

Webservice für die automatische Generierung von Videodokumenten von Aneurysmen

S. Iserhardt-Bauer*
Universität Stuttgart

T. Ertl†
Universität Stuttgart

C. Rezk-Salama‡
Universität Erlangen-Nürnberg

P. Hastreiter§
Universität Erlangen-Nürnberg

Zusammenfassung

Volumenvisualisierung wird in der Medizin dazu genutzt, einen räumlichen Eindruck des erkrankten Gewebes zu erhalten. Üblicherweise setzt dies jedoch die interaktive Arbeit mit einem Visualisierungstool voraus, wobei insbesondere die Segmentierung der interessanten Bereiche und das Einstellen des optimalen Blickwinkels viel manuelle Arbeit erfordert.

In der medizinischen Dokumentation ist dieses interaktive Verfahren jedoch aufgrund der fehlenden Reproduzierbarkeit schwierig einsetzbar. Mit Hilfe von digitalen Videosequenzen, die den Verlauf der Analyse nachzeichnen, ist es möglich eine Analyse exakt zu wiederholen und somit auch anderen Medizinern nachvollziehbar zur Verfügung zu stellen.

Da das Erzeugen digitaler Videos, genau wie die oben beschriebene interaktive Volumenvisualisierung, ein sehr zeit- und rechenintensiver Prozeß ist, bieten sich hierfür hardwareunterstützte Renderingverfahren an. Diese haben jedoch den Nachteil, dass relativ teure Graphik-Hardware benötigt wird. Um dieses Verfahren auch Medizinern zur Verfügung zu stellen, die über solche Hardware nicht verfügen, haben wir einen Webservice entwickelt, der den kompletten Renderingprozess und die Generierung des Videos übernimmt. Da dieser Webservice einem großen Nutzerkreis zu Verfügung stehen soll, wurde der gesamte Prozessablauf voll automatisiert, wodurch auch Mediziner die keine Erfahrung im Umgang mit interaktiven Visualisierungstools haben, diesen Service nutzen können.

Der vollautomatische Prozess beinhaltet zum einen die Segmentierung mittels automatisch generierter Transferfunktionen, sowie die automatische Generierung digitaler Videos unter Zuhilfenahme einer standardisierten Betrachtungsweise der Volumendatensätze.

1 Motivation

Das Internet gewann in den letzten Jahren in den verschiedensten, auch hochsensiblen, Bereichen enorm an Bedeutung. Ermöglicht wird dies vor allem durch die schnellen Fort-

* Abt. für Visualisierung u. Interaktive Systeme, Institut für Informatik, D-70565 Stuttgart

† Abt. für Visualisierung u. Interaktive Systeme, Institut für Informatik, D-70565 Stuttgart

‡ Lehrstuhl für Graphische Datenverarbeitung, Institut für Informatik, D-91058 Erlangen

§ Neurozentrum, D-91054 Erlangen

schritte bei der Entwicklung von Sicherheitssoftware und der zunehmenden Verbreitung von breitbandigen Internetanschlüssen. Durch diese Entwicklung wird die Unterstützung, die das Internet bieten kann, auch im medizinischen Bereich gewünscht. Hochsensible medizinische Datensätze können im Internet ausgetauscht und an anderer Stelle weiterverarbeitet werden. Bei der Weiterverarbeitung der Daten spielt gerade die Visualisierung im Bereich der 3D-Bildgebung eine große Rolle.

Internetbasierte Verfahren im Bereich der Visualisierung von medizinischen Bilddaten werden in den verschiedensten Anwendungsgebieten eingesetzt. Sie ermöglichen z.B. das kollaborative Arbeiten zwischen verschiedenen nicht ortsgebundenen Teilnehmern [Col97]. Dieser Punkt spielt gerade bei der Diagnose von Krankheiten und auch bei Operationen in Fachgebieten, in denen es nur sehr wenig Experten gibt, eine große Rolle. Ein weiteres Einsatzgebiet stellen sogenannte Client-Server-Applikationen dar, bei denen serverseitig die großen medizinische Datensätze gespeichert und dreidimensional gerendert werden und auf der Client-Seite nur als Folge von 2D-Bildern dargestellt werden [Eng99, Eng00]. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass der einzelne Benutzer unabhängig von teurer Graphikhardware die Vorteile von hardwareunterstützten Renderingverfahren nutzen kann. Um generell teure Hardware zu vermeiden gibt es Ansätze bei denen CT- und MR-Datensätze im VMRL-Format direkt im Webbrowser mit VRML-plug-in dargestellt und manipuliert werden können ([Hen98],[Kim98]).

