



Heimarbeitsplatz für den Bildzugriff mit unterschiedlichen Netztechnologien

B. Bergh¹, A. Schlaefke², A. Hollerbach¹, T. J. Vogl³

¹Zentrum für Informationsmanagement, Universitätsklinikum Heidelberg

²Dezernat Informations- und Kommunikationstechnologie, Klinikum der Johann Wolfgang Goethe Universität Frankfurt

³Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Klinikum der Johann Wolfgang Goethe Universität Frankfurt

Einleitung

In den vergangenen Jahren hat die Zahl der PACS¹-Installationen stetig zugenommen, wobei häufig Websysteme für die klinikweite Befund- und Bildverteilung zum Einsatz kommen. Diese Bildverteilungssysteme (BVS) können und werden [1,2,3,4] aber auch für einen Fernzugang (Remote Access) eingesetzt. Nutzer dieser Form der web-basierten Teleradiologie sind erfahrene Ärzte der Radiologie aber auch anderer klinischer Fächer, die während eines Bereitschaftsdienstes von einem Heimarbeitsplatz aus Zugriff auf die Bilder benötigen, um eine zweite Meinung oder Therapieempfehlung abzugeben, bzw. zu entscheiden, ob eine Fahrt ins Krankenhaus erforderlich ist.

Zur Umsetzung des Fernzugangs von einem Heimarbeitsplatz aus stehen verschiedene Netzwerk- und Sicherheitstechnologien zur Verfügung, die einem permanenten Änderungsprozess unterworfen sind. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, anhand von Messungen die gegenwärtig für diesen Zweck geeigneten Technologien hinsichtlich der Aspekte Geschwindigkeit, Handhabung, Sicherheit und Kosten zu vergleichen.

Material und Methoden

Server

Als Server für das BVS wurde ein Intel-basiertes System (Fujitsu Siemens Computers) mit zwei 700 MHz Pentium III-Prozessoren sowie 1 GB RAM verwendet. Die Bilddaten wurden auf drei 18 GB Festplatten, welche einen RAID-0 Verbund bildeten, abgelegt. Die LAN-

Anbindung erfolgte über eine 1 Gbit/s Netzwerkkarte (Intel PRO/1000 T Server Adapter).

Als BVS wurde das in Java [5] entwickelte Produkt Exhibit (Release 3.1, Mitra Imaging Inc.) verwendet, welches den Einsatz von Windows NT Server 4.0 mit Service Pack 6 (beides Microsoft) erforderte.

Client Personal Computer (PC)

Es wurde ein Standard-PC (Fujitsu Siemens Computers) mit einem 1,7 GHz Pentium IV-Prozessor, 256 MB RAM sowie Windows 2000 Professional als Betriebssystem verwendet. Des Weiteren verfügte der PC über eine ISDN-Karte (AVM ISDN-Controller Fritz!Card PCI) sowie über eine Netzwerkkarte (Intel[®] PRO/100 VM Network Connection) mittels welcher die Verbindung zu einem ADSL-Modem (T-DSL-Adapter, T-Online) hergestellt wurde (Abb.1). Die Graphikeinstellungen waren 1024x768 Pixel mit 32 bit Farbtiefe (True Colour).

Zusätzlich wurde auf dem Client-PC der VPN-Client, auch Agent genannt, der Firma Microsoft eingesetzt, welcher direkt in das Betriebssystem Windows 2000 Professional eingebettet war und lediglich bei der Konfiguration einer Netzwerkverbindung ausgewählt werden musste.

