

David Gugerli: Der fliegende Chirurg. Kontexte, Problemlagen und Vorbilder der virtuellen Endoskopie. In: David Gugerli, Barbara Orland (Hg.): Ganz normale Bilder : historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit. Zürich: Chronos 2002, p. 251 – 270.

251

David Gugerli

Der fliegende Chirurg

Kontexte, Problemlagen und Vorbilder der virtuellen Endoskopie¹

Die Metapher

Wer sich zu Beginn der 1990er-Jahre für die neuesten Entwicklungen im Bereich medizinischer Visualisierungstechniken interessierte, der stolperte vielleicht im *Spektrum der Wissenschaft* über einen Bericht mit dem Titel *Räumliche Bilder des Körperinneren*. Der Artikel hielt mehr, als er im Titel zu versprechen schien. Wörtlich konnte man da lesen: «Bevor der Chirurg eine komplizierte Operation im Brustraum vornimmt, setzt er sich an einen Bildschirm und fliegt gleichsam durch den Körper des Patienten. Mit einem Steuerknüppel kann er die Bahn seiner imaginären Späherkapsel sowie seine eigene Blickrichtung bestimmen. Ein gesprochenes Wort an den Computer genügt, und die Rippen werden durchsichtig, sodass die Lunge ungehindert zu betrachten ist. Auch diese wird auf seinen Befehl hin transparent, und er studiert die Bronchien und die Blutgefäße in ihrer räumlichen Struktur. Zuletzt untersucht er die Qualität und Schliessgenauigkeit der Herzklappen, während das Herz ruhig vor sich hin schlägt.»² Das war, 1993, ein ziemlich fantastisches Szenarium, dem nur eine metaphorische Redeweise gerecht werden konnte – Grund genug also, den Chirurgen als Piloten auftreten zu lassen, obwohl die beiden Berufe recht wenig miteinander zu tun hatten. Zwar waren sowohl dem Chirurgen wie auch dem Piloten ein hohes professionelles Prestige, eine attraktive Gehaltsklasse, eine lange Ausbildungszeit sowie ein kühler Umgang mit Risiken eigen. Beide wussten sie auch stellvertretend für ein ganzes Team aufzutreten und damit ihre *attendants* und *assistants* in Vergessenheit geraten zu lassen. Von solchen Gemeinsamkeiten abgesehen waren sie jedoch so verschieden wie die Farbe ihrer Berufskleidung. Der zitierte Ausschnitt aus dem *Spektrum der Wissenschaft* spielte ganz offensichtlich und bewusst mit der Einführung dessen, was nicht zusammen-

gehörte. Die übertragene Redeweise, die Metapher, sollte die Leser überraschen und so auf das omnipotente, fast schon märchenhafte Blickregime vorbereiten, das einem fliegenden Chirurgen eigen wäre. Sein Auftritt wurde deshalb dem stereotypen Erscheinungsbild eines Herrschers, eines Kommandanten und eines Unternehmers nachmodelliert: Nur dem König genügt ein gesprochenes Wort an die ihn umgebende Apparatur, um scheinbare Gegebenheiten zu verändern. Nur in den geschlossenen Kommandoräumen hat man den transparenten Einblick in jene Einsatzräume, in denen kriegsentscheidende Angriffe stattfinden werden. Und nur die Monitore eines Unternehmers gewähren seit Chaplins *Modern Times* jene realen Kontrollchancen, die tayloristische Produktionsabläufe erfordern.

Man wird die metaphorische Rede im *Spektrum der Wissenschaft* auch als Spiel mit der Grenze zwischen Science-Fiction und *science facts* gelesen haben. Popularisierende Artikel über aktuelle Entwicklungen an der wissenschaftlichen Front streifen diese Grenze mit Vorliebe, einzig um in den Köpfen ihrer Leserschaft Utopisches in beinahe schon Realisiertes zu verwandeln. Hans-Peter Meinzer, Autor des zitierten Artikels und Medizininformatiker am Deutschen Krebsforschungsinstitut in Heidelberg, verwendete diese diskursive Strategie ebenfalls. Und er verband seine metaphorische Rede vom fliegenden Chirurgen dadurch mit dem Boden der Realität, dass er die beschriebene Vision als «keineswegs utopisch» bezeichnete. «Was zu ihrer Realisierung erforderlich ist, existiert bereits oder wird in naher Zukunft zur Verfügung stehen. Es bedarf allerdings gemeinsamer Anstrengungen von Medizinern und Informatikern, um die Bausteine zu einem funktionsfähigen Ganzen zusammenzufügen.»³

Dieses «funktionsfähige Ganze» hat unter dem Namen «virtuelle Endoskopie» in den 1990er-Jahren einen beachtlichen Entwicklungsschub erlebt. Kontexte, Problemlagen und Vorbilder dieser Entwicklung werfen drei grundlegende technikhistorische Fragen auf. Die erste Frage betrifft das Verhältnis von Technikvision und Entwicklungsstrategie. Was hatte die Vision vom fliegenden Chirurgen mit den Koordinationsproblemen eines äusserst heterogenen, von Informatikern, Medizinern und Ingenieuren besetzten Entwicklungsfeldes zu tun? Zweitens stellt sich die Frage, wie bereits durch die metaphorische Rede zukünftige Vertrautheit mit der neuen Technik vorbereitet worden ist. Und drittens ist die von Meinzer metaphorisch beschriebene virtuelle Endoskopie deshalb interessant, weil die Diskrepanz zwischen ihrer visionären Beschreibung und ihren zukünftigen Selbstverständlichkeiten während ihres Entwicklungsprozesses noch nicht eliminiert worden ist.

Zur Debatte stehen also die historischen Möglichkeitsbedingungen des Aufbaus eines neuen piktorialen Regimes und der dazugehörigen visuellen Diskursivität. Meine Überlegungen sind in folgende Schritte aufgeteilt: Erstens

sollen die technischen Ansprüche der virtuellen Endoskopie beschrieben werden, um anschliessend die *Informatisierung* mit ihren piktorialen Regimes als neue Entwicklungskontexte in der Medizin bestimmen zu können. Diese Ansprüche und Entwicklungskontexte haben Problemlagen geschaffen, die insbesondere mit der Präzedenzlosigkeit der neuen Seherfahrung und mit dem Ziel, eine Beliebigkeit der diagnostischen Perspektive zu ermöglichen, zusammenhängen. Die von solchen Problemlagen erzeugte Unübersichtlichkeit des Entwicklungsprozesses forderte aber auch technikspezifische Deutungshorizonte und Assoziationen heraus und führten zu einer eigenen visuellen Semantik im Diskurs über virtuelle Endoskopie. Erst diese «Diskursivität» der Bilder hat die Re-Orientierung sowohl der Entwicklergemeinschaft wie auch ihrer zukünftigen Kunden ermöglicht. Die Metaphorik (auch des fliegenden Chirurgen) wurde zum handlungs- und entscheidungsrelevanten Entwicklungsinstrument.

