

Körperbilder der Biomedizin

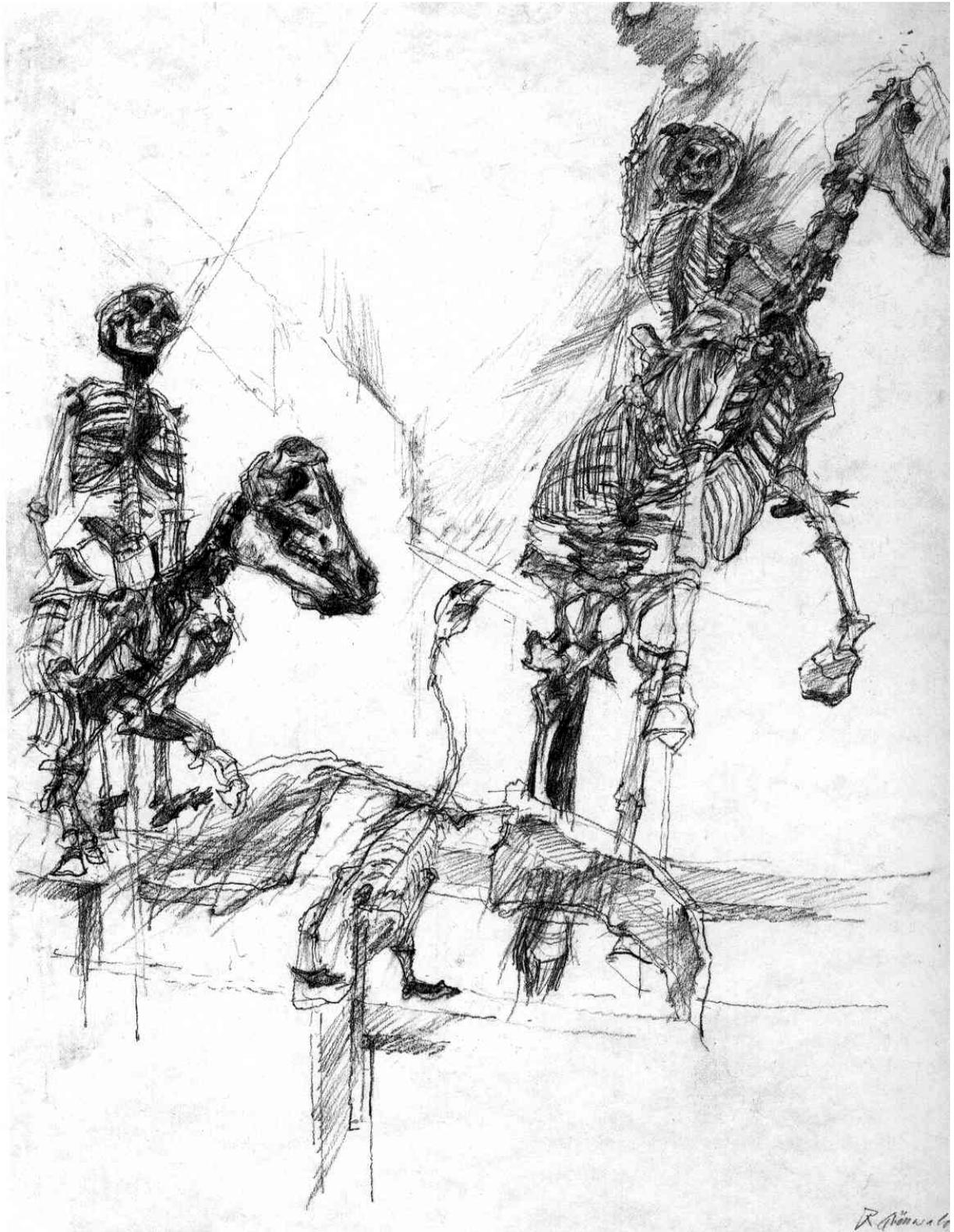
© B. Schinzel

I. Einleitung und Geschichte:

Der Blick in den Körper ist das Feld von Biologie und Medizin, und darin der Anatomie, der Klinik und der Pathologie. Im Europäischen Mittelalter galt die Anatomie als unschicklich. Man durfte nicht in den Körper schauen, das bildliche Eindringen in die Schöpfung Mensch als Ebenbild Gottes war Tabu, oft sogar die äußere Abbildung, man denke an die protestantischen Bilderstürmer a la Zwingli: „Du sollst Dir kein Bild machen“, was bis heute in Islam und mosaischer Religion gilt. Auch wurde der menschliche Leichnam von der Kirche für unverletzlich erklärt. Gelegentlich wurde allerdings doch seziert: Von Anatomen nach der Hinrichtung zerschnitten zu werden, war ein Zusatz zur Todesstrafe, der für besonders grausame Verbrechen verhängt wurde.

Abbildungen des Körper-Inneren wurden erst mit der Renaissance und ihrer Abwendung von der Kirche und der Zuwendung zu Humanismus und rationaler Welterfassung erlaubt. Mit Descartes' Maschinenbild des Körpers und der Teilung von Körper und Seele, die so in anderen Kulturen nicht vorgenommen wurde, konnte gestattet werden, dass der forschende Mensch sich selbst und sein Inneres betrachtete. *De humani corporis fabrica* von Andreas Vesalius, erschienen 1543, gilt als das Grundbuch der neuzeitlichen Anatomie. Gegen Ende des 16. Jahrhunderts wurden sogar anatomische Theater gebaut, in denen die ersten Knochen-, Wachs und Holzskulpturen mit Knochenbau, Organ- Körper und muskulärem Körper ausgestellt wurden, und wo Sektionen nicht nur zu wissenschaftlichen Zwecken, sondern - gegen Eintrittsgeld - auch zur Volksbelustigung durchgeführt wurden. Mit Anatomie-Atlanten und Darstellungen des Inneren des Menschen wurden Form und Lage der Organe innerhalb des Körpers zunehmend bekannter.¹ Doch das Innere eines lebendigen Menschen (mit Ausnahme der Körperhöhlen) war noch lange nicht zugänglich, es sei denn bei invasiven Eingriffen.

¹ Damit stabilisierte sich übrigens auch die Lage der Gebärmutter in der Imagination der Menschen, die man sich vor der Renaissance als im Körper umherwandernd vorgestellt hatte.



