

TRAJEKTE

Eine Reihe des Zentrums
für Literaturforschung Berlin

Herausgegeben von
Sigrid Weigel und Karlheinz Barck

»Der liebe Gott steckt im Detail«

Mikrostrukturen des Wissens

Herausgegeben von
Wolfgang Schäffner, Sigrid Weigel
und Thomas Macho

Der virtuelle Chirurg. Das Operieren an Daten im Zeitalter der Medialisierung

Medien schreiben unsere Situation auf, zeichnen sie vor: Wir tauchen ein in ein wachsendes Repertoire computerbasierter Medien für die Schöpfung, Verteilung von und Interaktion mit digitalisierten Versionen der Welt, und diese Medien bilden das Instrumentarium eines neuen epistemischen Regimes. In zahlreichen Alltagsbereichen erleben wir eine Tendenz zur Fusion von digitaler und physischer Realität. Dabei wird jedoch weder das Reale durch das Hyperreale ersetzt noch die Referenz vernichtet und durch ein Modell ohne Ursprung oder Wirklichkeit ersetzt, wie Baudrillard es vorausgesagt hat; vielmehr entsteht ein neues Spielfeld für den allgegenwärtigen Computereinsatz, das unter anderem tragbare Computer, unabhängige Computer-Agenten-Artefakte und materielle Objekte umfaßt. Um William Gibsons Figur Case aus *Neuromancer* zu paraphrasieren: »Daten werden zu Fleisch«.

Die Chirurgie bildet ein dramatisches Beispiel für ein erst seit kurzem von Informationstechnologien durchdrungenes Feld. Im vergangenen Jahrzehnt haben Computer in den Operationssaal Einzug gehalten, um den Ärzten bei der Erfüllung eines Traums zu helfen, den sie seit Claude Bernard hegen: die Medizin experimentell und voraussehbar zu machen. Im neu entstehenden Feld computer-assistierter Chirurgie zeigt sich – verglichen mit der Zeit individueller heroischer Chirurgen – ein dramatischer Wandel. Chirurgen werden bald nicht länger auf der Grundlage von dürftig geplanten Operationskripts kühn improvisieren und sich erst im Operationssaal an den besonderen Fall anpassen. Zur Durchführung einer Operation müssen Chirurgen zunehmend umfangreiche 3D-Modellierungswerkzeuge einsetzen, um ein vorhersagekräftiges Modell als Grundlage für eine Simulation zu erzeugen, die zunehmend zum chirurgischen Software-Interface wird. Dieses Interface wird den Chirurgen bei der Durchführung seiner Operation leiten.

Die Revolution der minimal invasiven Chirurgie

Diese Entwicklungen haben ihren Anfang in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts genommen, als zum ersten Mal weithin erfolgreiche endoskopische Geräte auftauchten. Als erstes waren Arthroskope für die orthopädische Chirurgie in den meisten großen Kliniken um 1975 verfügbar; sie galten zunächst eher als technische Spielerei und stellten kein gängiges Verfahren dar. Sichere chirurgische Verfahren mit solchen Endoskopen waren nur begrenzt möglich, denn der Chirurg mußte mit dem Endoskop in der einen Hand und einem einzigen Instrument in der anderen operieren.

Wodurch änderte sich das Bild der Endoskopie in der Chirurgengemeinschaft? Wodurch wurden aus Arthroskopie, Cholezystektomie (die Entfernung

der Gallenblase mit Instrumenten, die durch die Bauchdecke eingeführt werden) und zahlreichen anderen endoskopischen Operationstechniken durchaus übliche chirurgische Verfahren? Ein erster wichtiger Schritt war die Einführung einer kleinen medizinischen Videokamera, die auf das Arthroskop oder Laparoskop aufgesetzt werden konnte. Französische Chirurgen waren die ersten, die kleine, sterilisierbare Videokameras mit hoher Auflösung entwickelten, die an einem Laparoskopiegerät befestigt werden konnten. Als dann äußerst intensive Halogenlichtquellen mit Glasfaserverbindungen dazukamen, war man in der Lage, helle, vergrößerte Bilder zu erhalten, die für alle Mitglieder des Operationsteams, nicht nur für den Chirurgen, auf einem Videomonitor zu sehen waren. Diese technische Entwicklung hatte Konsequenzen für die Chirurgiekultur; sie trug verstärkt zu kooperativer Teamarbeit bei und machte zunehmend komplexere chirurgische Verfahren möglich, einschließlich Nähen und rekonstruktive Eingriffe, die ausschließlich unter videoendoskopischer Sicht durchgeführt wurden.¹ 1989 führten französische Chirurgen die erste laparoskopische Cholezystektomie durch. Dies zog beinahe unmittelbar eine blühende biomedizinische Geräteindustrie nach sich, um die notwendige Zusatztechnologie für laparoskopische Verfahren auch kleineren Krankenhäusern bereitzustellen: neue, spezielle Instrumente für den Umgang mit Gewebe, zum Schneiden, zur Blutstillung und viele andere mehr.²

Kleinere Narben, weniger Schmerzen und eine schnellere Genesung waren die Vorteile, durch die sich endoskopische Verfahren gegen Ende der 80er Jahre rasch durchzusetzen begannen und nach 1990 allmählich zu einer Standardmethode in nahezu jedem Bereich der Chirurgie wurden. Wesentlich beeinflusst wurde die rasche Entwicklung der Technologie durch die Nachfrage von Seiten der Patienten. Ebenso wichtig waren die Bemühungen zur Kostenkontrolle im Gesundheitswesen. In einer Zeit voller Sorgen um explodierende Kosten im Gesundheitsbereich waren die Hersteller medizinischer Instrumente an jedem Verfahren interessiert, das die Operationsresultate verbesserte und die Klinikaufenthalte verkürzte. Vom Erfolg der neuen videoendoskopischen Geräte ermutigt, sahen die Instrumentenhersteller zu Beginn der neunziger Jahre eine Zukunft für ein neues Feld minimal invasiver diagnostischer und chirurgischer Instrumente. Die Chirurgie stand kurz davor, in eine technologie-intensive Ära einzutreten; es boten sich ungeahnte Möglichkeiten für Firmen, in denen Chirurgen

und Ingenieure zusammenarbeiteten, um die neuesten Entwicklungen in Robotik, Bildgebung und Abtastung auf den Bereich der minimal invasiven Chirurgie anzuwenden. Obwohl bahnbrechende Entwicklungen in diesen neuen Technologien stattgefunden hatten, enthielten die für chirurgische Eingriffe verfügbaren Geräte nur eine begrenzte Anzahl der komplexen Funktionen, wie sie ein Chirurg verlangte. Chirurgen brauchten eine bessere Visualisierung, feinere Manipulatoren und neue Typen von Fernsensoren, und sie brauchten diese Werkzeuge integriert in ein vollständiges System.

Telepräsenz-Chirurgie

Die neue Vision gewann Gestalt unter starker Förderung durch Gelder der *Advanced Research Projects Agency* (ARPA), der NIH und der NASA, und sie wurde in Auftragsarbeiten für diese Institutionen und Behörden durchgeführt von Laboratorien wie dem *Stanford Research Institute* (SRI), dem *Johns Hopkins Institute for Information Enhanced Medicine*, dem *Computer Science Department* der Universität von North Carolina, dem *Human Interface Technology Laboratory* der Universität von Washington, der Mayo-Klinik und dem *Artificial Intelligence Laboratory* am MIT. Die von Dr. Richard Satava, Vorreiter des ARPA-Programms, verfolgte Vision war es, Telepräsenz-Arbeitsstationen zu entwickeln, mit denen Chirurgen komplexe telerobotische Verfahren durchführen konnten, die große Fingerfertigkeit verlangten. Diese Arbeitsstationen sollten alle motorischen, visuellen und sensorischen Empfindungen des Chirurgen wiedererschaffen und vergrößern, so als würde er tatsächlich im Innern des Patienten operieren. Das Ziel der geförderten Programme war es, Chirurgen irgendwann in die Lage zu versetzen, komplexe endoskopische Operationen am Gehirn oder Herzen durchzuführen, die in den frühen 1990er Jahren noch nicht möglich waren, darüber hinaus die Geschwindigkeit und Sicherheit der bestehenden Verfahren zu erhöhen und schließlich die Anzahl der Leute im OP-Team zu reduzieren. Zentral bei diesem Programm war eine Telepräsenz-Telerobotik, die für einen Operateur jenes komplexe sensorische Feedback und jene motorische Kontrolle ermöglichen sollte, über die er verfügt hätte, würde er tatsächlich an der Operationsstelle arbeiten und die Operation mit eigenen Händen durchführen. Ziel der Telepräsenz war es, umfassende motorische und sensorische Fähigkeiten – optische, taktile, akustische Empfindungen – bis hinein in mikroskopische Umgebungen zu projizieren, um Operationen durchzuführen, die große Geschicklichkeit und gute Koordination von Hand und Auge erfordern.³

¹ Jacques Périssat/D. Collet/R. Belliard, »Gallstones: Laparoscopic Treatment – Cholecystectomy, Cholecystostomy, and Lithotripsy: Our Own Technique«, in: *Surgical Endoskopie*, 4.1 (1990), S. 1–5; F. Dubois et al., »Coelioscopic Cholecystectomy: Preliminary Report of 6 Cases«, in: *Annals of Surgery*, 211 (1990), S. 60–62. Jacques Périssat/Gary C. Vitale, »Laparoscopic Cholecystectomy: Gateway to the Future [Editorial]«, in: *American Journal of Surgery*, 161.3 (1991), S. 408.

² Jacques Périssat, »Laparoscopic Cholecystectomy, a Treatment for Gallstones: From Idea to Reality«, in: *World Journal of Surgery*, 23 (1999), S. 328–331; ders., »Laparoscopic Surgery: A Pioneer's Point of View«, in: *World Journal of Surgery*, 23 (1999), S. 863–868; ders., »Laparoscopic Surgery in Gastroenterology: An Overview of Recent Publications«, in: *Endoskopie*, 27.1 (1995), S. 106–118.

