

**Medizinische Bildverarbeitung:**  
**Aktueller Stand und Zukunftsperspektiven**  
**- Wie sieht der Zug aus und wo fährt er hin?**

**Prof. Dr. Erdmuthe Meyer zu Bexten**

**Fachhochschule Gießen-Friedberg**  
**Leiterin des Zentrums für blinde und sehbehinderte Studierende (Bliz)**  
**Wiesenstr. 14, 35390 Gießen**  
**Tel.: 0641 - 309 2369; Fax: 0641 - 309 29 01**

**E-Mail: Erdmuthe.Meyer-zu-Bexten@mni.fh-giessen.de**  
**<http://www.fh-giessen.de/bliz>**

**Jens Hiltner**

**Universität Dortmund**  
**Fachbereich Informatik, Lehrstuhl I**  
**Otto-Hahn-Str. 16, 44227 Dortmund**

**Kurzfassung**

Die Medizinische Bildverarbeitung ist ein sehr großes Anwendungsgebiet in der Bildverarbeitung und hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Um einmal mit verschiedenen Wissenschaftlern zu analysieren, wie der aktuelle Stand und die Zukunftsperspektiven der Bildverarbeitung in der Medizin sich nun wirklich in der Praxis darstellen, wurde auf dem 3. Anwendersymposiums für Bildverarbeitung in Aachen (11. – 12. September 1997) eine Podiumsdiskussionssitzung mit dem Thema „Bedeutung und Perspektiven der Medizinischen Bildverarbeitung“ [1] veranstaltet. Der Kreis der Diskussionspartner war bewusst sehr breit gewählt worden, damit während der Sitzung verschiedene Meinungen und Standpunkte zur Sprache kommen und diskutiert werden konnten. Zum einen waren Teilnehmer aus der Industrie eingeladen worden und zum anderen aus dem Bereich der Hochschulen mit den unterschiedlichsten Fachkenntnissen, wie Medizin, Informatik und Ingenieurwesen. Im Rahmen dieses Beitrages sollen die verschiedenen vorgestellten Standpunkte zur Bedeutung der medizinischen Bildverarbeitung und ihre Zukunftsperspektiven vorgestellt und diskutiert werden.

**1. Einleitung**

Zu Beginn dieses Beitrages möchte die Autorin sich nochmals recht herzlich bei ihren Diskussionspartnern bedanken, denn ohne ihre rege Teilnahme hätte keine so lange und erfolgreiche Diskussionsrunde stattfinden können. Die Diskussionspartner waren (in alphabetischer Reihenfolge):

1. Dr. rer. medic. Dipl.-Ing. Michael Friebe, geschäftsführender Gesellschafter NEUROMED GmbH, Castrop-Rauxel
2. Dipl.-Inform. Jens Hiltner, Universität Dortmund, Fachbereich Informatik, Lehrstuhl I, Dortmund
3. Prof. Dr. med. Diedrich Graf von Keyserlingk, RWTH Aachen, Medizinische Fakultät, Lehrstuhl für Anatomie I, Aachen
4. Dipl.-Ing. Thomas Lehmann, RWTH Aachen, Medizinische Fakultät, Institut für Med. Informatik und Biometrie, Aachen
5. Dipl.-Inform. Michael Moser, VITRONIC Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH, Wiesbaden
6. Dr.-Ing. Gerald Müller, Geschäftsführer, GEMETEC Gesellschaft für Medizintechnik und Organisation mbH, Aachen
7. Prof. Dr. rer. nat. Walter Oberschelp, RWTH Aachen, Lehrstuhl für angewandte Mathematik insbesondere Informatik, Aachen
8. Dr. rer. nat. Peter Stritzke, SAM GmbH SystemAnalysen in der Medizin, Bad Oeynhausen
9. Dipl.-Inform. Christopher Tresp, RWTH Aachen, LuFG Theoretische Informatik, Aachen

## 2. Bildverarbeitung

Die **Bildverarbeitung** ist eine traditionelle Technologie, die besonders in den letzten Jahren auf Grund der Entwicklung neuer bildgebender Verfahren einen immer größeren „Zulauf“ erfahren hat und somit an Bedeutung gewonnen hat. Der Begriff als solches wird in verschiedenen Kontexten unterschiedlich ausgelegt. Im engeren Sinne sollte zwischen *Bildbearbeitung* und *Bildverarbeitung* unterschieden werden. *Bildbearbeitung* umfaßt dabei die manuelle oder automatische Modifikationen von Bildern, die ohne a priori Wissen über den konkreten Inhalt des einzelnen Bildes realisiert wird. Hierunter fallen also beispielsweise histogrammbasierte Algorithmen zur Kontrastverbesserung oder einfache Faltungsoperationen zur Kantenverstärkung. Die *Bildverarbeitung* hingegen umfaßt solche Verfahren, die auf einer höheren Abstraktionsebene a priori Information zur Segmentierung, Klassifikation oder Interpretation integrieren [2].