R. Gänwald

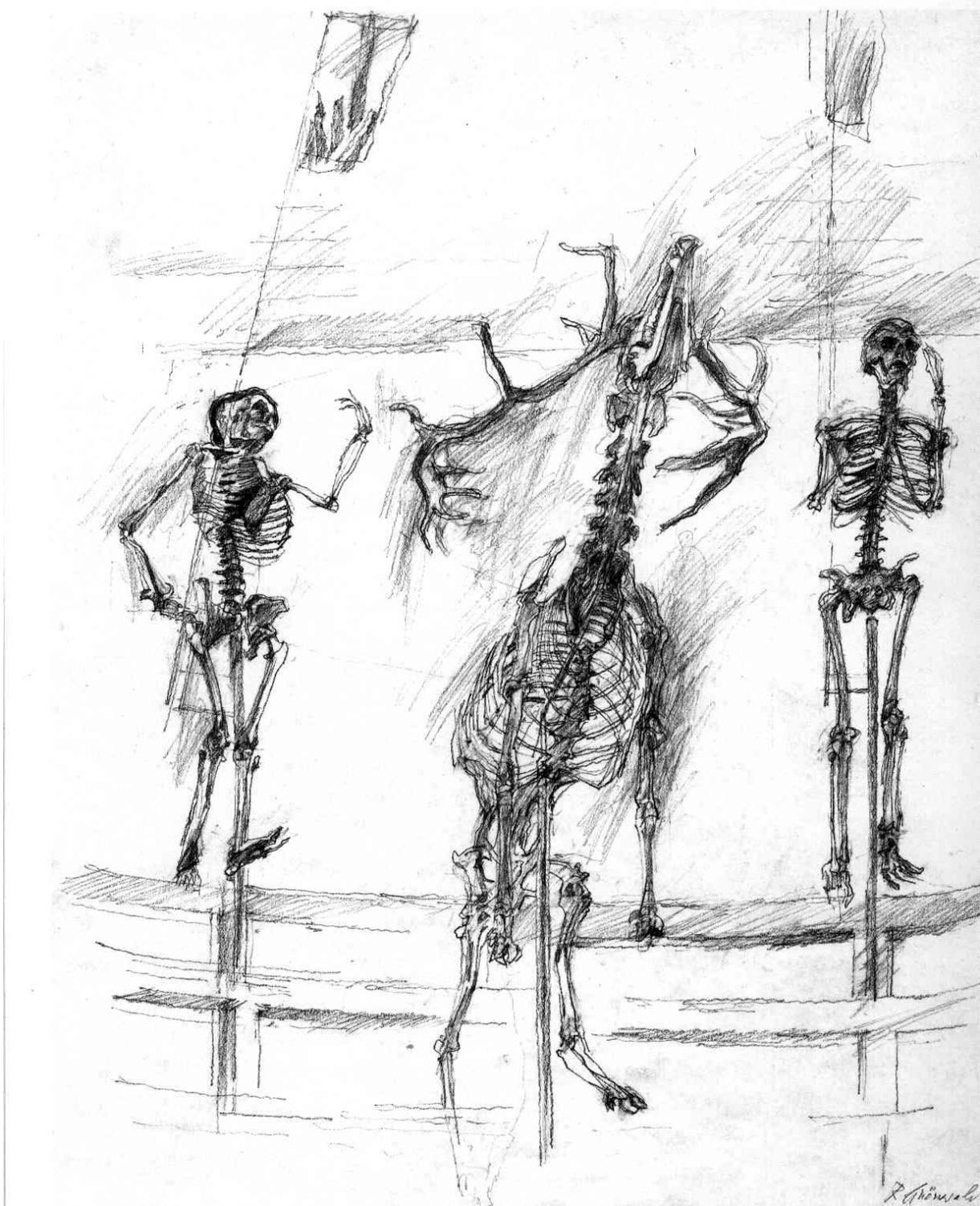


Abb.1 und 2: Anatomisches Theater in Leiden, gezeichnet von © Rudolf Schönwald

Mit den Darstellungen ändern sich auch die symbolischen *Bedeutungen der Körperoberfläche* innerhalb der letzten Jahrhunderte. Noch im 17. und 18. Jahrhundert wurde der Leib als „offen“ und die Haut als eine poröse Fläche mit vielen Öffnungen verstanden. Die Haut wurde nicht als dünne, den Körper einschließende Oberfläche angesehen, sondern als dreidimensionale, mit der Welt verwobene Schicht. Claudia Benthien (Benthien 1999, S. 73) zeichnet nach, wie sich „das kollektive Körperbild erst innerhalb der letzten zweihundert

Jahre zum eingeschlossenen, begrenzten Einzelkörper entwickelt hat, dessen finale Grenze die Haut markiert.“ Erst in der Neuzeit wird ein Bild des Körpers dominant, das diesen quasi dinglich begreift: streng begrenzt, nach außen verschlossen, unvermischt und individuell. Zuvor galt die Vorstellung eines „grotesken“ Körpers, der nicht scharf umrissen und abgegrenzt war, sondern vermischt und verwoben mit der Welt. Körper und Welt vermischten sich in den „Akten des Körperdramas“, wie Essen, Trinken, Verdauung und Ausscheidung, Beischlaf, Entbindung, Krankheit, Tod und Verwesung. Auch Barbara Duden weist nach, dass erst durch die grundsätzliche Umstrukturierung des Körperbildes die moderne Anatomie möglich wurde: Der Leib musste erst individuell begrenzt und grundlegend entmystifiziert werden, um als - nicht mehr symboltragende - Materie neu zugänglich zu werden. Kulturgeschichtlich handelt es sich um einen paradoxen Prozess, welcher erst um 1800 endet: Der Leib als sinntragende, mit der umgebenden Natur kommunizierende Einheit wurde zum Verstummen gebracht, geschlossen und isoliert, um anschließend (vom Anatom und später vom klinischen Chirurgen) „sachlich“ wieder geöffnet werden zu können. [Duden, 91, S. 55]

Als gegen Ende des 18., Anfang des 19. Jahrhunderts der gesamte Körperraum mit allen Aspekten modelliert war, konzentrierte sich die Anatomie zunehmend auf den *pathologischen Körper*. Zu beachten ist allerdings, dass eigentlich erst dieser epistemologische Schritt zum pathologischen Körper die Vorstellung einer feststehenden Norm, eines „normalen“ Körpers entstehen ließ. Die Darstellungen und Festschreibungen des Anormalen produzierten so die Norm als ihr Gegenbild mit.

