

INGE HINTERWALDNER

Zur Fabrikation operativer Bilder in der Chirurgie

1. Didaktische Simulatoren in der Chirurgie

Seit den 1990er Jahren werden mit dem häufigen Verweis auf bereits etablierte Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt¹ computergestützte Simulatoren für medizinische Belange entwickelt. Modellbasierte interaktive und echtzeitfähige Simulatoren dienen in der Ausbildung angehender Ärzte der Erlernung chirurgischer wie diagnostischer Eingriffe. Daher sind sie meist nicht vordergründig zur Heuristik hergestellt, sondern präsentieren einen bekannten, als gesund oder pathologisch definierten Zustand.² Die Beachtung dieses primären Zwecks ist essenziell für das Verständnis der Standpunkte, welche beteiligte Forschergruppen gegenüber ihrem über Jahre entwickelten sinnlich ausgelegten Erzeugnis einnehmen.

2. Große Kompositionen. Zur Herstellung zweier Simulatoren

Ohne zu sehr ins technische Detail zu gehen, möchte ich zunächst exemplarisch die Grundzüge der Zusammensetzung zweier Simulatoren skizzieren, um einen Eindruck davon zu vermitteln, auf welche Weisen derartige Anwendungen gestaltet sein können. Es ist nicht mein Ziel, aufzuzeigen, dass diese Bildwelten in hohem Maße konstruiert sind; dies wird jeder bestätigen, der in diesem Felde tätig ist. Vielmehr geht es mir darum, die Unterschiedlichkeit der von den Forscherteams beschrittenen Pfade und die in die Wege geleiteten Maßnahmen anzusprechen, auch wenn ich in diesem Überblick davon absehe, die Beweggründe der einzelnen Entscheidungen darzulegen.

- 1 Nicola Maran stellt eine verkürzte Vergleichbarkeit der Simulatoren in der Aviation einerseits und der Medizin andererseits in Frage. Vgl. Maran, Nicola J./Glavin, Ronnie J.: Low- to High fidelity simulation – a continuum of medical education, in: Medical Education (37, S1) 2003, S. 22-28, hier S. 27.
- 2 Unter der Voraussetzung allerdings, dass eine individuelle Anatomie innerhalb eines praxisverträglichen Zeitraums visualisiert werden kann, wird zunehmend auch die Möglichkeit der nicht invasiven Diagnose und der Operationsplanung am spezifischen Patienten in Erwägung gezogen. In diesen Fällen wird nicht schon Bekanntes nachvollzogen, sondern mittels der sogenannten 'virtuellen Endoskopie' bildgestützt untersucht.

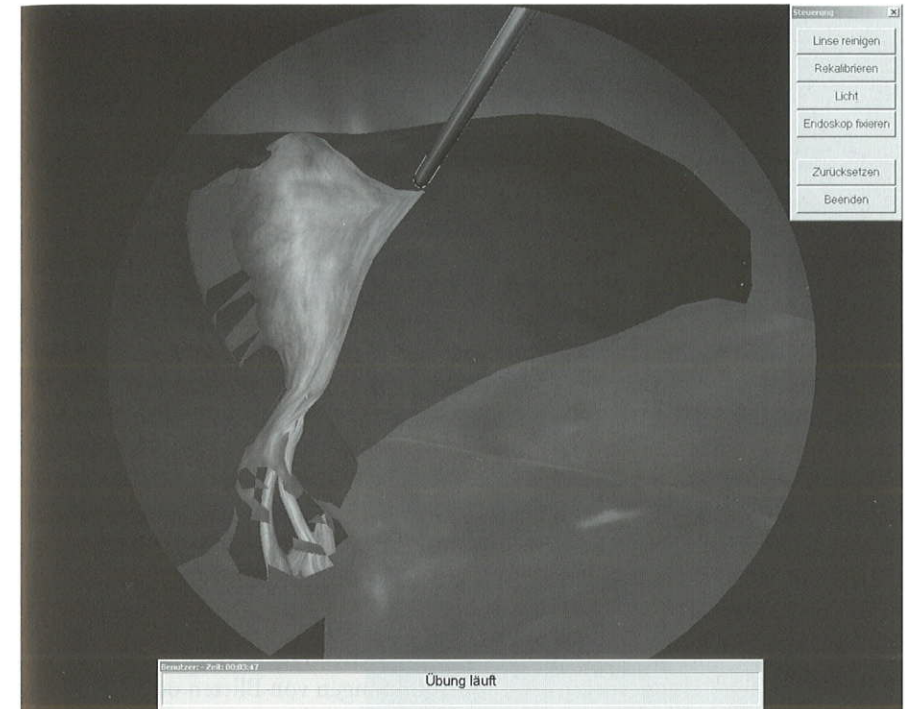


Abb. 1: Forschungszentrum Karlsruhe/IAI: VSOOne Cho zur virtuellen Gallenblasenentfernung, 2005.

FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE. Das erste Beispiel ist eine Anwendung zur Übung der Gallenblasenentfernung und wird im Institut für Angewandte Informatik am Forschungszentrum Karlsruhe in Kooperation mit der Universitätsklinik Benjamin-Franklin in Berlin entwickelt (Abb. 1). In VSOOne Cho³ fügen sich Leber, Gallenblase, Gallengang, Arterie, Binde- und Fettgewebe zu einer Ansicht, die mit dem virtuellen Endoskop erfasst werden kann. Die Grundlage für die Modellierung bilden medizinische Bilddaten aus Computertomographen.⁴ Die Umrisse der Leber wurden aus den im DICOM-Format vorliegenden CT-Daten des Visible Hu-

- 3 VSOOne Cho von: VEST (Virtual Endoscopic Surgery Training) System One Cholecystectomy. Wenn im Folgenden von diesem Simulator die Rede ist, dann ist eine von Kai Lehmann (Berlin) mit Unterstützung der Karlsruher Forschungsgruppe erstellte Szenerie gemeint, wie ich sie 2004/05 vorgefunden habe.
- 4 Çakmak, Hüseyin K./Maaß, Heiko/Strauß, Gero et al.: Modellierung chirurgischer Simulationsszenarien für das Virtuelle Endoskopie Trainingssystem (VEST), in: 1. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie (CURAC 2002), E-Publiziert in: Medicstream.de; bzw. in: http://www-kismet.iai.fzk.de/VRTRAIN/Articles/CURAC_2002_Cakmak.pdf (3.8.2004).

man Project an mehreren Stellen von Hand segmentiert, wobei die eigens entwickelte Software *Vesuv* bei angegebenen Referenzpunkten automatisch die Markierungslinie an die Ränder verschiedener Grauwerte der Tomogramme approximieren kann. Das Programm führt viele Zwischenstufen selbständig aus und schließt das sukzessiv entstandene Objekt nach allen Seiten ab. Somit war aus Schichtbildern ein Körper gewonnen. Die Gallenblase jedoch konnte nicht nach dem selben semiautomatischen Verfahren erstellt werden, weil das Organ des Toten auf den Tomogrammen des *Visible Human Project* nicht mehr mit Flüssigkeit prall gefüllt war. Sie wies nicht mehr die Gestalt auf, die Chirurgen bei der Operation vorfinden würden. So entstand eine Gallenblase, die realiter nie existiert hat, durch freie Modellierung und im visuellen Abgleich mit photographischen Aufnahmen, etwa aus Lehrbüchern. Die CT-Aufnahmen dienten hier lediglich zur Approximation der Lage und Gestalt des Organs. Das Bindegewebe wurde auch entsprechend ‚frei‘ modelliert – „wie es in den Atlanten und Videos eben zu sehen ist.“⁵ Die chirurgischen Instrumente, die man beim Simulator führt, haben ihre Fortsetzung im Virtuellen. Auch diese werden mit dreidimensionalen Freiformflächen in der dafür entwickelten Software *KisMo* erstellt.