Die medizinische Bildverarbeitung stellt immer einen Teil eines komplexen medizinischen Entscheidungsprozesses dar. Das Ziel der medizinischen Bildverarbeitung besteht darin, diagnostische Fehler zu reduzieren und den therapeutischen Eingriff zu unterstützen, wobei der Arzt im Mittelpunkt steht und die medizinischen Bildverarbeitungssysteme ihm hilfreich zur Seite stehen.

Die ersten Ansätze der digitalen Bildverarbeitung gehen bereits auf die frühen zwanziger Jahre in Form der Übertragung von Bildern zurück. Technologien zur Verbesserung der *Bildübertragung* legten den Grundstein für das Anwendungsfeld Bildverarbeitung: Anwendungen von Bildverarbeitungstechniken der ersten Stufe lagen in der Verbesserung digitalisierter Zeitungsbilder, die über Unterseekabel zwischen London und New York verschickt wurden. Mit der Einführung des Bartlane-Kabel Bildübertragungssystems zu Beginn der zwanziger Jahre reduzierte sich die Übertragungszeit der Bilder über den Atlantik von mehr als einer Woche auf weniger als drei Stunden. Dazu wurden die Bilder geeignet kodiert übertragen. In den folgenden fünfundsiebzig Jahren arbeitete man an Methoden zur Verbesserung der Bildübertragung.

Aber erst mit der Entwicklung großer und leistungsfähiger Rechnersysteme, d.h. mit dem großen Fortschritten im Bereich der Halbleitertechnologie und dem Voranschreiten der Weltraumforschung in den sechziger Jahren gewann die Bildverarbeitung wieder zunehmend an Bedeutung[13]. Auf Seiten der Medizin war dies die rasanteste Weiterentwicklung im Bereich der bildgebenden Verfahren. Neben den in der Bildverarbeitung am häufigsten zur Bildgewinnung eingesetzten CCD-Kameras kommen hier eine große Zahl anderer bildgebender Verfahren zum Einsatz, wie zum Beispiel Ultraschall, Thermographie, Kernspintomographie, Röntgen-Computer-Tomographie (PET), Single-Photon-Emissions-CT (SPECT), digitale Angiographie (DA). Dieser Trend hat sich bis heute stetig anwachsend gehalten. Gerade durch den „Einsatz“ Intelligenter Systeme (Unschärfe Logik, Neuronale Netze und Evolutionäre Algorithmen) in den siebziger Jahren wurde dieses Forschungsgebiet zusätzlich neu „belebt“, was sich auch in den vielen neuen positiven Forschungsergebnissen widerspiegelt (siehe z.B. [3,4,5,6,7,8]).

Im Rahmen der Diskussionsrunde wurden die im folgenden aufgeführten Fragen diskutiert und die Meinungen der verschiedenen Experten dazu gehört.

- Wie wird es speziell in dem Anwendungsbereich Medizin weiter gehen?
- Was für Probleme gibt es?
- Welche Probleme müssen vorrangig gelöst werden?
- Was brachte bzw. bringen der Einsatz Intelligenter Systeme (wie Unscharfe Logik, Neuronale Netze und Genetische Algorithmen)?
- Wohin fährt der Zug und wie sieht er aus?
- Was bringt die Zukunft hervor?

## 2.1 Wie wird es speziell in dem Anwendungsbereich Medizin weitergehen?

Einheitlicher Konsens bei der Diskussion herrschte darüber, daß der Einsatz von Methoden der Bildverarbeitung im Bereich der Medizin eine immens gestiegene Bedeutung in den letzten Jahren erfahren hat. Sie hat neben der Medizin auch in vielen anderen Anwendungsbereichen erfolgreich Einzug gehalten, wie zum Beispiel in der Technik, der Produktionsautomatisierung, der Qualitätskontrolle, der Umwelttechnik oder Robotik. Dieser Trend in der Medizin, der sich in den kommenden Jahren eher noch verstärken wird, ist hauptsächlich auf die Einführung moderner bildgebender Verfahren wie Computer- und Magnetresonanztomographie zurückzuführen. Darüber hinaus wird die Bildverarbeitungstechnologie [14] noch mehr Anwendungsbereiche in der Medizin erschließen.

Dieser Aufschwung wird auch zusätzlich bekräftigt durch die steigende Zahl an Konferenzen u.ä. in den letzten zehn Jahren zu diesem Thema. Darüber hinaus werden seit vielen Jahren verstärkt die theoretischen Grundlagen immer mehr an Hochschulen in Form von (Spezial-) Vorlesungen, Seminaren und andern Lehrveranstaltungen vermittelt (siehe auch die zunehmende Zahl an neu erscheinenden (Lehr-)Büchern zu dieser Thematik wie zum Beispiel [2,9,10,11]).