Bei der Darstellung von Krankheiten tritt langsam das sprachliche Element gegenüber dem visuellen zurück. Diese *Tendenz zur visuellen Darstellung*, etwa in den Atlanten entspricht dem epistemologischen Wandel innerhalb der Kultur und den Wissenschaften von einer textbasierten zu einer visuellen Kultur, der sich schon im 18. Jahrhundert abzeichnet. Diese entstehende Dominanz des Sehens führt zu einer zunehmenden Immaterialität des Sehens selbst, indem durch eine Zwischenschaltung von immer neuen optischen Geräten der Sehsinn instrumentell ausgeweitet wird. Mit den bilderzeugenden Verfahren der Medizin findet der „pictorial turn“ [Mitchell 97] in den Wissenschaften seine avanciertesten Ausformungen. Mit der Röntgenfotografie ändert sich nämlich schlagartig die Beschränkung der bildlichen Zugänglichkeit des Lebendigen auf den mit Haut umschlossenen Körper. Die neuen Möglichkeiten zur „optischen Invasion“ in den lebendigen menschlichen Körper bewirken eine Gegenbewegung zur Vorstellung der Abgeschlossenheit und, in Folge der Standardisierungen auch der Individualität: Der Körper wird durchsichtig, öffnet sich wieder, wenn auch hier nur der medizinischen Diagnose, die Haut begrenzt nicht mehr den Blick der Verbildlichen. Die physikalisch-chemisch-technischen Verfahren operieren auf atomarer oder molekularer Ebene und geben die Sicht frei, in den individualisierten Körper, aber zugleich auch in den *kollektiven*: die Öffentlichkeit der Bilder der Leibesfrucht macht sie auch zum Gemeingut; die Standardisierungen des Human Brain Project erzeugen den das „Normalgehirn“ im „Normalkörper“.

Zusammen mit den Projekten der Lebensverlängerung durch Ersatzteile und Reproduktionstechnik, Eingriffe in körperliche Regulationsmechanismen, wie die Immunsuppression, mehr noch mit der Verwertung von biologischen Körperstoffen mit einer freien Kombinatorik biologischer Rohstoffe und biologischen Designs (Klonierung von Keimzellen, Gendesign, Tissue Engineering, Stammzellen) erleben wir heute wieder eine zunehmende Durchlässigkeit der Körpergrenzen. Menschliche Rohsubstanz von Biomaterialien zirkulieren kontinuierlich als entindividualisierter Rohstoff, womit auch die Grenzen von Identität und biographischen Einheiten wieder aufgehoben werden.

Die neuen bildverarbeitenden Technologien eröffnen ungeahnte Wege, um medizinische, insbesondere neuroanatomische Informationen zu gewinnen, sie zu visualisieren, zu quantifizieren und vergleichen zu können. Früher und genauer als bisher können pathologische Entwicklungen diagnostiziert und behandelt werden. Kombinierte Informationen über Form und Funktion im Gehirn lassen sich gewinnen. Wer würde auf diese Techniken verzichten wollen? Doch dafür ist wie immer ein Preis zu zahlen.

Mit den Möglichkeiten sollen auch die Probleme aus Sicht der Frauen- und Geschlechterforschung beleuchtet werden: 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. Die komplizierten Verfahrenskombinationen entfernen die Visualisierungen zunehmend von ihren realen Ausgangspunkten, mit der Gefahr von Fehlinterpretationen, wenn BenutzerInnen die Verfahren nicht durchschauen. Zu solchen Fehlinterpretationen gehören auch problematische Standardisierungen und inadäquate normative Wirkungen, besonders auch weil sie mit sogenannten objektiven Methoden, aber kontingenten Kombinationen derselben gewonnen werden.

Die Entwicklung und Nutzung all dieser neuen Modelle und Techniken wirft ein Schlaglicht auf die epistemische Verfassung unserer Kultur, auf die Epistemologie der zu den Methoden beitragenden und der sich ihrer bedienenden Wissenschaften, auf die medizinische Wissenschaft, Diagnose und auf unsere medizinische Versorgung.

II. Verschiedene Verfahren zum Blick in den Körper

Die vorzustellenden Methoden sind alle keine abbildenden sondern **bildgebende** Verfahren, d.h. keine Produkte elektromagnetischer Strahlen auf elektrochemisch präparierten Flächen wie bei der Röntgenphotographie², sondern von auf komplizierten Wegen hergestellten Daten und aus ihnen kompliziert errechneten Konstrukten und deren Visualisierungen.

1. Ultraschall

Sowohl Röntgenphotographie wie Ultraschall verwenden das Prinzip des Echolots. Beim Ultraschall werden Schallwellen in den Körper gesendet. Treffen die ausgesandten Wellen auf eine Grenzfläche im Körper - etwa zwischen unterschiedlich dichten Geweben - wird ein Teil der Wellen reflektiert, ein Teil durchgelassen. Aus deren Laufzeit und der Stärke des Echos wird das Bild online rekonstruiert.

Mit Ultraschall lässt sich ohne Strahlenbelastung schnell ein Überblick über Form und Struktur von Organen gewinnen, sowie mit Flüssigkeit gefüllte Zysten, Gefäße oder Organe sehen. Weil Babys im Mutterleib in Fruchtwasser schwimmen, sind sie mit Ultraschall besonders gut zu untersuchen. Das dreidimensionale Rohbild kann auf dem Monitor händisch weiter bearbeitet werden. Strukturen wie Plazenta oder Nabelschnur, die den zu untersuchenden Ausschnitt teilweise verdecken, können mit einem so genannten elektronischen Skalpell "weggeschnitten" werden.

Da der Ultraschall sich besonders zur Verbildlichung der Schwangerschaft, von Föten eignet, schließt sich feministische Kritik eng an diese Technik an. Barbara Duden [Duden 91]

² Röntgenstrahlen, die Gewebe durchdringen und Absorptionsmuster projizieren, bieten das Problem, dass sich auf dem 2-dim Bild verschiedene Gebietsstrukturen überlappen oder unter dichtem Knochen verborgen sind (weiß) und so einzelne Strukturen nur sehr schwer erkennbar sind

analysierte die durch die Bilderfassung aus dem Inneren des Körpers der Frau eingeleiteten Veränderungen der Wahrnehmung unseres Körpers. War vordem die subjektive Evidenz und damit das (informelle) Recht auf ihre eigene Leibesfrucht weitgehend in Händen der Frau, so wird sie mit der zunehmenden Objektivierung der Schwangerschaft auch enteignet: Visualisierungen der Schwangerschaft, die heute nahezu vom Zeitpunkt der Empfängnis an hergestellt werden können, ermöglichen es Kirche und Staat, sich des ungeborenen Lebens ideell, rechtlich und faktisch³ von immer früheren Stadien an zu bemächtigen.