Testobjekte

Als Testobjekte wurden fünf verschiedene Thoraxaufnahmen mittels digita-

ler Lumineszenzradiographie (DLR), fünf Computertomographien (CT) des Thorax sowie Kernspintomographien des Abdomens (MRT) ausgewählt. Die durchschnittliche Originalgröße der Bilder betrug für DLR 7,5 MB pro Bild, für CT 0,5 MB pro Bild und für MRT 0,35 MB pro Bild. Die Originalbilder wurden via DICOM [6] in das BVS importiert und nach einer verlustfreien, primären wavelet-basierten [7,8] Kompression abgelegt. Eine sekundäre, verlustbehaftete Kompression konnte später beim Bildaufruf ausgewählt werden, wobei die vom Hersteller voreingestellten Werte von 1:12 für DLR sowie 1:6 für CT und MRT beibehalten wurden. Für die Bildwiedergabe wurde bei DLR-Bildern eine 1x1, bei CT- und MRT-Bildern ein 4 x 4 Darstellungsmodus gewählt.

Testaufbau, Fernzugang und Netzwerkverbindungen

Das Intranet mit dem BVS wurde durch eine Firewall mit einer gängigen, dreistufigen Architektur [9] vor unberechtigten Zugriffen von außen geschützt (Abb.1). Für den Fernzugang standen zwei Alternativen zur Verfügung. Zum einen war mittels einer ISDN-Karte eine direkte Telefonverbindung (direkte Einwahl) vom Darstellungs-PC zu einem ISDN-Einwahlknoten (Remote Access Server) mit 64 kBit/s möglich. Durch Kanalbündelung wurde auch eine Verbindung mit 128 kBit/s evaluiert, dabei kam es jedoch

Autoren: B. Bergh, A. Schlaefke, A. Hollerbach, T. J. Vogl

Titel: Heimarbeitsplatz für den Bildzugriff mit unterschiedl. Netztechnologien
In: Jäckel (Hrsg.) Telemedizinführer Deutschland, Ober-Mörlen, Ausgabe 2005
Seite: 246-249



zu erheblichen Kompatibilitätsproblemen, weshalb auf Messungen verzichtet wurde.

Die zweite Zugangsmöglichkeit verlief über ein so genanntes VPN. Dabei wird das normale Internet genutzt und durch Einsatz einer starken Verschlüsselung eine private (geschützte) Kommunikationsverbindung geschaffen. Vom Darstellungs-PC aus wurde zunächst eine „normale“ Verbindung ins Internet hergestellt. Dies erfolgte zum einen über eine ISDN-Karte und den Internet Service Provider (ISP) Arcor, wobei sowohl ein einzelner Kanal mit 64 kBit/s als auch zwei gebündelte Kanäle mit 128 kBit/s eingesetzt wurden. Alternativ wurde mittels einer Netzwerkkarte und einem ADSL-Modem eine ADSL-Verbindung über den ISP T-Online (T-DSL) mit 128 kBit/s Up- und 768 kBit/s Downloadgeschwindigkeit aufgebaut. Mit dem Internetzugang wurde auf dem Darstellungs-PC mittels eines VPN-Clients die IP-Adresse eines VPN-Concentrators ausgewählt und dadurch ein VPN aufgebaut. Sowohl mit dem Einwahlnoten als auch mit dem VPN-Concentrator war, durch einen zusätzlichen Server, die Zuweisung bestimmter Rollen, an welche wiederum spezifische Berechtigungen geknüpft waren, möglich.

Insgesamt wurden vier verschiedene Netzwerkverbindungen evaluiert. Die direkte ISDN-Einwahl mit 64 kBit/s (Einw/64) sowie drei Verbindungen über VPN mit 64 kBit/s (VPN/64), 128 kBit/s (VPN/128) sowie ADSL (VPN/ADSL). Aus Sicherheitsgründen wird bewusst auf Details hinsichtlich der Firewall- und Zugangskomponenten verzichtet. Es wurden durchweg namhafte Hersteller und marktübliche Produkte eingesetzt, welche über die Autoren erfragt werden können.

Messungen

Alle Zeitmessungen wurden mittels einer digitalen Stoppuhr von zwei Personen gleichzeitig durchgeführt und deren Mittelwert gebildet. Für jede zu testende Option wurden die Messungen fünfmal wiederholt und dann die Ergebnisse gemittelt.

