegen gebrachte Verständnis.