## 2.2 Was für Probleme gibt es?

Wie im Rahmen der Diskussionsrunde deutlich wurde, sind die Probleme in der medizinischen Bildverarbeitung vielseitig und von verschiedener Größe, trotzdem aber wohl nicht unlösbar. Die Probleme reichen von Akzeptanzproblemen für Bildverarbeitungssysteme bei den Medizinern bis hin zur Datensicherheit von erzeugten Bilddaten und deren Übermittlung zu verschiedenen Einrichtungen (wie z.B. Praxen und Krankenhäuser) sowie Zugriffssicherheit und der Vertraulichkeit der übermittelten Informationen.

Viele Mediziner nehmen gegenüber Bildverarbeitungssystemen eine passive, kritische Haltung ein. Zum einen sind sie nicht vertraut mit der Bedienung von Computersystemen und zum anderen haben sie Bedenken bezüglich der neuen Methoden. Sie fragen nach der Qualitätskontrolle für die neuen Systeme: Wie sicher sind die präsentierten Ergebnisse der Computersysteme? Deshalb setzen sich neue und gute Systeme, die an den Universitäten entwickelt wurden, bei den Ärzten nicht durch. Weniger als 5% der Forschungsergebnisse werden nur in die Industrieentwicklung umgesetzt. Wie kann diese Problematik entschärft werden? Der Ruf nach einheitlichen Standards wird immer lauter. Zur Zeit gibt es aber nur Insellösungen. Verschiedene Fachverbände bemühen sich um Standards, aber es ist noch kein harmonischer Prozeß. Es wird demzufolge noch einige Zeit dauern, bis es wie bei Programmiersprachen u.s.w. fest definierte Standards gibt, aber es wird kräftig daran gearbeitet. Aber wie kommt der Mediziner zu einer neuen Qualität? In den USA ist die Situation besser. Mediziner sehen sich dort intensiver nach Neuerungen um, und stehen diesen auch viel aufgeschlossener gegenüber. Dies schildert Herr Dr. Stritzke in [ ] ganz deutlich:

*“Es ist ein Faktum, daß nahezu alle neuen Entwicklungen und Methoden der Bildverarbeitung aus den USA kommen oder dort ihre Wurzeln finden. Kein Wunder, sieht man sich in den Journals mit Impact Faktor >1 einmal um, so stellt man fest, daß wichtige Beiträge selten aus deutschen Quellen stammen. Die Ursachen sind vielschichtig, aber gilt nicht auch der Umkehrschluß von "Angebot regelt die Nachfrage?" ..., haben wir überhaupt eine ernstgemeinte Nachfrage nach innovativen Methoden der Bildverarbeitung, die dafür sorgt, daß eine international ernstzunehmende Wettbewerbssituation in Wissenschaft und Industrie entsteht?*

*Konzentriert man sich allein auf diese Frage, so stellen wir eine frappierende Unbeweglichkeit aller Geister, die noch etwas bewegen könnten, fest. Dafür ein Beispiel: Methoden der Bildverarbeitung sind aufgrund neuester Technologien so präzise, daß z.B. die Zahl falsch positiver Befunde bei der Beurteilung myokardialer Defekte verringert werden kann. Im Klartext, durch Einsatz dieser Methoden können überflüssige Bypassoperationen am Herzen vermieden werden, somit Kosten, die einige Hunderttausend DM pro Jahr betragen können, vermieden werden. Diese Methoden haben mit dieser Argumentation in Deutschland keine Chancen. Ein Verwaltungsleiter steht dieser Argumentation hilflos gegenüber, und der Chirurg und Mediziner sieht diese Methode als Bedrohung seiner uneingeschränkten medizinischen Kompetenz an. Anders in den USA. Dort unterzieht sich auch der Mediziner sog. "quality assurance" und "quality control" Maßnahmen, die ihren Höhepunkt in der jährlichen Begehung von sog. "joint commissions" haben. Der Mediziner, der Bilder befundet, muß dafür nachweisen, daß die Reproduzierbarkeit seiner Befunde größer als 95% ist. Die Folge ist, daß eine erhöhte Wachsamkeit gegenüber neuen Verfahren besteht, daß es etablierte und standardisierte Mechanismen der Validierung gibt, die zumindest nicht verhindern, Spitzenentwicklungen in Forschung und Technik eine Chance zu geben. Mediokrität ist dort verpönt, bei uns aber eine tiefverwurzelte Gewohnheit!"*

Darüber hinaus fürchten viele Ärzte um ihre Akzeptanz. Lösen wirklich die neuen Systeme mit neuen Methoden die Ärzte ab? Dies ist auf keinen Fall so! Die neuen Systeme sollen die Ärzte bei der Diagnose unterstützen und somit die getroffene Diagnose sicher machen. Aber auf keinen Fall sollen die Ärzte durch die neuen Computersysteme ersetzt werden!

Viele Mediziner interessieren sich für die Bildverarbeitung und entwickeln in Zusammenarbeit mit Informatikern Bildverarbeitungssysteme. Aber leider reicht der Enthusiasmus der jungen Mediziner nur bis zur Vollendung ihrer Dissertation oder Habilitation. Nur wenige interessieren sich noch später weiter für die neuen Technologien.