Virtuelle Endoskopie als Verfahren

Herkömmliche tomografische Bilder produzieren zweidimensionale Querschnitte eines Organs, welche dann von Radiologen so interpretiert werden müssen, dass diese aus der Sequenz von Bildern die räumlichen Verhältnisse des untersuchten Organs rekonstruieren können. Im Unterschied dazu ist die virtuelle Endoskopie, welche man auch computergestützte Endoskopie nennen könnte, ein Bildverarbeitungsverfahren, welches die Bilddatensätze von Computer- oder Magnetresonanztomografen rechnerisch so verarbeitet, dass dabei simulierte räumliche Visualisierungen eines patientenspezifischen Organs erzeugt werden können. Die einzelnen Bildelemente (Pixel oder *picture elements*) werden zu so genannten Voxeln (*volume picture elements*) gemacht, indem die einzelnen Schnittbilder «aufeinander gelegt» werden und so ein dreidimensionales Gefüge entstehen lassen. Virtuelle Endoskopie ist also eine dreidimensionale Darstellung von tomografisch gewonnenen Daten, die mit Hilfe raffinierter Algorithmen in hoch leistungsfähigen Grafikrechnern verarbeitet werden. In diesen Datenraum kann nun eine «Flugbahn» gelegt werden, entlang deren sich ein imaginiertes Kameraauge bewegt (*fly-through*). Am häufigsten werden dabei Simulationen einer herkömmlichen, also mechanisch invasiven endoskopischen Untersuchung berechnet. Ziel der virtuellen Endoskopie ist eine in Echtzeit und vollautomatisch ablaufende Verarbeitung von Scannerdaten, in deren virtuellem Raum nach Belieben die diagnostische Blickrichtung des Radiologen sowie die Ausleuchtung und Opazität der untersuchten Organe verändert werden kann.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an der virtuellen Endoskopie bildeten seit den 1990er-Jahren eine der letzten Raffinessen aller Visualisierungstechniken des 20. Jahrhunderts. Mit Hilfe der virtuellen Endoskopie sollten aus dem von Tomografen und Rechnern erzeugten Datenraum heraus präzedenzlose Seherfahrten und Realitäten (re)konstruiert werden: Die ärztliche Diagnostik würde den virtuellen Raum für ihre Zwecke nutzbar machen können. Wie das *Deutsche Ärzteblatt* im April 2001 festhielt, waren (und sind) es «dreidimensionale (3-D-)Rekonstruktionen radiologischer Schnittbildverfahren», die «mit *virtuellen Flügen* durch Hohlorgane [...] *realistische Abbildungen* von Anatomie und pathologischen Veränderungen» ermöglichten. «Die Technik der dreidimensionalen Darstellung des Gastrointestinaltrakts mittels Magnetresonanztomografie (MRT) hat sich in den letzten Jahren entscheidend weiterentwickelt. Sie stellt *in Zukunft möglicherweise* eine neue, nichtinvasive *diagnostische Alternative* dar – vor allem bei der Früherkennung des kolorektalen Karzinoms, bei endoskopisch nicht passierbaren Kolontumoren, bei Komplikationen wie Strikturen und Fisteln bei chronisch entzündlichen Darmerkrankungen sowie bei *Kontraindikationen für eine konventionelle Koloskopie*.»⁴

So wenig die virtuelle Endoskopie den Status einer normalen Technik bislang erreicht hat, so standardisiert pflegt sich die Fachwelt bei ihrer Beschreibung und Einschätzung auszudrücken. Und dies schon seit rund einem Jahrzehnt. Auch wer in den 1990er-Jahren über virtuelle Endoskopie geschrieben hat, stellte seine Definition der Technik – in nur leichten Variationen – aus den immer gleichen Versatzstücken zusammen. In der Regel wurde die neue medizinische Visualisierungstechnik von einer älteren, «konventionellen» Technik abgehoben, man sah in ihr ein Angebot erhöhter diagnostischer Möglichkeiten und besonderer Patientenfreundlichkeit, und man strich zuhänden zukünftiger Nutzergruppen vor allem die Attraktivität der Visualisierungsform heraus. Deshalb musste diese denn auch so «realistisch» wie möglich sein – die Visualisierungstechnik sollte Unmittelbarkeit suggerieren in einer noch nie dagewesenen, eben: präzedenzlosen Weise.

Kennzeichen der virtuellen Endoskopie war die Neuartigkeit oder Präzedenzlosigkeit der Seherfahrt, und diese wiederum liess sich metaphorisch fassen als die Möglichkeit zu «virtuellen Flügen durch Hohlorgane», welche «realistische Abbildungen von Anatomie und pathologischen Veränderungen» erzeugen sollten. Doch auch Präzedenzlosigkeit ergibt sich nur im Rahmen eines bestimmten historischen Kontexts mit seinen Verweisungszusammenhängen. Sonst könnte sie weder imaginiert noch als solche erkannt werden. Deshalb müssen die historischen Bedingungen dieses Kontexts ausgeleuchtet werden und es muss der Frage nachgegangen werden, inwiefern die

Konstruktion historischer Referenzen dazu gedient haben mag, die Kontingenz einer noch nie dagewesenen Seherfahrung auf ein für die Entwicklungsgemeinschaft und die zukünftigen Nutzergruppen erträgliches und pragmatisches Mass zu reduzieren.

Die Kontexte:

«Informatisierung» und neues piktoriales Regime in der Medizin

Wie die Abb. 60 verdeutlicht, lässt sich virtuelle Endoskopie als ein neues medizintechnisches Forschungsfeld erst in den 1990er-Jahren überhaupt beobachten. Obwohl entsprechende Forschungen gemessen an absoluten Publikationszahlen lediglich ein Kräuseln an der Oberfläche des medizinischen Publikationsstroms bewirkt haben und zum Stichwort «Endoskopie» im herkömmlichen Sinn 1998 noch immer rund 200 Mal mehr Papers publiziert worden sind als über virtuelle Endoskopie im Speziellen, so hat sich der virtuelle, dreidimensionale und animierte Einblick in den menschlichen Körper dennoch als Spezialität der Forschungs- und Entwicklungslandschaft rund um die Begriffe *virtual reality*, *3D-animation*, *fly-throughs* und *virtual endoscopy* innerhalb weniger Jahre erstaunlich breit organisiert.⁵

Die virtuelle Endoskopie hat also eine sehr kurze Geschichte.⁶ Spuren von Vorgänger-Technologien finden sich in den 1980er-Jahren nur sporadisch. Dazu gehören allenfalls Vorschläge zur dreidimensionalen statischen Bildgebung und rechnergestützten Animation des menschlichen Körpers. Probleme der automatischen Bildsegmentierung sowie des *volume rendering* haben die medizinische Fachpresse ebenfalls bereits in dieser Zeit beschäftigt, meistens jedoch im Zusammenhang mit der Herstellung von anatomischen Modellen aus den Daten, welche der berühmtesten medizinischen Leiche des ausgehenden 20. Jahrhunderts so abgewonnen wurden, dass aus den Resten Paul Jernigans das *Visible Human Dataset* entstehen konnte.⁷

Historisch könnte man die virtuelle Endoskopie zwar auch verstehen wollen als ein funktionales Äquivalent zur konventionellen Endoskopie. Sie wäre dann nichts anderes als die digitalisierte nichtinvasive Weiterentwicklung einer Technik, welche sich seit den 1960er-Jahren zu einem Standardverfahren der medizinischen Diagnostik entwickelt hatte.⁸ Virtuelle Endoskopie ist mitunter tatsächlich als *rechnergestützte Simulation* der traditionellen Endoskopie dargestellt worden.⁹ Hinsichtlich ihrer apparativen Voraussetzungen ist die virtuelle Endoskopie jedoch gerade nicht eine Nachfolgerin der optomechanischen Endoskopie, sondern vielmehr das Resultat zahlreicher Konvergenzen auf dem Gebiet der tomografischen Visualisierungstechnik einer-

seits und der rechnergestützten Bildverarbeitung andererseits. Virtuelle Endoskopie ist als Reaktion auf die diagnostische Datenflut anzusehen, welche CTs und MR-Scanner seit den 1970er- beziehungsweise 80er-Jahren zu produzieren begonnen haben. Dies ist denn auch die Meinung der jungen Entwicklungsgemeinschaft selbst: «Virtual endoscopy derives principally from digital medical imaging, and in particular from visualization of 3D CT and MRI datasets.»¹⁰

Es ist also durchaus sinnvoll, die virtuelle Endoskopie als eine voraussetzungsreiche, letztlich aber präzedenzlose Diagnosetechnik mit einer äusserst kurzen Geschichte darzustellen. Dafür gibt es noch einen weiteren Grund: Zahlreiche nichtmedizinische Forschungs- und Entwicklungsbereiche, die sich ebenfalls mit den Problemen dreidimensionaler Visualisierung beschäftigten, haben wichtige Beiträge zur virtuellen Endoskopie geliefert. Dazu gehören Techniken, die aus der Entwicklung rechnergestützter terrestrischer Navigationssysteme für die Flugbahnplanung und die Flugsimulation stammen, Techniken also, die bisher gar nichts mit medizinischen Anwendungen zu tun hatten.¹¹