Die Texturen gewann man durch das Ineinanderrechnen mehrerer Bilder aus Büchern, dem Internet oder eigenen Videoaufnahmen von Operationen.⁶ Die Ausgangsbilder müssen dabei nicht unbedingt Photographien von menschlichen Organen sein. Es finden auch Darstellungen tierischer Häute oder körperfremder Strukturen Verwendung; so können z. B. Abbildungen von Blitzen oder Ansichten winterlicher Laubbäume im Simulator verästelte Äderchen repräsentieren. Zudem überlagerte man diese mit einer aus Turbulenzfunktionen errechneten Struktur, wodurch sich fleckenartige Schattierungen ergeben.⁷ Ein unauffälliger visueller Übergang bei der Anpassung auf das dreidimensionale Organ entstand durch eine Verdoppelung und Spiegelung dieses Hybrids (Abb. 2). Um körpereigene Dynamiken, wie etwa den Puls, nachbilden zu können, konsultierte man Medizinbücher⁸ und verließ sich auf vorhandene Resultate. Um für die Krafterückführung über die chirurgischen Instrumente Richtlinien zum Widerstand der virtuellen Berührung zu gewinnen, entschied man sich hingegen dafür, eigene Studien anzufertigen. Man führte Experimente im Schlachthof und in der Tierklinik durch, in denen man die Elastizität und Konsistenz von totem und lebendem Gewebe von Schweinen und Rindern testete.⁹ Es stellte sich heraus, dass die Varianz des Gewebeverhal-

5 Persönliche Korrespondenz mit einem Entwickler, 26.11.2004.

6 Persönliche Korrespondenz mit Kai Lehmann, einem Kooperationspartner für die Entwicklung von *VSOne Cho*, 16.4.2005.

7 Vgl. Çakmak Hüseyin K./Kühnapfel, Uwe: Animation and Simulation Techniques for VR-Training Systems in Endoscopic Surgery, in: Eurographics Workshop on Animation and Simulation 2000 (EGCAS 2000), S. 173-185.

8 z. B. Milnor, William R.: Hemodynamics, Baltimore 1989.

9 Maaß, Heiko/Kühnapfel, Uwe: Noninvasive Measurement of Elastic Properties of Living Tissue, 13th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery 1999

Abb. 2: Forschungszentrum Karlsruhe/IAI: Die symmetrisch gestaltete Textur der Gallenblase in einer frühen Variante von 1997.

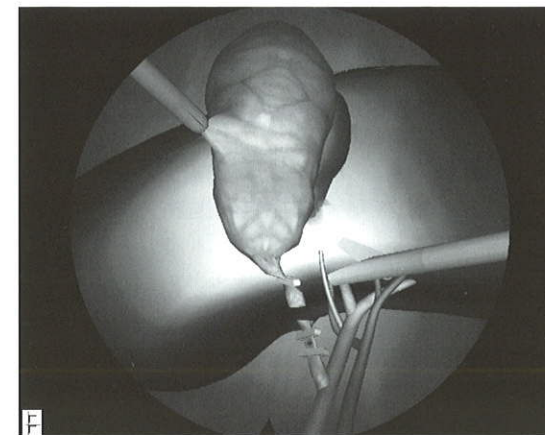
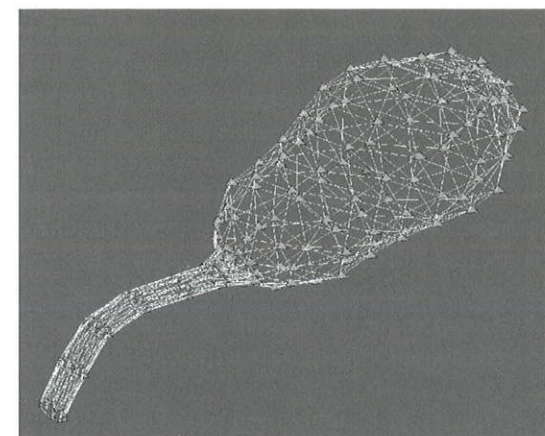


Abb. 3: Forschungszentrum Karlsruhe/IAI: *VSOne Cho*, ‚Feder-Masse-Modell‘ der Gallenblase, 1997.



tens zwischen Individuen so groß ist, dass man nur einen Bereich, aber kein absolutes Maß für den Elastizitäts- oder Schermodul angeben kann. Sodann holte man die Meinung von Chirurgen ein und versuchte, zu deren Angaben (die beispielsweise lauten konnten: „etwas schwabbeliger, bitte“¹⁰) die zuständigen Parameterwerte (Masse, Steifheit, Dämpfung) der als ‚Feder-Masse-Systeme‘ gerechneten Objekte (vgl. Abb. 3) so zu variieren, dass das Verhalten insgesamt den Angaben

(CARS 1999), S. 865-870; bzw. in: http://www-kismet.iai.fzk.de/KISMET/pdf/paper_cars99.pdf (3.8.2004). Maaß, Heiko: Untersuchung einer Methode zur nicht-invasiven Messung von Steifigkeitskoeffizienten an lebendem Gewebe mit multimodalen bildgebenden Verfahren, Diss. Universität Karlsruhe, Februar 1999; Wissenschaftliche Berichte Forschungszentrum Karlsruhe FZKA 6279, März 1999.

10 Persönliche Korrespondenz mit einem Entwickler, 21.9.2004.

näher kam.¹¹ Daraufhin war man zufrieden, wenn das errechnete taktile Feedback innerhalb eines von erfahrenen Ärzten angegebenen Referenzintervalls blieb.

JIKEI UNIVERSITY TOKYO. Das zweite Beispiel stammt aus dem Institute for High Dimensional Medical Imaging an der Jikei University of Tokyo, an dem seit 1994 medizinische Simulatoren entwickelt werden. Die vorzustellende Szenerie zeigt wahlweise eine offene oder eine endoskopische Leberoperation (Hepatektomie). Für die offene Operation entwickelte man mangels eines geeigneten kommerziellen Produktes ein haptisches Interface mit 16 Freiheitsgraden. Der Arzt erhält über zwei Daten-, 'Dreifinger', in die er Daumen, Zeige- und Mittelfinger einführen kann, eine Kraftrückführung, sodass das Gefühl entsteht, als würde er das Organ mit zumindest sechs Fingern berühren können.¹² Umgekehrt kann durch diese Schnittstelle die Position und Stellung der Finger registriert und visuell repräsentiert werden. Im Bild sind aber zehn Finger vorhanden, wobei man die letzten beiden jeder Hand synchron mit dem jeweiligen Mittelfinger mitbewegt (Abb. 4).¹³ Bei der endoskopischen Variante funktionieren Interaktion und Feedback vermittelt chirurgischer Instrumente. Eine Shutterbrille erzeugt mit der weitläufigen Projektion einen dreidimensionalen visuellen Eindruck. Während man in Karlsruhe von einem erwerbbaaren, vielfach als Standard gesehenen Datensatz eines gesunden Verstorbenen ausging, den man jedoch nur teilweise und nicht sklavisch kopierte, erhielt man an der Jikei University die Organ- und Körperform durch die dreidimensionale Rekonstruktion von Magnetresonanztomogrammen einer Patientin (d.h. es sind *in vivo* Daten). Anspruch war, die individuelle Form samt organinterner Strukturen wie Blutgefäße oder Tumore detailliert und akkurat nachzubilden. Während man die Umrisse aus den Tomogrammen segmentierte, standen die Forscher auch hier vor dem Problem, die individuelle Konsistenz der Organe auf diesem Wege nicht ermitteln zu können. Richtlinien für die Deformation bei Schnitten erhielt man durch Experimente an isolierten Schweineorganen.¹⁴ Um die