Es wurde für die vier unterschiedlichen Netzwerkverbindungen die Time to Display (TTD) aller Testobjekte jeweils fünfmal mit verlustfreier und verlustbehafteter sekundärer Kompression bestimmt. Der Ladeprozess galt als beendet, wenn ein DLR- oder alle

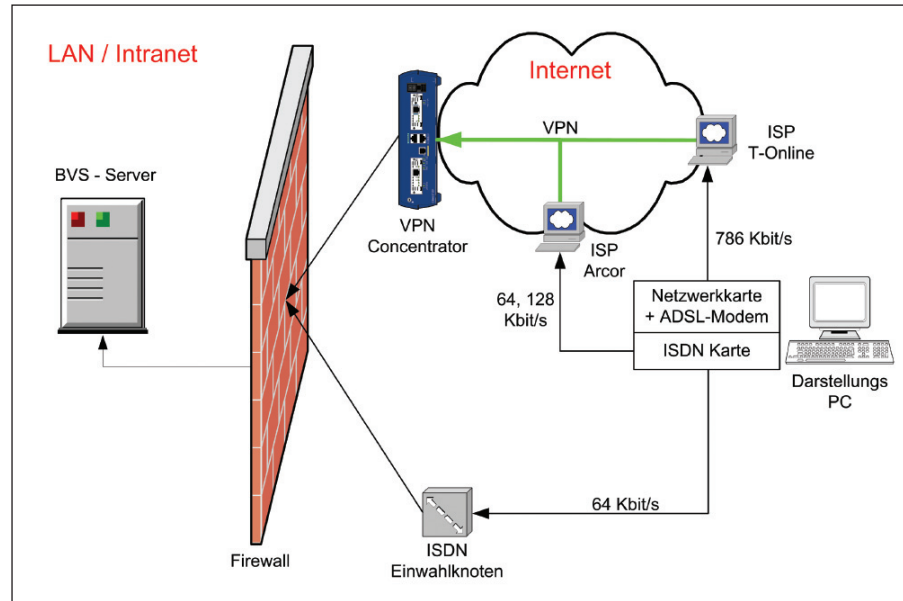


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Testaufbaus. Das Bildverteilungssystem (BVS) wurde durch eine Firewall von der „Außenwelt“ abgeschirmt. Für den Zugang zum Intranet konnte entweder ein Virtual Private Network (VPN) oder eine direkte ISDN-Einwahlverbindung genutzt werden. Für die erste Variante wurde eine Verbindung zum Internet entweder mittels einer ISDN-Karte mit 64 kBit/s oder 128 kBit/s, oder alternativ mittels einer Netzwerkkarte und einem ADSL-Modem (Asymmetric Digital Subscriber Line) hergestellt. Dabei wurden zwei unterschiedliche Internet Service Provider (ISP) gewählt. Danach wurde ein VPN vom Darstellungs-PC durch das Internet zu dem VPN-Concentrator der Firewall aufgebaut. Bei der direkten Einwahl wurde vom PC aus, mittels der ISDN-Karte, eine Telefonverbindung mit 64 kBit/s zu dem ISDN-Einwahlnoten hergestellt.

16 CT- und MR-Bilder vollständig dargestellt waren. Bei allen VPN-Verbindungen wurde der Microsoft VPN-Agent eingesetzt.

Ergebnisse

Unter den verschiedenen Bildtypen wurden die DLR-Bilder am schnellsten übertragen, gefolgt von den MRT- und schließlich den CT-Bildern mit den längsten TTDs.

Ein Vergleich der mit VPN/64 und VPN/128 ermittelten TTDs zeigt (Abb.2), dass es für alle Bildarten in etwa zu einer Halbierung der Übertragungszeiten kam. Auch im Vergleich zwischen der VPN/128-Verbindung und der VPN/ADSL-Verbindung kam es zu einer deutlichen Reduktion der TTD, wobei eine Halbierung nur annähernd erreicht wurde. Der Vergleich der beiden mit 64 kBit/s hergestellten Verbindungen (Einw/64 und VPN/64) ergab, dass die direkte Einwahl zwischen 10-20 Sekunden schnellere TTDs erlaubte.