Die Mobilisierung solcher Techniken und Verfahren für die diagnostischen Ziele der Medizin hat nicht zufällig erst Anfang der 1990er-Jahre stattgefunden – sie ist explizit als Teil eines gewaltigen *Informatisierungsschubs* der medizinischen Praxis verstanden worden.¹² Die virtuelle Endoskopie war nicht nur eine Vertreterin eines neuen Visualisierungszeitalters, sondern stand schlicht für eine Medizin in der Epoche der Informationsgesellschaft mit ihrer eigenen Ordnung des Wissens und der Wissensverwaltung. Mit den Arbeiten an Verfahren zur virtuellen Endoskopie begannen sich in der medizinischen Diagnose neue Prinzipien der Informationsverarbeitung durchzusetzen, deren Angebote tatsächlich alles Bisherige in den visualisierungstechnischen Schatten stellten: «For digital medical image information, the spectrum of physical and computer science methods available to *acquire, process, analyze, convert, scale, enhance, fuse, distribute and transmit* information can be applied in ways that permit diagnostic and therapeutic capabilities *beyond current human physical abilities and possibilities.*»¹³ Dies sei, so der an der *Mayo Foundation Clinic* arbeitende Richard Robb in einem programmatischen Artikel von 1996, das Angebot des Informationszeitalters für die medizinische Praxis. Während medizinische Untersuchungsgeräte, Messapparaturen und Analyseinstrumente bereits in weit gehendem Mass digitalisiert worden waren, versprach nun auch die Digitalisierung der Administrationen von Krankenhäusern und Krankenkassen gewaltige Rationalisierungsgewinne. Gleichzeitig wurden sowohl administrative wie auch diagnostische Informationen im digitalen Speicherformat telekommunikativ mobilisierbar und liessen sich dabei auf vielfältige Art vernetzen und rekombinieren.

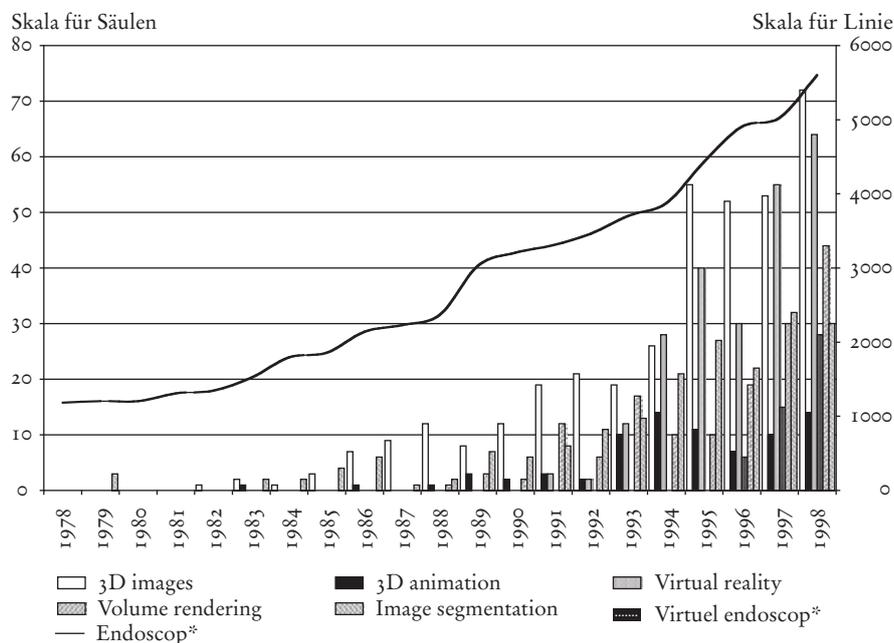


Abb. 60: Konjunktur der medizinischen Forschung zu VR, 3D-animation, 3D-images und (virtual) endoscopy, 1980–1998. In der Grafik sind die Suchergebnisse in Medline/Silverplatter (September 2000) zusammengestellt. Gesucht wurde nach den folgenden Begriffen: *virtual reality*; *image segmentation*; *endoscop**; *volume rendering*; *3D images* or *3-D images*; *3-D representation* or *3D representation* or *3-D medical imaging* or *3D medical imaging* or *3-D rendering* or *3D rendering* or *3-D animation* or *3D animation*.

In diesen Kontext der *Informatisierung* der Medizin fügte sich die Vision einer virtuellen Endoskopie als neuestes diagnostisches Instrument des ausgehenden 20. Jahrhundert problemlos ein. Denn insbesondere das Krankenhaus schien sich zu einem Ort zu entwickeln, in welchem Patientendaten nicht nur digital erworben, prozessiert und analysiert werden konnten, sondern wo sich diese gleichzeitig auch von Rechnern konvertieren, aufbereiten, verteilen und übermitteln liessen – genau wie der virtuelle Datenraum der Tomografen, der nun im dreidimensional gerechneten Raum der virtuellen Endoskopie diagnostisch genutzt werden sollte.

Die Problemlagen: Visuelle Präzedenzlosigkeit und Beliebigkeit der Perspektiven

Eine für die Entwicklung der neuen Technik bedeutende historische Dimension erschliesst sich paradoxerweise erst in dem Moment, in dem wir uns ihre verschiedenen aktuellen Problemlagen vor Augen führen. Mit virtueller Medizin liessen sich ja in den 1990er-Jahren nur ausserordentliche Bilder herstellen, Bilder, die man nie gesehen hatte, die jede Vertrautheit vermissen liessen und von denen man eigentlich nicht recht sagen konnte, wann sie einen klaren diagnostischen Wert erzeugen würden. Stets waren die Präsentationen von ihrem experimentellen Charakter geprägt. Auch dort, wo sich diagnostische Möglichkeiten wenigstens abzuzeichnen begannen, nämlich bei den Kolon-*fly-throughs*, bestand der Vorteil der Methode zunächst und vorwiegend im überraschenden Seherlebnis. Denn die viel beschworene Patientenfreundlichkeit stiess immer dort schon an Grenzen, wo eine verlässliche Aussage über pathologische Befunde gemacht werden sollte. Virtuelle Endoskopie war deshalb kaum mehr als ein zukünftiger Möglichkeitsraum medizinischer Praxis, dem es noch nicht gelungen war, Selbstverständlichkeiten zu generieren.

Damit setzte sich das Forschungsfeld einer schier grenzenlosen Unsicherheit aus. Die Kontingenz der Ergebnisse, die in der Regel nur auf Grund zahlreicher Interventionen der Operateure überhaupt erzielt werden konnten, der geringe Auflösungsgrad der Bilder, die Rechenleistungen, die weit davon entfernt waren, Real-Time-Effekte zu erzeugen, die enormen Schwierigkeiten mit der automatischen Bildsegmentation, die grosse Unsicherheit bei der Unterscheidung zwischen Bildartefakten und «abnormalen», das heisst pathologischen Phänomenen des Patientenkörpers – all dies zwang die Forschungs- und Entwicklungsgemeinschaften zu einem Diskurs der nahen Zukunft.