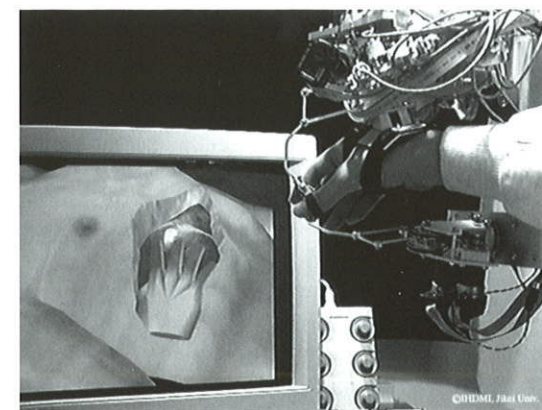
11 In den Simulatoren der Karlsruher Forschergruppe kommt z. T. auch die 'Finite Elemente Methode' vor. Die 'Fast Finite Elemente' (FFM) werden getestet. Vgl. Bianchi, Gérald/Harders, Matthias/Székel, Gábor: Mesh Topology Identification for Mass-Spring Models, in: Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI 2003), November 2003; in: [ftp://ftp.vision.ee.ethz.ch/publications/proceedings/eth_biwi_00274.pdf](http://ftp.vision.ee.ethz.ch/publications/proceedings/eth_biwi_00274.pdf) (18.4.2005).

12 Zumindest bis 2003 verwendete man dieses 1998 selbst entwickelte Interface. Gleichzeitig experimentierte man mit kommerziell erwerbbaaren Interfaces, die alle Finger involvieren. Vgl. dazu: Wakai, Satoshi/Suzuki, Naoki/Hattori, Asaki et al.: Real-Time Volumetric Deformation for Surgical Simulation using Force Feedback Device, in: Westwood, James D./Hoffman, Helene M./Mogel, Greg T. et al. (Hgg.): NextMed: Health Horizon, Medicine Meets Virtual Reality (MMVR 11, Studies in Health Technology and Informatics, Vol. 94), Amsterdam et al. 2003, S. 386-388, hier S. 388.

13 Seit 2001 benutzt man ein Interface, welches alle zehn Finger berücksichtigt.

14 Vgl. Hayashibe, Mitsuhiro/Suzuki, Naoki/Hattori, Asaki et al.: Intraoperative Fast 3D shape recovery of abdominal organs in laparoscopy, in: Dohi, Takeyoshi/Kikinis, Ron (Hgg.): Me-

Abb. 4: Jikei University Tokyo/ Institute for High Dimensional Medical Imaging: Das Interface für das haptische Feedback und die Repräsentation der Hand in der Operationsszenarie, 1998.



Elastizität und das Verhalten der Gewebe rechnerisch nachzubilden, entschied man sich für ein sogenanntes 'sphere-filled model'¹⁵. Die Geometrie dieser Leber beispielsweise setzt sich aus 18800 Kugeln gleichen Radius' zusammen, wobei die Größe der Kugeln und damit die Anzahl der pro Kugel erfassten Voxel je nach Anforderungen und Rechenkapazität variierbar ist.¹⁶ Dabei sind die randständigen Kugeln mit einer aus kleinen Flächen (Polyhedrons) bestehenden Außenhülle verbunden. Werden die Kugeln im Inneren durch Druck ineinander verschoben oder durch einen Schnitt voneinander getrennt (Abb. 5), verändert sich folglich auch die äußere Erscheinung entsprechend. Als Vorteil des 'sphere-filled model' gegenüber etwa der 'Finite Elemente Methode' wird in den Publikationen angeführt, dass es formunabhängig angewandt werden kann und der Berechnungsaufwand ungeachtet der Menge an einwirkenden Kräften konstant bleibt.¹⁷ 'By utilizing the advantages of the surface model and volumetric model, it is possible to simulate the target organ in detail.'¹⁸ Die Textur der Leber erhielt man durch Oberflächenbilder

dical image computing and computer assisted intervention (MICCAI 2002), Part II, Berlin, Heidelberg 2002, S. 356-363.

15 Suzuki, Naoki/Suzuki, Shigeyuki: Surgery Simulation System with Haptic Sensation and Modeling of Elastic Organ That Reflect the Patients' Anatomy, in: Ayache, Nicholas/Delinge, Hervé (Hgg.): Surgery Simulation and Soft Tissue Modeling, International Symposium (IS4TM 2003), Berlin et al. 2003, S. 155-164, hier S. 156.

16 Suzuki, Shigeyuki/Suzuki, Naoki/Hattori, Asaki et al.: Dynamic Deformation of Elastic Organ Model and the VR Cockpit for Virtual Surgery and Tele-Surgery, in: Westwood/Hoffman/Mogel (Hgg.): MMVR 11, S. 354-356, hier S. 356.

17 Suzuki, Naoki/Hattori, Asaki/Takatsu, Akihiro et al.: Virtual surgery system using deformable organ models and force feedback system with three fingers, in: Wells, William M./Colchester, Alan/Delp, Scott (Hgg.): First International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI 1998), Berlin et al. 1998, S. 397-402.

18 Suzuki/Suzuki: Surgery Simulation System with Haptic Sensation, S. 162.

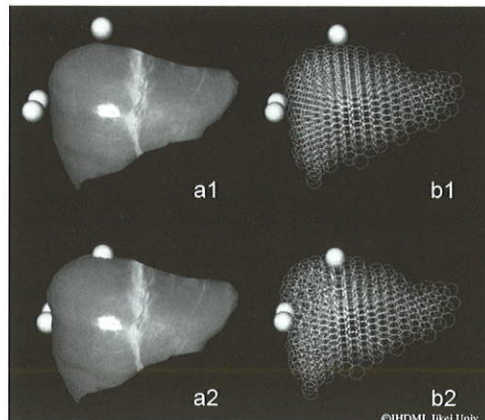


Abb. 5: Jikei University Tokyo/ Institute for High Dimensional Medical Imaging: Lebermodell, 2003. Links sieht man die virtuelle Leber mit Textur, rechts entsprechend die innere funktionale Struktur mit variierbar vielen Kügelchen. Die drei hellen Kügelchen markieren jeweils die Position dreier Finger.