2. Die Computertomographie

Die in der Trommelwand des Tomographen angebrachten Röntgenröhren erzeugen fächerförmige Röntgenstrahlen, die den Menschen durchdringen bzw. an ihm gestreut werden und von Detektoren aufgefangen werden. Strahlenquelle und Detektoren rotieren um die zu untersuchende PatientIn und schieben sie nach jeder vollen Umdrehung um eine feste Distanz, die Scheibchendicke oder Voxelgröße, weiter. Moderne CT- Geräte sammeln Millionen Daten pro Sekunde und berechnen ein Schichtbild in Sekunden. Durch diese "Scheibchentechnik" sind auch kleinste Strukturen im Inneren des Körpers in mm-Größe im CT zu erkennen. Doch bestimmte Veränderungen, insbesondere von weichen, stark wasserhaltigen Geweben, wie Entzündungen im Gehirn, lassen sich im CT nicht oder nicht zuverlässig erkennen.

3. Die mathematische Problematik der Bildrekonstruktion aus Streudaten

Bei vielen bildgebenden Verfahren zur Untersuchung der inneren Struktur von Objekten werden akustische (Ultraschall) oder elektromagnetische Wellen (CT) verwendet, die sich im untersuchten Gebiet ausbreiten, an Grenzflächen (z.B. Organoberflächen im Körper) reflektiert (gestreut) werden. Die gestreuten Wellen werden außerhalb des Feldes gemessen. Die mathematische Aufgabe des „Inversen Streuproblems“ besteht darin, aufgrund dieser Messwerte Information über die Gestalt dieser inneren Grenzflächen zu erhalten. Gebietsrekonstruktion heißt die Aufgabe, Form und Ort der Streukörper innerhalb des Gebietes zu bestimmen. Zwar existieren numerische Verfahren zur Lösung des inversen Streuproblems in der 3-D akustischen Streutheorie (inverse Lösung der Helmholtzgleichung mit Randbedingungen), für elektromagnetische und elastische Wellen (System hyperbolischer Differentialgleichungen mit Randbedingungen) jedoch noch nicht. Unter dem direkten Streuproblem versteht man die Aufgabe, bei bekannter Wellenzahl und bekanntem Gebiet aus der einfallenden Welle die gestreute Welle sowie das Fernfeld zu berechnen. Beim inversen Problem ist die Wellenzahl bekannt, und es liegen Messungen des Fernfeldes für viele Daten vor. Hieraus ist der Streukörper zu bestimmen. Die explizite Visualisierung des Streukörpers kann dabei unter mathematischen Bedingungen erfolgen, die u.a. physikalisch bedeuten, dass das Medium homogen und nicht absorbierend sein muss. Faktisch ist das Medium meist inhomogen und absorbierend. Da es bisher keine befriedigenden vollständig numerischen Lösungen der Inversion der hier auftretenden Differentialgleichungen gibt, bestehen die meisten numerischen Verfahren zur Bestimmung der Form des Streukörpers in der wiederholten Anwendung von Simulationsrechnungen, wobei in jedem Schritt der tentative Streukörper geeignet verändert wird. Damit erkaufte man sich eine hohe Rechenzeit durch die vielen Simulationen. Überdies muss, damit das Verfahren sich stabilisiert, das unbekannte Gebiet gut abgeschätzt werden können und die Randbedingungen müssen bekannt sein.

4. Die Kernspintomographie (MRI) (nach [Hennig 01])

³ Sonographie wird Schwangeren hierzulande dadurch aufgenötigt, daß bei Verweigerung eventuelle Krankheitskosten nicht übernommen werden.

Die physikalischen Effekte als Grundlage für Messungen mit Kernspintomographen beruhen auf einer messbaren Magnetisierung von Wasserstoffatomen in starken Magnetfeldern. In einem starken, gleichmäßigen Magnetfeld werden durch zusätzliche hochfrequente Radiowellen die im Körper vorhandenen Wasserstoffatome angeregt und ihre Spine ausgerichtet. Unterschiede im Abklingverhalten lassen sich zur Bildgebung ausnutzen. Dabei kann man zwischen dem prozentualen Anteil von Wasser in einem bestimmten Gewebe (krankes Gewebe enthält oftmals mehr Wasser als gesundes) und der chemischen Bindung des Wasserstoffs im Molekül, und damit zwischen Fett- und Wassermolekülen unterscheiden. In fettreichem Gewebe (wo Wasserstoff an langen Kohlenstoffketten relativ unbeweglich gebunden ist) „erholen“ sich die Wasserstoffatome relativ schnell (Fett hat eine kurze Relaxationszeit), bei Wasser hingegen bleibt der Zustand länger erhalten. Die "Erholung" geht mit dem Aussenden einer elektromagnetischen Welle einher, die ihrerseits wieder als Impuls gemessen werden kann. Zur Kontrastverstärkung und für variable Bildinhalte wird in einer Impulsreihe die Dauer der Wiederholzeit, auf Gewebe und Fragestellung abgestimmt, variiert.