Ein weiteres Problem bei der Bildverarbeitung in der Medizin liegt in der Verfügbarkeit der gewonnenen Bild-  
daten. Die Radiologen haben allgemein den Wunsch nach Zusammenfügung der verschiedenen bildgebenden Verfahren an eine Arbeitsstation. Von einem Patienten möchte sie alle bereits erstellten Aufnahmen zur gleichen Zeit zur Verfügung haben, um eine bessere Diagnose durchführen zu können. Diese Problematik und die Schlußfolgerung daraus schildert Herr Dr. Müller (vgl.[1]) wie folgt:

*Die aufwendige Suche nach Voraufnahmen soll durch eine digitale Bilddatenbank erleichtert werden. Die Kopplung mit Patientenverwaltungssystemen soll durch Abrufen klinischer Werte und anderer Untersuchungsergebnisse die oft spärlichen Informationen für den Radiologen erweitern und die Beurteilung der Bilder erleichtern. Ein schneller Austausch mit den Klinikern zur Besprechung der aktuellen Situation kann mit Hilfe eines digitalen Bildübertragungssystems wertvolle Zeit sparen helfen. Dies gilt vor allem für Notfalluntersuchungen auswärtiger Patienten. Da die hohen Kosten der radiologischen Geräte nur eine schwerpunktmäßige Aufstellung erlauben, können mit dem herkömmlichen Verfahren bei langen Transportwegen große Zeitverluste bis zu einer unter Umständen nötigen Operation eintreten.*

*Die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten derzeit verfügbarer PACS Systeme sowie das Vorhandensein von Großgeräten unterschiedlicher Hersteller in einem Krankenhaus bzw. in einer radiologischen Praxis sind bis heute ein wesentliches Hindernis zur Verbreitung dieser Systeme. Die rasche Entwicklung auf dem PC Markt mit einer ständigen Leistungssteigerung, sowie deren weite Verbreitung führen zu einer zunehmenden Attraktivität von Bildbearbeitungs- und Übertragungssystemen auf PC-Basis.*

Wesentliche Anforderungen an ein solches System sind:

- Anzeigen von radiologischen Bildern verschiedener Herkunft (Röntgen Film, MR, CT, Nuklearmedizin, Sono) in hoher Qualität (analoge und digitale Quellen),
- Schnelle Verfügbarkeit der Bilder an mehreren Arbeitsplätzen durch digitale Kopplung an die bildgebenden Modalitäten,
- Verbindung der Bilddaten mit Daten aus vorhandenen Patientenverwaltungsprogrammen,
- hochwertiger Ausdruck,
- Möglichkeit der schriftlichen oder mündlichen Kommentierung,

- schnelle, kostengünstige Übertragung aller notwendigen Daten mit ISDN,
- Ferndruck von Bildern und Befunden,
- Online Konferenz mit Synchronisierung der PCs zur Anzeige identischer Bilder,
- Speicherung der Bilder, Suchfunktionen im Bildarchiv nach Patient, Diagnose, Organ etc.
- Realisierung auf handelsüblichen kostengünstigen PCs,
- Benutzung von weitverbreiteten Betriebssystemen (Windows 95, Windows NT) und
- schnelle Erlernbarkeit, leichte Bedienung.

*Heute sind bereits eine Reihe solcher Systeme technisch realisiert. Sie werden sich aber nur dann einführen lassen, wenn sich durch ihren Einsatz der Arbeitsaufwand und die Kosten der beteiligten Partner der Telekooperation reduzieren lassen.“*

Darüber hinaus gibt Herr Dr. Friebe zu diesem Thema Statements und Fakten (vgl.[1]):

*„Die modernen diagnostischen Schnittbildverfahren (vor allem Computertomographie [CT] und Magnet Resonanz Tomographie [MRT], sowie neuerdings Positron Emissions Tomographie [PET]) erzeugen Millionen von Datenbytes an Informationen, die zum Großteil von speziell ausgebildeten Radiologen beurteilt werden.*

*Neben der Bewertung des Befundes durch den Radiologen fordern viele der zuweisenden Ärzte auch die Überlassung des erzeugten Bildmaterials. Das Bildmaterial wird in nahezu allen Fällen heute immer noch als Laserfolie erstellt. Dies bedeutet neben hohen Kosten (ca. 4.50 DM pro Bild, 2 Bilder pro CT Untersuchung, 6 Bilder pro MRT Untersuchung) und einer gewissen Umweltbelastung (Entwicklerchemie, Wasserentsorgung) auch große Probleme bei der zeitlichen Verfügbarkeit der entsprechenden Daten.*

*Die Analyse der Informationen erfordert in manchen Fällen eine Spezialisierung, die nur bei wenigen Radiologen vorhanden ist. Eine zusätzliche Konsultierung dieser Personen wäre also in einigen Fällen von großer Wichtigkeit für die abschließende Beurteilung eines Patienten.*