von obduziertem menschlichem Lebergewebe, die man mittels eines *texture mapping*-Programms auf die Organform legte. Drei bis vier verschiedene Oberflächenstrukturen haben die Entwickler zur Auswahl erarbeitet. Bei der konkreten Wahl und Ausführung achtete man insbesondere darauf, dass der an der Oberfläche als heller Streifen sichtbare Bereich mit der Position der Hauptader im Leberinneren korrespondiert. Anstelle dieser Gestaltung kann der Benutzer noch die Wiedergabe mit einem Farbcode wählen. Auch die weiteren inneren Organe erhielten das über Photographien dokumentierte Aussehen von Exemplaren, die vormals in einer Autopsie untersucht wurden. Die äußere Hautoberfläche des Modells hingegen stammt bereits in sehr frühen Varianten von Photographien des Körpers der Patientin selbst und dient der Orientierung (Abb. 6).¹⁹

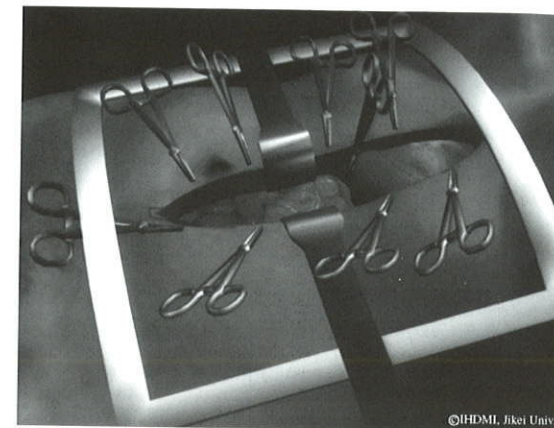
3. Zusammensetzungen

Die beiden Beispiele sollten weniger auffächern, was prinzipiell alles möglich wäre, sondern andeuten, dass eine Forschergruppe sich für jeden der ‚elementaren‘ Bereiche Form, Farbe, Ton und Haptik bewusst für eine Lösung entscheidet (entscheiden muss), sobald konkret eine Szenerie erstellt wird.²⁰ Für den Bereich der Texturen und Formgebungen wurde bereits angesprochen, dass es innerhalb derer weitere Zusammen-Setzungen geben kann. Ihre Quellen stammen aus verschiedensten medialen Kontexten mit unterschiedlichsten Stellenwerten (z. B. Ansätze mit probabilistischen, idealen, individuellen Darstellungen u. s. w.).

¹⁹ Abb. 6 zeigt ein Modell von 1998, das noch keine Echtzeitinteraktion erlaubte. Damals definierte man nur einen Anfangs- und einen Endpunkt, woraufhin die Berechnung für den Schnitt dazwischen gestartet wurde.

²⁰ Für die Textur gibt es oft noch die Möglichkeit auf eine andere Art der Darstellung ‚umzuschalten‘.

Abb. 6: Jikei University Tokyo/Institute for High Dimensional Medical Imaging: Ein Blick auf einen virtuellen Körper in einer simulierten offenen Leberoperation, 1998.



STRUKTURALE EBENEN: INTERAKTION – DIDAKTIK – ÖKONOMIE. Da man die Anforderungen und Besonderheiten der jeweiligen modellierten Operationssituation berücksichtigt, kommen innerhalb der von mir als ‚elementar‘ bezeichneten Bereiche noch modelltechnische Binnendifferenzierungen vor. Ein im MedICLab²¹ in Valencia entwickelter Simulator zur Gallenblasenentfernung (*GeRTiSS*²², Abb. 7) weist je nach Organ und daran idealiter durchzuführender Aktion verschiedene ‚Baupläne‘ auf²³: Die Leber ist als deformierbares volumetrisches Modell realisiert, die Gallenblase sowie das Bauchfell (elastische Membran, welche die Eingeweide einhüllt) als deformierbare Oberflächenmodelle und die Dermis (Lederhaut, tiefe Hautschicht) als geometrisches Modell.²⁴ „The deformable models that our Simulator has currently implemented are [...]: * Mass-spring model: That can be used for modelling elastic surfaces (like peritoneum) and quasi-one-dimensional elements (like arteries and veins). * Boundary-element based model (BEM): That can be used for modelling volumetric objects (like the liver) or objects filled with li-

²¹ MedICLab ist die Abkürzung für: Medical Image Computing Laboratory an der Universidad Politécnica de Valencia.

²² Von *Generic Real Time Surgery Simulation*.

²³ Die Simulation ist mit dem dort ebenso entwickelten *Scene Generator* erstellt. Hiezu heißt es: „In the scene generator, two types of deformable models (for construction of 3D organs with biomechanical properties) can be chosen from, one responding via superficial deformations based on a mass-spring deformable model, and a second model with volumetric deformation response based on boundary element methods“. (Alcañiz, Mariano / Monserrat, Carlos / Meier, Ullrich et al.: *GeRTiSS: Generic Real Time Surgery Simulation*, in: Westwood/Hoffman/Mogel (Hgg.): *MMVR 11*, S. 16-18, hier S. 17)

²⁴ Meier, Ullrich/García, Francisco J./Parr, Nils-Christian et al.: 3D surgery trainer with force feedback in minimally invasive surgery, in: Lemke, Heinz U./Vannier, Michael W./Inamura, Kiyonari et al. (Hgg.): *Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2001)*. Proceedings of the 15th International Congress and Exhibition, Amsterdam 2001, S. 33-38; bzw. in: <http://www.dsic.upv.es/~comonserr/Articulos/CARS%202001.pdf> (11.10.2004).

quids (like the gall balder). The BEM based model can simulate interactive visco-elastic behaviour.²⁵ Auch in der bereits besprochenen Karlsruher Anwendung *VSOne Cho* sind Röhrchen und Bindegewebe am vollständigsten funktional, d.h. durchtrennbar; bauchige Organe sind nur oberflächlich verletzbar und das horizontal angelegte Fettgewebe ist kaum funktional bestimmt, hier werden bei 'einschneidenden Ereignissen' Knoten gelöscht.²⁶ „Bei der Modellierung ist daher zwischen Bereichen in denen Interaktion der Instrumente mit Organen, Gefäßen und Gewebe stattfinden muss, um das Ziel einer Übung zu erreichen und solchen Regionen zu unterscheiden, die nur der optischen Vervollständigung einer Szene dienen sollen.“²⁷ Zusätzliche Diversifizierungen finden durch die Berücksichtigung didaktischer oder rechenökonomischer Überlegungen statt. Um den Rechenaufwand zu minimieren, wird nicht selten die Rückseite der Organe, die in der Simulation unerreichbar bleibt, viel gröber modelliert als jene Bereiche, die man durch das virtuelle Endoskop erspähen kann.

