

Sabina Misoch

**Mediatisierung, Visualisierung
und Virtualisierung
Bildgebende Verfahren und
3D-Navigation in der Medizin –
eine bildwissenschaftliche und
mediensoziologische Betrachtung**

Abstract

Pictures are a pivotal element of our culture and emerge to be indispensable for most of society's areas. This increasing importance is closely related to mediatization processes in our society. This paper deals with the mediatization process in the operating room and focuses on the implementation of pictures within this field. Using iconographic methods and empirical data (interviews, image analysis), this paper will show the developments from pure depictive pictures to digital images and further to (knowing) pictures (the latter leading to people's actions). We then will discuss some consequences of this comprehensive process on individual, social, cognitive-mental, and societal level.

Bilder sind zentraler Teil unserer Kultur und für die meisten gesellschaftlichen Teilbereiche zunehmend unverzichtbar. Diese wachsende Bedeutung steht im engen Zusammenhang mit gesellschaftlichen Mediatisierungsprozessen. Auf der Grundlage von bildwissenschaftlicher Analysen sowie gestützt auf empirische Daten (Interviews, Bildanalysen) wird anhand des Beispiels der Verwendung von Visualisierungen im OP dargelegt, wie sich dieser Prozess vom Abbild zum digitalen Bild bis hin zu den (wissenden) handlungsimplicierenden

den Bildern vollzieht. Die Folgen dieses umfassenden Mediatisierungsprozesses – bestehend aus Visualisierung und Virtualisierung – werden auf individueller, sozialer, kognitiv-mentaler und gesellschaftlicher Ebene reflektiert.

1. Mediatisierung in der Medizin

1.1 Der Begriff der Mediatisierung

Mediatisierung kann als einer der zentralen Prozesse moderner Gesellschaften angesehen werden und zeichnet sich dadurch aus, dass dieser (nahezu) alle Bereiche des menschlichen Lebens umfasst. Blumler und Kavanagh beschreiben den Begriff ›Mediatisierung‹ als »the media moving toward the center of the social process« (BLUMLER / KAVANAGH 1999: 211). Nachfolgend soll aber von einem umfassenderen Verständnis dieses Begriffes ausgegangen werden, wonach Mediatisierung ein Metaprozess ist, »the idea of changing structures of the individual« (KROTZ 2008: 24). Damit ist Mediatisierung ein Prozess, der nicht nur wie von Blumer und Kavanagh beschrieben die Kommunikation und soziale Interaktionen durch mediale Vermittlung verändert, sondern im Sinne von Krotz ein weitaus umfassenderer Prozess, der weitreichende Folgen für das Individuum und dessen innere Strukturen mit sich bringt.

In diesem weiten Begriffsverständnis hat die Mediatisierung eine nachhaltige Veränderung in der Wahrnehmung und Konstruktion der Realität zur Folge. Dies soll exemplarisch an einem konkreten Beispiel aufgezeigt werden. Im Fokus steht dabei ein spezieller Bereich, der derzeit eine intensive Phase der Mediatisierung erlebt: der Bereich der Chirurgie.

1.2 Mediatisierung in der Chirurgie

Die Geschichte der Medizin und hierbei besonders der Bereich der Chirurgie kann auch als eine Abfolge von Medieninnovationen beschrieben werden (vgl. SCHWABE 1986). Im Vergleich zu allen anderen Bereichen der Medizin ist der Bereich der Chirurgie am stärksten dynamisiert; dies gilt auch für den institutionalisierten Raum des chirurgischen Eingriffes, den OP-Saal: dieser ist durch eine permanente Modifizierung gekennzeichnet: »There is no area that is more dynamic and ever-changing than the operating suite« (AKRIDGE 2010).

Ziel der nachfolgenden Analysen ist es, die Veränderungsdynamik und die Folgen der Mediatisierung für kognitive und soziale Prozesse zu ermitteln.

1.3 Mediatisierung im OP

Für die bildanalytischen Reflexionen lohnt es sich, die Gesamtsituation im OP und deren Wandel in den letzten 100 Jahren zu betrachten, denn bereits hier zeigt sich die Dynamik der Mediatisierung deutlich.



Abb. 1:
OP-Saal im Jahre 1902 (vgl. <http://history.cdpl.lib.in.us/images/p018-26.jpg>)



Abb. 2:
OP-Saal am Ende des 20. Jh.
(vgl. http://www.hna.de/bilder/2010/11/25/1022693/205027835-345430501_344.9.jpg)



Abb. 3:
Saal im Jahre 2010 bzw. der Zukunft
(vgl.: http://www.somit-fusion.de/SF/_img/partner/MIMED_Bild1.jpg).

Eine Bildanalyse dieser drei Photographien von Operationssälen unterschiedlicher historischer Zeitpunkte verdeutlicht, wie umfassend in diesem Funktionsraum der Prozess der Mediatisierung voranschreitet und wie zentral dieser Prozess von Visualisierungen begleitet ist: Heute ist der gesamte Raum des chirurgischen Eingriffes von Medien eingenommen – bildgebende Verfahren, die das Körperinnere abbilden und als visuelle Orientierung für den Eingriff fungieren: »Ganz konkret in unseren völligen normalen Standard OP-Sälen, haben wir also jetzt Bildschirme an der Wand mit Touchscreen-Funktion, äh, Monitor zur Codierung und zur Eingabe von Patientenlisten, dann andere Monitore für die Anästhesie. Bei laparoskopischen Operationen einen Hauptmonitor und dann noch einen Monitor für Zuschauer und dann noch einen Touchscreen zum Bedienen der Geräte. Dann für verschiedenste Elektrogeräte auch noch diverse Touchscreens, sodass das letztendlich einen Wust von visualisierten Informationen gibt im OP-Saal [...]« (vgl. Interview 4, Z. 333–339).¹

Im Vergleich der Abb. 1 und 2 fällt auf, dass sich die soziale Situation im Raum kaum verändert zu haben scheint – es ist immer noch ein medizinisches Team mit je nach Aufgabenbereich verteilten sozialen Rollen direkt am OP-Tisch tätig² – aber die Techniken der Intervention und die diesem Eingriff zugrundeliegenden Orientierungsdaten haben sich grundlegend verändert, wobei eine Modifikation der Blickrichtungen stattgefunden hat: es wird nicht mehr (nur) der Patient bzw. das Operationsfeld fokussiert, sondern die medizinischen Bilder selbst stehen zunehmend im Fokus der Aufmerksamkeit der Akteure. Betrachtet man den Ausschnitt aus einem OP-Team in Abb. 3, so wird deutlich, dass hier ein weiterer Wandel stattgefunden hat: das Team hat zwar weiterhin verteilte Rollen, aber die Mediatisierungen (hier: Bildschirm eines Tablet-PC) sind von der OP-Wand direkt an den OP-Tisch und damit in unmittelbare Patienten- und Interventionsnähe gerückt. Dieser Umstand der zunehmenden Nähe zum eigentlichen Interventionsort kann als ein Beleg für die gestiegene Relevanz der medizinischen Bilder d.h. der digitalen Visualisierungen interpretiert werden.