Das Prinzip des serverbasierten Renderings wird in unserem Ansatz für das kostengünstige und schnelle Erstellen von 3D-Dokumenten, in Form von digitalen Videosequenzen, genutzt. Die Erzeugung von Videos scheiterte bisher am enormen Aufwand bei der Produktion und an den Kosten für die Visualisierungstools, die hierfür benötigt werden. Gerade hardwareunterstützte Ansätze, die ein interaktives Rendering ermöglichen, sind aufgrund der teuren Graphikhardware zu kostspielig und deswegen nicht überall verfügbar. Hier bietet das Internet die Möglichkeit, den Datensatz serverseitig hardwareunterstützt zu rendern und ein Video zu erzeugen.

Ein Problem bei der interaktiven Visualisierung ist die schwierige Reproduzierbarkeit der Betrachtungsweisen. Videoaufnahmen ermöglichen eine Wiederholung der betrachteten Bilder und eignen sich somit hervorragend als Dokumentationsmedium. Konventionelle medizinische Dokumentationssysteme ermöglichen es nur, Bilder bzw. Text als Dokumente abzulegen. Diese bieten aber nur die Information von 2D-Daten, die eine räumliche Vorstellung erschweren. Videos als Dokumentationsmedium ermöglichen jedoch eine 3D-Betrachtungsweise des Datensatzes.

Bereits in [Bei97] wurde die Integration der Videogenerierung bezüglich internetkompatibler Datenformate, realisiert. Der Nachteil hierbei ist jedoch, dass der Benutzer eine Software verwendet, die zwar in der Lage ist Videos zu generieren, aber dies vom Benutzer selbst erst einmal gesteuert werden muss. Dieser Vorgang kann je nach Anwendungsfall sehr aufwendig sein.

Im folgenden wird ein vollautomatischer Ansatz zur Generierung von digitalen Videos im Rahmen eines Webservices vorgestellt. Eine vollautomatische Generierung erfordert jedoch ein standardisiertes Vorgehen bei der Betrachtungsweise der medizinischen CT-Datensätze. Dabei wurde sich auf die Betrachtung von intrakraniellen Aneurysmen konzentriert. Die Hauptaufgabe innerhalb dieser Arbeit liegt nicht im Visualisierungsprozess,

sondern in der Architektur des Webservices.

In Abschnitt 2 werden die einzelnen Phasen innerhalb dieses Ansatzes genauer dargestellt. Erläutert werden hier die Voraussetzungen hinsichtlich der Datenauswahl und der Parameter. Anschließend wird die Aufbereitung der Daten in Form einer impliziten Segmentierung basierend auf den Ansätzen von Kindlmann [Kin98] und Rezk-Salama [Rez00] erläutert. Dabei wird ein Verfahren verwendet, mit dessen Hilfe man Transferfunktionen automatisch an den jeweiligen Datensatz anpasst. Ein wichtiger Aspekt bei der automatischen Generierung ist die Definition des Kamerapfades von dem aus die einzelnen Szenarien aufgenommen werden. Diese Phase wird in Abschnitt 2.3 genauer erläutert. Das verwendete hardwarebasierte Renderingverfahren und die Videogenerierung werden in 2.4 vorgestellt. Abschnitt 3 beschäftigt sich mit der technologischen Architektur innerhalb des Systems. In Abschnitt 4 werden Ergebnisse bezüglich der Videogenerierung vorgestellt. Im Ausblick werden dann zukünftige, mögliche Erweiterungen des Webservices behandelt.

2 Verfahren

Client-Server-Anwendungen bieten dem Benutzer die Möglichkeit, teure Graphikhardware zur Volumenvisualisierung ohne hohen Kostenaufwand zu nutzen. Davon profitiert der hier vorgestellte Ansatz zur automatischen Generierung von Videodokumenten, bei dem der medizinische Volumendatensatz als standardisiertes digitales Video zur Verfügung gestellt wird. Die Erstellung von digitalen Videodokumenten in Form eines Webservices, wie wir ihn hier vorstellen, beinhaltet dabei eine Vielzahl an verschiedenen Prozessen. Wie in Abbildung 1 gezeigt besteht der beschriebene Ansatz im wesentlichen aus den folgenden Phasen:

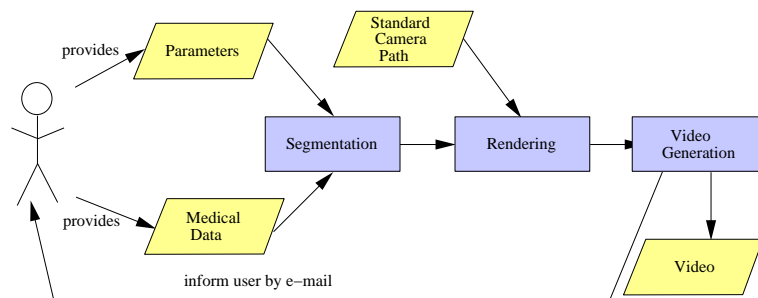


Abbildung 1: Prinzipieller Ablauf des Webservices: Die Parallelogramme stellen hier Ein- und Ausgabedaten dar, die Rechtecke die einzelnen Prozesse innerhalb der Rendering-Pipeline

1. Bereitstellung der Daten und Parameter, die für die Erzeugung des digitalen Videos wichtig sind.

2. Segmentierung des Aneurysmas mit Hilfe von Transferfunktionen
3. Definition eines standardisierten Kamerapfads
4. Rendering des Volumendatensatzes und Generierung des digitalen Videos.
5. Benachrichtigung des Benutzers

Die einzelnen Phasen dieses Ansatzes werden in den folgenden Abschnitten unabhängig von der Technologie erläutert. Die technologischen Voraussetzungen innerhalb des Systems werden in Abschnitt 3 beschrieben.

2.1 Daten und Parameter

Wie in Abbildung 1 dargestellt, steht am Anfang des Prozessflusses die Eingabe von Informationen über die Volumendaten und die gewünschten Videodaten, die zum Rendern des Datensatzes benötigt werden. Um den Webservice im klinischen Bereich einsetzen zu können, wird dem Benutzer die Möglichkeit gegeben, Bilddaten, die aus dem bildgebenden System erstellt werden, zu verschicken. In der vorgestellten Web-Applikation können somit DICOM-Daten aus Computertomographen für die Videogenerierung genutzt werden. Diese werden serverseitig in einen Volumendatensatz umgewandelt, welches für das Rendering-Tool benötigt wird.

Weiterhin besteht aber auch die Möglichkeit einen bereits erzeugten Volumendatensatz im Raw-Format anzugeben. Handelt es sich bei den Daten um Raw-Daten müssen weiterhin noch das Datenformat, die Auflösung und die Schichtdicke angegeben werden. DICOM-Daten enthalten diese Informationen bereits. Im Hinblick auf die Erstellung der Videodaten, müssen noch das Videoformat und die Anzahl der Frames angegeben werden. Um eine Plattformunabhängigkeit der Videos zu gewährleisten, stehen die gängigsten Videoformate, wie z.B. MPEG zur Verfügung.

Damit die digitalen Videos später als Dokumentation verwendet werden können, müssen an dieser Stelle auch Patientendaten angegeben werden.

2.2 Segmentierung

Medizinische CT-Datensätze enthalten häufig Informationen, die für den einzelnen Benutzer von unterschiedlichem Interesse sind. Um brauchbare Ergebnisse zu erhalten ist es wichtig zu wissen, welches Detail im Datensatz von Interesse ist und somit segmentiert werden soll. Wir haben uns bei unserem Ansatz auf neuroradiologische und –chirurgische CTA-Datensätze konzentriert. Hierbei sollen in erster Linie Gefäßbäume und einzelne Gefäße segmentiert werden. Ziel ist es, krankhafte Erweiterungen der Blutgefäße, sogenannte Aneurysmen, zu erkennen, um sie dann operativ behandeln zu können.