MOTIVISCHE EBENEN: ANATOMIE – OPERATIONSSITUATION – ÜBENDER. Man ist also nicht mit einer gleichmäßig ausdifferenzierten Darstellung anatomischer Strukturen konfrontiert, sondern mit spezifischen Situationen unter vorgegebenen Zugangsbedingungen. Bei errechneten minimal invasiven Eingriffen wie den vorgestellten, ist ein aufgeblähter Bauchraum durch eine virtuelle Kamera gezeigt, in dem man mit körperfremden Instrumentarien bestimmte Handlungen vornehmen kann. Sehr häufig gehen den Entscheidungen zur Interventionspalette Untersuchungen zur Ergonomie (sog. „human factor analysis“) voraus. So führte man im Center for Advanced Studies, Research and Development in Sardinia (CRS4) zur Herstellung eines Simulators der Schläfenbeinchirurgie (*IERAPSI*, 2000-2003) zunächst eine Studie durch, um jene Merkmale herauszufinden, die für die Erstellung eines entsprechenden Trainingsmodulators zur Mastoidektomie relevant scheinen.²⁸ Dies geschah mittels eines Reviews existierender Dokumentationen, Trainingshilfen, Videoaufzeichnungen, Interviews erfahrener Ärzte sowie direkter Beobach-

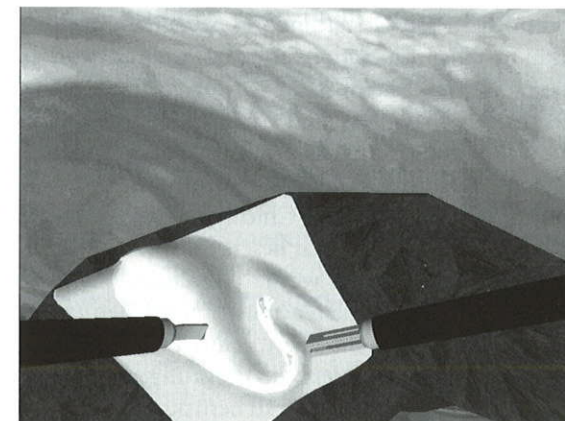
25 Monserrat, Carlos/López, Oscar/Meier, Ullrich et al.: GeRTiSS: A generic multi-model surgery simulator, in: Ayache/Delingette, (Hgg.): IS4TM 2003, S. 59-66, hier S. 62.

26 In anderen Varianten derselben Szenerie ist das Fettgewebe resistent gegen Verletzungen.

27 Lawo, Michael/Cleaves, Volker/Kühnapfel, Uwe et al.: Über ein neuartiges System zur Veröffentlichung von Operationsverfahren für die chirurgische Simulation unter Verwendung der virtuellen Realität, in: http://www.curac.org/curac02/download/abstracts_fulllength/03_03_lawo.pdf (2.8.2004).

28 Agus, Marco/Giachetti, Andrea/Gobbetti, Enrico et al.: A multiprocessor decoupled system for the simulation of temporal bone surgery, in: Computing and Visualization in science (5, Nr. 1) 2002, S. 35-43. vgl. evtl. John, Nigel W./Thacker, Neil/Pokric, Maja et al.: An integrated simulator for surgery of the petrous bone, in: Westwood, James D./Hoffman, Helene M./Mogel, Greg T. et al. (Hgg.): Outer Space, Inner Space, Virtual Space. Medicine Meets Virtual Reality (MMVR 9, Studies in Health Technology and Informatics, Vol. 81), Amsterdam 2001, S. 218-224.

Abb. 7: Universidad Politécnica de Valencia/ MedICLab: *GeRTiSS*, 2001. Ziel der Übung ist hier zunächst, das Bauchfell von der Gallenblase zu lösen.



tung im Operationssaal.²⁹ „The results of our analysis show that the simulator must include burr-bone contact detection, bone erosion, generation of haptic response, and synthesis of secondary visual effects, such as bone debris accumulation, bleeding, irrigation and suction“³⁰. Beispielsweise befand man, dass es nötig sei, der bohrenden Hand ein detailliertes Force-Feedback zu geben, während die andere, welche das Gemisch aus Wasser und Knochenspänen absaugt, keines brauche.³¹ Es gibt teilweise und je nach Anwendung unterschiedliche Ansichten zum Nutzen des Force Feedback. So ergab eine Untersuchung zur Erstellung des *Sheffield Knee Arthroscopic Training System (SKATS)*, dass Anfänger befanden, die Kraftrückführung sei für die Navigation im Knie hilfreich, während Experten eher der Meinung waren, es wäre für Adepten besser, die Orientierung ohne Kraftrückführung zu üben.³² Mit diesen Überlegungen fließt jeweils ein auf die zu vollführende Handlung hin zugespitztes und sehr ausschnittshaftes Modell eines Operierenden wahr-

29 Agus, Marco/Giachetti, Andrea/Gobbetti, Enrico et al.: Tracking the movement of surgical tools in a virtual temporal bone dissection simulator, in: Ayache/Delingette (Hgg.): IS4TM 2003, S. 100-107, hier S. 101.

30 Agus, Marco/Giachetti, Andrea/Gobbetti, Enrico et al.: Mastoidectomy simulation with combined visual and haptic feedback, in: Westwood, James D./Hoffmann, Helene M./Mogel, Greg T. et al. (Hgg.): Digital Upgrades: Applying Moore's Law to Health. Medicine Meets Virtual Reality (MMVR 10, Studies in Health Technology and Informatics, Vol. 85), Amsterdam et al. 2002, S. 17-23.

31 Agus/Giachetti/Gobbetti et al.: A multiprocessor decoupled system, S. 36.

32 McCarthy, Avril D./Hollands, Robin J.: Human Factors Related to a Virtual Reality Surgical Simulator: The Sheffield Knee Arthroscopic Training System, 1997, in: <http://www.brunel.ac.uk/faculty/tech/systems/groups/vvr/vrsig97/proceed/021/021.htm> (4.8.2004). vgl. evtl. Arthur, John G./Wynn, Henry/McCarthy, Avril D. et al.: Beyond haptic feedback: Human factors and risk as design mediators in a virtual reality knee arthroscopy training system, in: Harris, Don (Hg.): Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics (3: Transportation Systems, Medical Ergonomics and Training), Aldershot/Hampshire 1999, S. 387-396.

nehmbar in die Gestaltung der Szenerie mit ein: Man definiert, welche Aspekte ihm in einer Operationssituation wichtig sind und was vernachlässigt werden kann. Werden Erkenntnisse von allgemeinen Verhaltensmustern eingewoben, wirken diese sich subtiler und vor allem auf die Dramaturgie der Applikationen oder die Validierung der an der Simulation erbrachten Leistung aus. Im National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) in Tokyo versucht man z. B., in einen Sinus Chirurgesimulator zur Nasennebenhöhlenoperation ein Modell zu integrieren, das beschreibt, wie ein Spezialist in den vorkommenden Situationen entscheiden würde („Decision-making-Model“ genannt), um im Vergleich zu diesem Verhaltensmuster beurteilen zu können, ob der Übende am Simulator gut oder schlecht agiert. Jenny Dankelman von der Delft University of Technology wiederum fordert, ein dreistufiges Verhaltensschema des Menschen bei der Erstellung von Simulatoren zu berücksichtigen.³³ Sie beruft sich dabei auf die Klassifikation menschlichen Handelns in komplexen Umgebungen mit Maschinen (geschicklichkeits-, regel- und wissensbasiertes Verhalten), die der Ingenieur Jens Rasmussen in den 1970er Jahren entwickelte³⁴, und kombiniert es mit Fehlertypen (Ausrutscher, Lapsus, Fehlverhalten) wie sie der Psychologe James Reason definiert hatte.³⁵ Jedem Fehlertyp sei ein verhaltensgebundenes Kognitionsniveau („cognitive level of behavior“) des Ausführenden – in diesem Fall des Arztes – zuzuordnen. Immer wieder wird betont, dass man zur Erstellung eines Simulators sowohl den (zu) Trainierenden als auch den Experten verstanden haben muss: „Understanding surgeon behavior is one of the first steps towards a future full-scale laparoscopy simulator.“³⁶ Entgegen häufiger Äußerungen ist ein Simulator nicht (nur) – und will es auch nicht sein – eine Nachbildung der Situation, die ein Arzt in einer realen Operation vorfindet. Es ist darin noch ein Verständnis dessen verankert, was den Übenden hinsichtlich seiner Aufgabe vor der Apparatur betrifft, mit anderen Worten: dem Simulator ist ein Modell des Übenden inhärent.