1.4 Methodische und empirische Basis

Ein zentrales Element dieser Veränderungsdynamik ist der Einzug der digitalen Bilder und der Visualisierungstechniken in den OP. Um sich mit diesem komplexen und mehrdimensionalen Mediatisierungsprozess auseinanderzusetzen, werden im Folgenden verschiedene Methoden miteinander kombiniert. Es wird anhand bildtheoretischer Überlegungen, mittels hermeneutischer Bildanalysen sowie unter der Verwendung von Daten aus qualitativen Interviews erörtert, welche Folgen dieser umfassende Mediatisierungs-/Visualisierungsprozess nach sich zieht.

¹ Zu den durchgeführten Interviews siehe Abschnitt 1.4

² Ein solches Setting ändert sich z.B. grundlegend beim Einsatz von Telemanipulationssystemen wie z.B. dem Da-Vinci-System (vgl. u.a. MISOCH 2007)

Die verbalen Daten stammen aus qualitativen Interviews, die im Rahmen eines Forschungsprojektes im Bereich der Medizintechnologie erhoben wurden. Dieses vom BMBF geförderte Projekt (SOMIT; Schonender operieren mit innovativer Technik) hatte u.a. zum Ziel, ein bildgeleitetes Assistenzsystem für die Leberchirurgie zu entwickeln (Teilprojekt FUSION) und es wurden im Rahmen dieses Projekts in den Jahren 2009 und 2010 qualitative (leitfadengesteuerte) Interviews (vgl. MAYRING 2007) mit den an diesem Projekt teilnehmenden Chirurgen durchgeführt.³ Des Weiteren wurden Bildanalysen, bildbezogene Dokumentanalysen⁴ (der Projektdokumente) und Fotografien von Situationen im OP-Saal herangezogen, die jeweils anhand der qualitativen Bildhermeneutik ausgewertet und interpretiert wurden (vgl. SOWA / UHLIG 2006).

2. Zum Bildbegriff

Eine zentrale Bedeutung kommt im Rahmen dieses umfassenden Mediatisierungsprozesses den (wissenschaftlichen) Bildern zu (vgl. WEINGART 2005). Um die Relevanz und Verbreitung dieser Bilder beschreiben zu können, ist der Begriff des Bildes genauer zu definieren. Dabei ist darauf zu verweisen, dass der Bildbegriff »eine semantische Mehrdeutigkeit in sich [birgt]: Er steht sowohl für die bemalte Leinwand als auch für die darauf portraitierte Person, sowohl für die Röntgenstrahlen geschwärzte Filmfolie als auch für das darauf dargestellte durchleuchtete Organ – er steht also sowohl für das Gefäß als auch für dessen Inhalt« (MEYER-EBRECHT 2005: 46).

Bei den medizinischen Bildern – die im Fokus dieser Ausführungen stehen – handelt es sich um digitale Wissenschaftsbilder, die durch folgende Charakteristika gekennzeichnet sind:

2.1 Wissenschaftsbilder

Wissenschaftsbilder (vgl. u.a. MERSCH 2009) stellen eine spezielle Subdimension von Bildern dar. Es handelt sich um zweckgerichtete Verbrauchsbilder kausalen Ursprungs mit instrumentellem Charakter, die bestimmten Lesarten d.h. Interpretationen unterliegen. Die Wissenschaftsbilder selbst »sind grundsätzlich als Modelle, als ästhetische Konstrukte aufzufassen, die auf Nachvollziehbarkeit (also Rekonstruktion im experimentellen Sinn) angelegt sind. Als

³ Es sollten anhand der Interviews exemplarisch die subjektiven Sichtweisen und Einstellungen der Chirurgen erhoben werden. Untersucht wurden zum einen medizinische (persönliche, berufliche, kognitive, konative, therapeutische) als auch soziale und normativ-evaluative Faktoren. Die Auswahl dieser Faktoren orientierte sich an der Erkenntnis, dass sich für die Akzeptanz eines technischen Systems nicht nur rationale oder ökonomische Faktoren, sondern auch und vor allem subjektive Bewertungen und somit soziale Konstruktionen als ausschlaggebend erweisen, weil erst in diesen Prozessen dessen Bedeutung konstruiert wird. Diese subjektiven Bewertungen können damit nicht direkt, sondern nur indirekt durch das Messen der verschiedenen Konstruktvariablen ermittelt werden. Für den vorliegenden Text wurden jene Passagen der Interviews ausgewertet, die sich mit den Themen Technisierung im OP und Bild-/Visualisierungstechniken auseinandersetzen. (vgl. z.B. SLABY / URBAN 2005)

⁴ Aus zur Verfügung stehenden Dokumenten des Projektes FUSION.

Artefakte unterliegen sie gewissen Formen der Inszenierung. Objektivität kann somit nur im Sinne einer intersubjektivierbarkeit im wissenschaftlichen Diskurs verstanden werden« (LOHOFF 2007: 108).

Historisch betrachtet gibt es Wissenschaftsbilder seit der frühen Neuzeit. Hierbei handelte es sich um Visualisierungen, die z.B. in Atlanten verwendet wurden, um eine Objektivierung des Dargestellten zu leisten. Hier zeigte sich, dass diese Wissenschaftsbilder als Modell fungierten und als solche Modelle neben der Darstellung und Abbildung bestimmter Inhalte und Strukturen auch Idealvorstellungen implizierten: »Atlases of ›characteristic images might be seen as a hybrid of the idealizing and naturalizing modes: although an individual object (rather than an imagined composite or corrected ideal) is depicted, it is made to stand for a whole class of similar objects« (DASTON / GALISON 1992: 94).

Der Einzug der Photographie in die Wissenschaften im 19. Jahrhundert wurde als ein entscheidender Schritt hin zur Objektivität gefeiert und bereits 1878 ging Marey davon aus, dass Visualisierungen (Graphiken, Fotos) Inhalte besser zu vermitteln wüssten als die Sprache und dass die Zukunft der Wissenschaftskommunikation im Visuellen liege: »... il me sembla que ce mode d'inscription devait être généralisé ; qu'il était l'expression naturelle des phénomènes, et qu'il traduisait clairement ce que le langage ne peut rendre« (MAREY 1878: 6).

Heute werden Wissenschaftsbilder nach Hüppauf und Weingart weiter differenziert in (1) Bilder, die innerhalb der Wissenschaften hergestellt werden und sich an Wissenschaftler/innen wenden und (2) Bilder, die die gleiche Produktionsbasis besitzen, sich aber an ein breites, nicht wissenschaftliches Publikum wenden (vgl. HÜPPAUF / WEINGART 2009). Diese Differenz ist hilfreich, jedoch nicht trennscharf. Für die nachfolgenden Ausführungen steht die erste Kategorie im Fokus und damit jene Wissenschaftsbilder, die für den wissenschaftlichen Einsatz produziert wurden und die damit Wissenschaftsbilder im engeren Sinne darstellen. Diese Wissenschaftsbilder werden im Falle ihrer Verwendung im Wissenschaftskontext als (strategisches) Erkenntnisinstrument eingesetzt und erfordern und evozieren damit intentionales⁵ Bildhandeln (vgl. LOHOFF 2007).