*Die beiden o.a. Problemfälle – zeitliche Problematik und Konsultierung von Spezialisten – kann man durch den Einsatz von modernsten Archivierungssystemen (PACS - Picture Archival and Communication System) in Kombination mit Teleradiologiesystemen beseitigen. Archivierung mit Computersystemen hat den Vorteil, daß Bilddatenmaterial zum einen sehr preiswert archiviert werden kann (CT Untersuchung ca. 10 MB pro Patient, MRT Untersuchung ca. 15 MB - 25 MB pro Patient => Archivierungskosten von ca. 0.10 DM pro MB), zum anderen aber schnell zur Verfügung stehen kann. Es besteht sogar die Möglichkeit für mehrere, geographisch voneinander getrennte Leute, das Bildmaterial gleichzeitig anzusehen und entsprechend die Diagnose zu diskutieren.*

*Über teleradiologische Einrichtungen kann man die Bilddaten mittels Fernübertragung an einen anderen Computer übermitteln. Damit hat der Empfänger (z.B. zuweisender Arzt) die Möglichkeit die Bilder seines Patienten direkt und schnell zu bekommen.*

*Komplizierte Fälle können an einen Spezialisten übermittelt werden, der dann innerhalb kürzester Zeit ein Gutachten erstellen kann, um damit dem Radiologen bzw. dem zuweisenden Arzt bei der Gesamtdiagnose des Patienten zu unterstützen.*

*Demgegenüber steht aber das Problem, daß In Deutschland die Abrechnung von ärztlichen Dienstleistungen, die nicht direkt vom Erzeuger erbracht worden sind, sehr problematisch sind. D.h. der Radiologe, der die Bilddaten erstellt wird dafür (und natürlich für seinen bewertenden Bericht) von der Krankenkasse bezahlt, nicht aber ein eventuell hinzugezogener Spezialist, der die Informationen per Datenübertragung erhalten hat.*

*Die Datengröße einer CT oder MRT Untersuchung ist sicherlich selbst nach entsprechender Komprimierung immer noch zu groß, um eine vernünftige Übertragungszeit selbst mit einer ISDN Leitung zu erreichen (um die 10 bis 15 Minuten pro Patient). Zusätzliche Leitungen sind natürlich Lösungen für dieses Problem, aber wieder mit zusätzlichen Kosten verbunden.*

*Zudem sind die Gesamtinvestitionskosten für Bildverarbeitungscomputer mit entsprechender Rechnerleistung und daran angeschlossene Archivierungseinheiten immer noch im Bereich von einigen hundert tausend DM.“*

Herr Prof. Dr. Oberschelp sieht die Zukunftsperspektiven für die Bildverarbeitung in den Transformations- und Navigations-Techniken. Er schreibt dazu in [1]:

*„2D- und 3D-Bildverarbeitung sind Mittel der medizinischen Diagnostik mit immer noch steigender Bedeutung. Die klassischen bildgebenden Verfahren liefern das Material für analytische Techniken, welche histogrammbasierte, geometrische, morphologische und tomographische Erkenntnisse geben. Hierbei ist die Verwendung allgemeiner Methoden zur lokalen Analyse (Maskentechnik), zur Klassifikation und Muster-Erkennung und die Nutzung kontextabhängiger Segmentierungsverfahren (z.B. für Texturen) eine selbstverständliche Voraussetzung jeder modernen medizinischen Bildverarbeitung.*

*Zwei Forschungsbereiche schließen sich an diese Techniken, die vom „Ortsbereich“ ausgehen, an:*

*Der allgemeine Signalcharakter diagnostischer Informationen macht die Einbeziehung und Beherrschung von Transformationstechniken obligatorisch: Fourier- und Wavelet-Transformation sind ebenso wie Radon-, Hough- oder Karkunen-Loe`ve-Transformation Hilfsmittel zur Erkenntnisgewinnung, welche zum selbstverständlichem Repertoire jeder medizinischen Diagnostik gehören. Insofern sind visualisierte Messungen und deren Auswertung sowie Überwachungssysteme, die durch quantitative Mess-Signale gesteuert werden, als Teildisziplinen der medizinischen Bildverarbeitung weiterzuentwickeln.*

*Als Erweiterung der klassischen Bildverarbeitung ist die 3D-Szenenverarbeitung anzusehen. Hierbei sind die interne 3D-Bildverarbeitung und die benutzer-orientierte Visualisierungsproblematik zu unterscheiden. Im Bereich der internen 3D-Bildverarbeitung gibt es eine Fülle neuer - aber auch aus dem 2D-Bereich zu adaptierenden - Techniken, die zu optimieren und zu implementieren sind. Erhöhte Rechnerleistung wird hier in Kürze neue Anwendungsmöglichkeiten schaffen. Viele Fragen sind algorithmisch noch nicht analysiert bzw. noch völlig ungeklärt, z.B. Verfahren zur 3D-Segmentierung und zur Oberflächen-Kontrolle. Selbst die 3D-Maskentechnik bedarf noch vieler neuer Anstöße. Ein besonderes Gewicht dürfte die Weiterentwicklung dreidimensionaler Navigations- und Steuerungs-Techniken bekommen: Sie ermöglicht eine verbesserte Diagnostik für Labyrinth, Möglichkeiten zur chirurgischen Operations-Steuerung sowie eine ferngesteuerte Endoskopie für autonome Erkundungs- und Behandlungs-Robotern.“*