33 Dankelman, Jenny/Wentink, Mark/Stassen, Henk G.: Human reliability and training in minimally invasive surgery, in: *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies* (12, 3-4) 2003, S. 129-135. Dankelman, Jenny/Wentink, Marc/Grimbergen, Cornelis A. et al.: Does Virtual Reality Training Make Sense in Interventional Radiology? Training Skill-, Rule- and Knowledge-Based Behavior, in: *Cardiovascular and Interventional Radiology* (27, Part 5) 2004, S. 417-421.

34 Rasmussen, Jens/Jensen, A.: Mental procedures in real life tasks: a case study of electronic troubleshooting, in: *Ergonomics* (17, 3) 1974, S. 293-307.

35 Reason, James: *Human Error*, Cambridge/Mass 1994, S. 1-302.

36 Abstract von: Wentink, Marc/Stassen, Laurents P. S./Alwayn, I. et al.: Rasmussen's model of human behavior in laparoscopy training, in: *Surgical Endoscopy* (17, 8) 2003, S. 1241-1246.

4. Wissenskulturen und ihr sinnlich erfahrbare Konstrukt

MEDIZIN(ISCHE AUSBILDUNG). Die Veröffentlichungen der an der Entwicklung beteiligten Mediziner sind häufig Evaluierungen der Anwendung, wobei Beachtung findet, wie die Leistungen („performance“) der Übenden ausfällt.³⁷ Differenzen in der Expertise, durch Trainingsintensität oder zu alternativen Lernumgebungen geben den Ausschlag ob und wozu der Simulator nützt.³⁸ Je signifikanter die so genannten ‚Lernkurven‘ in den statistischen Auswertungen für das System sprechen, desto eher kann es in Fachkreisen Anerkennung und Akzeptanz gewinnen. So münden die Bemühungen um Sinnlichkeit in der Produktion letztlich in ein Fazit, das in Zahlenwerte niedergelegt und in Diagramme eingezeichnet werden kann. Unabhängig davon werden zum anzustrebenden Realismus unterschiedliche Positionen vertreten. Begründungen zur spezifischen sensuellen Gestaltgebung und zu zugrunde liegenden Setzungen findet man in diesem pragmatisch ausgerichteten Fokus auf Effizienz hinsichtlich der Testergebnisse hingegen kaum. Infolge dessen wird im Schriftlichen auch nicht angeführt, welche Operationstechnik in den Bildern implizit angedeutet bzw. favorisiert wird.³⁹ Beispielsweise führt in den USA ein Chirurg die Gallenblasenentfernung normalerweise mit zwei Instrumenten durch, während man in Europa bevorzugt zu zweit drei Instrumente verwendet. Dass *VSOOne Cho* in seiner aktuellen Ausformung für die sich Kai Lehmann entschied⁴⁰, dennoch nur zwei Instrumente aufweist, hängt einerseits mit ökonomischen Überlegungen zusammen⁴¹, andererseits sollte die Trainingseinheit die Möglichkeit bieten, am Simulator allein Übungen durchführen zu können. Das dritte Instrument dient in der Praxis als Halteinstrument. Um darauf verzichten zu können, ersetzt man seine Funktion, indem man die Leber im virtuellen Raum fixier-

37 Häufig findet in bemerkenswerter Simultaneität eine wechselseitige Bewertung von System und daran Übendem statt. Vgl. hierzu: „The Advanced Dundee Psychomotor Tester (ADEPT) and the Xitact LS500 laparoscopic cholecystectomy virtual reality simulation platform are means and object of study.“ (Schijven, Marlies P./Jakimowicz, Jack J.: Simulators, first experiences, in: *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies* (12, 3-4) 2003, S. 151-154, hier S. 151)

38 Über die Leistungen der Testpersonen wird erst erkannt, was der Simulator zeigen kann: „These results suggest that experienced surgeons will not benefit from training on this simulator while surgeons with moderate experience as well as beginners could probably gain significant improvement of their psychomotor skills by training in a virtual environment.“ (Grantcharov, Teodor P./Bardram, Linda/Funch-Jensen, Peter et al.: Learning curves and impact of previous operative experience on performance on a virtual reality simulator to test laparoscopic surgical skills, in: *American Journal of Surgery* (185, 2) 2003, S. 146-149, hier S. 149)

39 Vgl. auch: „Nowadays, most simulators are oriented to training surgeons in only one surgery technique.“ (Monserrat, Carlos/López, Oscar/Meier, Ullrich et al.: *GeRTiSS: A generic multi-model surgery simulator*, in: *Ayache/Delingette* (Hgg.): *IS4TM* 2003, S. 59-66, hier S. 59)

40 Persönliche Korrespondenz mit Kai Lehmann, 16.4.2005.

41 Die Instrumente und Geräte für die Kraftrückführung sind kostspielig.

te. Die ‚französische Methode‘ und die ‚nordamerikanische Methode‘ unterscheiden sich nebst der Operationstechnik durch die verschiedenen Positionen der Trokars für die Instrumente (nicht für die Kamera, diese steckt immer im Nabel). Der Umstand, dass man in den USA bei der Cholezystektomie eine 0°-Kamera wählt, und in Europa eine um 30° geneigte Optik (angezeigt mit einem kleinen schwarzen Dreieck im runden Bildausschnitt), macht sich möglicherweise bereits bei einer Ansicht auf die Organe bemerkbar, spätestens aber beim Bedienen der jeweiligen virtuellen Kamera. Die Anzahl und Auswahl der in einem Szenarium angebotenen Instrumente wird nur bedingt Aufschluss über die Operationstechnik geben können, da in der Übung oft nicht die komplette Prozedur vom Einbringen des Trokars bis zum Zünähen ausgeführt wird, sondern nur Teilaufgaben davon.

INGENIEURSWISSENSCHAFT(LICHE FLEXIBILITÄT). In den Publikationen schildern die Entwickler die angewandten Algorithmen samt den ihnen zugrunde liegenden technischen Problemen und Herausforderungen, sowie die Verbesserungen hinsichtlich vorangegangener Fremd- oder Eigenleistungen. Die veröffentlichten Abbildungen, die man als Stills⁴² aus einer Simulation identifizieren soll – was meist dann der Fall ist, wenn neben den Körperteilen noch mindestens ein Instrument in Erscheinung tritt –, werden in den seltensten Fällen dahingehend beschrieben, aufgrund welcher inhaltlichen Überlegungen das zu Sehende in seiner Form, Farbe, Beleuchtung und Einbettung definiert worden ist. Meistens benennt man die gezeigten organischen Strukturen und bezeichnet ihre Darstellung als „realistisch“. Diese einheitsstiftende verbale Einschätzung⁴³ lässt sich freilich kaum in einer Ähnlichkeit der Ergebnisse untereinander wiederfinden. Es ist aber auch kaum anzunehmen, dass Ingenieure eine ganz bestimmte Szenerie adressieren, wenn sie von „Realismus“ schreiben.⁴⁴ Die Behauptung von Realismus betrifft großteils nicht

42 Selbst für diejenigen, die das Bild dezidiert als ihren Forschungsmittelpunkt sehen, ergeben sich bei Simulatoren methodische Probleme: Da ein ‚Still‘ eine ausschnittshafte Momentaufnahme innerhalb einer fließenden Darstellung ist, erfasst man mit der Analyse der abgebildeten Komposition, Ausschnitt und Blickwinkel weniger die Eigenheiten der Simulation als jene des vorliegenden Stills. Die Haptik und Akustik als wichtige Bereiche sind in ihnen gar nicht repräsentiert. So ist von einem einzelnen Still nicht erschließbar, wie ähnlich und verschieden die Simulationen untereinander in der Erfahrung sind, da die virtuelle Kamera bewegbar ist und beispielsweise die ganze Breite an möglichen Ansichten berücksichtigt werden müsste.