2.2 Digitale Bilder

In Verfahren der Visualisierung d.h. medizinischer Bildgebung werden digitale Bilder produziert. Der Vorteil digitaler Bilder liegt u.a. darin, dass sie Prozesse zu visualisieren vermögen, die sonst nicht sichtbar wären und dass dadurch Inhalte dem Diskurs zugeführt werden d.h. damit erst kommunizierbar und verhandelbar werden. Dies erleichtert deren wissenschaftliche Zirkulation und ermöglicht deren Bereitstellung für andere kommunikative Aushandlungsprozesse.

Die Differenz zwischen analog und digital avancierte zur medientheoretischen Leitdifferenz der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, wobei vor

⁵ Der Begriff des intentionalen Handelns wird hier an Giddens angelehnt.

allem Goodman für eine polare Gegenüberstellung dieser Begriffe argumentierte (vgl. SCHRÖTER 2004; GOODMAN 1997). Konnten vor dem digitalen Zeitalter Bilder im engeren Sinn noch als »flächige und klar begrenzte Gegenstände [charakterisiert werden], die innerhalb eines kommunikativen Aktes zur visuellen Veranschaulichung eines Sachverhaltes dienen« (SACHS-HOMBACH 2002: 16), so ist dies bei digitalen Bildern nicht mehr möglich. Als digitale Bilder können jene Bilder bezeichnet werden, die keine eigentliche Materialität besitzen und die numerische bzw. errechnete Bilder sind (vgl. KITTLER 2004). Im Bereich der Wissenschaftsbilder sind digitale Bilder kausal verursachte Bilder (vgl. LOHOFF 2007), die apparativ erzeugt sind. Die digitalen Bilder selbst sind das Ergebnis mathematischer Algorithmen und vermögen auf zwei Ebenen Unsichtbares zu visualisieren: (a) Zum einen Daten, die ihrerseits rein mathematische Codes (0/1) sind und zum anderen (b) innerphysische Prozesse wie z.B. Hirnströme, die an sich nicht sichtbar sind (vgl. HESSLER 2006). Es handelt sich deswegen um sogenannte »Simulakra⁶, Produkte technischer Berechnung ohne Original, und sie fordern erstaunliche Beteiligung der Imagination, um überhaupt zu Bildern zu werden« (HÜPPAUF / WEINGART 2009: 29). Digitale Bilder haben damit keinen Zeichenstatus im klassischen Sinne: Sie verweisen zeichenhaft auf etwas Reales, da ihre Basis durchaus real ist, aber sie sind ohne Visualisierung nicht sichtbar. Damit ist die »Sicherheit, ob das digitale Bild überhaupt ein Abbild sein kann, [...] nicht mehr gegeben« (HÜPPAUF / WEINGART 2009: 28).

Digitale Bilder haben damit einen anderen epistemologischen Status als bisherige Bildarten und es ist fraglich, ob auf Datenbilder der Begriff der Evidenz (wie vormals auf die Abbilder bzw. Repräsentationen geschehen) angewandt werden kann. Diese neuen Bilder bringen vielmehr eine Wirklichkeit erst hervor, die es ohne diese Bilder gar nicht gäbe (vgl. HÜPPAUF / WEINGART 2009). Deswegen wurde vorgeschlagen, den Begriff der Abbildung oder Repräsentation, der bei analogen Bildern angemessen ist, durch den der Begriff der Sichtbarmachung zu ersetzen (vgl. HEINTZ / HUBER 2001).

Dieser Konstruktionscharakter digitaler Bilder lässt sich daran aufzeigen, dass es sich um Verfahren handelt, die auf Messungen basieren und diese algorithmisch aufbereiten und graphisch weiterverarbeiten. »Darauf lassen sich dann unterschiedliche Funktionen wie Klassifikation, Sortierung, Typologie oder Rasterung anwenden, die gleichermaßen der Bündelung wie Dynamisierung der Daten dienen, die auf paradoxe Weise sichtbar machen ohne optisches Korrelat« (MERSCH 2009: 122). Damit sind diese digitalen Bilder Konstruktionen und visuell Kontingent, zumal diese technischen Bilder durch ihre scheinbare Evidenz die ihnen inhärente Tendenz haben, die eigene »Konstruktivität und mediale Bedingtheit zu verbergen« (LOHOFF 2007: 69). Dass technische Bilder dennoch als »objektiv« betrachtet werden, ist zum einen das Ergebnis kultureller Zuschreibungsprozesse und sozialer Konstruktion (vgl. HEINTZ / HUBER 2001) und zum anderen ihrer apparativen Entstehung geschul-

⁶ Siehe hierzu vor allem Baudrillard, der sich mit dem Simulacrum und der in der Postmoderne fehlende Differenz von Original und Kopie, Realität und Fiktion auseinandergesetzt hat (z.B. BAUDRILLARD 1978)

det.⁷ Darüber hinaus wird dieser Umstand auch von den Bildern selbst verschleiert, denn die »Herkunft und der Entstehungsprozess sind wissenschaftlichen Bildern häufig nicht mehr anzusehen, das Instrument tritt somit als Voraussetzung experimenteller Bilderzeugung nicht mehr in Erscheinung und die isolierten Bilder erscheinen dem Ideal einer voraussetzungslosen Beobachtung zu entsprechen« (HENNIG 2006: 378). Digitale Bilder scheinen trotz ihres Konstruktionscharakters und ihrer rein algorithmischen Basis ein »Abdruck des Realen« (NOHR 2001: 2) zu sein und werden innerhalb der Diskurse als authentifizierendes Material verwendet.

3. Medizinische Bildgebung

Medizinische Bildgebung ist ein Sammelbegriff für alle Techniken, die eine visuelle Darstellung/Abbildung von inneren Strukturen (Knochen, Gewebe) oder das Sichtbarmachen innerer Prozesse (z.B. Durchblutungsintensität) für den klinischen Einsatz ermöglichen. Damit handelt es sich um eine Subkategorie der Wissenschaftsbilder.

Die Geschichte medizinischer Darstellungen des Körperinneren kann bis in die Renaissance zurückverfolgt werden; hier ist u.a. der Anatomieatlas von Vesalius (erschienen 1543) zu nennen, die erste bekannte visuelle Darstellung der menschlichen Organe (vgl. SCHINZEL 2004). Diese Visualisierungen können bereits als Wissenschaftsbilder bezeichnet werden. Heute bedient man sich nicht mehr gezeichnete Bilder, sondern man verwendet Bilder, die durch andere Visualisierungstechniken (z.B. Fotografie analog und digital) entstanden sind⁸. Hierbei können die sogenannten *abbildenden* und im engeren Sinne *bildgebenden* Verfahren voneinander abgegrenzt werden.

3.1 Abbildende Verfahren

Am Anfang der Entwicklung der medizinischen Nutzung von technischen Visualisierungsmedien steht die Röntgenfotographie für diagnostische Zwecke, die ca. auf das Jahr 1890 datiert werden kann.

⁷ Und die apparative Entstehung selbst wird als Beleg der Objektivität angesehen (wiederrum eine soziale Konstruktion)

⁸ Des Weiteren gibt es anatomische Modelle, die hier jedoch nicht erörtert werden sollen, weil es sich dabei nicht um eine Visualisierungstechnik im eigentlichen Sinn handelt.