«Continuing recent work characterizing the rapidly maturing development and evaluation of virtual endoscopy in a variety of applications suggest that this technology is «a winner», and will in fact become a routine clinical tool in the near future.» Dies schrieb Robb 1996,¹⁴ und Jürg F. Debatin und Borut Marinček schätzten 1997 den *fly-through* im Kolon als eine diagnostische Methode ein, die sich (erst) «in naher Zukunft computertechnisch automatisieren» lasse.¹⁵ Zwar ist im Verlauf der 1990er-Jahre diese «nahe Zukunft» diskursiv in immer grössere Nähe gerückt worden, doch bestand kein Zweifel daran, dass eine Vielzahl einschlägiger Papers ausschliesslich einen zukünftigen Möglichkeitsraum adressierten. Publikationstitel wie *The Operating Room of the Future, Surgery 2001: A Technologic Framework for the Future*, oder *Towards the Delivery Room of the Future* zeigten diesen explorativen Charakter der Forschung an.¹⁶

Die fehlende Rückbindung des Möglichkeitsraums an vertraute Muster und Praktiken medizinischer Diagnostik, die geringe Anschlussfähigkeit virtueller Umgebungen an bekannte und selbstverständliche Interpretationsschemata setzten das präzedenzlose diagnostische Instrument der virtuellen Endoskopie einer hohen Unsicherheit aus. Der Entwicklungsgemeinschaft fehlte es aus diesem Grund an normalen Aussagen, an selbstverständlichen Interpretationen und an generalisierbaren Deutungsmustern. Dies liess sich nicht allein auf den «noch wenig ausgereiften Stand der Technik» zurückführen, sondern lag auch und gerade im Anspruch dieser Technik begründet.

Die grösste Hypothek allerdings, die sich die virtuelle Endoskopie aufgeladen hatte, ist im potenziellen Verlust von verbindlichen, standardisierten und über eine Differenziallektüre zum Normalatlanten kommunizierbaren Beobachterperspektiven zu suchen. Die Vervielfältigung der Darstellungsmöglichkeit des menschlichen Körpers hatte für die medizinische Praxis unübersehbare Kosten.¹⁷ Sie führte, neben allen möglichen Vorteilen, zu einer dramatischen Einbusse an verfahrenstechnischer Klarheit, welche den als Schnittbilder ausgefallten CT- und MR-Daten noch immer eigen gewesen war. Das einstige Transparenz-Ideal der Moderne wurde nun endgültig durch eine postmoderne Darstellungsbeliebigkeit im visuellen Datenraum substituiert. Nicht die kollektive Verbindlichkeit des omnipotenten, auktorialen Herrschaftsblicks, sondern die letztlich unausschöpfbaren Möglichkeiten, die grenzenlose Beweglichkeit und die schwindelerregende Flexibilität der rechnergestützten Navigation stellten sowohl Faszinosum als auch Schrecken des virtuellen Raums dar. Denn das erklärte Ziel lautete ja, «ein Modell» zu bauen, «in dessen räumlicher und beschreibender Repräsentation man beliebig «navigieren» konnte. So sollte ein Betrachter aus dem bildlichen Modellteil «beliebige perspektivische Ansichten erzeugen – bei freier Wahl des Standpunktes, der Brennweite oder des Lichteinfalls».¹⁸ Dem Benutzer wurde eine Fülle von «Manipulationsmöglichkeiten an den Daten und der Visualisierung» zur Verfügung gestellt, wenn er sich an einer virtuellen Endoskopiestation in das «Datenvolumen» eines Organs oder Körperteils versetzte.¹⁹

Diese unerhörte Beweglichkeit und Flexibilität wurde dadurch in ihrer Komplexität noch gesteigert, dass ganz unterschiedliche Sichtweisen und Darstellungsformen gleichzeitig erzeugt, verändert, überlagert und verglichen werden konnten: «[They] allow the endoscopist to simultaneously visualize the anatomy and manipulate the viewing orientation in a realistic way. In fact, virtual endoscopy provides viewing control and options that are not possible with real endoscopy, such as direction and angle of view, scale of view, immediate translocation to new views, lighting, and measurement.»²⁰

Der risikoreiche Zwang zur Beliebigkeit und totalen Flexibilität ist denn auch

das wichtigste Element im Diskurs der Forschungs- und Entwicklungsteams gewesen. Beliebigkeit und Flexibilität sollten nicht nur auf der Ebene der Darstellung und des Betrachtungsmodus – «Die Richtung des Konus ist in jeder beliebigen Achse frei wählbar und erlaubt die Betrachtung eines Objekts aus verschiedenen Blickwinkeln»²¹ – Geltung haben, sondern letztlich bis in die Architektur der Rechner und in den Aufbau der Software hinein verfolgt werden. So schrieben 1997 Jürgen Hesser und Reinhard Männer von der Universität Mannheim über ihr Volumen-Visualisierungssystem: «Das System VIRIM hat eine sehr flexible Architektur, die es vor ähnlichen, in der Planung befindlichen Visualisierungsrechnern auszeichnet. Weil es weitgehend frei programmierbar ist und hohe Rechenleistung für die verschiedensten Operationen bietet, kann man das Visualisierungsverfahren den Daten anpassen und sogar andere Operationen wie eine Segmentierung damit ausführen.»²² Selbst die Bildaufbereitung zeichnete sich durch eine grosse, vom Benutzer zum Teil auch wählbare Verfahrensflexibilität aus – neben Schwellenwert- und Wasserscheideprozeduren kamen Polygonmethoden, Keimzellenwachstumssegmentierung und *marching-cubes*-Verfahren zur Anwendung. Ein derart hoher Grad an Unübersichtlichkeit, Verfahrensvielfalt und Flexibilitätsansprüchen belastete das Forschungsgebiet umso stärker, als ihre Entwicklung mit Bildwiedergabegenauigkeiten aufwartete, die den klinisch-diagnostischen Anforderungen nicht genügten. «The visual fidelity of current generation virtual endoscopy images is not yet at the level of diagnostic accuracy suitable for regular clinical use.»²³

Das attraktivste Angebot, welches die Entwicklungsgemeinschaften für virtuelle Endoskopie an die diagnostische Praxis machen konnte, lag deshalb – wenigstens vorläufig – auf einer ganz anderen Ebene. Nicht zusätzliche oder präzisere Information sollte produziert werden, vielmehr versprach man sich und ändern von der neuen Technik, dass sie die von Tomografen erzeugte Informationsflut so zu reduzieren im Stande sei, dass sie wieder in vernünftiger Zeit ausgewertet werden konnte.²⁴ Doch solange man dieses Angebot nicht in befriedigender Weise visualisieren konnte, brauchte man wenigstens eine gemeinsam verfügbare Vision, an der man sich selber und die möglichen Nutzerkreise orientieren konnte. Der fliegende Chirurg war eine dieser möglichen Visionen.

Die Vorbilder: Kollektive Deutungshorizonte und technikspezifische Bildersprache

Mit seinem fliegenden Chirurgen war Meinzer 1993, dies gilt es unmissverständlich klar zu machen, alles andere als ein einsamer Fantast. Schon damals und verstärkt in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre sind unzählige vergleichbare Visionen formuliert worden, die sich einer beachtlichen Popularität erfreuten. Die «Reise durch den menschlichen Körper» galt zusammen mit rechnergesteuerten Operationen und der vollständigen digitalen Erfassung von patientenrelevanten Informationen als das Forschungsgebiet, welches «die medizinischen Anwendungen der Zukunft prägen» würde.²⁵

Einige Berichte über Fortschritte auf dem Gebiet der virtuellen Endoskopie setzten diese zwar fast schon mutwillig, aber immer öfter in den Kontext zeitgenössischer kultureller Praxis hinein. So ist 1996 der *New Scientist* wie folgt zitiert worden: «Surgeons are using computers to construct and display virtual representations of the human organs they will operate on and then navigating these models much as a fighter pilot navigates a flight simulator or an 8-year-old navigates with Mario through Nintendo's new three-dimensional worlds.»²⁶

Die Metaphorik aus der Welt der Science-Fiction, der Computerspiele sowie der kommerziellen Kinofilme diente ganz offensichtlich als interpretatorische Nährlösung für das, was an der Front der medizinischen Visualisierungstechnik passierte. Manchmal mit mehr, manchmal mit weniger Feingefühl wurde dieser Deutungshorizont verwendet. Auch die *New York Times* bemühte «Superman's magic eyes», um die diagnostischen Vorteile von «augmented reality» in der Medizin zu veranschaulichen.²⁷