Es können so Querschnittsbilder des Körpers erzeugt werden, auf denen man zum Beispiel einen Tumor von gesundem Gewebe abgrenzen kann. Aber das MRI liefert nicht nur ein „Bild der Anatomie“, sondern „macht Gewebefunktionen sichtbar“, da es für eine Vielzahl von Parametern, welche die Befindlichkeit des Gewebes widerspiegeln, sensibilisiert werden kann: die Festigkeit und Ordnung des Gewebes im molekularen Maßstab, die durch die Zellmikrostruktur gegebene mikroskopische Beweglichkeit, unterschiedliche chemische Zusammensetzungen, molekulare Verteilungen magnetischer Stoffe (z.B. des Hämoglobin), Stofftransporte von der zellulären Ebene bis hin zum Blutfluss in Gefäßen, etc. Diese Kontrastvielfalt, die auf der Komplexität des Gewebes gerade im molekularen bis mikroskopischen Größenbereich beruht, kann viele pathologische Prozesse bereits im Frühstadium ihres Entstehens in einem oder mehreren dieser subtilen Parameter sichtbar machen. Sie erfordert aber, für eine gegebene Fragestellung die richtige, nämlich empfindliche, Messsequenz zu identifizieren, was nur empirisch möglich ist. Die Messparameter des MRI spiegeln ja nur physikalische Wechselwirkungen von Atomkernen mit ihrer atomaren Umgebung wider. Die Umsetzung dieser physikalischen Information in physiologisch oder klinisch relevante Aussagen ist kausal nicht möglich. Sie erfordert noch umfangreiche Erfahrungen und ein tiefgreifendes Verständnis über die mikrostrukturellen und molekularen Auswirkungen pathologischer und physiologischer Vorgänge. Für viele in der Praxis etablierte Kontrastmechanismen existieren daher bestenfalls Plausibilitätserklärungen; ein tieferes Verständnis, welches es auch erlaubt, gezielte Experimente für mikrostrukturelle Fragestellungen zu entwickeln, existiert nicht.

5. Funktionelles MagnetresonanzImaging (fMRI) (nach [Hennig 01]):

Die funktionelle Kernspintomographie beruht auf einer sequentiellen Wiederholung immer derselben Aufnahme unter Variation eines zu bestimmenden Parameters. Der dynamisch veränderliche Parameter kann dabei im Durchfluss eines Kontrastmittels zur Messung der Perfusion bestehen oder in der kortikalen Aktivierung durch Präsentation eines Stimulus wie Licht, Denksportaufgaben oder Berührungsreize.

Die frappante Visualisierung des Endresultats der Auswertung kann leicht darüber hinwegtäuschen, dass eine lange Kette von Auswertungsschritten erforderlich ist, um diese Ergebnisse aus den gemessenen Daten herauszuholen.

Das fMRI ist weder empfindlich genug, die sehr kleinen Magnetfelder der Neuronenströme zu messen, noch vermag es, die neuronalen Metabolismen direkt zu beobachten. Die Beobachtung der Hirnaktivierung mittels fMRI beruht wieder auf einem indirekten Effekt, der

Kopplung zwischen neuronaler Aktivität und dem lokalen Blutfluss. Die hämodynamische Kopplung besagt, dass neuronale Aktivität einen erhöhten Energiebedarf mit sich bringt, der sich über die Umsetzung von Glukose mit Sauerstoff decken lässt. Gemäß der gängigen Hypothese besteht ein Flaschenhals im Transport des Sauerstoffs aus den Kapillaren zu den Neuronen, wo er gebraucht wird. Als Puffer wird daher in Folge einer neuronalen Aktivierung lokal die Blutzufuhr erhöht, um mehr Sauerstoff ins Gewebe zu pressen und damit einer Unterversorgung vorzubeugen. Die Aktivierungsänderung führt so zu einer Verschiebung des Gleichgewichts zwischen sauerstoffreichem und sauerstoffarmem Blut, was mittels MRI beobachtet werden kann. Das deoxydierte Hämoglobin besitzt durch seinen Eisenkern ein starkes magnetisches Moment, welches bei Anbindung von Sauerstoff gelöscht wird. Mittels spezieller MRI-Aufnahmetechniken lassen sich solche lokalen mikroskopischen Wechselwirkungen mit dem Magnetfeld als Signalerniedrigung und bei Aktivierung als Signalerhöhung sichtbar machen.

Da aber auch diese Effekte multifaktoriell sind und nur sehr bedingt Rückschlüsse auf die aktuelle neuronale Aktivität zulassen, ist ein fMRI-Experiment so aufgebaut, dass die Datenaufnahme oftmals wiederholt wird und über die Dauer des gesamten Experimentes die interessierende Aktivierungsbedingung mehrfach geändert wird. Bei anspruchsvolleren Untersuchungen kann die erzeugte Datenmenge leicht 1 GByte pro Untersuchung übersteigen. Solche Datenmengen sind zwar für heutige Speichermedien kein Problem mehr, jedoch ist es aufgrund der großen Zahl der Einzelbilder ausgeschlossen, die aufgenommenen Daten per Hand zu sichten. Zudem liegen die Aktivierungseffekte im Bereich weniger Prozente und sind damit auch im direkten Bildvergleich vom Menschen kaum wahrnehmbar. Sie lassen sich nur durch Computerauswertung extrahieren. Die Komplexität dieser Berechnungen aber lässt sich im hier gegebenen Rahmen kaum andeuten. Ein Problem hierbei ist, dass es eine große Anzahl möglicher physiologischer Prozesse gibt, welche zeitlich veränderliche Signale erzeugen, die - zufällig oder nicht - eine gewisse Korrelation mit den aktivierungsbedingten Effekten aufweisen können. Neuere Programme versuchen solche zusätzlichen Effekte - wie z.B. periodische Signalveränderungen durch pulsatilen Blutfluss oder auch atmungsbedingte Effekte in die Modellierung der Daten mit aufzunehmen, um sie von echten Aktivierungseffekten unterscheiden zu können.

Es gibt viele weitere Verfahren, wie die Positronen-Emissionstomografie (PET) die die Emission (Dichte) eines schnell zerfallenden Radioisotops (radioaktiv markierte Glukose oder O₂) misst, die Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT), ebenfalls eine nuklearmedizinische Technik, die die Verteilung der applizierten radioaktiven Tracer widerspiegelt oder die Magnet-Encephalographie (MEG), eine Weiterentwicklung von fMRI, die die Gehirnaktivität mit EEGs oder ERPs mißt. Und es werden Verknüpfungen von MRI, PET und MEG für weitere Verfeinerungen und Präzisierungen entwickelt.

6. Informatische Probleme der Bildgenerierung aus Grauwertbildern

Hat man die Streukörper rekonstruiert oder hat man die den gemessenen Daten beigegebene direkte Ortsinformation (MRI, fMRI), so sind die Gebiete noch nicht notwendigerweise klar von einander abgegrenzt. Der anschließende Vorgang der **Segmentierung** nimmt die Gebietstrennung vor. Hierfür gibt es Hunderte von Verfahren, die sich für unterschiedliche Texturen verschieden gut eignen. Für Hirnbilder geht man wegen der schwierigen Unterscheidbarkeit von Gebieten und der interindividuellen Variabilität entweder dazu über, die Segmentierung algorithmisch vorzubereiten, um dann interaktiv fortzufahren, oder bedient sich eines Atlas, mit dem dann automatisch und/oder vorzugsweise interaktiv „matching“

betrieben wird. Wieder gibt es unterschiedliche Methoden, die vergleichende Gebietsbestimmung vorzunehmen: landmarkenorientiert, volumentreu, oder durch lineare, affine oder nicht lineare Transformationen.