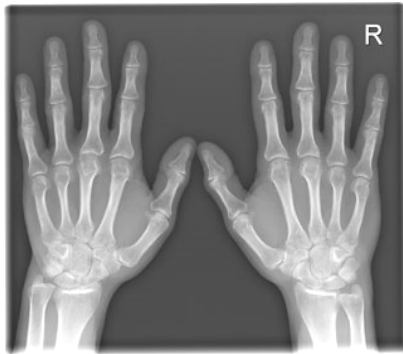


Abb. 4:
Röntgenbild als abbildendes Verfahren
(vgl. http://www.rheuma-schwerpunktpraxis.de/images/haende_g.jpg)

Visualisierungen mittels Röntgen haben Abbildcharakter, da medizinische Röntgenbilder auf realen physikalischen Parametern basieren und körperliche (v.a. knöcherne) Strukturen anzeigen und damit einen Blick in das Innere des Körpers erlauben. Diese Innensicht wird dadurch ermöglicht, indem elektromagnetische Strahlen das Gewebe durchdringen und auf der elektrochemisch präparierten Fläche Absorptionen projizieren (vgl. SCHINZEL 2004). Dieser Vorgang wird als Abbildung verstanden, weil die das Gewebe durchdringenden Strahlen auf der speziell präparierten Bildfläche (fotosensible Fläche) ein reelles Bild mittels Projektion erzeugen. Hierbei handelt es sich folglich um Wissenschaftsbilder, die Repräsentationscharakter haben, indem diese etwas zwar für das Auge⁹ Unsichtbares, aber doch real Existierendes abbilden (und damit sichtbar machen) und damit medizinischen Diagnose- und Aushandlungsprozessen zuführen. Das Röntgenbild selbst bildet dann die Grundlage für medizinische Interventionen und Therapien d.h. diese Bilder und deren Interpretationen strukturieren das daran anschließende Handeln der Akteure.

3.2 Bildgebende Verfahren

Seit der Entwicklung der Röntgentechnik haben sich viele weitere Visualisierungstechniken zur medizinischen Diagnostik entwickelt: Computertomografie (CT; auch auf der Röntgentechnologie basierend), Positronen-Emissions-Tomographie¹⁰ (PET; basierend auf Radionukliden), Sonographie (basierend auf Ultraschallwellen) oder Magnetresonanztomographie¹¹ (basierend auf Kernspinresonanz). All diese Medialisierungstechniken erzeugen Bilder und basieren auf physiologischen Parametern (oder physiologischen Reaktionen des Körpers gegenüber der Untersuchungsmethode) und erzeugen Bilder, die zwei- oder dreidimensional dargestellt werden können.

⁹ Zumindest beim lebendem und unverletztem Menschen Unsichtbares.

¹⁰ <http://de.wikipedia.org/wiki/Positronen-Emissions-Tomographie>

¹¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetresonanztomographie>

Diese Bilder haben jedoch eine andere Bildqualität als die bereits dargestellten Röntgenbilder: sie sind keine reellen Bilder mehr. Die durch bildgebende Verfahren entstandenen Visualisierungen sind »keine Produkte elektromagnetischer Strahlen auf elektrochemisch präparierten Flächen wie bei der Röntgenphotographie, sondern auf langen, komplexen und kontingenten Wegen hergestellter Daten kompliziert errechnete Konstrukte und deren Visualisierungen« (SCHINZEL 2004). Es handelt sich demnach um digitale Bilder, die keinen Abbildungscharakter besitzen, sondern die innerphysische Prozesse oder Strukturen visualisieren.

Bildgebende Verfahren erzeugen demnach Bilder, die zwar auf physiologischen Parametern des Körpers beruhen, deren Visualisierungen jedoch digitale Bilder darstellen: z.B. werden bei der Sonographie »Schallwellen in den Körper gesendet. Treffen die ausgesandten Wellen auf eine Grenzfläche im Körper – etwas zwischen unterschiedlich dichten Geweben – wird ein Teil der Wellen reflektiert, ein Teil durchgelassen. Aus deren Laufzeit und der

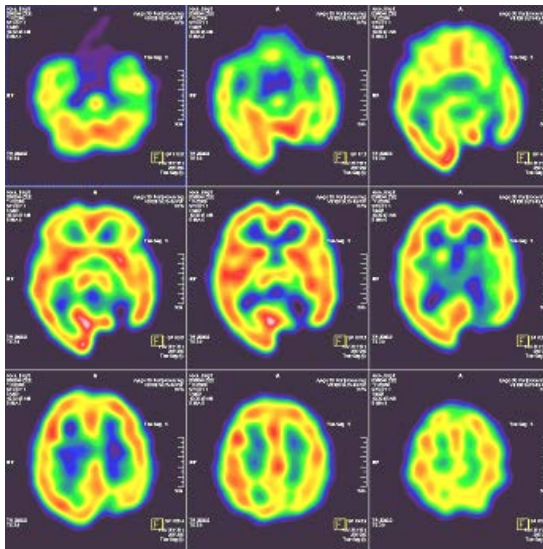


Abb. 5:
Beispiel des bildgebenden Verfahrens PET: (Schnitt-)Bilder des Gehirns (farbig visualisiert je nach Aktivitätsgrad)
(vgl. http://www.epilepsiezentrum.uk-erlangen.de/e1585/e39/e74/e297/SPECT3_ger.jpg)

Stärke des Echos wird das Bild online konstruiert« (SCHINZEL 2003). Diese Bilder sind demnach Konstruktionen und *keine* Abbilder oder Repräsentationen. Diesen konstruktiven Charakter kann man gut am Beispiel der CT aufzeigen: hier werden die Röntgenstrahlen in Lichtsignale umgewandelt, die dann auf eine Fotodiode strahlen, diese werden dann in elektrische Impulse und letztendlich in ein digitales Signal umgewandelt. Damit sind diese Bilder »visuell realisierte theoretische Modelle bzw. Datenverdichtungen. Ob die Sache so aussieht, wie die Bilder sie uns zeigen, werden wir nie mit Sicherheit wissen« (HEINTZ / HUBER 2001: 9).

4. Bildfusion, 3D-Rekonstruktion und 3D Navigation

Diese digitalen Bilder, die mittels bildgebender Verfahren apparativ hergestellt und algorithmisch berechnet werden, können noch weiter differenziert werden:

4.1 Bildfusion

Unter einer Bildfusion versteht man das Darstellen qualitativ unterschiedlicher Bilder in einem Bildformat d.h. es handelt sich um Bilder verschiedener Visualisierungstechniken, die in einer Bildansicht fusioniert werden. Bisher wurde diese Fusion der verschiedenen (visuellen) Untersuchungsdaten vom Behandelnden mental geleistet¹² (vgl. LEMKE et al. 2004). nun wird diese Fusion digital vollzogen und visualisiert d.h. es werden unterschiedliche medizinische Bilder (Ultraschalldaten, CT-Daten usw.) zu einem Bild kombiniert und synthetisiert. Diese Bildfusion kann dann zu einer 3D-Rekonstruktion führen.

4.2 3D-Rekonstruktion

Die 3D-Rekonstruktion bezeichnet nun eine vollkommen neue Bildgattung, die zum einen durch den Prozess der Bildfusion entstanden ist, die aber zusätzlich durch medizinisches Wissen angereichert ist (siehe hierzu ausführlich Abschnitt 6).