³ Vgl. dazu Russell H. Taylor et al., »A Telerobotic System for Augmentation of Endoscopic Surgery«, in: *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 14 (1992), S. 1054–1056.

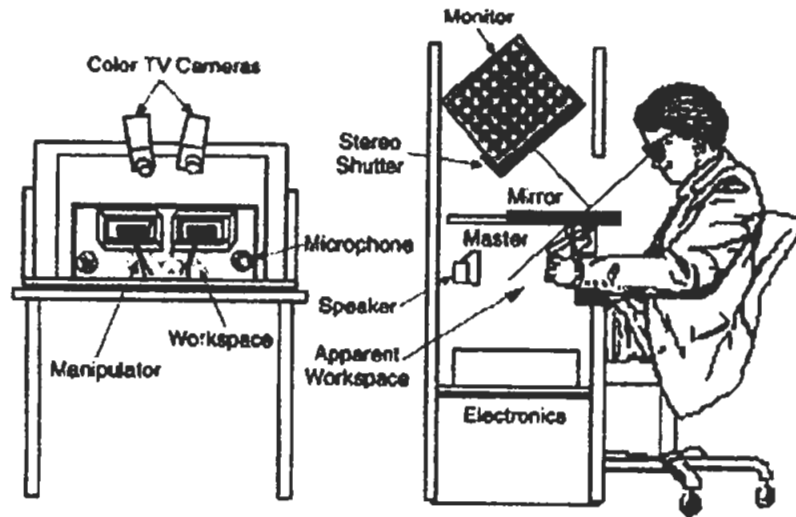


Abb. 1: Schema eines druckreflektierenden chirurgischen Manipulators



Abb. 2: Druckreflektierender chirurgischer Manipulator

Philipp Green leitete ein Team am SRI, das 1991 das erste funktionierende Modell eines Chirurgesystems mit Telepräsenz konstruierte, und mit Fördergeldern von den NIH ging Green dann dazu über, ein Demonstrationssystem zu entwerfen und zu bauen. Der Vorschlag enthielt das in Abb. 1 schematisch dargestellte Konzept der Arbeitskonsole, mit der Sichtkonstellation und Manipulationskonfiguration, wie sie in heutigen chirurgischen Telepräsenzsystemen eingesetzt werden. 1992 erhielt das SRI weitere Fördermittel, um ein Telepräsenzsystem zu entwickeln, das für Notoperationen in Schlachtfeldsituationen geeignet war. Für dieses System der zweiten Generation entwickelte das SRI-Team eine präzise Servomechanik, ein Druck-Feedback, eine 3D-Visualisierung sowie die chirurgischen Instrumente, die erforderlich waren, um ein computergestütztes System zu konstruieren, das über ferngesteuerte chirurgische Instrumente mit fünf Freiheitsgraden und extrem empfindlicher taktiler Reaktion die Handbewegungen eines Chirurgen genau reproduzieren konnte.

Ende 1995 erteilte das SRI die Lizenz für diese Technologie der Firma *Intuitive Surgical* in Mountain View, Kalifornien. *Intuitive Surgical* entwickelte die im SRI begonnene Arbeit weiter und verbesserte die präzise Kontrolle der chirurgischen Instrumente durch eine neue Erfindung: das vom Firmengründer Frederic Moll patentierte EndoWrist™. Es fügte dem SRI-Gerät zwei weitere Freiheitsgrade hinzu – *inner pitch* und *inner yaw* (*inner pitch* ist die Bewegung eines Handgelenks beim Klopfen an eine Türe; *inner yaw* das waagerechte Hin- und Herbewegen beim Abwischen eines Tisches) –, wodurch das System die Handbewegungen eines Chirurgen besser nachahmen konnte; damit hatte der Roboter die Fähigkeit, um empfindliche Körperstrukturen herum, über sie hinweg und hinter sie zu greifen und diese Blickwinkel dem Chirurgen direkt an der Operationsstätte bereitzustellen. Durch Lizenzen von IBM-Patenten verbesserte *Intuitive* außerdem die 3D-Video-Bildgebung, -Navigation und die Abstimmung des Videobildes auf den räumlichen Rahmen, in dem der Roboter operierte. Die Parallelprozessor-Rechenleistung des Systems betrug 250 Megaflops.

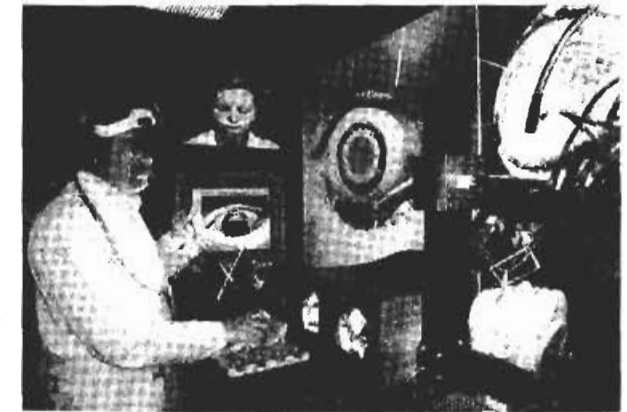


Abb. 3: Von einem Intuitive Surgical DaVinci Computer unterstützte Roboter-Einheit

Eine weitere entscheidende Verbesserung des Systems stammte von Kenneth Salisbury vom *Artificial Intelligence Laboratory* am MIT; er brachte Ideen aus dem druckreflektierenden haptischen Feedbacksystem ein, das er und Thomas Massie 1993 als Grundlage für ihr PHANToM™-System entwickelt hatten; dieses Gerät ermöglichte die Interaktion zwischen menschlichen Nutzern und entfernten virtuellen und physischen Umgebungen über die Tastempfindung.⁴ Beim PHANToM™ handelt es sich um ein Desktopgerät, das ein druckreflektierendes Interface zwischen menschlichem Nutzer und Computer bereitstellt. Der Benutzer verbindet sich mit dem Mechanismus, indem er einfach seinen Zeigefinger in einen Fingerhut steckt. Das PHANToM™ spürt die Bewegung der Fingerspitze des Benutzers und kann aktiv einen äußeren Druck auf den Finger ausüben, wobei es die bezwingende Illusion einer Interaktion mit soliden physischen Gegenständen erzeugt. Der Fingerhut läßt sich durch einen Stift ersetzen, und der Benutzer kann spüren, wie die Spitze des Stifts virtuelle Oberflächen berührt. Mit dieser haptischen Schnittstelle geht das System über frühere Instrumente für minimal invasive Chirurgie hinaus. Denn diese älteren Instrumente boten nicht die Möglichkeit für den Chirurgen, seinen Gefühls- und Tastsinn einzusetzen; die haptische PHANToM™-Schnittstelle dagegen liefert ein zusätzliches Immersionselement. Wenn der Endoskop-Arm im Innern des Patienten auf einen Widerstand trifft, wird dieser an die Konsole zurückgemeldet, wo der Chirurg ihn fühlen kann. Sobald der Fingerhut eine Position trifft, die der Oberfläche eines virtuellen Objekts im Computer entspricht, erzeugen drei Motoren Druck auf den Fingerhut und ahmen die Tastempfindung des Objekts nach. PHANToM™ kann alle Arten von Texturen kopieren, wie etwa rauhe, glatte, weiche und sogar klebrige Oberflächen. Auch Reibung wird reproduziert. Und wenn zwei PHANToM™s kombiniert werden, kann der Benutzer mit Daumen und Zeigefinger ein virtuelles Objekt »ergreifen«. Durch das fortgeschrittene haptische und optische Feedback erleichtert das System erheblich das Sezieren, Schneiden, Nähen und andere chirurgische Verfahren, selbst an sehr kleinen Strukturen, da der Arzt seine Finger im Zentimeterbereich bewegen kann, um im Millimeterbereich zu schneiden. Außerdem läßt sich das Gerät so programmieren, daß versehentliches und natürliches Händezittern ausgeglichen wird, von dem die minimal invasive Chirurgie beeinträchtigt würde.

Das erste öffentliche Debüt für den chirurgischen Manipulator bei wirklichen chirurgischen Eingriffen fand im Mai 1998 statt. Von Mai bis Dezember 1998 führten Professor Alain Carpentier und Dr. Didier Loulmet am Broussais-Hospital in Paris sechs Operationen am offenen Herzen mit dem Intuitive™-System durch.⁵ Im Juni 1998 realisierte das gleiche Team die erste video-endoskopische Bypass-Operation am Herzkranzgefäß; dazu mußte nicht mehr der Brust-

Abb. 4: Endoskopische Bypass-Operation mit einem Intuitive Surgical System (Paris 1999)



korb geöffnet werden, sondern es waren nur kleine (1 cm große) Öffnungen in der Wand des Brustkorbs erforderlich. Seitdem sind mehr als 250 Herzoperationen und 150 komplett videoendoskopische Eingriffe mit dem System durchgeführt worden. Im Januar 1999 wurde es für den Verkauf in der Europäischen Gemeinschaft freigegeben.

Computermodellierung und vorhersagekräftige Medizin

Ein weiterer wichtiger Beitrag von Computern zur Revolution der minimal invasiven Chirurgie besteht in der Anwendung von Computermodellierung, Simulation und virtueller Realität in der Chirurgie. Die Entwicklung verschiedener digitaler Bildgebungsverfahren in den 70er Jahren, wie Computertomographie (CT) – die sich als besonders nützlich bei Knochen erwies –, Magnetresonanztomographie (MRT) – nützlich bei weichen Geweben –, Ultraschall und später PET (Positronen-Emissionstomographie; Positronen-CT), hat eine präzise quantitative Modellierung und präoperative Planung für viele Formen chirurgischer Eingriffe möglich gemacht. Da bei diesen Verfahren, insbesondere CT und MRT, 2D-»Schnitte« durch den Patientenkörper gelegt werden, war der natürliche nächste Schritt (den Gabor Herman und seine Kollegen 1977 gingen), diese Querschnitte in ein Computerprogramm einzugeben und damit eine 3D-Dar-

⁴ Zum Hintergrund des PHANToM™-Systems siehe die Information auf <http://www.sensible.com>.