Die Anwendung einer verlustbehafteten sekundären Kompression führte

bei DLR- und MRT-Bildern und den Netzwerkgeschwindigkeiten von 64 und 128 kBit/s etwa zu einer Halbierung der TTDs. Bei der VPN/ADSL-Verbindung war der Effekt etwas geringer ausgeprägt. Mit verlustbehafteter Kompression waren die TTDs der VPN/128-Verbindung dabei gleichlang oder sogar etwas kürzer als bei Verwendung der VPN/ADSL-Verbindung mit verlustfreier Kompression. Bei den CT-Bildern konnte keinerlei Effekt durch die verlustbehaftete sekundäre Kompression festgestellt werden.

Diskussion

Vor Durchführung der eigentlichen Testserien war der Einfluss einer, in die Firewall eingebundenen Viruswall, mit welcher alle Verbindungen (z. B. Webzugriffe, E-Mail) auf Virenbefall gescannt werden, orientierend evaluiert worden. Ihr Einsatz führte zu häufigen Systemabstürzen und deutlich verlängerten Übertragungszeiten, so dass sie für alle weiteren Messungen umgangen wurde.

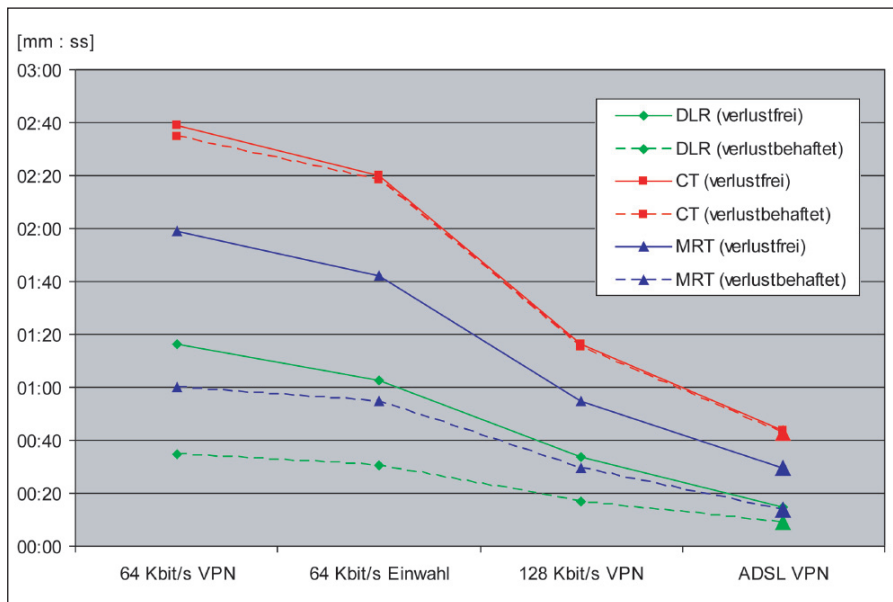


Abbildung 2: TTD für die verschiedenen Testobjekte bei verlustfreier und verlustbehafteter Kompression. Die Messungen wurden für drei Netzwerkgeschwindigkeiten mit VPN und für 64 kBit/s mit einer direkten Einwahl vorgenommen. DLR = Digitale Lumineszenzradiographie; CT = Computer Tomographie; MRT = Magnetresonanztomographie

Die in den Testserien gefundene Halbierung der TTD bei einer Verdoppelung der Verbindungsgeschwindigkeit von 64 auf 128 kBit/s entspricht den Erwartungen. Mit der Versechsfachung der theoretisch verfügbaren Übertragungsgeschwindigkeit (ADSL 768 kBit/s vs. ISDN 128 kBit/s) wurde aber nur eine knappe weitere Halbierung erreicht. Denkbare Ursachen sind eine unzureichende Ausnutzung der Bandbreite entweder auf der Strecke zwischen dem Darstellungs-PC und dem Einwahlpunkt des ISP oder bei der Internetverbindung zum VPN-Concentrator.