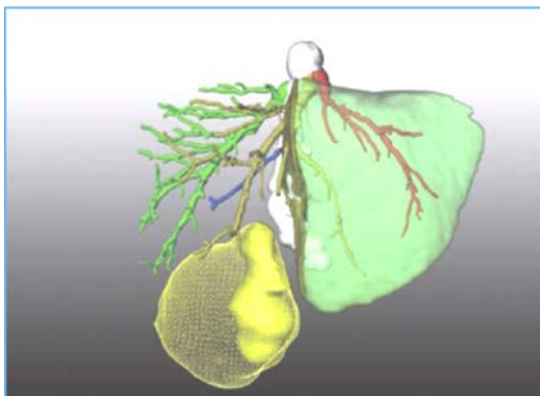


Abb 6:
Beispiel einer 3D-Rekonstruktion (vgl. BMBF 2008)

In der 3D-Rekonstruktion werden verschiedene Datenebenen bzw. Bildgattungen miteinander kombiniert und in einer dreidimensionalen Ansicht synthetisiert: so werden z.B. präoperative sonographische Bilder und aktuell intraoperative Bilder übereinandergelegt und miteinander abgeglichen. Zusätzlich wird medizinisches Wissen in die Bilder integriert, in dem nicht nur die pathologischen Strukturen angezeigt werden, sondern die restlichen Parame-

¹² Die Diskussion der Genauigkeit dieser fusionierten Bilder wird an dieser Stelle nicht geführt (vgl. LEMKE et al. 2004)

ter anhand medizinischen Wissens (analog zu den Anatomieatlanten) reproduziert und dreidimensional visualisiert werden.

4.3 Interaktive 3D-Navigation

Neben den bereits geschilderten Visualisierungsformen entsteht derzeit eine qualitativ neue Bildgattung: die bildgestützte intraoperative und interaktive¹³ 3D-Navigation (oder auch als computergestützte Navigation bezeichnet). Navigation bedeutet ursprünglich ›Steuermannskunst‹ d.h. die Kunst, sich in einem bestimmten Element zielgenau (fort-)zubewegen. Um dies realisieren zu können, benötigt man vor allem zwei Parameter: den aktuellen Standort und den Zielort. Hat man diese Daten, so kann der optimale Weg mit Hilfe eines sogenannten Navigationssystems berechnet und angezeigt werden.

In der Chirurgie bezeichnet der Begriff der Navigation »eine Klasse neuartiger Verfahren, mit denen Informatikmethoden (typischerweise rechnergestützte Bildverarbeitung [...]) zur Unterstützung chirurgischer Eingriffe eingesetzt werden« (Innovationsreport 2003)¹⁴. Das Ziel der Anwendung solcher Systeme ist eine Verbesserung der intraoperativen Orientierung um dadurch mehr Genauigkeit und bessere Operationsergebnisse zu erzielen (z.B. gewebeschonendere Eingriffe), »dass man gleichzeitig die präoperativen Planungsdaten hat, die man dann versucht mit den intraoperativen Daten in Übereinstimmung zu bringen und dadurch eine bessere Orientierung zu erlangen« (Interview 1, Z. 47–49). Bildgestützte interaktive 3D-Navigation besteht aus folgenden Daten:

- Präoperative Daten
- 3D-Rekonstruktion
- Intraoperative Daten
- Anzeige der aktuellen Lage der Instrumente im Körper des Patienten¹⁵
- Simulation (z.B. Gefäßbaum)

¹³ Interaktivität wird hierbei definiert im Sinne eines (wechselseitigen) Informationsaustauschs (informationstechnische Definition)

¹⁴ Vgl.: http://www.innovationsreport.de/html/berichte/dfg_ingenieurwissenschaften/bericht-21535.html [Letzter Zugriff: 23.06.2013]

¹⁵ Hierzu ist der Vorgang der Registrierung notwendig (vgl. hierzu u.a. CAVERSACCIO / FREYSINGER 2003)

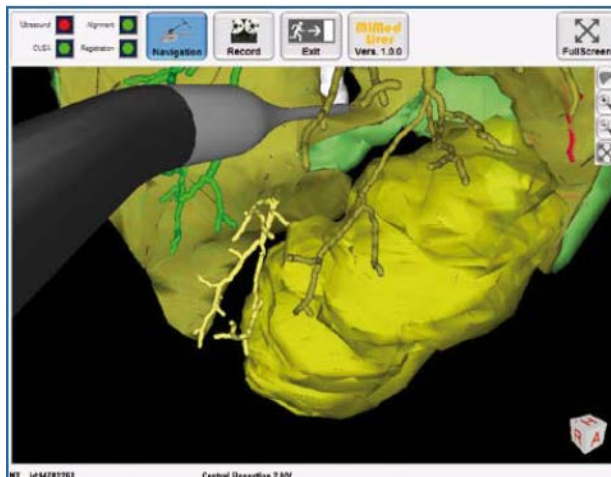


Abb. 7:
Beispiel einer 3D-Navigation (vgl. BMBF 2008)

Diese Visualisierung aktueller intraoperativer Lageparameter wird als 3D-Navigation bezeichnet. Hierbei handelt es sich um Bilder, die (als Simulation) anzeigen, wo sich die chirurgischen Instrumente aktuell in Relation zum Gewebe befinden. Das chirurgische Handeln wird somit auf dem virtuellen Bild simuliert und visualisiert. Diese (interaktiven) Visualisierungsdaten zeigen den Verlauf des chirurgischen Eingriffes für die handelnden Akteure an und der Verlauf wird gleichzeitig digital gespeichert, so dass der Eingriff nachvollziehbar und nachverfolgbar wird. Diese dreidimensionalen Bilder sind insofern interaktiv, als sie das momentane Handeln der Akteure im Operationsfeld anzeigen und visualisieren: »Zu diesem Zweck werden Algorithmen zur Bildverarbeitung entwickelt, die automatisch die Lage und Größe von Blutgefäßen in intraoperativen Echtzeit-Ultraschallbildern bestimmen. Durch die Auswertung der Positionsdaten der navigiert aufgezeichneten Ultraschallbilder kann ein Gefäßbaummodell rekonstruiert werden. Dieses Modell wird für die Registrierung der Anatomie mit vorhandenen Planungsinformationen (CT-Bilder) verwendet« (BMBF 2008).

5. Wissende Bilder

5.1 Die gewandelte Funktion der Bilder

Betrachtet man diese neuen 3D-Bilder und deren interaktive Navigationsleistung, so wird deutlich, dass es sich um eine neue Bildgattung handelt. Diese Bilder sind nicht mehr nur konstruiert auf Grund ihres digitalen Ursprungs, sondern sie sind darüber hinaus *simulative*, *interaktive* und *handlungsimplicierende* Bilder.

Unter einer Simulation wird die Nachahmung bzw. Nachbildung realer Strukturen oder Prozesse (mittels eines digitalen Bildes) verstanden. Wur-

den Simulationen bisher hauptsächlich für Lernprozesse eingesetzt (Flugsimulator, Simulation von operativen Eingriffen), um dadurch das Lernen am Modell zu fördern und um im zweiten Schritt auf die Realität zu übertragen, so helfen diese neuen simulativen Bilder den Akteuren, sich auf der Basis der interaktiven 3D-Navigation innerhalb der realen Situation anhand eines simulativen Bildes zu orientieren. Diese Bilder sind insofern interaktiv, als sie auf das aktuelle intraoperative Geschehen reagieren und dieses visualisiert anzeigen. Die Handlungsbasis der Akteure ist damit nicht die reale Situation, sondern diese basiert auf Messwerten, auf digitalen Daten, die visualisiert werden. Diese Visualisierungen sind dann *handlungsimplicierend*, indem sie z.B. anhand der erhobenen Daten und der Modellberechnung den idealen Pfad für den chirurgischen Eingriff anzeigen.