1993 wird die Vorstellung vom fliegenden Chirurgen mit Sicherheit ein Feld von Assoziationen evoziert haben, das von den Produkten des *military entertainment complex* wesentlich mitbestimmt wurde.²⁸ So standen als Deutungshorizonte für den fliegenden Chirurgen aus dem *Spektrum der Wissenschaft* zum Beispiel der freie Flug zur lebensrettenden Tat zur Verfügung, wie ihn der zurückkehrende Batman eben vorexerziert hatte (*Batman returns*, 1992), oder es wäre möglich gewesen, an Captain Jean-Luc Picard zu denken, der mit seiner Crew im Raumschiff Enterprise ganze Milchstrassen fliegen-derweise erkundete (*Star Trek – The Next Generation*, 1987–1994). Je nach Kontext liess sich der fliegende Chirurg auch vorstellen als Gastroenterologe, der tagsüber mit dem Steuerknüppel im Operationssaal hantierte und sich zu Hause am Macintosh mit dem Joystick des F-16-Simulators *Falcon MC* (1993)²⁹ die freien Abendstunden wegoperierte. Ebenso nahe liegend wäre eine Assoziation zwischen fliegendem Chirurgen und einem (echten) F-16-Piloten

gewesen, der das Terrain kurz vor dem chirurgischen An- und Eingriff in Bagdad oder in Bazra (1991) überflog und bald schon wieder in Bosnien (1994) intervenieren sollte.

Auf jeden Fall scheint sich der fliegende Chirurg aus einer eigentümlichen Bildermischung zu ergeben, ja diese nachgerade erst anzurühren – eine Collage von Videos der Kriegsschauplätze, Screenshots von Computerspielen, Reminiszenzen aus Science-Fiction-Romanen und Trailer-Sammlungen von Hollywood-Streifen, das heisst aus einem Gebräu von realistischem, utopischem und virtuellem Material.³⁰

All diese assoziativen Elemente waren 1993 vorhanden, um als Bausteine für eine *Vision* vom virtuellen Flug durch den menschlichen Körper verwendet zu werden. Nach Meinzer waren sie es sogar bereits für die *Durchführung* der ersten virtuellen Flugreise eines Chirurgen, insbesondere dann, wenn Mediziner und Informatiker sich gemeinsam anstrebten und ihre Arbeit nur gut genug koordinierten.

Das eben beschriebene Interpretationsmuster könnte leicht als Ausdruck eines Erklärungsnotstands missverstanden werden, dem sich popularisierende Diskurse angesichts der Entwicklung präzedenzloser medizinischer Visualisierungstechniken ausgesetzt sahen. Wenn Versatzstücke aus der Welt der elektronischen Unterhaltungsindustrie dazu dienten, in populärwissenschaftlichen Medien das zu erklären, was die Spitzenforschung gerade beschäftigte, dann lag dies aber nicht nur am Deutungshorizont der Leserschaft des *Spektrums der Wissenschaft*. Es lag ebenso an der Ausrichtung und den Problemlagen dieser Spitzenforschung.

Denn man wollte «bewegte Bilder in Echtzeit darstellen, sodass der Betrachter – etwa mit einem Joystick als Steuerknüppel – gewissermassen um den Kopf herum oder durch ihn hindurch fahren kann», so hatte das Programm geheissen.³¹ Das Ziel der virtuellen Endoskopie führte zu einer gewaltigen Steigerung der Ansprüche an die Apparatur, an ihre Entwickler und an ihre zukünftigen Anwender. Bislang verfügbare Selbstverständlichkeiten in der Blickweise, in der Diagnostik und in der Interpretation von tomografischem Datenmaterial wurden in Frage gestellt oder brachen einfach weg und wurden damit obsolet. Das Forschungsfeld geriet unter Druck und musste die steigende Komplexität auf ein Mass reduzieren, das anschlussfähiges kommunikatives Handeln wieder erlaubte.

Solche Restabilisierungen hätten beispielsweise durch brancheneigene Standardisierungs- und Normierungsprozesse bewerkstelligt werden können, oder sie hätten sich allenfalls durch die Monopolstellung einer einzelnen Herstellerfirma erzielen lassen. Beides hätte jedoch einen wenigstens vorläufigen Abschluss der Technikentwicklung erfordert. Das Forschungs- und Entwick-

lungsgebiet der virtuellen Endoskopie zeichnete sich aber sowohl durch einen experimentellen Charakter als auch durch eine extreme Heterogenität aus. Fast an jeder bedeutenden Universitätsklinik arbeiteten Forschungs- und Entwicklungsteams zwar an vergleichbaren oder identischen Problemen; sie taten dies mit ganz unterschiedlichen Methoden und unter völlig unterschiedlichen Bedingungen. Dadurch spitzte sich die Situation in Bezug auf verständigungsorientiertes Handeln sowie in Bezug auf eine zukünftige Verselbstverständlichung der Technik nochmals zu. Der erste Schritt zum Abbau dieser gruppenspezifischen Komplexität und damit zur Erhöhung der Verständigungschancen musste deshalb die Entwicklung einer gruppenspezifischen Semantik sein, welche zukünftige soziotechnische Selbstverständlichkeiten in semantischen Codierungen vorläufig kompensierte. Wir beobachten mit andern Worten einen Zwang zur Normalisierung vor der Normalisierung: In der Vertrautheit, welche gemeinsam verfügbare Ausdrucksweisen, Vorstellungswelten und Metaphoriken stifteten, liessen sich kommunikative Prozesse erstens innerhalb der disziplinär äusserst heterogenen Forschungsteams,³² zweitens zwischen den einzelnen Teams in Mannheim, Zürich, Hamburg und New York und drittens zwischen den verschiedenen, an der neu zu entwickelnden Technik interessierten Teilöffentlichkeiten mit hinreichender Aussicht auf Verständigung unterhalten.

Nur aus einem gemeinsam verfügbaren historischen Erfahrungsraum heraus konnte diese Semantik generiert werden. Die Entwicklergemeinschaft der virtuellen Endoskopie hat dafür vor allem zwei historische Quellen mobilisiert: erstens durch ihre Rede von der rechnergestützten Simulation der Endoskopie (das heisst durch die Konstruktion einer technikhistorischen Genealogie) und zweitens in der Verwendung von Navigations- und Flugmetaphern, wie sie aus der Science-Fiction und den marktgängigen Computerspielen allgemein bekannt sind. Mit Hilfe dieser Quellen liess sich das Spannungsverhältnis zwischen Sichtbarem, Imaginiertem und Visionärem sowohl nach innen wie nach aussen stabilisieren. Das Diktum eines führenden Mitglieds der Entwicklergemeinschaft, das die eigene Arbeit selbstironisch als Hollywood im Krankenhaus bezeichnete, schrieb ein zentrales Element der gruppenspezifischen Semantik an. Denn das Visionäre und das Imaginäre mussten zurückgebunden werden können an Gesehenes, beispielsweise an *Batman* und *Star Trek* oder aber an Flugsimulatoren und F-16-Einsätze.

Die Entwicklungsgeschichte der virtuellen Endoskopie verdeutlicht, wie der Rückgriff auf eine wilde Vorstellungs- und Bildermischung aus literarischer Science-Fiction, Hollywood-Streifen, Kriegsreportagen und Computerspielen die Entwicklungsteams mit einer klaren visuellen Referenz ausgestattet hat. Bei der Arbeit an einer Technik, die den Chirurgenflug am Bildschirm

ermöglichen sollte, sind in den 1990er-Jahren Flugbahnen durch Dickdärme, Bronchien und Arterien vorstellbar und planbar geworden. Dabei wurden mit dem Rückgriff auf gemeinsame (visuelle) Erfahrungen der Entwicklergemeinschaft das Neue anschlussfähig gemacht und die neue Bildersprache mit bekannten und vertrauten Seherfahrungen abgesichert.