Der Segmentierungsprozess hat einen großen Einfluss auf die Qualität der Videos. CT-Datensätze enthalten oft einen hohen Rauschanteil, der eine Analyse und Diagnose des Aneurysmas enorm erschwert, teilweise sogar unmöglich macht. Ein Verfahren, welches sich beim direkten Volume Rendering an dieser Stelle bewährt hat, ist die Verwendung von Transferfunktionen. Dabei handelt es sich um ein implizites Segmentierungsverfahren,

wobei direkt die Intensitätswerte des Datensatzes verändert werden. Das Einstellen der Transferfunktion muss jedoch für jedes zu visualisierende Volumen speziell durchgeführt werden und erfordert sowohl technisches als auch fachliches Know-how. Um den Benutzer von diesem schwierigen und zeitaufwendigen Prozess zu entlasten, wird ein Verfahren verwendet welches ursprünglich auf einem Ansatz von Kindlmann beruht. In [Rez00] wird ein leicht modifizierter Ansatz mit Ergebnissen vorgestellt. Dabei wird das Histogramm eines Referenzvolumendatensatzes verwendet und eine dazu optimale Transferfunktion. Die Histogramme von CT-Volumendatensätzen für definierte Regionen (hier der Kopfbereich) sind sich sehr ähnlich. Mit Hilfe des Referenzhistogramms ist es also möglich, die Transferfunktion nur ein einziges Mal manuell einstellen zu müssen. Basierend auf dem Prinzip der dynamischen Programmierung wird von diesem Referenzhistogramm eine optimale Transferfunktion für diesen Volumendatensatz automatisch generiert. Abbildung 2 stellt einige dieser Ergebnisse vor.

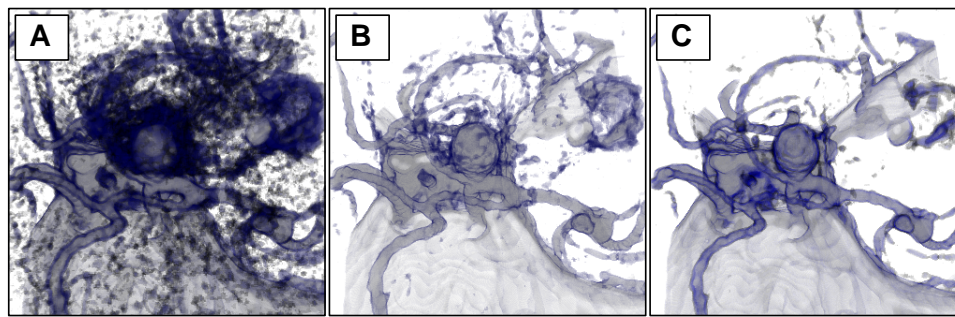


Abbildung 2: Anwenden der Transferfunktionen ohne Anpassung (A), mit Histogrammanpassung (B) und mit Anpassungen basierend auf Richtungsableitungen [Rez00]

2.3 Definition des Kamerapfades

Neben dem Finden einer optimalen Transferfunktion, gibt es einen weiteren Parameter der entscheidend für die Qualität der zu erzeugenden digitalen Videos ist: Der Pfad, von dem aus die Szene aufgenommen werden soll. Da in den Videosequenzen das Aneurysma genauer betrachtet werden soll, ist es wichtig den Blickpunkt der Kamera zu definieren, damit diese immer auf das Aneurysma gerichtet ist. Intrakranielle Aneurysmen treten häufig in der Nähe der Schädelbasis auf. Da die ungefähre Position bekannt ist, wird bei den Aufnahmen darauf geachtet, dass sich das Aneurysma im Zentrum des Volumens befindet. Ein Schwerpunkt bei der automatischen Generierung von Videos ist die Definition des Kamerapfades auf dem entlang die Kamera die Videosequenz erstellt [Ise01]. Um eine für jeden Mediziner verständliche Sequenz zu erstellen benötigt man ein standardisiertes Vorgehen, dass in erster Linie einen groben Überblick über das Volumen und eine feinere Detailansicht der interessanten Region innerhalb des Volumens zur Verfügung stellt. In der Praxis haben sich bei der Diagnose von Aneurysmen bestimmte Betrachtungsweisen

bewährt (s. Abbildung 3). Um diese zu simulieren, wird ein standardisierter Kamerapfad nach den folgenden Kriterien definiert: Der Datensatz wird zuerst von den 2 Hauptsichtweisen posterior und lateral betrachtet. Diese ermöglichen einen Überblick über das gesamte Volumen. Anschließend zoomt die Kamera zu der Stelle, an der das Aneurysma liegt. Von diesem Punkt aus wird das Aneurysma in einer Detailansicht betrachtet, die ein Schwenken der Kamera um diesen Punkt herum beinhaltet.