⁵ Zu technischen Einzelheiten, zum aktuellen Entwicklungsstand und der Annahme des Intuitive™-Systems siehe die Archiv-Abteilung auf der Website von Intuitive Surgical, Inc. unter <http://www.intuitivesurgical.com>.

stellung zu erzeugen.⁶ Die dreidimensionale Visualisierung gelang zuerst in der kraniofazialen Chirurgie, denn diese basierte, weil sie es vor allem mit Schädel-Knochenstrukturen zu tun hatte, auf der höher entwickelten Technik der Computertomographie. Ein weiterer Grund für die schnelle Entwicklung bestand darin, daß im Unterschied zu vielen anderen Bereichen in der Chirurgie, wo eine Reihe von 2D-Schichtbildern – vom Umriß eines Tumors beispielsweise – dem Chirurgen alle benötigte Information liefert, er sich bei der kraniofazialen Chirurgie mit dem Schädel als ganzes beschäftigen muß, und nicht nur jeweils mit kleinen Ausschnitten davon.

Jeffrey Marsh und Michael Vannier begannen 1983 mit ihrer Pionierarbeit bei der 3D-Computergrafik in der kraniofazialen Chirurgie.⁷ Bis zu diesem Zeitpunkt hatte man das chirurgische Vorgehen mit Zeichnungen geplant, die ausgehend von 2D-Röntgenbildern auf Papier angefertigt wurden. Auf der Grundlage von frontalen und seitlichen Röntgenaufnahmen des Kopfes wurden die Silhouetten der Schädelknochenkanten auf Papier gezeichnet. Dann schnitt man Silhouetten der gewünschten Knochenfragmente aus und manipulierte die Ausschnitte. Der Arzt schob den Knochenfragmentausschnitt in der Papiersimulation hin und her, bis die Gesamtstruktur annähernd normal war. Messungen wurden vorgenommen, mit einem Ideal verglichen, und ein weiterer Zyklus des Ausschneidens und Ausprobierens setzte ein. Diese von Hand durchgeführten Optimierungsverfahren wurden wiederholt, bis sich ein Operationsplan ableiten ließ, der das am ehesten normal aussehende Gesicht für den Patienten versprach.

Zwischen 1983 und 1986 computerisierten Marsh und Vannier mit ihren Kollegen jeden Schritt dieses 2D-Optimierungszyklus.⁸ Einige Mängel des älteren 2D-Verfahrens ließen sich mit den 3D-Visualisierungen beheben. Beispielsweise ist die zweidimensionale Planung nicht sehr nützlich, wenn man das Ergebnis von Rotationen zu berücksichtigen versucht. In einer bestimmten Ansicht geplante Ausschnitte sind nicht länger korrekt, wenn sie in eine andere Ansicht rotiert werden. Dieses Problem ließ sich überwinden, wenn es gelang, 2D-Querschnitte im Computer als Volumen darzustellen. Mehr noch, der Vergleich zwischen präoperativer und postoperativer 3D-Visualisierung legte oft eine verbesserte chirurgische Planung nahe. Ein häufiges Problem in der kraniofazialen Chirurgie besteht darin, daß weitere chirurgische Eingriffe vorgenommen wer-

den müssen, um das optimale Endergebnis zu erzielen. Beispielsweise führt die Platzierung von Knochentransplantaten in Lücken zu unterschiedlichen Resorptionsgraden. Oder es kann vorkommen, daß nach der Operation ein Teil der Gesichtsknochen des Patienten nicht wächst oder daß weiche Gewebe mit Knochenfragmenten verbunden sind und daher die Bewegungsfähigkeit des Fragments eingeschränkt ist. Diese und andere Probleme legten es nahe, daß ein chirurgischer Simulator nützlich sein könnte, der ein interaktives 3D-Modell des Patienten aus Bilddaten zusammensetzte und dem Chirurgen Werkzeuge an die Hand gab, analog den CAD-Werkzeugen für computergestützte Manipulation technischer Objekte; damit ließe sich dann durch Vergleich von ›Vorher-‹/›Nachher-‹-Ansichten ein optimaler Operationsplan aufstellen. 1986 entwickelten Marsh und Vannier den ersten Simulator, indem sie kommerzielle CAD-Software dazu verwendeten, eine automatisierte Optimierung von Knochenfragmentpositionen durchzuführen, um eine ›bessere Anpassung‹ an die normale Form zu erhalten.⁹ Seitdem haben eigens für kraniofaziale Chirurgie entwickelte Programme es ermöglicht, mehrere präoperative Operationspläne für die Korrektur eines bestimmten Problems aufzustellen, unter denen der Chirurg sich dann für die optimale Variante entscheiden kann.

Diese frühen Modelle wurden weiter entwickelt; sie sollten nicht nur die Geometrie, sondern auch die physischen Eigenschaften von Knochen und Geweben wiedergeben und so wirklich quantitativ und vorhersagekräftig werden. R.M. Koch, M.H. Gross und ihre Kollegen von der ETH Zürich wandten beispielsweise physik-basierte Finite-Elemente-Modelle in der rekonstruktiven Gesichtschirurgie an.¹⁰ Ihr Ansatz geht über eine geometrische Modellierung im Sinne einer ›besten Anpassung‹ zwischen Gesichtsknochen hinaus und besteht darin, dreieckige Prismenelemente zu konstruieren, die neben einer Gesichtsschicht aus fünf weiteren Schichten bestehen: Epidermis, Lederhaut, subkutanes Bindegewebe, Faszien und Muskeln, und miteinander durch Federungen unterschiedlicher Steifigkeit verbunden sind. Ausgehend von der Segmentierung von CT-Daten werden die Steifigkeit-Parameter für die weichen Gewebe zugeordnet. In diesem Modell hat jedes prismenförmige Volumenelement seine eigene Physik. Alle interaktiven Verfahren wie die Repositionierung von Knochen und weichem Gewebe werden unter Anleitung des Modellierungssystems durchgeführt, das die verarbeitete Geometrie in das Finite-Elemente-Modell eingibt. Die resultierende Form wird erzeugt, indem die Gesamtenergie der Oberfläche bei Anwesenheit äußerer Kräfte minimiert wird. Das Ergebnis ist die Fähigkeit,

⁶ Gabor T. Herman/H. Liu, »Display of Three-Dimensional Information in Computed Tomography«, in: *Journal of Computer Assisted Tomography*, 1 (1977), S. 155–160.

⁷ Michael W. Vannier/Jeffrey L. Marsh/James O. Warren, »Three-Dimensional Computer Graphics for Craniofacial Surgical Planning and Evaluation«, in: *Computer Graphics*, 17 (1983), S. 263–273.

⁸ Michael W. Vannier/Jeffrey L. Marsh/James O. Warren, »Three-Dimensional CT Reconstruction Images for Craniofacial Surgical Planning and Evaluation«, in: *Radiology*, 150 (1984), S. 179–184; Jeffrey L. Marsh/Michael W. Vannier/William Grant Stevens, »Computerized Imaging for Soft Tissue and Osseous Reconstruction in the Head and Neck«, in: *Plastic Surgery Clinicians of North America*, 12 (1985), S. 279–291; Robert H. Knapp/Michael W. Vannier/Jeffrey L. Marsh, »Generation of Three Dimensional Images from CT Scans: Technological Perspective«, in: *Radiological Technology*, 56.6 (1985), S. 391–398.

⁹ Jeffrey L. Marsh/Michael W. Vannier/S.J. Bresina, »Applications of Computer Graphics in Craniofacial Surgery«, in: *Clinical Plastic Surgery*, 13 (1986), S. 441–448; Michael W. Vannier/Glenn C. Conroy, »Three-dimensional Surface Reconstruction Software System for IBM Personal Computers«, in: *Folia Primatologica (Basel)*, 53.1–4 (1989), S. 22–32; Michael W. Vannier, »PCs Invade Processing of Biomedical Images«, in: *Diagnostic Imaging*, 12.2 (1990), S. 139–147; Michael W. Vannier/Jeffrey L. Marsh, »Craniofacial Imaging: Principles and Applications of Three-Dimensional Imaging«, in: *Lippincott's Reviews: Radiology*, 1.2 (1992), S. 193–209.

¹⁰ Rolf M. Koch/Markus H. Gross et al., »Simulating Facial Surgery Using Finite Element Models«, in: *Siggraph 96: Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series*, 1996, S. 421–428.

sehr realistische 3D-Bilder der postoperativen Schädelform zu erzeugen. In der Augenchirurgie, in der Prostata-, Lungen-, Leber- und orthopädischen Chirurgie und bei der Behandlung von Hirn-Aneurysmen sind inzwischen computerbasierte Chirurgesysteme eingeführt worden, die ähnlich wie das aus der kraniofazialen Chirurgie beschriebene arbeiten.

Beeindruckende Anwendungen der Computermodellierung sind ebenfalls in die Herz- und Gefäßchirurgie eingeführt worden. Für diesen Bereich wurden Simulationstechniken entwickelt, die nicht nur Struktur, sondern auch Funktion simulieren, wie den Blutstrom des einzelnen Patienten, an dem etwa eine Bypass-Operation vorgenommen werden soll. Charles A. Taylor und seine Kollegen am *Stanford Medical Center* haben ein System demonstriert, das ein patientenspezifisches dreidimensionales Finite-Elemente-Modell des Gefäßsystems und Blutstroms eines Patienten unter einer Vielzahl von Bedingungen erstellt.¹¹ Ein Software-Simulationssystem, das Gleichungen verwendet, nach denen der Blutstrom in Arterien gesteuert wird, stellt dann verschiedene Werkzeuge bereit, mit deren Hilfe der Arzt das Resultat alternativer Behandlungspläne auf die Gefäß-Hämodynamik voraussehen kann. Mit solchen Systemen ist eine vorhersagekräftige Medizin realisiert.