Die Bildersprache, auf die zurückgegriffen wurde, konnte ihre kommunikative Funktion jedoch nur dann erfüllen, wenn sie nahe genug an der Problemlage der «Sprachgemeinschaft» zu liegen käme. Im Kontext der *Informatisierung* der Medizin, in einem Kontext also, in dem Informatiker eine immer wichtigere Rolle in Krankenhäusern und Laboratorien zu spielen begannen, mussten die Elemente dieser Bildersprache, ihre lexikalischen Einträge und ihre Grammatik sozusagen, in erster Linie für Mediziner und für Informatiker erschliessbar sein. Noch besser würden sie ihre kommunikative Funktion erfüllen, wenn – zweitens – auch Krankenhausadministratoren sowie Patientinnen und Patienten die gewählte Bildersprache verstehen könnten. Drittens schliesslich würde ein Rückgriff auf gemeinsame visuelle Erfahrungen gerade dann von Nutzen sein, wenn deren Sehgewohnheiten möglichst mit den zukünftigen, noch zu entwickelnden Seherfahrungen kompatibelisierbar wären.

Das erwähnte Gebräu von realistischem, utopischem und virtuellem Material, auf das in den 1990er-Jahren im Zusammenhang mit der virtuellen Endoskopie immer wieder verwiesen worden ist, erlaubte genau diese Konvergenz von historischer Bildtradition, aktuellen Assoziationsmöglichkeiten und zukünftiger Seherfahrung. Gleichzeitig war es geeignet, seine kommunikative Funktion dadurch wahrzunehmen, dass es sich als generalisierbarer, visueller Kommunikationscode einsetzen liess und damit den Hardware-, den Software- und den Kompetenztransfer von der Informatik und den Bildwissenschaften in die medizinische Diagnostik unterstützte.

Da das Forschungs- und Entwicklungsfeld der virtuellen Endoskopie eine grundsätzliche piktoriale Verfasstheit aufwies, mussten es unbedingt Bilder und visuelle Metaphern sein, welche die Funktion von generalisierbaren Kommunikationscodes übernahmen. Auch die Codes mussten einer (bekannten) piktorialen Welt entstammen. Aber sie durften weder besonders anspruchsvoll noch eindeutig mit einem bestimmten Kommunikationskontext – etwa bloss der Medizin oder nur der Informatik – verbunden sein.

Aus diesen Gründen sind es cineastische Vorbilder gewesen, die gewissermassen im Plug-and-play-Modus den Anschluss der unterschiedlichsten disziplinären, professionellen und lebensweltlichen Kontexte an die virtuelle Endoskopie sichergestellt haben. Sie garantierten eine hinreichende Verständlichkeit und Verfügbarkeit über kommunikative Grenzen hinweg und konnten gleichzeitig für das konkret vorliegende Entwicklungsprojekt als visuelle Indices der

Orientierung dienen. Science-Fiction-Filme, Videogames und simulierte Flüge von Kampfjets oder Marschflugkörpern waren dazu ganz besonders gut in der Lage, weil sie erstens im visuellen Gedächtnis aller Beteiligten vorhanden waren, weil sie zweitens eine geringe fachspezifische Konnotation aufwiesen, weil sie drittens den Anspruch einer zukünftigen Technisierungschance beinhalteten und weil sie viertens genau jene (visuelle) Flexibilität demonstrierten, die in der virtuellen Endoskopie dereinst erzeugt werden sollte.

Der *viskursive* Rückgriff auf vertraute Seherfahrungen bediente sich in keineswegs zufälliger Weise tradierter Deutungsmuster. Die Referenzrahmen dieser visuellen Semantik lösten vielmehr eine ganze Reihe von fundamentalen Problemen, die mit der Präzedenzlosigkeit der virtuellen Seherfahrung eng verbunden waren. Besonders auffällig ist die Referenz auf Richard Fleischers Film *Fantastic Voyage*, der 1966 angelaufen war.³³ Kein geringerer als Isaac Asimov hatte der Celluloidversion dieser fantastischen Reise noch im selben Jahr eine Romanversion folgen lassen, die er 1987 nochmals in stark veränderter, aktualisierter und «verbesselter Form» als *Fantastic Voyage II* vorlegte. Die Erzählung ist wenig spektakulär und entspricht einem «ganz normalen» Science-Fiction-Plot. Das besondere am Film und an den beiden Romanen ist jedoch der Handlungsrahmen: Die in einem miniaturisierten U-Boot durchgeführte Reise im Körperinnern eines Patienten.³⁴

Der Ausdruck *Fantastic Voyage*, wie er von den Entwicklern der virtuellen Endoskopie der 1990er-Jahre verwendet wurde, bezog sich vor allem auf Richard Fleischers Film und Isaac Asimovs Roman von 1966. Aber auch Lennart Nielssons *A Child is Born*, das ebenfalls 1966 einem breiten Publikum völlig neuartige Einblicke in den menschlichen Körper gewährt hatte,³⁵ sowie die gleichzeitigen Pionierarbeiten von Ivan Sutherland über virtuelle Realität von 1965/66 wurden in diesem Zusammenhang immer wieder erwähnt.³⁶

Darüber hinaus verwies der Ausdruck *Fantastic Voyage* auf seine Renaissance in der zweiten Hälfte der 1980er-Jahre, als es zu einer weiteren Welle von Berichten über Reisen ins Innere des menschlichen Körpers gekommen war – neben Asimovs *Fantastic Voyage II* (1987) und dem Science-Fiction-Film *Innerspace* (1987) ist hier nochmals ein von Lennart Nielson erschienener Fotoband *The Body Victorious* (1987) zu erwähnen, dem noch im selben Jahr eine deutsche Übersetzung mit dem Titel *Eine Reise in das Innere unseres Körpers* folgte.³⁷ Zu diesem Boom gehörte wie selbstverständlich auch ein Computerspiel für Atari, das bereits 1982 von *20th Century Fox Video Games* unter dem Titel *Fantastic Voyage* vertrieben wurde.³⁸ Ebenfalls aus den frühen 1980er-Jahren datiert auch *Body Wars*, der erste Flugsimulator der *Walt Disney Worlds: Zwar geht «Walt Disney's dream» einer «Experimental Prototype Community of Tomorrow»* tatsächlich ebenfalls auf das zentrale Jahr 1966

zurück, das *Disney Epcot Center* wurde aber erst 16 Jahre später in Orlando (Florida) eröffnet. In seinem *Wonders of Life*-Pavillon bietet dieser multimediale Vergnügungspark bis heute eine Version der fantastischen Reise durch den menschlichen Körper an: Auf der Suche nach einem Splitter begleitet das Publikum von *Body Wars* eine miniaturisierte Ärztin auf ihrer aufregenden Spritztour durch Herz, Lungen und Hirn.³⁹ Besuchern mit Kreislaufproblemen wird vom Besuch der Show abgeraten.

Fantastic Voyage ist spätestens gegen Ende der 1980er-Jahre zu einem Topos, zu einem stabilen diskursiven Versatzstück geworden, auf das in sehr vielfältiger Weise und problemlos Bezug genommen werden konnte, von Mediziner*innen, Informatiker*innen, Journalisten, Patienten, Ingenieuren, unabhängig davon, ob sie sich den damit verbundenen Metaphernschatz in Kinofilmen, Videogames, Heimcomputern, in Flugsimulatoren, Science-Fiction-Romanen oder auf einem Ausflug ins Reich von Walt Disney einverleibt hatten: «There has been speculation about virtual endoscopic capabilities since the early 1970's, as dramatized in the science fiction movie 'Fantastic Voyage'.» Dies war 1996 bei Richard Robb zu lesen, der seine eigene Arbeit und jene seiner Kollegen mit eben dieser Referenz gleich zum Meilenstein medizinischer Visualisierungstechnik erhob: «A real fantastic voyage into the inner sanctum of the human body has been launched [...]»⁴⁰ Der Entwicklungsboom der virtuellen Endoskopie der 1990er-Jahre konnte sich also auf cineastische, fotografische, belletristische und technische Diskurse der 1960er- und 80er-Jahre rückbeziehen. Oder anders gesagt: Der quasiutopische Flugmodus medizinischer Diagnostik der 1990er-Jahre mobilisierte Ressourcen kultureller Praxis, um seine eigene Präzedenzlosigkeit stabilisieren zu können.