Angesichts der Übertragungszeiten ist vom Einsatz einer Verbindung mit 64 kBit/s abzuraten. Dagegen wurden mit der VPN/128-Verbindung und verlustbehafteter sekundärer Kompression fast ähnlich gute Ergebnisse wie beim Einsatz von VPN/ADSL ohne verlustbehaftete Kompression erreicht. Rein aus Geschwindigkeitsgesichtspunkten sollte die Entscheidung, ob der Vorzug einer ISDN-Verbindung mit 128 kBit/s oder einer ADSL-Verbindung gegeben wird, von der Frequenz der Nutzung abhängig gemacht werden. Bei häufiger Nutzung werden sich die etwa doppelt so hohen Anschluss- und Grundgebühren von ADSL, sowie die etwas teureren Hardwarekomponenten schnell amortisieren.

Aufgrund der insgesamt deutlich verbesserten Übertragungszeiten mit verlustbehafteter sekundärer Kompression kann ihr Einsatz generell empfohlen werden, auch wenn bei Verwendung von ADSL angesichts der geringen absoluten Wertedifferenzen darauf verzichtet werden kann.

Ein Vergleich der beiden Verbindungstechnologien, der direkten Einwahl und des VPN über das Internet, ergibt hinsichtlich der Geschwindigkeit Vorteile für die Einwahl. Bei 64 kBit/s war sie überlegen und auch bei 128 kBit/s hätte sich wahrscheinlich ein Geschwindigkeitsvorteil ergeben. Allerdings ist der Aufwand zur Erzielung höherer Übertragungsgeschwindigkeiten durch Bündelung weiterer Kanäle für einen gelegentlichen Fernzugang nicht zu rechtfertigen. Demgegenüber ist die VPN-Technologie in ihrer Geschwindigkeit kaum limitiert, da die hier getesteten, aber auch die bereits verfügbaren höheren Bandbreiten der ADSL-Technologie uneingeschränkt genutzt werden können. Beleuchtet man die Sicherheitsaspekte, so verfügen zunächst beide Technologien über gleichwertige Authentifizierungssystematiken, welche durch den Einsatz einer dynamischen Passwortvergabe (Token) optimiert werden können. Bei der direkten Einwahl

wird eine dedizierte Telefonstrecke für den unverschlüsselten Datenverkehr genutzt. Diese kann grundsätzlich als relativ sicher angesehen werden [10], vor allem bei Überprüfung der Rufnummer oder Rückruf, allerdings existieren auch diskussionswürdige Aspekte [11]. Dem steht die sehr differenzierte Verschlüsselung der VPN-Technologie [10] gegenüber. Derartige Systeme werden von weltweit operierenden Unternehmen zur Verknüpfung ihrer Standorte und mittlerweile auch im medizinischen Bereich genutzt [12,13], wobei sich auch ablehnende Meinungen finden [14]. Detailliertere Informationen können der Homepage des Virtual Private Network Consortiums (www.vpnc.org) entnommen werden. Aus Kostengesichtspunkten sind die Technologien nur gleichwertig, wenn eine sehr günstige ISDN-Einwahlsystematik genutzt wird. Eine professionelle Lösung an dieser Stelle ist um ein vielfaches teurer als ein VPN-Concentrator mit dem kostenfreien VPN-Agenten. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass beim Einsatz eines VPN lediglich die Verbindungsgebühren zum nächsten, kostengünstigsten ISP anfallen. Demgegenüber können bei einer direkten Wahlverbindung, insbesondere wenn der Zugangspunkt weiter entfernt ist, doch erhebliche Beträge entstehen. Die Handhabung der VPN-Technologie ist unkompliziert, da ein bereits vorhandener Internetzugang mit minimalen Änderungen verwendet werden kann. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Mobilität, da das VPN von beliebigen Orten aus hergestellt werden kann. Zusammenfassend sollte, wenn die Neueinführung eines Fernzuganges geplant ist, einer VPN-Systematik der Vorzug gegeben werden. Wenn bereits ein ISDN-Einwahlknoten vorhanden ist und die höhere Bandbreite von ADSL nicht gefordert wird, kann dieser beibehalten werden.