43 Die Charakterisierung der möglichen virtuellen Umgebungen als „realistisch“ wird teilweise inflationär gebraucht. In manchen wissenschaftlichen Publikationen taucht der Begriff auf knappen vier Textseiten bis zu 15 Mal auf.

44 Eine innerbildliche Festlegung liegt nicht in ihrem Ambitionsbereich. Diese sollte aus ihrer Sicht v.a. kundenorientiert sein. Falls seitens der Ingenieure etwas konkreter gezeigt wird, drückt man sich gegenüber der Szenerie sehr bescheiden aus, da man sich nicht im eigenen Kompetenzgebiet wähnt: „Es sollte bemerkt werden, dass die in dieser Arbeit vorgestellten Darstellungen anatomischer Modelle nicht von fachkundigen Medizinern erstellt wurden und daher nicht den Anspruch auf vollkommene Realitätsnähe erheben.“ (Çakmak, Hüseyin

die Charakterisierung eines Endprodukts, sondern taucht in den technischen Berichten zu Teilbereichen auf. Man zeigt darin, welchen Weg man für die Lösung eines Aspekts eingeschlagen hat, um zu einem „realistischen Ergebnis“ zu kommen. Möglicherweise ist damit eine ‚adaequatio‘-Formel ausgesprochen, die nach Bruno Latour die Kluft zwischen Welt und Bild überbrücken soll, welche dadurch entstanden war, dass man die einzelnen Zwischenglieder des Verweisungsprozesses aus den Augen verloren hat.⁴⁵ Immerhin bauen – so hoffe ich angedeutet zu haben – Chirurgesimulatoren bereits in jedem Detail auf ausgefeilte Techniken und medizinische Bildgebungsverfahren auf, ohne diese hinterfragen zu können.

Für die Forscher aus den Bereichen der Informatik und Ingenieurwissenschaften steht das sukzessive Ausbauen auf der Ebene der Ermöglichung weit eher im Zentrum als die in der Entstehungsphase meist nur kurzzeitig geronnene Gestalt eines Simulators. Symptomatisch dafür ist, dass viele meiner im Indikativ gestellten Fragen („warum ist dies so dargestellt?“) im Konjunktiv beantwortet wurden („dies wäre auch möglich“). Für sie ist die Angesichtigkeit eines Simulators nur eine mögliche Ausformung der Soft- und Hardwarekomponenten. Gegenüber einem Inhalt kann man so flexibel reagieren wie das geschaffene System selber. Von meiner, einer bildtheoretischen Sicht, wird – um den Ausdruck von Harun Badakhshi zu verwenden: bei „modularen Graphiken“⁴⁶ – mit zunehmender Flexibilität sowie kontinuierlichen Einstellungsmöglichkeiten jede Beschreibung schwieriger – vor allem wenn es sich um interaktive Anwendungen handelt, wo es sowieso schon gilt, einen dynamischen Bildbegriff des Potentiellen zu erproben. Aus meinen insistierenden Fragen musste ich letztlich auf meinen dadurch implizit manifest gewordenen Wunsch schließen, etwas Verfestigtes vorfinden zu wollen, an Stellen, wo das Denken und Agieren in stationären Einheiten nicht üblich ist.

NATURWISSENSCHAFT(LICHE GRUNDLAGENFORSCHUNG). Obschon Chirurgesimulatoren der medizinischen Didaktik dienen sollen, wird ihre Erstellung von wissenschaftlichen Studien begleitet. In manchen Fällen wird mit der Herstellung von Chirurgesimulatoren auch Grundlagenforschung betrieben, wie beispielsweise in der Graduate School of Informatics an der University of Kyoto. Dort ist man dabei, einen Herzsimulator für chirurgische Eingriffe zu entwickeln, indem man ein Modell des für die Kontraktion einer Herzzelle relevanten Stoffwechsels programmiert. Dieses elektro-physiologische *Kyoto Model* wird in ein mechanisch-physikalisches Modell (*DynaBioS*), welches etwa die Organform festsetzt, eingebracht wer-

K.: Echtheitssimulation elastodynamischer Gewebe am Beispiel eines „Virtual Reality“ Trainingsgeräts für die minimal invasive Chirurgie, Diss., Wissenschaftliche Berichte Forschungszentrum Karlsruhe, FZKA 6592, März 2001, S. 11)

45 Vgl. Latour, Bruno: Zirkulierende Referenz. Bodentischproben aus dem Urwald am Amazonas, in: ders.: Die Hoffnung der Pandora, Frankfurt/M 2002, S. 36-95, hier S. 88-89. Eine weitere Erklärung zum Verständnis des „Realismus“ bietet auch Breidbach in diesem Band, S. 28.

46 Vgl. Badakhshi in diesem Band, S. 203.

den.⁴⁷ Insgesamt werden derzeit folgende Teilbereiche modelliert: die 3D-Form des linken Ventrikels, die Zellorientierung der linken Ventrikelwand, die 3D Form und Funktion der Herzsclagader, das Erregungsleitungssystem mit Atrioventrikulär-bündel, die Blutzirkulation des gesamten Körpers, die fluide Dynamik des Blutes im linken Ventrikel, die Elektrophysiologie von Myozyten, die Mikrozirkulation, die mechanischen Eigenschaften des Myocardiums u. s. w.⁴⁸ Damit gehört diese Anwendung zur ‚dritten Generation‘ von Simulatoren, die auch die funktionale Natur der Organe berücksichtigt.⁴⁹ Bisher gibt es keine Möglichkeit, diese Anforderungen in Echtzeit zu rechnen. Aber man spekuliert damit, dass in einigen Jahren Computer mit entsprechenden Kapazitäten zur Verfügung stehen werden. Einstweilen forscht man auf physiologisch-zellulärer Ebene ohne anatomische Visualisierung und auf der mechanischen Ebene mit einem Viertel des Herzens, dem linken Ventrikel (gewonnen aus MRT-Segmenten der Systole des Institutsleiters Tetsuya Matsuda⁵⁰). Und selbst der besteht aus stark vereinfachten ‚Zellgruppen‘ und einigen Herzkranzgefäßen. Ein Mitarbeiter des Labors meinte, eine synthetische 3D-Ansicht dieses Herzens tue bei der Präsentation für das Laienpublikum und der Akquisition von Mitteln gute Dienste. Sie eigne sich aber nicht zur wissenschaftlichen Publikation, weil man daran nichts Quantifizierbares ablesen könne.⁵¹ Wenn es stimmt, dass wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Normierung des

47 Matsuda, Tetsuya/Akira, Amano/Kotera, Hidetoshi: DynaBioS: A Dynamic Biosimulator and its Application to Left Ventricular Wall Motion, in: 2nd Kyoto University International Symposium of „Leading Project of Biosimulation“: The Heart Simulation: From Cell Metabolism to Clinical Application, Kyoto University 26.-27.11.2004, S. 13.