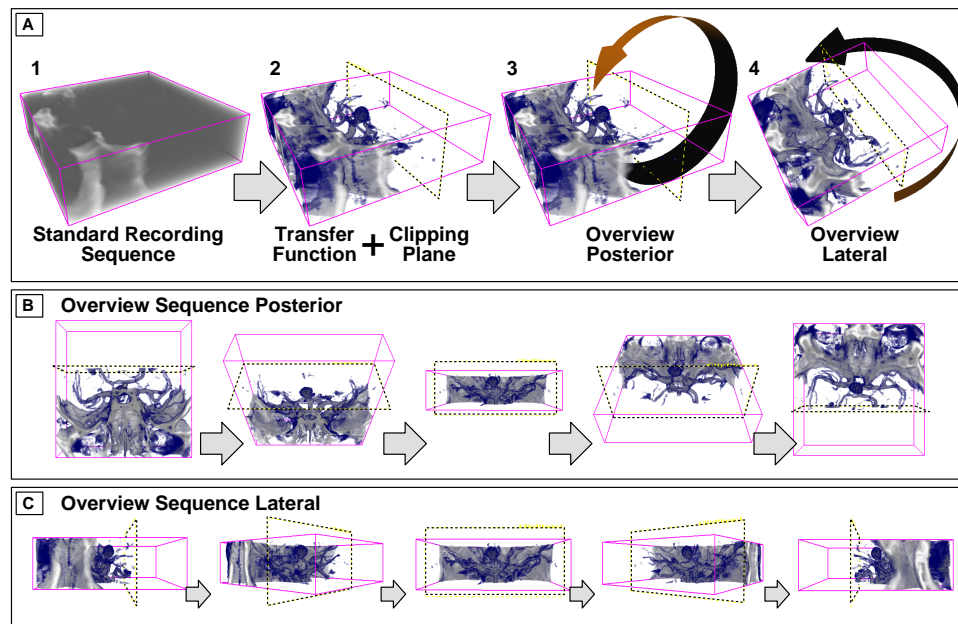


Abbildung 3: Standardisierte Prozedur, die sich für die Analyse von intrakraniellen Aneurysmen bewährt hat.

Mit Hilfe dieses standardisierten Kamerapfades ist es dem Mediziner möglich, einen kompletten Überblick über die Position und die Ausdehnung des Aneurysmas zu bekommen.

2.4 Renderingprozess und Videogenerierung

Da die Videogenerierung in den Renderingprozess integriert ist, werden die Parameter für die Videodefinition bereits vor dem Starten des Prozesses bestimmt. Um plattformunabhängige digitale Videos zu erzeugen, stehen verschiedene Videoformate, wie AVI, MPEG, QuickTime und ein spezielles SGI Videoformat zur Verfügung. Ein weiterer wichtiger Parameter stellt die Anzahl der Frames dar. Je mehr Frames verwendet werden und je näher die Positionen aneinander liegen von denen die Bilder aufgenommen wurden, um so fließender ist das Video.

Nachdem alle notwendigen Informationen vorhanden sind, beginnt der eigentliche Renderingprozess. Hierzu wird ein hardwareunterstütztes 3D-Textur-Verfahren[Cab94] verwendet, welches ein sehr schnelles und qualitativ hochwertiges Rendern von Volumendatensätzen ermöglicht. Um den Prozess noch weiter zu beschleunigen und Offscreen durchführen zu können, wird der sogenannte Pixelbuffer genutzt. Dieser ist eine OpenGL-Erweiterung, die von SGI zur Verfügung gestellt wird und hardwareunterstütztes Offscreen-Rendering ermöglicht.

Entlang des vordefinierten Kamerapfades werden nun aus den verschiedenen Positionen, entsprechend der angegebenen Anzahl der Frames, Bilder der Szene gerendert. Diese Bilder werden am Schluss des Renderingprozesses zu einem Video im vorgegebenen Format konvertiert.

2.5 Benachrichtigung des Benutzers

Nach Fertigstellen des Videos wird der Benutzer per E-Mail benachrichtigt, dass die Datei abgeholt werden kann. Um diese Datei als Dokumentation zu verwenden, wird zusätzlich eine HTML-Seite erzeugt, die Informationen über den Patienten, den CTA-Datensatz und das Video enthält.