Dabei erwiesen sich die gewählten Ressourcen als äusserst ergiebig, denn sie ermöglichten den Forschungs- und Entwicklergruppen gleich eine ganze Reihe von Orientierungsproblemen der virtuellen Endoskopie anzugehen, allen voran jenes der Navigation ohne bekannte Referenzpunkte. Wo der menschliche Körper zum reinen Datenraum mutiert, lösen sich ja auch bislang selbstverständliche Grenzen auf,⁴¹ werden Innen-Aussen-Relationen verwischt und Organe durch ein Kontinuum von *Voxeln* substituiert. Nur Drehbücher⁴² und vorausberechnete Flugbahnen⁴³ sowie die Vorstellung, in Asimovs U-Boot oder in Meinzers Späherkapsel zu sitzen, können den fliegenden Chirurgen dann noch eine beruhigende Auskunft geben über ihre aktuell gültige Position und die zu erwartenden Aussichten.⁴⁴ Gerade deshalb sind die frühen Experimente mit der neuen Technik genau in jenen Organen durchgeführt worden, die entweder von traditionellen endoskopischen Bildern oder aber von cineastischen *fly-throughs* visuell präformiert worden sind, nämlich in den Bronchien, im Kolon und in den Blutgefässen.

Auch dies diene der Stabilisierung von neuen Seherfahrungen im virtuellen Raum: Durch den Import und die Nachahmung «ganz normaler Bilder» aus längst stabilisierten Bereichen kultureller Praxis liessen sich ein Teil der Präzedenzlosigkeit des virtuellen diagnostischen Blicks auf ein erträgliches Mass reduzieren und zukünftige visuelle Selbstverständlichkeiten auch unter dem Druck der Entwicklungsarbeit simulieren. Nur so lässt sich die eingangs zitierte Metapher vom fliegenden Chirurgen erklären.

Anmerkungen

- 1 Für kritische Hinweise, produktive Verunsicherungen und wertvolle Ergänzungen danke ich ausser Monika Burri und Beat Bächli auch Volker Hess, Andreas Lösch, Daniel Speich, Sibylle Obrecht und Barbara Orland.
- 2 Meinzer, Hans-Peter: Räumliche Bilder des Körperinneren, in: *Spektrum der Wissenschaft* (1993) 7, S. 56–75.
- 3 Ebd.
- 4 Schölmerich, Jürgen et al.: MR-basierte virtuelle Endoskopie des Gastrointestinaltrakts, in: *Deutsches Ärzteblatt* 98 (2001) 17, S. A-1120–1123, hier 1120. Hervorhebungen D. G.
- 5 Vgl. etwa Merrill, J. R. et al.: Surgical Simulation Using Virtual Reality Technology: Design, Implementation and Implications, in: *Surgical Technology International III* (1994), S. 53–60; Napel, S. A.: Basic Principles of Spiral CT, in: Fischman, E. K. und R. B. Jeffrey (Hg.): *Principles and Techniques of 3D Spiral CT Angiography*, New York 1995; Robb, R. A. und B. Cameron: *Virtual Reality Assisted Surgery Program: Interactive Technology and the New Paradigm for Healthcare*, Ohmsha 1995.
- 6 «The history of virtual endoscopy is a brief one. It is a new technology in diagnostic medical imaging.» Robb, Richard A.: *Virtual (Computed) Endoscopy: Development and Evaluation Using the Visible Human Dataset: Visible Human Project Conference, National Library of Medicine, National Institutes of Health, Bethesda (Md.) 1996.*
- 7 Waldby, Catherine: *The Visible Human Project: Data into Flesh, Flesh into Data*, in: Marchessault, Janine und Kim Sawchuk (Hg.): *Wild Science. Reading Feminism, Medicine and the Media*, New York 2000a, S. 24–38; Waldby, Cathy: *The Visible Human Project. Informatic Bodies and Posthuman Medicine*, New York 2000b; Waldby, Catherine: *The Visible Human Project and the Digital Uncanny*, in: Traub, Ilone und Birgit Konopatzki (Hg.): *Katalog der 44. Internationalen Kurzfilmtage Oberhausen, Catalogue of the 44th International Short Film Festival Oberhausen, Oberhausen 1998*, S. 121–125; Treichler, Paula A. et al. (Hg.): *The Visible Woman: Imaging Technologies, Gender, and Science*, New York 1998; Thacker, Eugene: *.../visible_human.html/digital anatomy and the hyper-texted body*, in: *CTHEORY. An International Journal of Theory, Technology and Culture* 60 (1998); Cartwright, Lisa: *A Cultural Anatomy of the Visible Human Project*, in: Treichler, Paula A. et al. (Hg.): *The Visible Woman: Imaging Technologies, Gender, and Science*, New York 1998, S. 21–43.
- 8 Zur Geschichte der konventionellen Endoskopie siehe Reuter, Matthias A. und Hans J. Reuter: *Geschichte der Endoskopie: Handbuch und Atlas*, Stuttgart 1998.
- 9 Geiger, B. und R. Kikinis: *Simulation of Endoscopy*, in: *Series, AAAI Spring Symposium (Hg.): Applications of Computer Vision in Medical Images Processing*, Stanford 1994, S. 138–140.
- 10 Robb 1996 (wie Anm. 7); Rubin, G. D. et al.: *Perspective Volume Rendering of CT and MR Images: Applications for Endoscopic Imaging*, in: *Radiology* 199 (1996), S. 321–330; Rusinek, H. et al.: *Volumetric Rendering of MR Images*, in: *Radiology* 171 (1989), S. 269–272.
- 11 Robb 1996 (wie Anm. 7); Kaltenborn, K. F. und O. Rienhoff: *Virtual Reality in Medicine*, in:

- Meth. Inform. Med. 32 (1993) 5, S. 407–417; Lenoir, Timothy: All but war is simulation. The military entertainment complex, in: *Configurations* 8 (2000) 3, S. 289–335.
- 12 Broering, Naomi C.: *High Performance Medical Libraries Advances in Information Management for the Virtual Era*, Westport usw. 1993; Streit, Günther: *Computer und Informatisierung der Gesellschaft*, Frankfurt a. M. 1993; Pincioli, Francesco: *Virtual Reality for Medicine*, Oxford 1995; Weghorst, Suzanne J. (Hg.): *Medicine Meets Virtual Reality. Health Care in the Information Age. Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 4*, San Diego (Calif.), January 17–20, 1996, Amsterdam usw. 1996; Haux, Reinhold: *Transformation of Healthcare through Innovative Use of Information Technology for the 21st Century Proceedings of the 6th International Conference on Health and Medical Informatics Education Newcastle (Australia)*, Amsterdam usw. 1998; Seggewies, Christof: *Praxisnahe Informatisierung des endoskopischen Funktionsbereichs der Medizinischen Klinik I der Universität Erlangen-Nürnberg*, Erlangen 1997.
- 13 Robb 1996 (wie Anm. 7), Hervorhebung D. G.
- 14 Ebd.
- 15 Debatin, Jörg F. und Borut Marincek: Die virtuelle Dickdarmspiegelung. Einsatz der dreidimensionalen Magnetresonanztomographie, in: *Neue Zürcher Zeitung*, 2. 7. 1997, S. 67.
- 16 Vgl. u. a. Satava, R. M.: *Surgery 2001: A Technologic Framework for the Future*, in: *Surgical Endoscopy* 7 (1993) 2, S. 111–113; Brennan, J. P.: *Towards the Delivery Room of the Future: Medicine Meets Virtual Reality II: Interactive Technology & Healthcare: Visionary Applications for Simulation Visualization Robotics*, San Diego 1994, S. 10–14; Jolesz, F. A. und F. Schtern: *The Operating Room of the Future: Report of the National Cancer Institute Workshop*, in: *Investigative Radiology* 27 (1992) 4, S. 326–328; Kaplan, K. L.: *Project Description: Surgical Room of the Future: Medicine Meets Virtual Reality II: Interactive Technology & Healthcare: Visionary Applications for Simulation Visualization Robotics*, San Diego 1994, S. 95–98; Kim, Y.: *Requirements for a Future Medical Imaging Workstation: Proceedings of NSF Workshop on Computer-Assisted Surgery*, Washington D. C. 1993, S. D-70–D-87.
- 17 Baudrillard, Jean: *The End of the Panopticon*, in: Brooker, Peter und Will Brooker (Hg.): *Postmodern After-Images. A Reader in Film, Television and Video*, London, New York und Sydney 1997, S. 163.
- 18 Höhne, Karl Heinz: *Phantastische Reisen durch den menschlichen Körper*, in: *Spektrum der Wissenschaft* (1999) 4, S. 54–62, hier 57.
- 19 Hesser, Jürgen und Reinhard Männer: *Realistische Reisen durch den menschlichen Körper sind jetzt möglich*, in: *Spektrum der Wissenschaft* (1997) 6, S. 121–124. Siehe auch Hesser, Jürgen: *The VIRIM Project Design and Realization of a Real Time Direct Volume Rendering System for Medical Applications*, Düsseldorf 2000.
- 20 Robb 1996 (wie Anm. 7); Sakas, Georgios: *Dreidimensionale Bildrekonstruktion aus Ultraschall-Daten*, in: *Spektrum der Wissenschaft* (1997) 6, S. 103–106: «Zwei- und dreidimensionale Darstellung können auf vielfältige Weise verknüpft werden. Wenn der Benutzer mit der Maus eine Stelle in einem der vier Fenster anklickt, liefert das System die entsprechende Position in den restlichen Fenstern. Gibt man in der dreidimensionalen Darstellung eine Ebene an, so erhält man das Bild eines Schnitts entlang dieser Ebene.»
- 21 Debatin/Marincek 1997 (wie Anm. 16), S. 67.
- 22 Hesser/Männer 1997 (wie Anm. 20), S. 124.
- 23 Robb 1996 (wie Anm. 7).
- 24 Vgl. *New York Times*, 25. 10. 1996: «Dr. David Vining, a 35-year-old radiologist at the Bowman Gray School of Medicine at Wake Forest University in Winston-Salem, N. C., said, «Virtual reality and computers are simply a vehicle for analyzing and visualizing vast amounts of information.» Vining, who uses computers to do «virtual colonoscopy» and «virtual bronchoscopy», added: «It won't give you any more information than that which already exists. But in medicine, we are faced with more and more data that is impossible to evaluate in a reasonable amount of time.»
- 25 *Tages-Anzeiger*, 4. 10. 1995, S. 88.

- 26 http://www.abbedon.com/electricminds/html/edg_scan_1588.html. Die Quelle des Berichts: *New Scientist Magazine* 152 (1996) 2050, S. 25.
- 27 Eisenberg, Anne: *What's Next? Seeing the Skull beneath the Skin, on the Skin*: New York Times, 15. 3. 2000.
- 28 Lenoir 2000 (wie Anm. 12).
- 29 «Falcon is a War Bird enthusiast's dream come true. It is so authentic, that if it were not for additions such as «Instant Action» and «Auto Pilot», the amateur flying ace would be overwhelmed by a realistic profusion of simulated lights, buttons, switches, REO, HUD, and much more. Spectrum HoloByte describes it best. «Falcon MC is the most realistic combat flight simulator for the Macintosh. It effectively and accurately reflects the performance and capabilities of the General Dynamics F-16 Fighting Falcon within the limitations of a personal computer.» http://www.savetz.com/ku/ku/glaser_falcon_mc_f16_fighter_simulator_june_1993.html.
- 30 Lenoir 2000 (wie Anm. 12); vgl. auch Gerber, Beat: *Wenn Chirurgen mit dem Joystick operieren. Computertechnik und Mikroelektronik verändern die Medizin – geboren werden digitalisierte und vernetzte Patienten*, in: *Tages-Anzeiger*, 4. 10. 1995, S. 88.
- 31 Hesser/Männer 1997 (wie Anm. 20).
- 32 «We are a multidisciplinary team of computer scientists, engineers, and physicians who are developing imaginative solutions to medical problems», heisst es auf der Website des Virtual Endoscopy Center der Wake Forest University School of Medicine (<http://www.vec.wfubmc.edu/whatwedo.html>), 4. 10. 2001).
- 33 *Fantastic Voyage*, 1966, 100 min. Screenplay: Harry Kleiner, director: Richard Fleischer; Twentieth Century-Fox Film Corporation.
- 34 Asimov, Isaac: *Fantastic Voyage*. Based on the Screenplay by Harry Kleiner from the Original Story by Otto Klement and Jay Lewis Bixby, Boston 1966; Asimov, Isaac: *Fantastic voyage II: Destination Brain*, London 1987.
- 35 Nilsson, Lennart: *A child is Born: the Drama of Life before Birth in Unprecedented Photographs; a Practical Guide for the Expectant Mother*, New York 1966.
- 36 Sutherland, Ivan E.: *The Ultimate Display: Information Processing 1965* (IFIP Congress), New York 1965; Ders.: *Computer Displays*, in: *Scientific American* 222 (1970), S. 57–81; Ders.: *Computer Graphics – ten unsolved problems*, in: *Datamation* (1966) 5, S. 22–27. Siehe auch die früh postulierte Anwendbarkeit von virtueller Realität für Zwecke der Körpervisualisierung: Greenfield, Harvey et al.: *Moving Computer Graphic Images Seen from Inside the Vascular System*, in: *Transactions of the American Society of Artificial Internal Organs* (1971), S. 381–385.
- 37 Nilsson, Lennart und Jan Lindberg: *The Body Victorious: The Illustrated Story of Our Immune System and Other Defenses of the Human Body*, London 1987a; Dies.: *Eine Reise in das Innere unseres Körpers. Das Abwehrsystem des menschlichen Organismus*, Hamburg und Zürich 1987b. Vgl. auch den Titel der amerikanischen Erstausgabe von 1974: Nilsson, Lennart: *Behold Man. A Photographic Journey of Discovery Inside the Body*, Boston 1974.
- 38 Das Spiel erschien bereits 1982.
- 39 Vgl. <http://www.about-orlando.com/epcot.htm>.
- 40 Robb 1996 (wie Anm. 7), Hervorhebung D. G.; Robb/Cameron 1995 (wie Anm. 6).
- 41 Siehe dazu van Dijck, José: *Bodies Without Borders. The Endoscopic Gaze*, in: *International Journal of Cultural Studies* 4 (2001) 2, S. 219–237.
- 42 «Man kann auch «Drehbücher» für VOXEL-MAN schreiben, die dann automatisch Filme erzeugen, wie zum Beispiel über den Ablauf einer Sektion.» Höhne 1999 (wie Anm. 19), S. 60.
- 43 «[...] pre-determined flight paths and animation are performed to produce cine sequences that can be viewed subsequently at video frame rates.» Robb 1996 (wie Anm. 7), S. 197.
- 44 Zur U-Boot-Metapher vgl. den folgenden Kommentar bei Asimov: «He could not really conceive of himself as being in a bloodstream; it was easy to suppose he was in a submarine making its way through the ocean. He would naturally expect to see familiar sights of an ocean and would be foolishly puzzled at anything he saw that did not fit his assumption.» Asimov 1987 (wie Anm. 35), S. 172. Ferner Barthes, Roland und Helmut Scheffel: *Mythen des Alltags*,

Frankfurt a. M. 1991 (1964), S. 41: «Der Nautilus ist die ideale Höhle, und das Geniessen der Abgeschlossenheit erreicht dann seinen Paroxismus, wenn es möglich ist, aus dem Schoss dieses nahtlosen Innern durch eine grosse Scheibe das unbestimmte Aussen des Wassers zu sehen und damit durch ein und dieselbe Bewegung das Innere durch sein Gegenteil zu bestimmen.»