Diese neuen digitalen Bilder (3D-Rekonstruktion und 3D-Navigation) bedeuten einen grundlegenden Wandel der Visualisierung: diese digitalen Bilder, die dreidimensional dargestellt werden, enthalten mehr Daten, als durch den eigentlichen (kausalen) Untersuchungs- und Bildgebungsprozess erhoben und berechnet wurden. Sie enthalten zusätzliche Daten, die über die individuelle diagnostische Bildgebung hinausgehen und stellen damit eine Synthese verschiedener Bildgattungen dar, die dann in Form einer Simulation visualisiert werden.

5.2 Wissende Bilder und die Folgen für die Chirurgen

Diese Bilder sollen im Folgenden als ›wissende‹ Bilder bezeichnet werden. Wissende Bilder sind demnach jene digitalen Wissenschaftsbilder, die eine Synthese verschiedener Bildgattungen darstellen und die nicht nur die zu diagnostischen Zwecken errechneten digitalen Daten enthalten, sondern zusätzliche Daten, die in das digitale Bild integriert werden und die dann handlungsleitend und handlungsstrukturierend wirksam werden.

Diese wissenden Bilder können als Kombination von drei verschiedenen Dimensionen beschrieben werden:

1. Physikalische Parameter: diese werden durch z.B. Röntgen oder Sonographie erhoben und entweder abgebildet (reelles (Ab-)Bild) oder berechnet und visualisiert (digitales Bild)
2. Medizinisches Wissen, welches in diese Visualisierungen integriert wird (und im dritten Schritt anhand einer Simulation visualisiert wird)
3. Simulation: Auf Basis der physiologischen Daten (präoperativ und evtl. intraoperativ¹⁶) und deren Visualisierung (3D-Rekonstruktion) sowie des verfügbaren medizinischen Wissens wird eine Simulation erstellt

In der Simulation wird zusätzlich zu den Untersuchungsparametern medizinisches Wissen z.B. in Form von digital berechneten (idealisierten) Verläufen von Gefäßen in einem Organ angezeigt. Es handelt sich bei diesen Simulationen um dreidimensionale Bilder, die visualisiert anzeigen, was der Chirurg sonst als kognitive Leistung selbst visualisieren musste (inneres,

¹⁶ Anhand von z.B. intraoperativen Echtzeitultraschallbildern.

mentales Bild). »In conventional surgery, the surgeon mentally maps his/her anatomic knowledge and experience on the patient during the surgery« (CAVERSACCIO / FREYSINGER 2003: 37). Das sinnlich rezipierte Bild musste dann memoriert, zu einem inneren Bild umgewandelt und auf den Patienten im OP übertragen werden: »Ich muss mich umdrehen zum Ultraschall und dann ich muss mir merken sozusagen ich muss so'n inneres Bild haben was aber ja natürlich so nur eine Vorstellung ist. Je mehr Erfahrung man hat, desto eher stimmt es dann auch aber es ist halt nicht exakt, ja« (Interview 2, Z. 94–96). Diese individuelle visuelle Vorstellung von bestimmten Sachverhalten wird nun durch eine digitale Visualisierung geleistet und durch diese ersetzt: »Also im Prinzip ist sozusagen diese dreidimensionale Rekonstruktion [...] spiegelt das wider was ich mir immer so vorgestellt habe oder gemeint hatte vorzustellen. Also es entspricht relativ exakt meiner Wahrnehmung« (Interview 2, Z. 472–474; vgl. auch LOHOFF 2007).

Die Simulation und die dadurch erfolgte visuelle Darstellung medizinischen Wissens ist der entscheidende Schritt hin zu einer gestiegenen Wirkmächtigkeit dieser »wissenden« Bilder: diese scheinen nun durch das in ihnen integrierte Wissen handlungsleitende Bilder zu sein, über deren Gültigkeit nicht verhandelt werden muss. Wenn bereits digitale Bilder nur scheinbare Evidenz besitzen (vgl. LOHOFF 2007), indem sie Sichtbarkeit suggerieren, die so nicht gegeben ist, wird dieses Prinzip nun bei den wissenden Bildern entscheidend potenziert: hier handelt es nicht nur um die Visualisierung von eigentlich nicht sichtbaren Strukturen und Prozessen sondern zusätzlich dazu um die Visualisierung von Kognitionen, die vormals im Bewusstsein des Mediziners verblieben und handlungsanleitende Strukturen. Diese Kognitionen, die als medizinisches Wissen bezeichnet werden könnten, werden nun in die Visualisierungen integriert und zu einem (simulativen) Bild fusioniert. Dieses neue Bild enthält dann digitale Daten und gleichzeitig die Interpretationen dieser Daten. Es handelt sich damit nicht mehr um Bilder diagnostischer Qualität sondern um handlungsimplicierende Bilder.

Die bisherige Praxis der Handhabung diagnostischer Bilder im OP war durch Prozesse des Aushandelns gekennzeichnet. Denn »Bilder sind nicht – wie z.B. Zahlen – denotative Symbolkomplexe, sondern konnotative: d.h. sie bieten Raum für Interpretationen« (SCHINZEL 2004). Im Betrachten der Visualisierungen wurden diese durch das medizinische Wissen der anwesenden Akteure interpretiert und die Bedeutung dieser Interpretationen für den konkreten operativen Eingriff untereinander diskutiert und ausgehandelt. Die letztendliche Interpretationsmacht wurde dann durch den Status legitimiert (vgl. u.a. BURRI 2008). Diese sozialen Aushandlungsprozesse entfallen, wenn die Bilder bereits Interpretationen darstellen.

6. Wissende, wirkmächtige Bilder: ein Resümee

Betrachtet man die Entwicklung der medizinischen Bilder von den Abbildungen, den bildgebenden Verfahren bis hin zur 3D-Simulation und 3D-

Navigation, so zeigen sich verschiedene Tendenzen, die das soziale Handeln und die Kognitionen der Akteure entscheidend beeinflussen:

(1) Zum einen wird deutlich, dass diese Bilder zunehmend virtuell werden und der Grad ihrer Konstruiertheit damit zunimmt. »Die zunehmende Entfernung des Bildes von dem Abzubildenden, d.h. der abstrakte Charakter solcher über komplizierte Prozesse hergestellten Bilder, erhöhen mit jedem Abstraktionsschritt, jedem Ableitungsschritt und jedem Integrationsschritt die Fehleranfälligkeit, d.h. die Möglichkeit von Bild-Artefakten, die keine physiologischen Entsprechungen haben« (SCHINZEL 2004).

(2) Des Weiteren zeigt sich, dass das medizinische Wissen nicht mehr sozial verhandelt wird und somit kein Ergebnis eines kommunikativen Prozesses darstellt, sondern dass dieses Wissen bereits in die dreidimensionalen Bilder integriert wird (»wissende« Bilder). Damit sind diese Bilder keine Unterstützung für diagnostische Vorgänge im engeren Sinne, sondern bereits interpretierte und handlungsanleitende/-implizierende Bilder.