Medizinische Avatare: Chirurgie als Interface-Problem

Diese Beispiele demonstrieren, daß die Computermodellierung die Chirurgie um eine völlig neue Dimension ergänzt hat. Zum ersten Mal ist der Chirurg in der Lage, eine Operation auf Grundlage eines mathematischen Modells zu planen, das die tatsächliche Anatomie und Physiologie des individuellen Patienten wiedergibt. Darüber hinaus muß das Modell nicht an der Tür des Operationssaals zurückbleiben. Mehrere Forschergruppen haben solche Modelle verwendet, um Systeme mit »augmentierter Realität« zu entwickeln, die eine präzise, skalierbare Aufzeichnung des Modells auf den Patienten erzeugen, so daß während der Operation eine Verschmelzung des Modells und der 3D-Stereokamera-Bilder erfolgt. Die aus präoperativen MRT- oder CT-Daten visualisierten Strukturen werden auf den Körper des Patienten abgestimmt und gleichzeitig dem Chirurgen nahezu in Echtzeit gezeigt. Zur Zeit werden intensive Anstrengungen unternommen, um Echtzeit-Volumen-Wiedergabe, ausgehend von CT-, MRT- und Ultraschall-daten, als visuelle Komponente bei bildgeleiteten chirurgischen Eingriffen einzusetzen. Intraoperative Positionsempfindung erweitert die Fähigkeit des Chirurgen, einen Operationsplan auszuführen, der auf dreidimensionalen CT- und MRT-Modellen basiert, da sie eine präzise Bestimmung der genauen Lage seiner Werkzeuge in der Geographie des Patienten bereitstellt. Dieses Verfahren kam erfolgreich zum Einsatz bei der Entfernung von Hirntumoren und bei mehreren

¹¹ Charles A. Taylor et al., »Predictive Medicine: Computational Techniques in Therapeutic Decision-Making«, in: *Computer Aided Surgery*, 4.5 (1999), S. 231–247.

Prostatektomien in dem von Richard Robb an der Mayo-Klinik geleiteten »Virtual Reality Assisted Surgery Program« (VRASP).

Computer verbessern nicht nur die Leistung von Chirurgen, indem sie ihnen eine vorhersagekräftige Modellbildung und mathematisch präzise Planung an die Hand geben, sondern sie spielen ebenso eine wichtige Rolle bei der Verbesserung der Operationsergebnisse, da sie den Chirurgen Trainings- und Übungsmöglichkeiten für wichtige Operationsverfahren bereitstellen, bevor diese wirklich im Operationssaal eingesetzt werden. 1995 fing man damit an, Modellierungs- und Planungssysteme sowohl in Übungssimulatoren wie auch bei Echtzeit-Operationen einzusetzen. Eines der ersten Systeme, das alle diese Eigenschaften in einem Operationssimulator integrierte, wurde von dem Robotik-Wissenschaftler Ian Hunter vom MIT für die Augenchirurgie entwickelt. Hunters mikrochirurgisches Robotersystem (MSR) enthielt Merkmale wie die oben beschriebenen: Datengewinnung durch CT und MRT, Einsatz von Finite-Elemente-Modellierung des geplanten chirurgischen Vorgehens, ein druckreflektierendes haptisches Feedbacksystem, das die Wahrnehmung von Widerständen beim Schneiden von Geweben ermöglicht, einschließlich solcher, die normalerweise für den Chirurgen nicht direkt wahrnehmbar wären.¹²

Chirurgie verlangt geradezu nach einem Interface. Der Chirurg befindet sich außen, die angepeilte Anatomie innen. Minimal invasive laparoskopische Chirurgie wird normalerweise so durchgeführt, daß ein kleiner Einschnitt in den



Abb. 5: Ian Hunters mikrochirurgischer Roboter

¹² Ian W. Hunter/Tilemachos D. Doukoglou et al., »A Teleoperated Microsurgical Robot and Associated Virtual Environment for Eye Surgery«, in: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 2.4 (1993), S. 265–280.

Patientenleib vorgenommen und ein langes schaftartiges Gerät eingeführt wird. Am entfernten Ende des Schafts befindet sich die Arbeitsspitze des Instruments, die an die Zielanatomie im Inneren des Patienten herankommt. Am nahen Ende des Schafts befindet sich der vom Chirurgen außerhalb des Patienten betätigte Mechanismus (typischerweise Griffe für die Finger). Der Mechanismus außerhalb des Patienten ist die Master-Komponente des Systems, die den Slave-Mechanismus im Inneren des Patienten steuert. Der Schaft stellt eine physische Verbindung oder Schnittstelle zwischen Master- und Slave-Komponente bereit. Doch solche laparoskopischen Systeme bringen einige Probleme mit sich. Zwar ermöglichen minimal invasive laparoskopische Operationsverfahren kleinere Eingangsschnitte, doch durch den Eingangsengpaß werden Handbewegungen verdreht, Freiheitsgrade eingeschränkt und Zitterbewegungen verstärkt, was die Operation erschwert. Mit robotischen Systemen, die Schnittstellen virtueller Realität mit haptischem Feedback kombinieren, wie Hunters Prototyp und ein ähnliches, von Forschern am *Human Interface Technology Laboratory* (HIT Lab) der Universität von Washington entwickeltes System, lassen sich diese Probleme früherer minimal invasiver Methoden umgehen.¹³ Wenn das Verfahren mit einem Roboter durchgeführt wird, läßt sich die Beziehung zwischen Chirurg und Instrumenten digital neu konfigurieren. Die Kopf- und Handbewegungen des Chirurgen werden vom System erfaßt. Es führt umgekehrte kinematische Transformationen durch, so daß die Artefakte des Eingangsengpasses effektiv überwunden werden und die Handbewegungen des Chirurgen die Instrumente so zu bewegen scheinen, als befände er sich buchstäblich am Ort des operativen Eingriffs. Dies ermöglicht mehr direkte Manipulationen, die jenen der Chirurgie am offenen Bauch gleichen, obwohl sie die Vorteile minimaler Eingriffe beibehalten. Das durch Gelenke verbundene Endoskop wird mittels der Kopfbewegungen des Chirurgen gesteuert und das endoskopische Bild an ein am Kopf befestigtes Display gesendet; dadurch wird dem Chirurgen der Eindruck vermittelt, in den Körper des Patienten eingetaucht zu sein. Zusätzliche Maßstabsveränderungen sowie das Herausfiltern von Zitterbewegungen übertragen größere Handbewegungen des Chirurgen in präzise, geglättete mikrochirurgische Bewegungen des Roboters.

Immersive robotische Schnittstellen für chirurgische Eingriffe, bei denen die haptische Umgebung mit 3D-Stereokamerabildern in einem kopfgetragenen Display verschmolzen wird, geben dem Chirurgen die Perspektive, sich im Körper des Patienten zu befinden und gewissermaßen auf den Maßstab der Zielanatomie zusammengeschrumpft zu sein. Solche Systeme sind auch als Trainingsgeräte nützlich. Wie in einem Flugsimulator könnte der Chirurg sein Vorgehen am von ihm konstruierten Modell des individuellen Patienten üben. Dieses könnte darüber hinaus auch als Ausbildungsumgebung für angehende Chirurgen dienen, die bei einer Operation zugegen sind, wobei sie den gleichen Videobild-

¹³ Peter Oppenheimer/Suzanne Weghorst, »Immersive Surgical Robotic Interfaces«, in: *Medicine Meets Virtual Reality (MMVR '99)*, 1999, S. 99.

schirm sehen und die gleichen operativen Handbewegungen fühlen wie der Chirurg an der Master-Einheit. Solche Systeme lassen sich auch in einer für Zusammenarbeit eingerichteten Telechirurgieumgebung einsetzen, bei der verschiedene Spezialisten in verschiedenen Phasen der Operation einblendbar werden können, um die »Steuerung zu übernehmen«. In der Tat wurde eine »kollaborative Klinik« mit diesen Funktionsmerkmalen am 5. Mai 1999 im NASA-Ames-Forschungszentrum demonstriert, mit Teilnehmern an fünf verschiedenen Orten in den USA.

Solche Demonstrationen deuten auf die Möglichkeit eines neuen Typs von Operationssaal in nicht allzu ferner Zukunft hin. Anstelle der mehr als typischen Szene eines mit Assistenten und Technikern überfüllten OP können wir erwarten, einen einsamen Chirurgen an einer mit *Infinite Reality Engines* von Silicon Graphics ausgerüsteten Operationskonsole sitzen zu sehen, der simultan mit beteiligten Chirurgen an anderen Orten kommunizieren kann, der über einen Online-Zugriff auf virtuelle Nachschlagewerkzeuge verfügt, wozu auch eine Bibliothek verteilter virtueller Objekte gehört sowie die Datenbanken des Digitalen Menschen der *National Institutes of Health*, abrufbar über Glasfaserkabel mit 8 Gigabits pro Sekunde in einem skalierbaren einheitlichen Interface. Auch wenn der Chirurg ganz allein an seiner Konsole sitzt, assistiert ihm ein Team von Chirurgen und Technikern in einem OP, in dem er virtuell präsent ist; sie können ihn sehen, während er die heikle Operation mit ihnen zusammen durchführt.

Ein vom *National Research Council's Committee on Virtual Reality Research* entwickeltes, 5–10 Jahre in der Zukunft angesiedeltes Szenario illustriert, wie künftige Chirurgen möglicherweise an diesen chirurgischen Interfaces ausgebildet werden. In einer Erörterung über den Einsatz von VR bei der Ausbildung von Herzchirurgen beschreiben VR-Forscher, wie haptische Augmentierung die Zitterbewegungen der Hand korrigieren kann, während diese das Skalpell über ein schlagendes Herz führt:

»Jennifer Roberts [...] befindet sich in ihrer Ausbildung zum Chirurgen und sitzt an ihrer Chirurgiestation, wo sie aufgezeichnete Herzoperationen studiert [...]. Zu diesem System gehört auch ein spezielles Computerprogramm »Virtuelles Herz«, das von der *National Medical Library of Physical/Computational Models of Human Body Systems* stammt, sowie ein spezielles haptisches Interface, das ihr ermöglicht, manuell mit dem virtuellen Herzen zu interagieren. Mittels spezieller wissenschaftlicher Visualisierungs-Subroutinen kann sie das Herz (und seine verschiedenen Bestandteile) aus verschiedenen Blickwinkeln und in unterschiedlichem Maßstab sehen, hören und fühlen. Auch ermöglicht ihr das haptische Interface, zu dem ein spezieller Satz chirurgischer Instrumentengriffe für die chirurgische Simulation gehört (vergleichbar dem druckempfindlichen Feedback, das in fortgeschrittenen Flug- oder Fahrsimulatoren eingesetzt wird), verschiedene Formen chirurgischer Operationen am Herz durchzuführen. Als Teil dieser Übung weicht sie manchmal bewußt vom empfohlenen chirurgischen Vorgehen ab, um die Auswirkungen solcher Abweichungen zu beobachten. Damit jedoch ihr Tutor (der Zugang zu gespeicherten Versionen dieser praktischen Übungen an seiner eigenen Chirurgiestation hat) nicht denkt, diese Abweichungen geschähen unabsichtlich (und Jennifer sei demnach für die chirurgische

Ausbildung nicht sehr geeignet), zeigt sie ihre Absicht, vom empfohlenen Vorgehen abzuweichen, stets vorher an.