3 Technische Architektur

Wie schon in Abschnitt 1 erwähnt stellt der Webservice eine Client-Server-basierte Anwendung dar. Auf der Clientseite stellt der Benutzer die notwendigen Daten und Parameter zur Verfügung. Der eigentliche Visualisierungs- und Videogenerierungsprozess findet dann serverseitig statt. Hierzu benötigen wir eine Technologie, die zum einen dem Benutzer die Möglichkeit gibt, in einem webbasierten Formular Daten clientseitig einzugeben und zum anderen in der Lage ist, den Renderingprozess serverseitig zu initiieren. Hierzu wurden JavaServer Pages (JSP) und Servlets verwendet. Dies ist mittlerweile eine sehr verbreitete Technologie und bietet aufgrund der Tatsache, dass Java verwendet wird, eine hohe Plattformunabhängigkeit auf Serverseite. JavaServer Pages werden innerhalb eines Servlet- bzw. JSP-Containers ausgeführt. Um auch hier eine Plattformunabhängigkeit zu gewährleisten, wird an dieser Stelle *Tomcat* aus dem Jakarta-Projekt von Sun eingesetzt. Ein weiterer Vorteil von *Tomcat* ist, dass es sich hierbei um ein OpenSource-Projekt handelt.

Für die Videogenerierung müssen Daten vom Client zum Server geschickt werden. Ein wichtiger Punkt hierbei ist, dass die DICOM-Daten bzw. der Volumendatensatz zum Server hochgeladen werden müssen. Dazu wird ein Upload-Servlet der Firma Gefion-Software verwendet, welches komfortable Methoden zur Dateimanipulation (Upload, Move, Delete etc.) zur Verfügung stellt.

Aus Performancegründen und wegen der Nutzung des Pixelbuffers ist die eigentliche Visualisierungssoftware momentan in C++ für die IRIX-Plattform implementiert worden. Da wir aber die Möglichkeit der Plattformunabhängigkeit bezüglich Webserver und Servlet-Container erhalten wollen, benötigen wir eine Schnittstelle zwischen JSP (also Java) und C++. Genauer gesagt benötigen wir die Möglichkeit, von einer JSP auf einem beliebigen

Webserver den Renderingprozess auf der SGI zu starten. Für diese Aufgabe bietet sich die Java Remote Method Invocation als Technologie an. RMI erlaubt es, Methoden von Java-Objekten, die in einem anderen Betriebssystemprozess und potentiell auf einer anderen Maschine leben, auf relativ komfortable Weise aufzurufen. Abbildung 4 zeigt die verwendete Architektur. Auf dem Rendering-Server (SGI) wird ein RMI-Server ('RenderServer') gestartet, der im Prinzip ein RMI-Wrapper für die in C++ implementierte Visualisierungssoftware ist. Über diesen Wrapper kann die Videogenerierung per RMI von einem anderen Rechner aus initiiert werden. In unserem Falle geschieht dies über eine JSP aus *Tomcat* heraus. Der RMI-Wrapper startet nun den Renderingprozess über einen Systemaufruf.

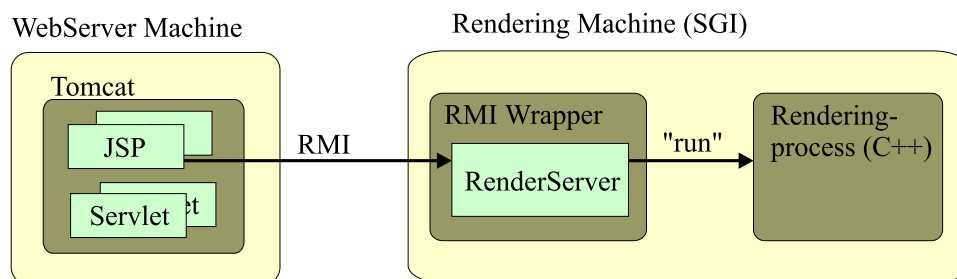


Abbildung 4: Technische Architektur des Webservice

Bei der Datenübertragung ist es vor allen Dingen wichtig, dem Benutzer eine sichere Übertragungsmöglichkeit der sensiblen Patientendaten zu bieten. Für die Sicherheit im Internet hat sich das HTTPS-Protokoll, welches zur Datenübertragung eine Verschlüsselung per SSL (Secure Socket Layer) verwendet, durchgesetzt und wird von nahezu jedem Browser unterstützt. In unserer Anwendung verwenden wir den Apache Webserver, der, in Kombination mit dem frei verfügbaren OpenSSL, dieses Protokoll ebenfalls unterstützt. Da der vorgestellte Webservice bisher nur im lokalen Testbetrieb läuft, ist diese Verschlüsselung bisher noch nicht aktiviert worden.