(3) Die kognitiven, inneren (mental)en Bilder des Chirurgen werden zunehmend durch die digitalen, visualisierten Simulationen ersetzt. Dies wird bereits dadurch befördert, dass sich die Ausbildung von Chirurgen heute zum Teil anhand der Nutzung von Simulationssoftware vollzieht, so dass hier bereits eine Schulung des Auges für virtuelle Bilder stattfindet. Es zeigt sich, dass jüngere Chirurgen diese Sehtechnik bereits verinnerlicht haben und mit den »alten« Bildern (nicht dreidimensional) kaum arbeiten könn[t]en: »Und die wären auch [...] die können auch gar nicht mehr ohne. Die können mit den alten Aufnahmen, die wir früher gehabt haben gar nicht mehr arbeiten »Wie kann man das machen?!« (Interview 2, Z. 162–164).

(4) Die Bilder werden zunehmend relevant. Dies zeigt sich bereits räumlich daran, dass diese immer näher an den OP heranrücken: »Es gibt schöne Bilder, aber die nützen dem Chirurgen nichts. Weil das sind schöne Bilder, die guckt man sich am Bildschirm an, aber wenn man in den OP geht, ähm, gibt's die Bilder nicht mehr. Das heißt wir müssen irgendwie gucken, dass wir diese 3D-Bilder, ähm, in den OP bringen« (Interview 3, Z. 176–179). Waren die medizinischen Bilder zu Beginn noch nicht im eigentlichen Bereich der chirurgischen Intervention anzutreffen, so haben sie sich diese sukzessive in den OP und dort zunehmend in Patientennähe angesiedelt. Die neuen Bilder sind nun meist auf dem Monitor eines Tablet-PCs direkt am OP-Tisch positioniert und sind somit in das Zentrum des eigentlichen Handlungsablaufes vorgerückt. In Anwendung des Goffman'schen Theatermetapher (vgl. GOFFMAN 2001), kann gesagt werden, dass die Bilder von der Hinterbühne – außerhalb des OPs, an der Wand des OPs – zur Vorderbühne gerückt sind: Sie sind nun zentraler und unverzichtbarer Bestandteil des medizinischen Handelns der Akteure auf der Vorderbühne.

(5) Es handelt sich bei den neuen medizinischen Bildern nicht mehr nur um Bilder, sondern um interaktive Visualisierungen. Diese sind insofern interaktiv, als dass das Handeln der Akteure eine Veränderung des Bildes bewirkt, indem diese die Veränderung der Lageparameter der medizinischen Instrumente im Patientenkörper visuell anzeigen und aus dem System neue Informationen hinzugefügt werden; diese Veränderung der wissenden Bilder bewirkt wiederum eine Reaktion des Handelns der Akteure. Spätestens mit dieser Entwicklung wird deutlich, wie weit sich diese Bilder vom ursprünglichen Abbildcharakter entfernt haben und dass die Visualisierungen ein Sichtbarmachen verschiedener Prozesse leisten.

(6) Werden diese Bilder beispielweise noch mit einer Navigation versehen und damit dem Akteur ein idealer Operationszugang angezeigt, so sind diese Simulationen nicht nur handlungsleitend, sondern handlungsimplicierend. Wird des Weiteren noch ein System integriert, welches das System automatisch ausschaltet, wenn sich der Chirurg zu weit vom empfohlenen Navigationspfad bewegt, dann sind diese Systeme dabei, sich in handelnde Systeme (Agenten) zu verwandeln. Diesen käme dann Handlungsträgerschaft zu. (vgl. RAMMERT / SCHULZ-SCHAEFFER 2002).

(7) Betrachtet man diese Veränderungsdimensionen, so kann resümiert werden, dass diese als Belege einer deutlich zugenommenen Wirkmächtigkeit der Bilder gelesen werden können. Die medizinischen Interventionen werden inzwischen auf Basis von fast ausschließlich digitalen, aufbereiteten (mit Wissen angereicherten und synthetisierten und simulierten) und damit interpretierten Bildern und nicht anhand der Ansicht der Realität vorgenommen. Hier zeigt sich die Wirkmächtigkeit des Visuellen: Der Prozess der Mediatisierung evoziert eine nachhaltige Veränderung in der Wahrnehmung und Konstruktion der Realität. So ist eine Unterscheidung zwischen Simulation und Realität fast nicht mehr möglich und es ist nun nicht mehr die Realität, die der Simulation vorangeht – »the territory no longer precedes the map« (BAUDILLARD 1994: 1) – sondern es ist in diesem Fall die Simulation, die der Realität vorangeht, mit ihr interagiert und auf diese Weise sich diese beiden Welten wechselseitig beeinflussen und verändern: indem der Chirurg sich an der Simulation orientiert und anhand der simulierten (virtuellen) Visualisierungen den eigentlichen chirurgischen Eingriff vornimmt, führt die Simulation zur Veränderung der Realität. Dies bedeutet einen tiefgreifenden epistemologischen Wandel: die Orientierungsparameter des Chirurgen haben sich dadurch grundlegend verändert und die Grundlage des eigentlichen Handelns sind nun simulative Visualisierungen: »It's no longer blood and guts, it's bits and bytes« (MARESCEAU et al. 2002: 422).

Literatur

- AKRIDGE, JEANNIE: Surgical Lighting Technology. More than meets the eye. In: *Healthcare Purchasing News*, 34(6), 2010, S. 18-22
- AMTHAUER, H.; FELIX, R.; N. HOSTEN; A-J. LEMKE; S.M. NIEHEUS; T. ROHLFING: Klinischer Einsatz der digitalen retrospektiven Bildfusion von CT, MRT, FDG-PET und SPECT – Anwendungsgebiete und Ergebnisse. In: *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, 176(12), 2004, 1811–1818
- BAUDRILLARD, JEAN: Requiem für die Medien. In: JEAN BAUDRILLARD (Hrsg.): *Kool Killer oder der Aufstand der Zeichen*. Berlin [Merve] 1978
- BAUDRILLARD, JEAN: *Simulacra and Simulation*. Ann Arbor, MI [University of Michigan Press] 1994
- BLUMLER, JAY G.; DENNIS KAVANAGH: The Third Age of Political Communication. Influences and Features. In: *Political Communication*, 16(3), 1999, S. 209-230
- BMBF. Bundesministerium für Bildung und Forschung: FUSION – Chirurgie-assistent. Faltblatt für die CeBIT. 2008, online verfügbar unter: http://www.unitransferklinik.de/SF/_img/Exponatblatt_Fusion_Chir_190208.pdf, gesehen am 8.8.2013
- BURRI, REGULA VALÉRIE: Bilder als soziale Praxis. Grundlegung einer Soziologie des Visuellen. In: *Zeitschrift für Soziologie*, 37(4), 2008, S. 342-358
- CAVERSACCIO, MARCO; WOLFGANG FREYSINGER: Computer Assistance for Intraoperative Navigation in ENT Surgery. In: *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, 12(1), 2003, S. 36-51
- CEULEMANS, R.; E. DUTSON; A. GARCIA; M. HENRI; J. MARESCEAUX; L. SOLER: Bildfusion, virtuelle Realität, Robotik und Navigation. Einfluss auf die chirurgische Praxis. In: *Der Chirurg*, 73(5), 2002, S. 422-427
- DASTON, LORRAINE; PETER GALISON: The Image of Objectivity. In: *Representations*, 40, 1992, S. 81-128
- GOFFMAN, ERVING: *Wir alle spielen Theater*. Die Selbstdarstellung im Alltag. München [Piper] 2001
- GOODMAN, NELSON: *Sprachen der Kunst*. Entwurf einer Symboltheorie. Frankfurt/M. [Suhrkamp] 1997
- HEINTZ, B; HUBER, J.: Der verführerische Blick: Formen und Folgen wissenschaftlicher Visualisierungsstrategien. In: B. HEINTZ; J. HUBER (Hrsg.): *Mit dem Auge denken: Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*. New York/Zürich [Springer, Edition Volmeer] 2001, S. 9-40
- HENNIG, JÜRGEN: Aspekte instrumenteller Bedingungen in Bildern der Rastertunnelmikroskopie. In: LAZARDIG; JAN; HELMAR SCHRAMM; LUDGER SCHWARTE (Hrsg.): *Instrumente in Wissenschaft und Kunst – Zur Architektonik kultureller Grenzen im 17. Jahrhundert*. Berlin [Walter de Gruyter] 2006, S. 377–391