Im Anschluß an die Segmentierung (oder auch vorher) werden die Bilder „geputzt“, d.h. es wird eine Fast-Fourier- Transformation zur **Elimination von Unschärfe und Schmutz** angewendet. Die automatische Elimination von „unpassenden“ Bildpunkten läuft Gefahr, wesentliche Bildinhalte zu eliminieren oder zu glätten. Auch hier ist es deshalb sinnvoll, das kundige menschliche Auge mit heranzuziehen. Die dann folgende **3D- Konstruktion** aus digitalen 2D-Bildern verwendet *Rendering*-Verfahren der Oberflächen- und Ganzkörpertriangulation, welche den Körper so aufspannen, dass Transformationen, Schnitte, Drehungen, auch von Ausschnitten, transparente Visualisierungen für den Blick ins Innere, etc. möglich sind.

7. Kartographierungen und Hirnatlanten

Seit dem 1. Weltkrieg, wo funktionelle Ausfälle durch Hirnverletzungen beobachtet wurden, ist der Zusammenhang zwischen Ort und Funktion im Gehirn, also die neuroanatomische Zuordnung im Fokus der Neurologie. Einige funktionelle Gebiete wie der visuelle oder der motorische Kortex erscheinen, zumindest in ihrer groben Zuordnung auch gut lokalisierbar. Diese angenommene Korrespondenz zwischen Funktion und Anatomie hat den Wunsch nach funktioneller Kartographierung erzeugt, was 1967 zur Schaffung eines Standardsystems der funktionellen Neuroanatomie auf der Basis eines standardisierten Gehirns (einer Frau) von Talairach führte. Mit der Visualisierung aktivierter Areale durch fMRI konnten für Funktionen wie Sprache, Gedächtnis, sensorische Empfindungen zumindest einige regionale Zuordnungen gefunden werden, doch zeigte sich, dass höhere Funktionen räumlich verteilte Aktivitäten induzieren. Mit der drastisch verbesserten räumlichen Auflösung des fMRI hat sich herausgestellt, dass das Talairach-Gehirn nur sehr bedingt als Standardsystem geeignet ist. Eine bessere neuroanatomische Zuordnung wird mit gemittelten Gehirnen⁴, wie dem auf 305 Gehirnen basierende MNI (= Montreal Neurological Institute)-Brain versucht. Zur Bestimmung von Abweichungen der individuellen Gehirne von einer Gruppe werden an fMRI-Studien Abbildungen auf ein neuroanatomisches Referenzsystem, wie Talairach oder MNI durch entsprechende Transformationen durchgeführt. Dieses „Mapping“ erfolgt meist anhand eines während der fMRI-Sitzung aufgenommenen hochaufgelösten Datensatzes, aus welchem sich die Zuordnung des Kortex heraussegmentieren und so auf einen Standarddatensatz abbilden lässt.

Auch die Bemühungen des Human Brain Project (HBP) zielen auf ein einheitliches, dreidimensionales Standardgehirn (<http://nessus.loni.ucla.edu/icbm/index0.html>), um zu einem umfassenderen Verständnis von „normaler“ und „abnormaler“ Gehirnfunktion zu gelangen. Hierbei wird die zunehmend wichtigere Rolle der Informatik in der Neurowissenschaft sichtbar: sie soll nicht nur zur computergrafischen Repräsentation von Gehirndaten, sondern auch zur Datenintegration und zur Modellbildung der Gehirnfunktion beitragen [Masannek 01].

Wegen der Probleme mit der großen Variabilität der Hirntopographie kommen heute auch Hirnatlanten zur Anwendung, die durch *elastische Verformung* für die individualisierte, auch funktionelle und neurochemische Topografie deformierbar sind, und solche, die auf wahrscheinlichkeits- und populationsbasierten oder krankheitsspezifischen Datensätzen

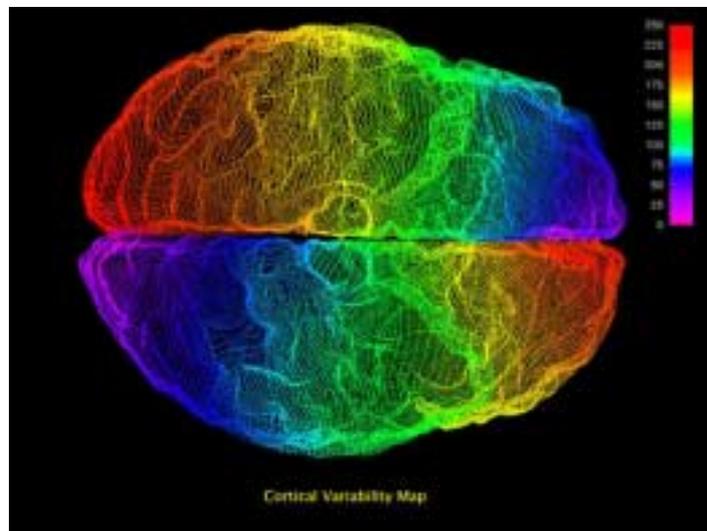
⁴ Mittelungen sind auf höchst verschiedene Weise versucht worden: da geometrische (Längen-, Winkel-, Flächen-, Volumentreue) Mittelungen der interindividuellen Variation nicht gerecht werden, wurden Landmarken (etwa des Schädelknochens) basierte Verfahren und statistische Verfahren angestrengt.

beruhen. Hier wird versucht, die quantifizierte Variabilität abzubilden. In populationsbasierten Atlanten werden die subkortikale Anatomie und die Muster der Gyri (=Wölbungen) und Sulci (=Falten) normaler Gehirne durch "Warps", i.e. 3D-Transformationen aufeinander abgebildet, wobei die Vektorgrößen der Warps gleichzeitig die lokalen strukturellen Variationen und die Richtung der Variationen quantifizieren (Thompson et al., 2000). Warps kodieren die Verteilung der Punkte, die in einer normalen Population anatomisch korrespondieren, und diese Verteilung wird herangezogen, um die Wahrscheinlichkeit zu berechnen, mit der eine lokale Region eines Individuums mit der Normalpopulation übereinstimmt. Der Grad der interindividuellen Variabilität wird durch Farbkodierung in Position, Größe, und Dimension für jedes Areal dargestellt.