4 Ergebnisse

Mehrere Testdatensätze wurden auf einer SGI Octane mit EMXI Graphikkarte mit 4MB Texturspeicher und hardwareunterstütztem Pixelbuffer gerendert. Die Auflösung der Datensätze betrug 128 x 128 x 64 x 8Bit. Da der Texturspeicher in diesem Falle nicht das komplette Volumen fassen kann, muss es in 4 Bricks unterteilt werden. Gerendert wurden 600 Frames bei einer Größe von 640 x 480 Pixel. Bei dieser Kombination betrug die gesamte Systemzeit für den Renderingprozess inklusive Laden des Datensatzes und Erzeugen des Videos 16 Sekunden. Bei einem Datensatz der Größe 256 x 256 x 64 dauerte der Prozeß 21 Sekunden. Durch ausreichend großen Texturspeicher könnte auf das Bricking verzichtet werden, wodurch sich die Renderingzeiten verringern würden. Hinzu kommt die Dauer der Übertragung des Datensatzes vom Client zum Server, die je nach Netzwerkanbindung

unterschiedlich ausfallen kann. Bei zukünftig weiterer Verbreitung von breitbandigen Internetzugängen (z.B. DSL) werden aber auch diese Übertragungszeiten im Sekundenbereich liegen.

Abbildung 5 zeigt das komfortable Formular zur Eingabe der Volumendaten und der für die Videogenerierung benötigten Parameter. Der Benutzer wird, bis auf das einfache Ausfüllen des Formulars, von dem gesamten Renderingprozess und der Videogenerierung entlastet.

Aufgrund des Automatismus dieses Webservices und der einfachen Handhabung ist die Akzeptanz von Seiten der Mediziner sehr groß. Erste Erfahrungen zeigen, wie groß der Bedarf an solchen automatisierten Verfahren ist. Innerhalb der nächsten Monate ist eine umfangreiche Case-Study mit mehreren aktuellen Datensätze von Patienten aus dem neuroradiologischen Bereich geplant. Dies findet innerhalb eines Projektes mit der Neurochirurgischen Abteilung der Kopfklinik in Erlangen statt.

5 Ausblick

Videos unterstützen den Mediziner als Dokument zur Reproduzierbarkeit der Diagnose. Nachteil hierbei ist jedoch, dass der Benutzer nicht die Möglichkeit hat, in das Visualisierungsergebnis interaktiv einzugreifen. Hierzu gibt es zwei verschiedene Ansätze. Einerseits könnte das Remote-Visualisierungsverfahren von Engel [Eng00] integriert werden. Da der Datensatz bereits auf dem Server zur Verfügung steht und auch schon mit Transferfunktionen versehen ist, braucht dem Benutzer nur ein zusätzlicher Viewer zur Interaktion zur Verfügung gestellt werden. Ein Problem bei der interaktiven Nutzung könnte hier bei zu geringer Bandbreite auftreten.

Ein ähnlicher Ansatz wird mit dem Verfahren verfolgt, dem Benutzer vorgerenderte Bilder zur Verfügung zu stellen. Dazu werden weitere Bilder aus anderen Kamerapositionen aufgenommen. Diese Positionen werden so definiert, dass sie gleichmäßig auf einer Kugel, die das Volumen umschließt, liegen. Da das Rendern im Pixelbuffer ein schneller Prozess ist, stellt das Berechnen dieser zusätzlichen Bilder keinen nennenswerten Mehraufwand dar. Das um die zusätzlichen Bilder angereicherte Video kann dann in einem speziellen Viewer interaktiv betrachtet werden. Dazu wird dem Benutzer die Möglichkeit gegeben, an einer beliebigen Stelle vom Kamerapfad des Videos abzuweichen. Dadurch ergeben sich neue Betrachtungspositionen auf das Volumen. Zur Darstellung des Volumens von einer solchen zusätzlichen Position wird nun das jeweils nächstliegende zusätzlich gerenderte Bild verwendet. Auf diesem Weg entsteht eine eingeschränkte aber dennoch in manchen Situationen hilfreiche Interaktivität. Der Vorteil hierbei ist, dass der Benutzer dieses Feature ohne aktive Internetverbindung und ohne die Notwendigkeit, dass serverseitig ein dedizierter Renderingprozess läuft, nutzen kann.