Das bedeutet, Ärzte benötigen Bilder und davon verschiedene zur besseren Diagnose. Viele Mediziner meinen auch, daß sich etwas politisch ändern muß. Es muß nach ihrer Meinung eine zweite Diagnose gesetzlich festgeschrieben werden. Das wiederum heißt, daß die Schaffung von Datenhighways unumgänglich ist. Wie aber schon Herr Dr. Friebe schilderte, wird dieser Transfer nicht von den Krankenkassen bezahlt. Dies muß über ein bereits laufendes Pilotprojekt in Zukunft unbedingt geschehen, auch zur Sicherheit und dem Wohl der Patienten. Viele Radiologen fragen auch jetzt schon Kollegen zwecks Festlegung einer genauen Diagnose. Aber die Radiologen fragen nicht gerne den Kollegen in der Nachbarschaft, sondern lieber weiter entfernt wohnende.

Das ist ein weiteres Problem, wie selbst die Radiologen von sich sagen. Die Deutschen Radiologen untereinander befinden sich im großen Konkurrenzkampf. Dies wird gerade auch bei der Bewertung von Projekten deutlich. Deutsche untereinander lehnen ihre Projekte ab, während ausländische Kollegen die eingereichten Projekte der Deutschen sehr gut finden.

### **2.3 Welche Probleme müssen vorrangig gelöst werden?**

Das Wissen des Arztes muß angemessen in den Bildverarbeitungsprozess einbezogen werden, wie Prof. Dr. Graf von Keyserlingk herausstellte (vgl. [1]):

*„Der Arzt benötigt ein hohes Maß an Übersicht über den Ort des pathologischen Prozesses, der Räumlichkeiten und der Genauigkeit sowie die Möglichkeit des Editierens und der Messung im 3D-*

*Datensatz. Diese Funktionen müssen abwechselnd vor- und rückwärts durchlaufen werden können, um aus dem Datensatz mehr herauslesen zu können als aus der ursprünglichen Bildserie. Der Arzt als Nichtinformatiker muß die Transformationsvorgänge verstehen, überwachen und kontrollieren können. An die Software der Bildverarbeitung sind daher hohe Anforderungen bezüglich Benutzerfreundlichkeit gestellt. Im Vergleich zur Bürotätigkeit, die der Computer in der Arztpraxis bereits fast vollständig übernommen hat, wird die Bildverarbeitung im Entscheidungsprozeß, abgesehen von Einzelanwendungen - solange an den Bildaufnahmegegeräten sich nicht grundsätzlich etwas ändert - in der Bedeutung zurückstehen.“*

Ein weiteres wichtiges Problem, das schnell gelöst werden muß, ist, daß das Wissen aus der Industrie auch den Forschern an den Hochschulen und den Medizinern in der Praxis Preis gegeben werden muß. Technisches Wissen, d.h. wie die einzelnen Aufnahmegegeräte wirklich arbeiten, ist in den Hochschulen nicht bekannt. Der Arzt muß die Entscheidung fällen, welche bildgebenden Verfahren eingesetzt werden, um zu einer guten Diagnose zu kommen. Denn erst dann kann er zu einer Therapie übergehen. Prof. Dr. Graf von Keyserlingk sieht dabei das im folgenden geschilderte Problem (vgl. [1]), welches vorrangig gelöst werden muß:

*„Die bildgebenden Verfahren sind komplementär zueinander, sie ersetzen sich im allgemeinen nicht. Für die Diagnosenstellung liegen daher Bildinformationen aus verschiedenen Quellen vor. Der Krankheitsherd, die Bedrohlichkeit der Krankheit, die ökonomischen Situationen des Krankenhauses und der geplante therapeutische Eingriff bestimmen die Reihenfolge der Bildgewinnung. Zu den zumeist primären Verfahren kommen dann noch DSA, PET, SPECT mit verschiedenen Kontrastmitteln, Aufnahmetechniken und Bildausschnitten hinzu. Die aus dieser Situation sich ergebende multimodale Bildverarbeitung ist eine intellektuelle Herausforderung für viele Wissenschaftler. Sie wird aber deutlich von technischer Seite behindert. Die Hersteller der bildgenerierenden Geräte öffnen ihre Systeme nicht, und sind nicht, auch wenn sie sich z. T. anders äußern, an standardisierten Datenstrukturen interessiert. Marktinteressen herrschen vor. Für die Übertragung und den Umgang von 2D- und 3D-Bildern von verschiedenen Modalitäten, für ihre Anpassung und ihre Ausrichtung gibt es heute immer noch erhebliche technische und logische Barrieren, die die Perspektive der medizinischen Bildverarbeitung ungünstig erscheinen lassen, solange diese nicht ausgeräumt sind. Bisher gibt es beachtliche Einzellösungen in der uni- und multimodalen Bildverarbeitung, das Gesundheitssystem insgesamt hat aber bisher wenig Nutzen daraus ziehen können.“*