Zur Zeit werden in wahrscheinlichkeitsbasierten Atlanten Angaben über Rassen und Ethnie, Bildung und Händigkeit, persönliche Gewohnheiten, medizinische Profile, strukturelle und funktionelle Imaging - Daten sowie DNA für die Genotypisierung von bisher mehreren Hundert normalen Subjekten gespeichert. Je nach Population erzeugen Warps unterschiedliche wahrscheinlichkeitsbasierte Karten.

Die Variabilitätskarte zeigt regional verschiedene Muster der kortikalen Oberflächenvariabilität und sulcalen Anatomie in normalen männlichen Hirnen. Die Farben indizieren das Maß der Variabilität (Vektorgröße), die benötigt wurde, um das Individuum an den Durchschnitt einer Gruppe anzupassen. Funktionelle Daten verschiedener Personen können durch Transformationen verglichen und integriert werden.

http://www.loni.ucla.edu/SVG/animation/Computational_Models/index.html#



Zusammenfassung:

Die Standardformate, so viel ist klar geworden, bereiten Probleme mancherlei Natur. Das beginnt schon auf der rein *konzeptionellen Ebene* gemäß der unterschiedlichen Disziplinen der Hirnforschung, so der Neuropathologie die auf mikroskopischer Ebene klassifiziert (nach histologischem Aufbau gemäß Brodmann), während die Neurologie nach Funktionen, die Neuroradiologie nach der topographischen Zuordnung der einzelnen Sulci und Gyri der Gehirnoberfläche sucht. Alle diese Referenzsysteme zeigen im interindividuellen Vergleich und untereinander erhebliche Unterschiede [Hennig 01].

Hinzu kommen Einseitigkeiten der Auswahl, wie die Wahl des Referenzgehirns, oder bei gemittelten oder wahrscheinlichkeitsbasierten Atlanten die Annahmen über eine normale Population (dicke Leute passen nicht in den Tomographen).

Auf der mathematisch-technischen Seite gibt es Kontingenzen bei der Bilderzeugung, durch die Kombination von Datenbearbeitungs- und Auswertungsmechanismen, die Gebietsrekonstruktion mit Simulationen unter Vorannahmen über Gebiete, die Parametrisierung der Bildgebung sowie deren Konstituenten, wie Glättung, Segmentierung und die Visualisierungstechniken. Mit der Standardisierung geht implizit die Leugnung

verschiedener Interpretationskonzepte in Lauf der Herstellung der Karten einher, die etwa die Vielfalt von Mittelungsmöglichkeiten, für das Mapping die Art und Effektivität des eingesetzten Transformationsalgorithmus unberücksichtigt lässt. Nachteile von Hirnatlanten sind folglich die Simplifizierung, die Abwesenheit der Darstellung der höchst widersprüchlichen Forschungsergebnisse und die Vernachlässigung der Plastizität. Selbst beim Übergang zu statistischen Verfahren und die Visualisierung der Variabilität kommt es zu Willkürlichkeiten: in wahrscheinlichkeits- und populationsbasierten Atlanten wird „normale versus abnormale“ Variation von Struktur und Funktion durch die Angabe (im statistischen Sinne) willkürlich gesetzter Schwellen der Mittelwertstreuung definiert [Masanneck 01] ⁵.

Das alles führt zu Inadäquatheiten der Standardformate. Mit der zunehmenden Genauigkeit der fMRI- Messungen zeigt sich, dass sich die zum Teil millimetergenauen funktionellen Zuordnungen in keinem der standardisierten Systeme angemessen repräsentieren lassen. Neuere neuropathologische Auswertungen haben beispielsweise eine erhebliche Variabilität der Areale des visuellen Kortex gezeigt, welche weder mit der individuellen Anatomie noch mit funktionellen Kartographierungen korrespondiert. Der Zusammenhang zwischen histologischem Aufbau des Kortex und seiner makroskopischen Anatomie sowie der Funktion ist nach wie vor ungeklärt und stellt sich daher einer Kartographierung entgegen [Hennig 01].

Beim Versuch, individuelle Hirnbilder durch Brain Mapping auf bzw. an Standardhirne oder Karten abzubilden bzw. anzupassen, entstehen daher Probleme: der Skalierung, der Standardisierung der Transformationsverfahren und der Vergleichbarkeit der oft mit unterschiedlichen Anpassungen an mit unterschiedlichen Methoden und Modellen erzeugten Standards entstandenen Bilder. Da das standardanatomische Format auch das Format ist, mit dem Variationen der Morphologie und Variationen der Dimension und Lokalisation funktioneller Areale untersucht werden, ist die Wahl des Standardformats entscheidend für die Resultate. Der routinemäßige Einsatz der standardisierten Karten als „black box“ ist darum sehr problematisch. Sie induzieren Folgerungen für das Verständnis von „normaler“ und „abnormaler“ Gehirnfunktion. Der sich vom Pathologischen abgrenzende Gesundheitsbegriff hängt nunmehr von mathematischen, statistischen und informatischen Konstrukten ab, die kontingent und schwer zu durchschauen sind [Masanneck 01].

IV. Genderforschung zu bilderzeugenden Verfahren in der Biomedizin

Es ist deutlich geworden, dass informatische und mathematische Leitbilder, wie Strukturbildungen, Mittelungen, Transformationen und Konzepte die epistemologischen Angelpunkte der Biomedizin zunehmend durchdringen und formen. Eine Analyse der Objektivität in den besagten Fächern zeigt, dass *Objektivierbarkeit* hier geknüpft wird an informatische und statistische Modelle, an Messverfahren, die äußerst tief greifende physikalische Wirkungen im menschlichen Körper nutzen, an mathematische, physikalische und Informations-Techniken.

Beachtenswert ist insbesondere der zunehmende Anteil konstruktiver gegenüber analytischen Methoden, die weitere epistemologische Folgen nach sich ziehen: indem sich Artefakt und „Natürliches“ zunehmend vermischen, verwischt sich der Unterschied zwischen „Natur“ und „Kultur“. ⁶ Die Konstruktion ist aber auch ein Einfallstor für „Menschliches“, für kulturelle

⁵ Normalität bedeutet dann eine zentrale Tendenz mit bestimmten quantitativ definierten Variationsgrenzen, statt einer im deskriptiv-statistischen und/oder soziokulturell-präskriptiven Sinne vorfindlichen.