48 Amano, Akira/Kanda, Kenichi/Shibayama, Tsukasa et al.: Model Generation Interface for Simulation of Left Ventricular Motion, in: Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology (EMBC), 2004, S. 3658-3661, hier S. 3658.

49 Derzeit stecken die allermeisten Applikationen in der ‚zweiten Generation‘, welche inhaltlich (z. B. Versorgen des Gewebes durch den Üben) weniger Anreize für wissenschaftliche Fragestellungen bietet. Im Gegensatz zur sogenannten ‚ersten Generation‘ von Simulatoren, welche ausschließlich die geometrischen Eigenschaften der Anatomie berücksichtigen, erlaubt die ‚zweite Generation‘ physikalische Interaktionen mit der anatomischen Struktur. Vgl. dazu: Monserrat/López/Meier et al.: GeRTISS. A generic multi-model surgery simulator, S. 59-60.

50 Da die Erstellung der MRT-Segmenten einige Zeit in Anspruch nimmt und dabei das Herz nicht still steht, muss man bei der dreidimensionalen Rekonstruktion des Modells von MRT Daten unterschiedlicher Herzschläge ausgehen. Gunnar Schmidt spricht in einem vergleichbaren Zusammenhang von einem „Summationsbild“, vgl. Schmidt in diesem Band.

51 Interview mit einem Entwickler, 18.3.2005. Ein (publizierbares) Still ist in jeglicher Hinsicht unzulänglich für Aussagen zur Haptik und Dynamik. Aber selbst wenn es gelänge, den Simulator als Ganzen zu publizieren, änderte dies kaum etwas, es sei denn, nebst dem sinnlichen Zugang würden auch die errechneten Werte zur Verfügung gestellt. Andererseits gibt es hierzu jedoch auch Aussagen, die behaupten dass man sogar aus Stills der Simulation unter Umständen die verwendeten Algorithmen ableiten könne.

Blicks⁵² und der Übersetzung des epistemischen Dings in Messdaten gewonnen werden, ist der zu beschreitende Weg jener der Abstrahierung und theoriekonformen Überformung der Phänomene. Sobald man jedoch, wie bei einem Chirurgiesimulator, durch – entlang der Perzeption orientierter – Konstruktion eine Inversion der ursprünglichen Komplexitätsreduktion erhält, kann daran am Ende wieder nichts mehr abgelesen werden. Helga Nowotny schreibt in ihrer Einleitung zum Buch *Shifting Boundaries of the Real: Making the Invisible Visible*, dass die „rasante Entwicklung neuer Simulations- und Modellierungstechniken, wie sie durch die Computer in jüngster Zeit ermöglicht wurde, [...] dazu geführt [hat], dass ständig neue visuelle Kriterien von Evidenz geschaffen werden.“⁵³ Diesen Kriterien scheinen die medizinischen Simulatoren im Hinblick auf eine naturwissenschaftliche Grundlagenforschung gerade nicht zu entsprechen.

5. Zusammenfassung

Es ging mir darum nachzuvollziehen, welcher Bezug der beteiligten Forschergruppen zu ihrem auf die sinnliche Erfahrbarkeit ausgelegten Produkt nahe gelegt würde, ginge man ausschließlich von ihren Fachpublikationen aus. Für Naturwissenschaftler ist der Simulator ohne Zahlenwerte nicht mehr aussagekräftig, die Ingenieure halten sich mit inhaltlich-motivischen Festlegungen zurück und fertigen nutzerorientiert an. Die Mediziner – Mitentwickler oder Kunden – bestimmen im Wesentlichen die Operationsszenarie, ohne diese explizit zu beschreiben. Sie bewerten die Tauglichkeit der Simulation über die Trainingserfolge, was nahe legt, dass das Wesentliche in der praktischen Auseinandersetzung mit dem System liegt, worin sich der visuell-sinnliche Aspekt einreicht. Obwohl viele Anstrengungen explizit in die Herstellung von Sinnlichkeit fließen, bleibt letztere aus verschiedenen Seiten großteils unbeleuchtet.⁵⁴

52 Breidbach, Olaf: Bilder des Wissens. Zur Kulturgeschichte der wissenschaftlichen Wahrnehmung, München 2005, S. 171.

53 Nowotny, Helga: *Shifting Boundaries of the Real: Making the Invisible Visible*, in: dies./Weiss, Martina (Hgg.): *Shifting Boundaries of the Real: Making the Invisible Visible*, Zürich 2000, S. 1-4, hier S. 2.

54 Ich danke an dieser Stelle Uwe Kühnapfel, Hüseyin K. Çakmak, Heiko Maaß, Kai Lehmann, Tetsuya Matsuda, Natalie Schneider, Akira Amano, Shigeyuki Suzuki, Kensaku Sakai, Hans H. Diebner, Tanja Klemm für fruchtbare Gespräche.

Inge Hinterwaldner ·
Markus Buschhaus · Hrsg.

The Picture's Image

Wissenschaftliche
Visualisierung als Komposit



A - 4028 152

2s grau 5.3

Katalog

Wilhelm Fink Verlag

Gedruckt mit freundlicher Unterstützung der Fritz Thyssen-Stiftung, Köln.



Umschlagabbildung:

Philip Radowitz, unter Verwendung einer Abbildung von Adams, George:
„Micrographia illustrata“, London 1771, Abb. 257 auf der Tafel 40 gegenüber der Seite 154.
Mit Genehmigung des Syndikus der Cambridge University Library.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen
Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten. Dies betrifft auch die
Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen
oder Bilder durch alle Verfahren wie Speicherung und Übertragung
auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien,
soweit es nicht §§ 53 und 54 URG ausdrücklich gestatten.

© 2006 Wilhelm Fink Verlag, München
Wilhelm Fink GmbH & Co. Verlags-KG, Jühenplatz 1, D-33098 Paderborn

Internet: www.fink.de

Einbandgestaltung: Evelyn Ziegler, München
Herstellung: Ferdinand Schöningh GmbH & Co KG, Paderborn

ISBN 10: 3-7705-4354-8
ISBN 13: 978-3-7705-4354-0

INHALTSVERZEICHNIS

INGE HINTERWALDNER/MARKUS BUSCHHAUS Zwischen Picture und Image. Überlegungen zu einem komplementären Kompositbegriff	9
 I BILDER ALS MODELLE DER MEDIENREFLEXION	21
 OLAF BREIDBACH Naturbilder und Bildmodelle. Zur Bildwelt der Wissenschaften	23
 ERNA FIORENTINI Instrument des Urteils. Zeichnen mit der Camera Lucida als Komposit	44
 ANETTE HÜSCH Bildmedien als Medienbilder. Zu der Serie <i>Screens, cold</i> von Günther Selichar	59
 ALBENA YANEVA Shaped by Constraints: Composite Models in Architecture	68
 II HISTORISCHE MANUELLE BILDTECHNIKEN. VERSUCHE DER VERFESTIGUNG FLÜCHTIGER EINDRÜCKE IN DER FRÜHEN NEUZEIT	85
 TANJA KLEMM Huftier oder Mensch? Bildpraktiken vergleichender (Hirn-)Anatomie im frühen 16. Jahrhundert	87
 KARIN LEONHARD Blut sehen	104