## **2.4 Was brachte bzw. bringt der Einsatz intelligenter Systeme?**

Durch den Einsatz intelligenter Systeme (Unschärfe Logik, neuronale Netze und Evolutionäre Algorithmen) und wissensbasierter Systeme wird die Leistungsfähigkeit der Bildverarbeitungssysteme erhöht. Durch bessere und leistungsfähigere Systeme wiederum wird die Menge der praktisch lösbaren Probleme beträchtlich erhöht. Es können somit immer mehr umfangreiche und komplexe Verfahren eingesetzt werden. Ein wenig pauschal gesagt, handelt es sich bei den intelligenten Systemen um Methoden, die zum einen eine abweichungstolerante Bildverarbeitung garantieren und zum anderen das spezifische Wissen aus der Medizin berücksichtigen. Ein klassisches Anwendungsbeispiel aus der Medizin ist die Behandlung interindividueller Variabilitäten, also die sehr patientenspezifischen verschiedenartigen Ausprägungen eines an sich gleichen Objektes, beispielsweise des menschlichen Gehirns. Toleranz gegenüber Abweichungen wird insbesondere durch Methoden wie Neuronale Netzwerke und Fuzzy-Systeme, aber auch bezüglich gewisser Eigenschaften invarianter Transformationen gewährleistet. Die weitere Erforschung dieser Methoden kann die Akzeptanz von Informatikmethoden in der Medizin deutlich unterstützen.

Um die Leistungsfähigkeit dieser Methoden zu optimieren, sind intelligent wirkende Werkzeuge vonnöten. So wie ein Mediziner, der bei der visuellen Auswertung eines Bilddatensatzes über eine Vielzahl von Standardwissen in Kombination mit Wissen über den zugrundeliegenden Fall verfügt, reicht auch in leistungsfähigen Bildverarbeitungssystemen nicht allein ein gut elaborierter Satz an Bildverarbeitungsoperatoren aus. Eine Wissenskomponente, die nahtlos an die Bildverarbeitung anschließt und mit dieser im Dialog steht, spiegelt einen zentralen Aspekt zukünftiger Systeme wieder.

Die Kombination von Bildverarbeitungsmethoden mit effizienten wissensbasierten Systemen bietet sich an, um zu einer genauen Analyse des Bildmaterials und einer besseren Unterstützung des praktizierenden Arztes zu gelangen.

Demgegenüber gibt es aber auch viele Ärzte, die von den intelligenten Systemen enttäuscht sind, da sie ja nicht das "Allheilmittel" darstellen, als das sie viele Jahre hingestellt wurden. Auch viele Entwickler stehen diesen Methoden der intelligenten Systeme kritisch gegenüber und die Firmen, die sie eingesetzt haben, haben damit noch nicht so viel Geld machen können, wie sie sich erhofft hatten. Nur die Ministerien fördern diese Methoden sehr stark.

## 2.5 Was bringt die Zukunft hervor?

Welchen Stellenwert die Bildverarbeitung in Zukunft für die Medizin einnehmen wird, kann heutzutage natürlich niemand ganz genau vorhersehen. Wird sie sich in weiteren neuen medizinischen Anwendungsgebieten etablieren? Wächst die Bereitschaft der Mediziner mit den Systementwicklern enger zusammenzuarbeiten? Steigt die Akzeptanz von bestehenden bzw. sich in Entwicklung befindlichen Bildverarbeitungssystemen in den nächsten Jahren? Alle diese Fragen und noch viele mehr (siehe bereits in diesem Beitrag zuvor schon angesprochene Fragen) können derzeit nicht eindeutig beantwortet werden. Man kann aber Prognosen abgeben.

Nach Aussage von Herrn Lehmann (siehe [1])

*"kann eine längerfristige und auch künftigen Problemen gerecht werdende Lösung medizinischer Fragestellungen nur über eine grundlagenorientierte Forschung gefunden werden, die gleichzeitig in konkrete Projekte mit anwendungsorientierter Bildverarbeitung eingebettet sein muß. Das generelle Forschungsziel der Abteilung Medizinische Bildverarbeitung des Instituts für Medizinische Informatik und Biometrie der RWTH Aachen ist daher die Erarbeitung von Architekturen und Bearbeitungsprinzipien intelligenter medizinischer Systeme. Schwerpunkt bildet hier zunächst die Analyse und quantitative Bildauswertung im meßtechnischen Sinne, also die Bereitstellung objektiver Parameter, wobei Flexibilität und Robustheit eine wesentliche Systemanforderung bilden. Algorithmen zur Extraktion objektiver Parameter werden dabei die prinzipiell subjektive Befundung durch den Arzt weniger ersetzen, sondern vielmehr erweitern."*