- HEßLER, MARTINA: Von der doppelten Unsichtbarkeit digitaler Bilder. In: *Zeitenblicke*, 5(3), 2006, Abgerufen von: http://www.zeitenblicke.de/2006/3/Hessler/index_html, dort datiert 3.12.2006, [Letzter Zugriff: 23.06.2013]
- HÜPPAUF, BERND; PETER WEINGART: Wissenschaftsbilder – Bilder der Wissenschaft. In: HÜPPAUF, BERND; PETER WEINGART (Hrsg.): *Frosch und Frankenstein*. Bilder als Medium der Popularisierung von Wissenschaft. Bielefeld [Transcript] 2009, S. 11-43
- KITTLER, FRIEDRICH ADOLF: Schrift und Zahl. Die Geschichte des errechneten Bildes. In: BURDA, HUBERT; CRISTA MAAR (Hrsg.): *Iconic-Turn. Die neue Macht der Bilder*. Köln [DuMont] 2004, S. 186-203
- KROTZ, FRIEDRICH: Media Connectivity. Concepts, Conditions and Consequences. In: HEPP, ANDREAS; FRIEDRICH KROTZ; SHAUN MOORES; CARSTEN WINTER (Hrsg.): *Connectivity, Networks and Flows*. Conceptualizing Contemporary Communications. Cresskill, New Jersey [Hampton Press] 2008, S. 13-32
- LOHOFF, MARCUS: *Wissenschaft im Bild. Performative Aspekte des Bildes in Prozessen wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und –vermittlung*. 2007, Abgerufen von: <http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/volltexte/2008/2151/>, [Letzter Zugriff: 23.06.2013]
- MAREY, ÉTIENNE-JULES: *La méthode graphique dans les sciences expérimentales et particulièrement en physiologie et en médecine*. Paris [G. Masson] 1878
- MAYRING, PHILIPP: *Qualitative Inhaltsanalyse*. Grundlagen und Techniken. Weinheim [Deutscher Studien Verlag] 2007
- MERSCH, DIETER: Wissen in Bildern. Zur visuellen Epistemik in Naturwissenschaft und Mathematik. In: HÜPPAUF, BERND; PETER WEINGART (Hrsg.): *Frosch und Frankenstein*. Bilder als Medium der Popularisierung von Wissenschaft. Bielefeld [Transcript] 2009, S. 107-134
- MEYER-EBRECHT, DIETER: Visualistik. Ein neues Wort für ein uraltes Thema. In: BEYER, ANDREAS; MARCUS LOHOFF (Hrsg.): *Bild und Erkenntnis. Formen und Funktionen des Bildes in Wissenschaft und Technik*. München / Berlin [Dt. Kunstverlag] 2005, S. 46-49
- MISOCH, SABINA: Hybride Handlungsstrukturen. Folgen des Einsatzes technischer Systeme am Beispiel von CAS. In: REHBERG, KARL-SIEGBERT (Hrsg.): *Die Natur der Gesellschaft*. Verhandlungen des 33. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Soziologie in Kassel. Frankfurt/M / New York [Campus] 2007 CD-Rom
- NOHR, ROLF F.: *Zum Begriff des Nützlichen Bildes*. 2001. Abgerufen von: <http://www.nuetzliche-bilder.de/BegriffNuetzBild.pdf> [Letzter Zugriff: 23.06.2013]
- RAMMERT, WERNER; INGO SCHULZ-SCHAFFER: Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt. In: RAMMERT, WERNER; INGO SCHULZ-SCHAFFER (Hrsg.): *Können Maschinen handeln?* Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik. Frankfurt/M. / New York [Campus] 2002, S. 11-64

- SACHS-HOMBACH, KLAUS: Bildbegriff und Bildwissenschaft. In: *Kunst – Gestaltung – Design*, 8, 2002, S. 3-26
- SCHINZEL, BRITTA: Digitale Bilder: Symbolische Repräsentation oder offene Konstruktion? *Trans: Internet-Zeitschrift für Kulturwissenschaften*, 15, 2004. Abgerufen von: http://www.inst.at/trans/15Nr/10_1/schinzel15.htm [Letzter Zugriff: 23.06.2013]
- SCHINZEL, BRITTA: Körperbilder der Biomedizin. In: GERLACH, FRANZISKA FREI; ANNETTE KREIS-SCHINCK; CLAUDIA OPITZ; BEATRICE ZIEGLER (Hrsg.): *Körperkonzepte. Interdisziplinäre Studien zu Geschlechterforschung*. Münster / New York / München / Berlin [Waxmann] 2003, S. 245-264
- SCHRÖTER, JENS: Analog / Digital – Opposition oder Kontinuum? In: BÖHNKE, ALEXANDER; JENS SCHRÖTER (Hrsg.): *Analog / Digital – Opposition oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung*. Bielefeld [Transcript] 2004, S. 7-30
- SCHWABE, HANS: *Der lange Weg der Chirurgie. Vom Wunderarzt und Bader zur Chirurgie*. Zürich [Strom-Verlag] 1986
- SLABY, MARTIN; URBAN, DIETER: *Subjektive Technikbewertung. Was leisten kognitive Einstellungsmodelle zur Analyse von Technikbewertungen dargestellt an Beispielen aus der Gentechnik*. Stuttgart [Lucius & Lucius] 2005
- SOWA, HUBERT; UHLIG, BETTINA: Bildhandlungen und ihr Sinn. In: MAROTZKI, WINFRIED; HORST NIESYTO (Hrsg.): *Bildinterpretation und Bildverstehen. Methodische Ansätze aus sozialwissenschaftlicher, kunst- und medienpädagogischer Perspektive*. Wiesbaden [VS Verlag für Sozialwissenschaften] 2006, S. 77-106
- WEINGART, PETER: *Die Wissenschaft der Öffentlichkeit. Essays zum Verhältnis von Wissenschaft, Medien und Öffentlichkeit*. Weilerswist [Velbrück Wissenschaft] 2005