Zu ihrer Ausbildung gehört ebenso das Studium der Herzaktivität bei wirklichen Menschen, wozu Durchsichtgeräte (augmentierte Realität) verwendet werden, mit denen der Betrachter normale visuelle Bilder der Versuchsperson mit Bildern des schlagenden Herzens kombinieren kann, die in Echtzeit aus Ultraschallab tastungen errechnet werden.

[...] Bei all diesen Operationen wurde der chirurgische Eingriff mittels eines chirurgischen Teleoperator-Systems durchgeführt. Solche Systeme ermöglichen nicht nur ferngesteuerte Operationen, sondern erhöhen auch die chirurgische Präzision (z.B. durch Eliminierung von Zitterbewegungen der Hände) und verringern die Notwendigkeit, das Herz während des Eingriffs ruhig zu stellen (der chirurgische Teleroboter ist so konstruiert, daß er die Herzbewegungen erfasst und das Skalpell am Herz derart bewegt, daß die relative Position des Skalpells und des Ziels präzise kontrolliert werden kann, selbst wenn das Herz gerade schlägt).

Der menschliche Operateur dieser chirurgischen Teleoperator-Systeme hat im allgemeinen nicht nur Zugang zu visuellen Bildern des Herzens in Echtzeit (über die telerobotischen Kameras im System), sondern auch zu Informationen in Form von augmentierter Realität, die aus anderen Abtastungsformen stammen und über den realen Bildern eingeblendet werden. Einige dieser anderen Bilder, wie das bereits erwähnte Ultraschallbild werden in Echtzeit gewonnen; andere fassen Informationen zusammen, die zu verschiedenen Zeiten erhalten wurden, und tragen zur Kenntnis des Chirurgen von der Herzgeschichte des jeweiligen Patienten bei.

Alle mit solchen telerobotischen Chirurgiesystemen durchgeführten Operationen werden mit visuellen, akustischen und mechanischen Medien aufgezeichnet und gespeichert. Die Operationen können dann jederzeit von jedem Individuum, das wie Jennifer über das geeignete Wiedergabegerät verfügt, abgespielt werden (und dabei nicht nur gesehen und gehört, sondern auch mit dem Tastsinn empfunden werden). Aufzeichnungen werden im allgemeinen klassifiziert als »Master«, »Standard« und »verpfuscht«, entsprechend der Qualität der durchgeführten Operation. Wie zu erwarten, widersetzte sich die *American Medical Association* anfänglich der Aufzeichnung von Operationen; allerdings stimmte sie später dann doch zu, als ein System entwickelt war, das die Anonymität des Chirurgen gewährleistete, und der Oberste Gerichtshof entschieden hatte, daß Patienten und Versicherungen keinen Zugang zur gespeicherten Information haben sollten. An diesem speziellen Abend untersucht Jennifer zwei doppelte Bypass-Operationen in Master-Qualität und eine verpfuschte dreifache Bypass-Operation.«¹⁴

Die Zukunftsvision dieses Szenarios ist ausgehend von Systemen wie Hunters mikrochirurgischem Roboter konstruiert. Unter den vielen bemerkenswerten Zügen dieser Erzählung ist für meine Zwecke vielleicht am wichtigsten die beschriebene Medialisierung und gleichzeitige Umdefinierung der menschlichen

Handlungsträgerschaft. Das Komitee hebt ab auf die Nützlichkeit des Systems für Lehrzwecke. In Hunters System können mehrere Teilnehmer »eingebildet« und »ausgebildet« werden, so daß sie tatsächlich selbst fühlen können, was der Chirurg, der den Roboter steuert, fühlt.

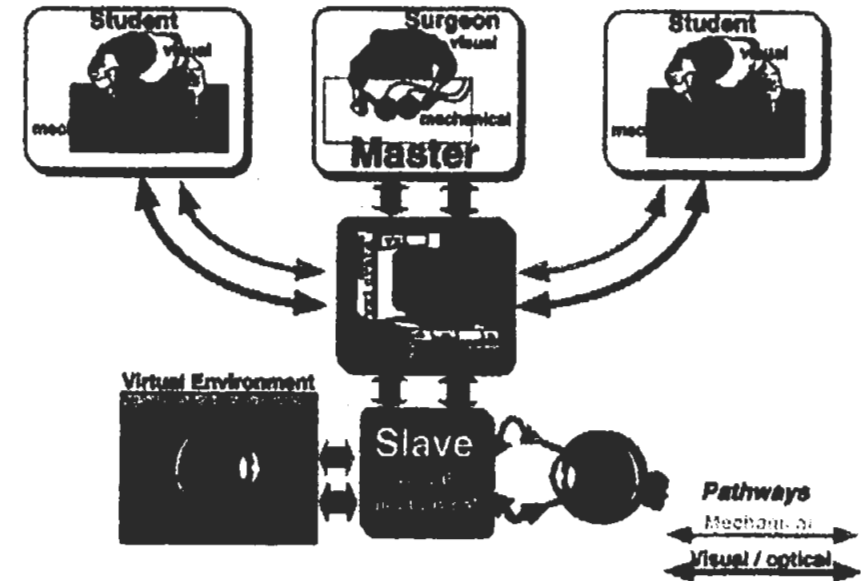


Abb. 6: Zu sehen ist die »Einblendung« von Studenten der Chirurgie

Doch hier scheint ein Videorücklauf-Effekt einzusetzen: Es ist schwer zu bestimmen, wer die Kontrolle hat: Mensch oder Robotersystem. Ganz eindeutig programmiert ein Team aus Menschen den Roboter, doch der Roboter steigert die Wahrnehmungsfähigkeit und führt tatsächlich die Hand des Chirurgen, denn er korrigiert Fehler, die auf (von Menschen erzeugte) Zitterbewegungen zurückgehen. Die führende Hand des mikrochirurgischen Systems »trainiert« Jennifers erratische Bewegungen.

Chirurgie im Zeitalter der Medialisierung

Die beschriebenen mikrochirurgischen Systeme stellen keineswegs nur ungezügelt Phantasien von technikbegeisterten Chirurgen dar. Nach etwas mehr als einem Jahrzehnt ernsthafter Entwicklung werden viele dieser Systeme bereits in manchen Teilen Europas eingesetzt und sind mehrere von ihnen für klinische

¹⁴ Nathaniel I. Durlach/Anne S. Mavor (Hg.), *Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges*, Washington D.C. 1995, S. 25f.

Versuche in den USA zugelassen worden. Selbstverständlich stellen diese Entwicklungen keineswegs eine große Bewegung in der heutigen Medizin dar; nur ein Bruchteil der Fördermittel für medizinische Entwicklung wird auf sie verwandt. Dennoch ist es wichtig, sich Gedanken zu machen über die Bedingungen, die zu einer Implementierung in größerem Maßstab führen würden, und über die Konsequenzen, die ein umfassender Einsatz dieser Technologien für Patienten wie für Chirurgen hätte. Beginnen wir damit, die Argumente der Befürworter der neuen Systeme zu erwägen sowie den ökonomischen und politischen Druck, der ihre Bemühungen unterstützt.

Die Befürworter argumentieren mit den kostensparenden Aspekten der neuen Technologien: Die Eingriffe sind nicht mehr so umfangreich und die Genesungschancen der Patienten besser, da der Blutverlust während der Operation geringer ist und der Eingriff genauer geplant und präziser durchgeführt werden kann. Befürworter verweisen außerdem auf den effizienteren Einsatz kostspieliger Einrichtungen, der durch Telepräsenz und verbesserte Ausbildungsmöglichkeiten für angehende Chirurgen möglich ist. Mit solchen Argumenten wird auch unsere Toleranz für hohe Fehlerraten bei Operationen in Frage gestellt (in manchen Bereichen größer als 10%), wo wir doch in anderen Risikobereichen, etwa der Ausbildung von Piloten für kommerzielle Fluglinien, schon eine Fehlerquote von 2% unerträglich finden. Im Falle der Piloten könnte einer der Gründe für das geringe Auftreten von Fehlern durchaus in den qualitativ hochwertigen Simulationstechniken in der Ausbildung liegen.

Ein bezeichnendes Merkmal der heutigen medizinischen Versorgung ist die Aufmerksamkeit, mit der auf den individuellen Patienten zugeschnittene Gesundheits-Pläne, Diagnosen und Therapien entwickelt werden. Dies trifft sich mit der Forderung, den Einzelnen bei Entscheidungen, die seine eigene Gesundheit betreffen, stärker einzubeziehen. Die neuen chirurgischen Techniken decken sich mit diesem Interesse an individuell zugeschnittenen Therapien. Wie ich oben angedeutet habe, ermöglichen die neuen Modellierungs- und Simulationswerkzeuge die Gestaltung von Operationsverfahren, die auf den Daten des jeweiligen Patienten beruhen und weniger auf einer allgemeinen Erfahrung mit einer bestimmten Bedingung, d.h. wenn Situation *y* vorliegt, ist Verfahren *x* anzuwenden. Dynamische Simulations- und Modellierungstools ermöglichen es den Chirurgen, alternative Operationspläne aufzustellen, die auf aktuellen anatomischen und physiologischen Daten beruhen und auf spezifische Ergebnisse hinsichtlich Lebensstil und Erwartungen des Patienten projiziert werden. Verfechter der neuen chirurgischen Werkzeuge argumentieren, daß damit das Herumraten bei der Auswahl eines spezifischen Verfahrens für den jeweiligen Fall wegfällt. Solche Ergebnisse erhöhen nicht nur die Zufriedenheit der Patienten, sondern verringern auch die kostenaufwendige Wiederholung von Verfahren, die beim ersten Durchgang noch nicht optimiert waren.