Literatur

- [Bei97] Beier, J. and Sell, C. and Hosten, N. and Fleck, E. and Felix, R. *Multi-media presentation of radiologic image data with the Internet*. *Der Radiologe*, 37(1):98 – 103, 1997.

- [Cab94] Cabral, B. and Cam, N. and Foran J. *Accelerated Volume Rendering and Tomographic Reconstruction Using Texture Mapping Hardware*. In: ACM Symp. on Vol. Vis, S. 91 – 98, 1994.
- [Col97] Coleman, J. and Savchenko, A. and Goettsch, A. and Wang, K. and Bono, P. and Littlefield, R. and Macedonia, C. *TeleInViVo: a collaborative volume visualization application*. In Medicine Meets Virtual Reality, 1997.
- [Eng99] Engel, K. and Hastreiter, P. and Tomandl, B. and Eberhardt, K. and Ertl, T. *Texture-Based Volume Visualization for Multiple Users on the World Wide Web*. In: 5th Eurographics Workshop on Virtual Environments, S. 115 – 124, 1999.
- [Eng00] Engel, K. and Hastreiter, P. and Tomandl, B. and Eberhardt, K. and Ertl, T. *Combining Local and Remote Visualization Techniques for Interactive Volume Rendering in Medical Applications*. In: Proceedings of IEEE Visualization '00, S. 6 – 10, 2000.
- [Hen98] Hendin, O. and John, NW. and Shochet, O. *Medical volume rendering over the WWW using VRML and JAVA*. In Medicine Meets Virtual Reality:6 IOS Press and Ohmsha, Amsterdam, 1998.
- [Ise01] Iserhardt-Bauer, S. and Rezk-Salama, C. and Ertl, T. and Hastreiter, P. and Tomandl, B. and Eberhardt, K. *Automated 3D Video Documentation for the Analysis of Medical Data*. In: Workshop für die Bildverarbeitung in der Medizin, 2001.
- [Kim98] Kim, N. and Lee, D.H. and Kim, J.H. and Kim, Y. and Cho, H.J. *Web based 3-D medical image visualization on the PC*. In: Cesnik, B. and McCray, A.T. and Scherrer, J.R., Hrsg., Medinfo: Proceedings of the Ninth World Congress on Medical Informatics, Jahrgang 9, S. 1105 – 1110, Amsterdam, 1998. IOS Press.
- [Kin98] Kindlmann, G. and Durlin, J.W. *Semi-Automatic Generation of Transfer Functions for Direct Volume Rendering*. In: ACM Symp. on Vol. Vis, S. 79 – 86, 1998.
- [Rez00] Rezk-Salama, C. and Iserhardt-Bauer, S. and Hastreiter, P. and Scherer, J. and Tomandl, B. and Eberhardt, K. and Greiner, G. and Ertl, T. *Automated 3D Visualization and Documentation for the Analysis of Tomographic Data*. Interner Bericht, University of Stuttgart, Visualization and Interactive System Groups, Stuttgart, 2000.

The image shows a screenshot of a Microsoft Internet Explorer browser window displaying a web form. The browser's title bar reads "Homepage - Microsoft Internet Explorer". The menu bar includes "Datei", "Bearbeiten", "Ansicht", "Favoriten", and "Extras". The address bar shows "Adresse".

The web form is titled "Volume Data:" and is set against a yellow background. On the left side of the form, there is a blue vertical bar containing a 3D graphic of a blue and white interlocking structure. The form fields are as follows:

- Data Set:**
 - DICOM Data: - Raw Data File:
- Data Format (only used for Raw Data):**
 - 4-Bit 8-Bit 16-Bit 32-Bit 64-Bit
- Resolution (only used for Raw Data):**
 - x: 64 128 256 512 Free
 - y: 64 128 256 512 Free
 - z: 64 128 256 512 Free
- Slice Thickness (only used for Raw Data):**
 - x: y: z:
- Position of the Aneurysma:**
 - Center
 - UserDefined x: y: z:
- Video Data:**
 - Video Format:**
 - AVI MPEG1 QuickTime SGI Movie
 - Number of Frames:**
 - Overview Detailed Overview Free

At the bottom of the form is a button. The browser's status bar at the bottom shows "Fertig" and "Lokales Intranet".

Abbildung 5: Webformular zur Eingabe der Volumendaten und der Parameter zur Generierung des digitalen Videos