*"Ein weiterer Schwerpunkt der Bildverarbeitung in der Medizin wird in Zukunft die Verwaltung der großen digitalen Bildbestände werden. Für zahlreiche Fragestellungen in der Krankenversorgung und klinischen Forschung, aber auch für solche aus den Bereichen computerunterstützter Lehr- und Lernsysteme und für wissensbasierte Systeme in der Medizin wird ein inhaltsorientierter Zugriff auf Bilddatenbanken erforderlich werden. Mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung müssen hierzu abstrakte Eigenschaften aus den Bildern extrahiert werden, die dann für patientenübergreifende Abfragen auszuwerten sind."*

Das Interesse an medizinischen Bildverarbeitungssystemen ist auf jeden Fall gerade in den letzten Jahren sehr stark gestiegen und immer mehr Wissenschaftler beschäftigen sich mit diesem Themengebiet. Und das wird sich auch in der nächsten Zukunft nicht so plötzlich ändern. Wenn man die verschiedenen Probleme, wie sie zuvor geschildert wurden, versucht weitgehend zu beheben, hat die medizinische Bildverarbeitung eine große Zukunft. Es wird dann viele Systeme geben, die die Ärzte bei ihrer Diagnose unterstützen und die auch Veränderungen frühzeitig zu erkennen helfen. Somit ist dann nicht nur den Mediziner mit derartigen modernen Systemen geholfen, sondern auch den Patienten in Bezug auf Vorsorge.

## 3. Zusammenfassung

Bei der Diskussion kamen Leistungen der medizinischen Bildverarbeitungssysteme, konzeptionelle Fragen, bestehende Probleme und kritische Positionen zur Sprache. Aus Unternehmenssicht wurden Bildverarbeitungs- und Archivierungssysteme als Marktsegment mit großen Wachstumsprognosen dargestellt. Gleichzeitig wurde auch eine Stagnation hierzulande bei Forschung und Innovation hingewiesen: Nahezu alle neuen Entwicklungen und Methoden der Bildverarbeitung kämen aus den USA. Den künftigen Beitrag der Informatik zu technischen Fortschritten auf diesem Gebiet und zur Ausweitung der Einsatzfelder betrachteten alle Teilnehmer als positiv. Dazu muß aber das Wissen der Mediziner noch stärker in den Bildverarbeitungsprozess einbezogen werden und die Systeme sehr benutzerfreundlich gestaltet werden, da die Anwender der Bildverarbeitung in der Regel nicht Informatiker sind.

## Literatur

- [1] E. Meyer zu Bexten u.a.: *Bedeutung und Perspektiven in der medizinischen Bildverarbeitung*, 3. Anwendersymposium 'Aktuelle Entwicklungen und Realisierungen der Bildverarbeitung', 11. und 12. September, Aachen, S. 89-96, 1997

- [2] T. Lehmann, W. Oberschelp, E. Pelikan, R. Repges:  
*Bildverarbeitung für die Medizin – Grundlagen, Modelle, Methoden, Anwendungen* -, Springer-Verlag, 1997
- [3] A. De Luca, S. Termini: *A definition of a nonprobabilistic entropy in the setting of fuzzy theory*, Information and Control, Vol. 20, pp. 301 - 312, 1972
- [4] M. Sugeno: *Theory of Fuzzy Integrals and its Applications*, Dissertation, Tokyo Institut of Technology, Japan, 1974
- [5] A. Rosenfeld: *Fuzzy Digital Topology*, Information and Control, Vol. 40, pp 76 - 87, 1979
- [6] J.C. Bezdek: *A Convergence Theorem for the Fuzzy ISODATA Clustering Algorithms*, IEEE Transactions on Pattern Anal. Machine Intelligence, Vol. PAMI-2, No. 1, pp. 1 - 8, 1980
- [7] J.C. Bezdek: *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Plenum Press, New York, 1981
- [8] H.R. Tizhoosh: *Fuzzy-Bildverarbeitung in Theorie und Praxis*, Springer Verlag, 1997
- [9] R.C. Gonzalez, R.E. Woods: *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Verlag, 1992
- [10] W. Abmayr: *Einführung in die digitale Bildverarbeitung*, Teubner Verlag, Stuttgart, 1994
- [11] B. Jähne: *Digitale Bildverarbeitung*, Springer Verlag, 1997
- [12] *Stand und Trends der Bildverarbeitung in NRW*, Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), 1995
- [13] *Medizinische Bildverarbeitung*, Spektrum der Wissenschaft, S. 102ff, Juni 1997
- [14] *Bildverarbeitungs-Systeme - Applikationsberichte*, VITRONIC Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH, Wiesbaden, 1997