Der Nachteil der größeren Präzision für den einzelnen Patienten besteht natürlich in der erhöhten Überwachung. Es ist merkwürdig ironisch, daß die neue Technologie es zwar ermöglicht, auf das einzelne Individuum spezifisch ausge-

richtete Therapien zu gestalten – einschließlich Medikamente – und dieses somit auf eine nie dagewesene Weise von Krankheit und Behinderung zu befreien, daß dies aber am wirksamsten und kostengünstigsten geschieht, wenn ein massives System der präventiven medizinischen Versorgung vom Genom bis zur Lebensweise durchgesetzt wird. Das Zeitalter der Medialisierung bringt eine Medialisierung unseres Lebensstils mit sich.

Es ist relativ leicht zu sehen, wie die hier erkundeten chirurgischen Systeme mit dieser Situation zusammenpassen. Die von mir diskutierten Systeme verwenden anatomische Blaupausen und Patientendaten als Hilfen beim chirurgischen Vorgehen, doch andere Schichten der Augmentierung sind zu erwarten. In Analogie zu den üblichen CAD-CAM-Programmen, in die bereits Materialeinschränkungen, Kostenfaktoren und baugesetzliche Regelungen eingebaut sind, könnten auch chirurgische Simulatoren mit einer Liste der erlaubten Eingriffe ausgestattet sein, die die Krankenversicherung des Patienten autorisiert, und entsprechend dem Versicherungsleistungsplan könnten innerhalb dieser Liste verschiedene Behandlungspakete vorgeschrieben werden. Gegenwärtig ist es in einer Reihe von Staaten in den USA so, daß Krankenhäuser und Gesundheitseinrichtungen, die Medicaid-Gelder erhalten, Patienten nach einer Prioritätenliste von Diagnosen und Behandlungsverfahren behandeln müssen, geordnet nach Kriterien wie Lebenserwartung, Lebensqualität, Kosteneffektivität einer Behandlungsmethode und Umfang ihres Nutzens. Der *Oregon Health Plan*, bei dem dieses System zuerst eingeführt wurde, stuft 700 Diagnosen und Behandlungen in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit ein. Posten unterhalb der Linie 587 werden nicht anerkannt.¹⁵ Üblicherweise überprüft in Einrichtungen wie Notaufnahmestationen ein Team-Supervisor die von den Ärzten des Teams verordnete Behandlung, und für ärztliche Entscheidungen, die die Richtlinien verletzen, muß der verordnende Arzt eine formelle schriftliche Begründung liefern. Die Ärzte sind unwillig, sich mit dieser zusätzlichen bürokratischen Ebene auseinanderzusetzen, insbesondere seit die finanziellen Risiken, die durch eine Verweigerung von Medicaid-Geldern eingegangen werden, eine mögliche Quelle der Reibung mit der Verwaltung der medizinischen Einrichtung, die sie beschäftigt, darstellen. In Zukunft könnten die geeigneten Einschränkungen und Effizienzmaßnahmen in den Planungssimulator der chirurgischen Behandlung einprogrammiert werden.

Die neuen computer-intensiven, stark vernetzten Chirurgiesysteme, die ich hier erkundet habe, haben ebenfalls Konsequenzen für die Disziplin der Chirurgie und für den Handlungsträger, den wir *Chirurg* nennen. Im Zeitalter der heroischen Medizin, in den Tagen vor dem Aufkommen des kollektiven Gesundheitssystems, wurden die Chirurgen als die autonomsten aller professionellen Agenten gefeiert. Die Gesellschaft verlieh diesen Halbgöttern in Weiß der

¹⁵ Jerome P. Kassirer, »Managed Care and the Morality of the Marketplace«, in: *The New England Journal of Medicine*, 333.1 (1995), S. 50–52; Thomas Bodenheimer, »The Oregon Health Plan – Lessons for the Nation, Part One«, in: *The New England Journal of Medicine*, 337.9 (1997), S. 651–655; Thomas Bodenheimer, »The Oregon Health Plan – Lessons for the Nation, Part Two«, in: *The New England Journal of Medicine*, 337.10 (1997), S. 720–723.

chirurgischen Stationen einen hohen Status und eine große Autonomie für ihre Fähigkeit, gewaltige Beträge wissenschaftlichen und medizinischen Wissens komprimiert in ihrer chirurgischen Praxis zum Tragen zu bringen.¹⁶ Diese ›Jungs‹ (denn Chirurgen waren mit überwältigender Mehrheit männlich) hatten das sprichwörtliche ›Zeug‹, das Handlungsträger auszeichnet. Doch in den hier betrachteten Telerobotik-Systemen löst sich die Chirurgentätigkeit auf in zunehmend durch Computer vermittelte Technologien der Wahrnehmung, Diagnose, Entscheidung, Geste und Rede. Der einst autonome Chirurgieagent wird ersetzt durch eine Sammlung von Softwareagenten, die in Megabits von Computer-codes eingebettet sind. Wie ist dergleichen möglich?

Betrachten wir den Chirurgen, der eine Aortenprothese plante, bevor es Volumen-Bildgebung in Echtzeit gab. Er verwendete einen anatomischen Atlas – oder vielleicht in jüngerer Zeit einen anatomischen 3D-Diabetrachter in Kombination mit Echokardiogrammen, CT-Scans und MRT-Bildern seines Patienten. Im günstigsten Fall hatte es der Chirurg mit einem Stapel zweidimensionaler Darstellungen zu tun, Querschnitten im Abstand einiger Millimeter. In der Vorstellung des Chirurgen wurden sie mental integriert und mit der Standard-Anatomie des Menschen verglichen. Durch einen komplexen Prozeß der Internalisierung, der Imagination und des Nachdenkens ›sah‹ der Chirurg die Strukturen, die er zu sehen erwartete, wenn er den tatsächlichen chirurgischen Eingriff vornehmen würde; in seiner Vorstellungswelt bildeten sie eine quasi-virtuelle chirurgische Schablone. Der Chirurg arbeitete als Kopf eines Teams im Operationssaal, zu dem Anästhesiologen und mehrere chirurgische Assistenten gehörten, doch er plante und führte die Operation selbst durch. Ganz gleich wie man die Situation aufteilt, die Position des Chirurgen als autonomes Handlungs- und Verantwortungszentrum war entscheidend für das System.

Im neuen chirurgischen Paradigma beginnt der Chirurg zunächst mit den MRT-, CT- und anderen physiologischen Patientendaten und gibt diese Daten in ein chirurgisches Modell. Dabei kommen eine Vielzahl von Software- und Datenmanagement-Werkzeugen zum Einsatz, um eine Simulation der geplanten Operation zu konstruieren. Ein ganzer Satz von Softwaretools ermöglicht eine solche Simulation, je nach dem Typ des durchzuführenden Eingriffs. *The Virtual Workbench*, *Cyberscalpel* und verschiedene andere Systeme, die anatomische und physiologische Daten mit Werkzeugen zur Finite-Elemente-Modellierung verbinden, gehören zu diesem neuen Repertoire von Tools, um einen chirurgischen Eingriff vorzubereiten. Ein Operationsplan wird ausgearbeitet, der die Navigationskoordinaten auflistet, sowie Schritt-für-Schritt-Prozeduren und spezifische Patientendaten, die an kritischen Punkten zu berücksichtigen sind. Die Simulation ist tatsächlich ein interaktives Hypermedia-Dokument.

¹⁶ Die klassischen Quellen für diesen Punkt sind Eliot Freidson, *The Profession of Medicine*, New York 1970; Magali Sarfatti Larson, *The Rise of Professionalism*, Berkeley 1977; Charles Rosenberg, *The Care of Strangers*, New York 1987; Paul Starr, *The Social Transformation of American Medicine: The Rise of a Sovereign Profession and the Making of a Vast Industry*, New York 1982.

Besonders deutlich illustriert *Voxel-Man* diese Hypertextualisierung des Körpers in der Chirurgie.¹⁷ Die dem Ansatz zugrundeliegende Idee besteht darin, in einem einzigen Rahmen ein computergeneriertes räumliches Modell mit einem vollständigen Anatomieatlas zu kombinieren, der eine textliche Beschreibung jedes beliebigen Details enthält, das für jedes Volumenelement in allen anatomischen Strukturen entlang des Pfades eines bestimmten chirurgischen Eingriffs notwendig ist. Diese Bestandteile ändern sich für die verschiedenen Wissensgebiete, wie beispielsweise strukturelle und funktionelle Anatomie. In einem bestimmten Bereich kann das gleiche Voxel (Volumenpixel-Element) zu unterschiedlichen Voxel-Sätzen gehören. Die Zugehörigkeit ist gekennzeichnet durch Objektetikettierungen, gespeichert in ›Attributbänden‹, die mit dem Bildband kongruent sind; dazu gehören auch Merkmale wie Vulnerabilität oder mechanische Eigenschaften, die für die chirurgische Simulation wichtig sein könnten. Weiterhin können patientenspezifische Daten für diese bestimmte Region einbezogen werden, wie die spezifischen Einzelbilder von MRT oder CT-Daten, die verwendet wurden, um die Simulation zu erstellen.

Solche intelligenten Bände sind nicht nur für die Vorbereitung der Operation gedacht oder später zur Lehre und Rekapitulation. Da der Hypertext-Atlas in einen patientenspezifischen Operationsplan eingebaut ist, übernimmt er die Rolle eines chirurgischen Begleiters in einem System ›augmentierter Realität‹. Bei Hunters chirurgischem Manipulator zum Beispiel erscheinen verschiedene Informationsstücke – patientenspezifische Daten wie MRT-Daten oder besondere Anmerkungen, die das Operationsteam angelegt hat, als es den Plan vorbereitete – am Rand der visuellen Simulation und verweisen auf bestimmte Aspekte des Vorgehens, die in einer bestimmten Phase des Eingriffs zu beachten sind. Das Chirurgenteam und das ausgearbeitete Verfahren sind somit in eine riesige Hypertexterzählung verräumlichter Skripts eingeschrieben, die im Laufe des Vorgehens aktiviert werden.