Web-basierte Systeme machen intensiven Gebrauch von den Möglichkeiten der Wavelet-Kompression. Die „Skalierung“ (scalability) [7, 8] erlaubt, dass zunächst nur die Datenmenge übertragen wird, welche mit den aktuellen Graphikeinstellungen des Client-PC tatsächlich auch dargestellt werden kann. Bei einer Vergrößerung des Bildausschnittes werden dann die fehlenden Bilddaten nachgeladen. Gleichzeitig ermöglicht die Wavelet-



Kompression eine progressive Übertragung der einzelnen Frequenzanteile des Bildes, so dass bereits nach relativ kurzer Zeit ein erster, wenn auch unscharfer Bildeindruck zur Verfügung steht. Im Gegensatz dazu muss bei den so genannten „No- oder low-cost“ Teleradiologie- und Konferenzsystemen, welche in der Regel mit anderen Kompressionstechniken arbeiten, die komplette Übertragung der Bilder abgewartet werden, bevor eine Wiedergabe möglich ist. Vergleicht man deren Übertragungszeiten [15] mit der hier getesteten VPN/128-Verbindung bei verlustfreier Kompression, so zeigt sich, dass für DLR-Bilder etwa die zehnfache, für CT-Bilder die dreifache und für MRT-Bilder die sechsfache Übertragungsdauer veranschlagt werden muss. Selbst wenn man berücksichtigt, dass durch die Skalierung nur ein Viertel der Bilddatenmenge übertragen wird, ergeben sich vor allem für DLR- und MRT-Bilder noch deutliche Zeitvorteile. Durch Einsatz der verlustbehafteten Kompression vergrößern sich die Differenzen, da die „No- oder Low-cost“-Systeme oft hierüber nicht verfügen. Mit konventionellen Spezialsystemen für die Teleradiologie können, wenn sie mit Wavelets arbeiten, den web-basierten Systemen gleichwertige Übertragungszeiten erreicht werden. Diese sind aber nicht sehr verbreitet und kostenintensiver, da zusätzliche Anschaffungs- und Betriebskosten einkalkuliert werden müssen. Hinsichtlich der Handhabung weisen die web-basierten Systeme Vorteile auf, da eine Vorbereitung sowohl auf der Sender- als auch auf der Empfängerseite entfällt und der Zugriff durch den Aufruf einer Webseite sehr unkompliziert ist. Hinzu kommt der psychologische Faktor, dass bereits nach deutlich kürzerer Zeit ein Bild zur Betrachtung zur Verfügung steht. Wie die meisten herkömmlichen Teleradiologiesysteme verfügen auch die web-basierten Systeme über einen Konferenzmodus, in dem Bilder zeitgleich betrachtet, bearbeitet und gemeinsame Mauszeiger (Corresponding pointers) eingesetzt werden können. Da hierfür die „Command Passing“-Mechanismen eingesetzt werden [15], ist eine flüssige, voll synchrone Bildbearbeitung möglich. Damit sind sie den „No- und Low-cost“-Lösungen aber auch vielen spezialisierten Teleradiologiesystemen überlegen.