Noch bevor wir den Operationssaal der Zukunft betreten, ist es schon klar, daß Fertigkeiten und Hintergrundwissen der Chirurgen signifikant rekonfiguriert werden. Zwei Prozesse treiben diese Rekonfiguration an: Medialisierung und postmoderne verteilte Produktion. Schlüssel zur Medialisierung ist die Externalisierung bislang interner mentaler Prozesse, die buchstäbliche Einschreibung von Fertigkeiten in ein Inskriptionsgerät.¹⁸ Dieser Prozeß ist mehr als of-

¹⁷ Karl Heinz Höhne et al., *Voxel-Man 3D-Navigator: Inner Organs, Regional, Systemic and Radiological Anatomy*, CD-ROM-Satz, Berlin – Heidelberg 2000.

¹⁸ André Leroi-Gourhan und andere haben herausgestellt, daß ein Schlüsselmerkmal bei der Konstruktion neuer Medien in der Externalisierung mentaler Prozesse in einem Inskriptionsgerät oder Aufschreibesystem besteht. Vgl. André Leroi-Gourhan, *Hand und Wort. Die Evolution von Technik, Sprache und Kunst*, Frankfurt a.M. 1980 [1964]. Das Verhältnis der Lautschrift zur Rede ist das klassische Beispiel für dieses Phänomen, doch wie Friedrich Kittler und andere dargelegt haben, ist der Prozeß auch in anderen Inskriptionstechnologien offensichtlich. Vgl. Friedrich Kittler, *Aufschreibesysteme 1800/1900*, München 1985; Jacques Derrida, *Grammatologie*, Frankfurt a.M. 1994 [1974]. Als ausgezeichneten Überblick über das Problem vgl. David E. Wellbery, ›Foreword‹, in: Friedrich Kittler, *Discourse Networks 1800/1900*, Stanford 1988.

fensichtlich bei der Einführung neuer Medientechnologien in der Chirurgie, seien es Computervisualisierung, Modellierungs- und Simulationsmodule oder computergenerierte Schnittstellen virtueller Realität für die Interaktion mit dem Patientenkörper. Während früher verschiedene Aspekte der Visualisierung und präoperativen Planung in der geübten Imagination des Chirurgen stattfanden, werden diese mentalen Fertigkeiten jetzt externalisiert in objektorientierte Softwaremodule; und die delikate manuelle Geschicklichkeit, die in jahrelanger Übung gewonnen wurde, wird haptischen Interfacemodulen encodiert, die den Chirurgen bei der Durchführung eines schwierigen Eingriffs begleiten, anleiten und in vielen Fällen auch unterstützen. Wie wird sich all dies auf jenes heroische Subjekt auswirken, das wir einst als Chirurgen bezeichneten? Kann man in diesem neuen Techno-Superchirurgen eine aktualisierte Version des heroischen Chirurgen der letzten Generation erblicken? Dieser neue Chirurg dürfte zweifellos noch über Hintergrundwissen in den Texten und Praktiken der Anatomie, Biochemie, Physiologie und Pathologie verfügen, einschließlich einiger traditioneller Praktiken aus früheren Generationen. Doch er wird Vertrautheit mit, wenn nicht gar praktische Erfahrung in neuen Feldern benötigen, wie beispielsweise Biophysik, Computergrafik und -animation, Biorobotik, mechanische und biomedizinische Technik. Er wird ebenso über Netzwerkdienste und Fragen der Bandbreite Bescheid wissen müssen, denn diese sind ermöglichende Bestandteile seiner Praxis. Selbstverständlich ist es unrealistisch anzunehmen, daß der heroische Chirurg der letzten Generation mit all diesen Merkmalen zusätzlich ausgestattet daherkommen wird, genausowenig wie die Abiturienten des nächsten Jahres mit Rechenschiebern in den Mathematikunterricht gehen werden. Nach allem, was wir über postmoderne verteilte Produktion gelernt haben, sind flache Organisationsstrukturen, verteiltes Teamwork und Modularisierung zu erwarten. Angesichts der Komplexität all dieser Felder werden die chirurgischen Systeme ziemlich wahrscheinlich als schlüsselferrige Pakete daherkommen. Viele Chirurgen werden in Systemen operieren, die »Routine«-Bypass-Operationen durchführen, bei denen vorgefertigte Operationspläne ausgeführt werden, die aus einer Bibliothek gespeicherter Simulationen der sie beschäftigenden Firma stammen. Damit will ich nicht sagen, daß Chirurgen in Zukunft einfach zu Technikern werden oder daß die Chirurgie aufhören wird, ein äußerst kreatives Feld zu sein. Allerdings glaube ich, daß die Kreativität anderer Art sein wird, da viele der jetzt von Chirurgen internalisierten Funktionen künftig in betriebsfertigen chirurgischen Software-Paketen externalisiert sein werden, ähnlich wie sich Ausbildung, Gestaltungspraktiken und Kreativität der Architekten durch computerunterstützte Lösungen wie Autocad, 3D Studio Max oder Maya verändert haben. Einige Chirurgen mit Zugang zu Ressourcen werden zweifellos mit chirurgischer Planungsarbeit auf höherer Ebene befaßt sein, doch dies wird in einem Prozeß geschehen, der stark vermittelt ist durch Teamwork mit Softwareentwicklern, Robotikexperten und vielen anderen.

Durch die Medialisierung der Chirurgie werden sich andere, mit der Chirurgie verknüpfte Spezialgebiete ebenfalls verändern. Man denke nur an den Einfluß

der Chirurgie auf die Radiologie. Der Radiologe trug entscheidend zur Fähigkeit des Chirurgen bei, schon vor dem Zeitalter der Medialisierung eine derart komplexe Chirurgie überhaupt durchführen zu können. Wie der Chirurg war der Radiologe ein hoch angesehener und relativ autonomer Akteur. Als entscheidender Fachmann im Prozeß der Ausarbeitung des chirurgischen Eingriffs machte er Röntgenaufnahmen oder nahm in jüngerer Zeit CT, MRT oder verschiedene andere Typen des Scannings vor, je nach der Diagnose der vermuteten Krankheit. Mit Hilfe von etwa einem Dutzend Röntgenbildern oder etwa hundert Querschnitten einer Computer- oder Magnetresonanztomographie bereitete er dann einen Diagnosebericht für den Chirurgen vor. Wie die Fertigkeit des Chirurgen hing auch die Diagnosefähigkeit des Radiologen stark davon ab, daß er scharfe mentale Beobachtungsfähigkeiten entwickelte, um Artefakte aufzuspüren und Verletzungen oder andere Anomalien zu entdecken, die zum Gegenstand seines Berichts werden würden. Doch die relative Autonomie des Radiologen und seine Beziehung zu Diagnose und chirurgischem Planungsprozeß wird sich in naher Zukunft gewiß wandeln. In dem Maße, wie in Echtzeit generierte Computerbilder zur Norm werden, werden Softwaretools zur Visualisierung und automatisierten Segmentierung von Geweben den Radiologen als Interpreten der Daten ersetzen. Bereits jetzt nimmt der Druck in diese Richtung zu, da die Hersteller von Bildgebungssystemen wie Siemens, GE und Brücke Systeme installieren, die in kurzer Zeit über tausend Bilder anstelle von ein paar Dutzend Querschnitten generieren können. Durch eine Explosion neuer Daten geraten die Radiologen zur Zeit unter Druck. Angesichts der Grundregel der Datenverarbeitung, daß wertvolle Daten nicht ungenutzt bleiben sollen, wird die Segmentierung dieser Daten in Gewebe, Organe und andere anatomische Strukturen, zusammen mit dem Aufspüren von Anomalien, zu einem Problem der Softwareautomatisierung. Während automatisierte Werkzeuge für den Umgang mit den explosionsartig anwachsenden Bilddaten auf den Markt kommen, wird sich die Radiologin zweifellos in ihrer professionellen Aktivität und Ausbildung umorientieren und an neuen Problemen ausrichten wie beispielsweise der Entwicklung chirurgischer Simulationen. Dabei werden die Radiologen eng mit Programmierern und Softwareentwicklern zusammenarbeiten müssen. Es erübrigt sich zu sagen, daß, wenn die Radiologie als ein medizinisches Spezialgebiet überleben sollte, sich Hintergrund, Wissenstypen und praktische Ausbildung des Fachs radikal verändern werden.

Sollen wir diese Entwicklungen bedauern? Nicht wenige haben das Gefühl, daß die von mir beschriebene zunehmende technische Vermittlung in der Chirurgie – zusammen mit den entsprechenden Veränderungen in Organisation, Finanzierung, Berufsbildern und Personalstruktur – ein weiterer Schritt in Richtung Enthumanisierung der Medizin durch das Vorrücken der Technik darstellt. Schon diese Systeme zu beschreiben, bedeutet für viele, sie in gewissem Sinne zu feiern, während unsere Rolle als medizinische Humanisten darin bestehen sollte, das technische Interface zu kritisieren und uns ihm zu widersetzen, da es einen Keil zwischen Ärzte und Patienten treibt. Auch wenn ich mit solchen Ansichten sympathisiere, frage ich mich, wo der überlegene moralische Standpunkt her-

fensichtlich bei der Einführung neuer Medientechnologien in der Chirurgie, seien es Computervisualisierung, Modellierungs- und Simulationsmodule oder computergenerierte Schnittstellen virtueller Realität für die Interaktion mit dem Patientenkörper. Während früher verschiedene Aspekte der Visualisierung und präoperativen Planung in der geübten Imagination des Chirurgen stattfanden, werden diese mentalen Fertigkeiten jetzt externalisiert in objektorientierte Softwaremodule; und die delikate manuelle Geschicklichkeit, die in jahrelanger Übung gewonnen wurde, wird haptischen Interfacemodulen encodiert, die den Chirurgen bei der Durchführung eines schwierigen Eingriffs begleiten, anleiten und in vielen Fällen auch unterstützen. Wie wird sich all dies auf jenes heroische Subjekt auswirken, das wir einst als Chirurgen bezeichneten? Kann man in diesem neuen Techno-Superchirurgen eine aktualisierte Version des heroischen Chirurgen der letzten Generation erblicken? Dieser neue Chirurg dürfte zweifellos noch über Hintergrundwissen in den Texten und Praktiken der Anatomie, Biochemie, Physiologie und Pathologie verfügen, einschließlich einiger traditioneller Praktiken aus früheren Generationen. Doch er wird Vertrautheit mit, wenn nicht gar praktische Erfahrung in neuen Feldern benötigen, wie beispielsweise Biophysik, Computergrafik und -animation, Biorobotik, mechanische und biomedizinische Technik. Er wird ebenso über Netzwerkdienste und Fragen der Bandbreite Bescheid wissen müssen, denn diese sind ermöglichende Bestandteile seiner Praxis. Selbstverständlich ist es unrealistisch anzunehmen, daß der heroische Chirurg der letzten Generation mit all diesen Merkmalen zusätzlich ausgestattet daherkommen wird, genausowenig wie die Abiturienten des nächsten Jahres mit Rechenschiebern in den Mathematikunterricht gehen werden. Nach allem, was wir über postmoderne verteilte Produktion gelernt haben, sind flache Organisationsstrukturen, verteiltes Teamwork und Modularisierung zu erwarten. Angesichts der Komplexität all dieser Felder werden die chirurgischen Systeme ziemlich wahrscheinlich als schlüsselfertige Pakete daherkommen. Viele Chirurgen werden in Systemen operieren, die »Routine-Bypass-Operationen durchführen, bei denen vorgefertigte Operationspläne ausgeführt werden, die aus einer Bibliothek gespeicherter Simulationen der sie beschäftigenden Firma stammen. Damit will ich nicht sagen, daß Chirurgen in Zukunft einfach zu Technikern werden oder daß die Chirurgie aufhören wird, ein äußerst kreatives Feld zu sein. Allerdings glaube ich, daß die Kreativität anderer Art sein wird, da viele der jetzt von Chirurgen internalisierten Funktionen künftig in betriebsfertigen chirurgischen Software-Paketen externalisiert sein werden, ähnlich wie sich Ausbildung, Gestaltungspraktiken und Kreativität der Architekten durch computerunterstützte Lösungen wie Autocad, 3D Studio Max oder Maya verändert haben. Einige Chirurgen mit Zugang zu Ressourcen werden zweifellos mit chirurgischer Planungsauf höherer Ebene befaßt sein, doch dies wird in einem Prozeß geschehen, der stark vermittelt ist durch Teamwork mit Softwareentwicklern, Robotikexperten und vielen anderen.

Durch die Medialisierung der Chirurgie werden sich andere, mit der Chirurgie verknüpfte Spezialgebiete ebenfalls verändern. Man denke nur an den Einfluß

der Chirurgie auf die Radiologie. Der Radiologe trug entscheidend zur Fähigkeit des Chirurgen bei, schon vor dem Zeitalter der Medialisierung eine derart komplexe Chirurgie überhaupt durchführen zu können. Wie der Chirurg war der Radiologe ein hoch angesehener und relativ autonomer Akteur. Als entscheidender Fachmann im Prozeß der Ausarbeitung des chirurgischen Eingriffs machte er Röntgenaufnahmen oder nahm in jüngerer Zeit CT, MRT oder verschiedene andere Typen des Scannings vor, je nach der Diagnose der vermuteten Krankheit. Mir Hilfe von etwa einem Dutzend Röntgenbildern oder etwa hundert Querschnitten einer Computer- oder Magnetresonanztomographie bereite er dann einen Diagnosebericht für den Chirurgen vor. Wie die Fertigkeit des Chirurgen hing auch die Diagnosefähigkeit des Radiologen stark davon ab, daß er scharfe mentale Beobachtungsfähigkeiten entwickelte, um Artefakte aufzuspüren und Verletzungen oder andere Anomalien zu entdecken, die zum Gegenstand seines Berichts werden würden. Doch die relative Autonomie des Radiologen und seine Beziehung zu Diagnose und chirurgischem Planungsprozeß wird sich in naher Zukunft gewiß wandeln. In dem Maße, wie in Echtzeit generierte Computerbilder zur Norm werden, werden Softwaretools zur Visualisierung und automatisierten Segmentierung von Geweben den Radiologen als Interpreten der Daten ersetzen. Bereits jetzt nimmt der Druck in diese Richtung zu, da die Hersteller von Bildgebungssystemen wie Siemens, GE und Brücke Systeme installieren, die in kurzer Zeit über tausend Bilder anstelle von ein paar Dutzend Querschnitten generieren können. Durch eine Explosion neuer Daten geraten die Radiologen zur Zeit unter Druck. Angesichts der Grundregel der Datenverarbeitung, daß wertvolle Daten nicht ungenutzt bleiben sollen, wird die Segmentierung dieser Daten in Gewebe, Organe und andere anatomische Strukturen, zusammen mit dem Aufspüren von Anomalien, zu einem Problem der Softwareautomatisierung. Während automatisierte Werkzeuge für den Umgang mit den explosionsartig anwachsenden Bilddaten auf den Markt kommen, wird sich die Radiologin zweifellos in ihrer professionellen Aktivität und Ausbildung umorientieren und an neuen Problemen ausrichten wie beispielsweise der Entwicklung chirurgischer Simulationen. Dabei werden die Radiologen eng mit Programmierern und Softwareentwicklern zusammenarbeiten müssen. Es erübrigt sich zu sagen, daß, wenn die Radiologie als ein medizinisches Spezialgebiet überleben sollte, sich Hintergrund, Wissenstypen und praktische Ausbildung des Fachs radikal verändern werden.

Sollen wir diese Entwicklungen bedauern? Nicht wenige haben das Gefühl, daß die von mir beschriebene zunehmende technische Vermittlung in der Chirurgie – zusammen mit den entsprechenden Veränderungen in Organisation, Finanzierung, Berufsbildern und Personalstruktur – ein weiterer Schritt in Richtung Enthumanisierung der Medizin durch das Vorrücken der Technik darstellt. Schon diese Systeme zu beschreiben, bedeutet für viele, sie in gewissem Sinne zu feiern, während unsere Rolle als medizinische Humanisten darin bestehen sollte, das technische Interface zu kritisieren und uns ihm zu widersetzen, da es einen Keil zwischen Ärzte und Patienten treibt. Auch wenn ich mit solchen Ansichten sympathisiere, frage ich mich, wo der überlegene moralische Standpunkt her-

kommen soll, um eine kritische Begrifflichkeit zu entwickeln. Meiner Ansicht nach gibt es hier keinen möglichen Ort der Kritik. Die von mir behandelten Episoden und die Geschwindigkeit der stattfindenden Veränderungen scheinen einen schleichenden technologischen Determinismus nahezulegen, was jedoch keineswegs der Fall ist. Jeder der von mir beschriebenen technischen Schritte involviert Verhandlungen in einem umfangreichen Netzwerk von Akteuren, Maschinen und Märkten. Die eingesetzte Technologie stützt sich zwar einerseits auf militärisch geförderte Forschung in den Bereichen Simulation, Netzwerke und Robotik, doch gleichzeitig hängt sie von Bildtechnologien ab, die durch Preisreduktionen von der Unterhaltungselektronik-Industrie her angetrieben werden, insbesondere Verbesserungen der 3D-Computergrafik durch Firmen der Spitzentechnologie, die die Videospiegelindustrie beliefern, wie beispielsweise Nvidia. Die diese chirurgische Revolution antreibenden Komponententechnologien werden rasch allgegenwärtig. Sie sind in derart viele Aspekte unseres Lebens eingegangen, von den Werkzeugen an unseren Arbeitsplätzen über unsere Handys und persönlichen digitalen Assistenten bis hin zu unseren Unterhaltungsgeräten, daß sich hier unmöglich noch ›die Guten‹ und ›die Schurken‹ identifizieren lassen. Nicht weniger problematisch für die Kritik sind die Werte, die die Veränderungen motivieren. Wer kann etwas aussetzen haben an dem erklärten Ziel, durch fortgeschrittene endoskopische Verfahren das Spektrum der operablen Fälle zu erweitern, Blutverlust und Infektionsgefahren zu verringern und Genesungszeiten zu verkürzen? Oder wer hat angesichts der enormen Kosten im Gesundheitswesen ein Problem damit, daß die medizinische Versorgung effektiver werden soll durch Trainings- und Simulationsübungen, die wiederum mit besser auf die Bedürfnisse des spezifischen Individuums eingehenden Diagnose- und Operationsverfahren verknüpft sind? Sind diese Ziele nicht stets die eigentlichen Motivationen einer am Patienten orientierten humanen Medizin gewesen?

Vielleicht noch problematischer für die Identifizierung eines kritischen Standpunktes ist das von mir als ›Medialisierung‹ bezeichnete Phänomen. Durch diesen Ausdruck wollte ich die Aufmerksamkeit auf die Arten und Weisen lenken, wie der medizinische Körper neu als digitaler Körper definiert wird. Von Stammzellen bis hin zu voll entwickelten Organismen bilden digitale Medien das Interface für die medizinische Intervention. Doch Medien sind keine transparenten Geräte – und die neuen Medien mit ihrer verstärkten Beteiligung aller Sinne vielleicht noch weniger als frühere Medienkonfigurationen. Medien sind nicht nur beteiligt an der Schaffung von Wunschobjekten, sie sind Wunschmaschinen, die uns formen. Durch die Medialisierung entsteht unser Wunsch nach dem digitalen medizinischen Körper. Medien schreiben unsere Situation ein: Es ist schwer zu sehen, wie wir uns dem auf irgendeinem moralisch neutralen Standpunkt entziehen könnten.

(Aus dem Amerikanischen von Gustav Roßler)