Insgesamt sprechen beim Fernzugangszenario zu klinikinternen Bilddaten viele Vorteile aber kaum Nachteile für den Einsatz web-basierter Bildverteilungssysteme im Vergleich zu den „No- und Low-cost“-Systemen aber auch zu den teleradiologischen Spezialsystemen. Zur Umsetzung lassen sich anhand der vorliegenden Ergebnisse folgende Empfehlungen aussprechen:

1. Der VPN-Technologie sollte der Vorzug vor einer direkten Einwahl gegeben werden.
2. Zur Herstellung des Internetzugangs für eine VPN-Verbindung ist ein normaler ISDN-Anschluss mit Kanalbündelung (128 kBit/s), vor allem bei gelegentlicher Nutzung, vollständig ausreichend. Der Einsatz einer verlustbehafteten sekundären Kompression ist dann ratsam.
3. Bei häufiger Nutzung ist der Einsatz von ADSL für die Internetverbindung zu bevorzugen, wobei dann auf die verlustbehaftete sekundäre Kompression verzichtet werden kann.

Literatur

- 1) Ohki M, Tsuru M, Yamada T, Iida H, Terada K, Izumi M, Yonetsu K, Arijii E, Nakamura T. A remote conference system for image diagnosis on the World-Wide Web. *Am J Roentgenol* 1997; 169:627-9
- 2) Lee SK, Peng CH, Wen CH, Huang SK, Jiang WZ. Consulting with radiologists outside the hospital by using Java. *Radiographics* 1999; 19:1069-75
- 3) Bennett WF, Spigos DG, Tzalonikou MT, Terrell JE, Augustyn MA. Web-based viewing of picture archiving and communications systems images-Part II: The effect of compression on speed of transmission. *J Digit Imaging* 1999; 12:116-118
- 4) Bennett WF, Spigos DG, Vaswani KV, Terrell JE. Cable modem access to picture archiving and communication system images using a web browser over the Internet. *J Digit Imaging* 2000; 13:93-6
- 5) Bellon E, Wauters J, Fernandez-Bayo J, Feron M, Verstreken K, Van Cleyenbreugel J, Van den Bosch B, Des-

- 6) maret M, Marchal G, Suetens P. Using WWW and JAVA for image access and interactive viewing in an integrated PACS. *Med Inform* 1997; 22:291-300
- 6) Mildenerger P, Eichelberg M, Martin E. Introduction to the DICOM standard. *Eur Radiol* 2002; 12:920-927
- 7) Schomer DF, Elekes AA, Hazle JD, Huffman JC, Thompson SK, Chui CK, Murphy WA. Introduction to wavelet-based compression of medical images. *Radiographics* 1998; 18:469-481
- 8) Wiggins RH, Davidson HC, Harnsberger HR, Lauman JR, Goede PA. Image file formats: past, present, and future. *Radiographics* 2001; 21:789-98
- 9) Pelikan E, Kotter E, Timmermann U. Networks in the radiology department and the hospital. *Eur Radiol* 2001; 11: 337-45
- 10) Eng J. Computer network security for the radiology enterprise. *Radiology* 2001; 220:303-9
- 11) Eichelberg M, Riesmeier J, Thiel A, Jensch P, Emmel D, Haderer A, Ricke J, Stohlmann L, Bernarding J. Standards für den sicheren Datenaustausch in der Teleradiologie am Beispiel der Bild- und Befundverteilung. *Radiologie* 2002; 42:94-100
- 12) Ingeholm ML, Levine BA, Fatemi SA, Moser AH. A pragmatic discussion on establishing a multicenter digital imaging network. *J Digit Imaging* 2002; 15:180-3
- 13) Lampsas P, Vidalis I, Papanikolaou C, Vagelatos A. Implementation and Integration of Regional Health Care Data Networks in the Hellenic National Health Service. *J Med Internet Res.* 2002; 4:E20
- 14) Corella F, Lewison KP, Talukder M. A teleradiology architecture featuring security and high performance. *J Digit Imaging* 2002; 15:214-5
- 15) Bergh B, Schlaefke A, Pietsch M, Garcia I, Vogl TJ. Evaluation of a „no-cost“ Internet technology-based system for teleradiology and Co-operative Work. *Eur Radiol* 2003; 13:425-34.

Fußnote

- ¹ Picture Archiving and Communication Systems