⁶ Tatsächlich werden in der Bioinformatik und der Artificial Life-Forschung Begriffe von Natur und Leben technisch verhandelt. Die Umdeutung zentraler Begriffe, wie Leben, Maschine, Organismus, Intelligenz ermöglicht die Überführung der Biologie in synthetische Medien (siehe [Weber 99]).

Vorverständnisse, Idiosynkrasien und „biases“ in das Konstruierte, etwa das Programm oder die Visualisierung. Überdies sind all diese Modellierungen auf komplexeste Weise miteinander verknüpft, Anwendung und Kombination der Methoden und Techniken hängt von kontingenten Wahlen und Entscheidungen an vielen Stellen und von vielen Menschen ab, mit jeweils abhängigen Ergebnissen. Doch das kontingent Hergestellte bleibt in der technischen Realisierung zumeist nicht variabel, sondern verfestigt sich, und es bleibt nicht transparent, sondern verschließt sich dem Verständnis der AnwenderIn. Inadäquatheiten können so durch Normierungen, Übergeneralisierungen, Überspezialisierungen und Standardisierungen entstehen. Und sie sind für die Genderforschung insbesondere dann relevant, wenn sie mit androzentrischem Blick erfolgen.

Im Kontext der Biomedizin werden Normierungen häufig durch Bilder und Karten nahegelegt. Die unmittelbare kognitive Zugänglichkeit von Bildern wird mit der geringeren rationalen analytischen Zugreifbarkeit bezahlt: die Bilder haften im Bewußtsein und ihr vorgespiegelter Realitätscharakter leitet künftige Vorstellungen, wie etwas aussehen solle oder könne, sie werden Stereotype, *Visiotype* [Pörksen 97].

Der – ja erwünschte - realistische Bildeindruck dieser höchst artifiziellen Bilder verschleiert den Konstruktionsprozess und seine Kontingenzen und damit den Kunstcharakter. Wenn, wie im HBP und anderen Projekten, solche Bildkonstrukte zur Standardisierung und zur Definition von Normalität herangezogen werden, so induzieren sie schiefe, einseitige Begriffe und Vorstellungen. Sie verleiten zu Determinismen, die weder interindividueller Variabilität noch individueller Plastizität gerecht werden. Da diese Standards aber auch als Referenzgehirne beim Matching Verwendung finden, werden Standardisierungsfehler, Inadäquatheiten und Kontingenzen propagiert.

Die zunehmende Entfernung des Bildes vom Abzubildenden, der konstruktive Charakter solcher über komplizierte Prozesse hergestellten Bilder erhöhen auch mit jedem Abstraktionsschritt, jedem Ableitungsschritt und jedem Integrationsschritt die Fehleranfälligkeit. Damit entstehen nicht nur Gefahren durch Bild-Artefakte ohne physiologische Entsprechungen, sondern auch solche verzerrender Determinierung und deren unreflektierter Naturalisierung. Durch den Abbildbarkeitsmythos [Schmitz 01] wird aus Verbildlichungen biologischer Prozesse, die in ihrer zeitlichen Dynamik und strukturellen Komplexität nicht in einem Bild festzuhalten sind, Normalität als Analyseergebnis suggeriert, die in Wahrheit konstruiert ist.

Kontingente (und von praktizierenden MedizinerIn komplexitätsbedingt oft nicht verstandene) Konstrukte leiten die Begriffe von Normalität, Geschlecht, Gesundheit versus Krankheit und Therapiebedarf, und vielen abgeleiteten Interventionen und Einordnungen.

Bezogen auf „gender“ (ebenso wie andere kulturelle, ethnische oder krankheitsbedingte) Unterschiede, werden auch beobachtete Geschlechterdifferenzen als unveränderliche biologische Realität festgeschrieben [Schmitz/Schinzel 01]. Eine solche Vereinfachung durch exemplarische Verbildlichung verstärkt geschlechterdeterministische Zuschreibungen von anatomischen bzw. funktionellen Hirndifferenzen⁷ und leistet im Verein mit dem Objektivitätsmythos der mathematisch-naturwissenschaftlichen Methoden deren unreflektierter Naturalisierung [Haraway 95, 95a] Vorschub. Die Folge sind erneut popularisierte Stereotype von naturalisierten Geschlechterdifferenzen im Gehirn zur Erklärung von Verhaltens- und Leistungsunterschieden zwischen Frauen und Männern [Masanneck 99; Schmitz 01a; Schinzel/Schmitz 01] (siehe z.B. [Pease 2000]). Neuere Erkenntnisse über die Plastizität der Hirnentwicklung zeigen aber, dass die neurale Differenzierung von externem Input und individuellen Erfahrungen abhängt. Sie führen zu

⁷ Heute schon in der Schizophrenieforschung manifest,
http://www.loni.ucla.edu/~thompson/SZ/schizo_atlas.html.

anderen Auffassungen von Geschlechterkonstruktionen, die innerhalb eines speziellen psychosozialen und kulturellen Kontexts geformt werden und sich körperlich manifestieren (Embodiment-Theorie)⁸. Sie decken die o.g. Naturalisierungskonzepte als wissenschaftliche und gesellschaftliche Konstruktionen auf und zeigen die wechselweisen Einflüsse zwischen Biologie (Gehirnstruktur und Funktion), kulturellen und individuellen Erfahrungen, die einander stetig wechselweise modulieren und konstruieren.

Feministische Kritik richtet sich im Kontext der Biomedizin auch gegen die zunehmenden Kartographierungen und Verbildlichungen des Körpers [Haraway 96]. Die Zunahme bildlicher Repräsentationen gegenüber textuellen ist ein wichtiges Element epistemischer Veränderungen in allen Wissenschaften, besonders aber in der Biomedizin.

Während für sprachliche oder textuelle Zeichen und Wörter klare Definitionen auf grammatischer - und Bedeutungsebene existieren, trifft das auf Visiotype (Bilder, Tabellen, Kurven, Visualisierungen) nicht zu. Es gibt keine weitgehend akzeptierte Definition⁹, was eigentlich ein Bild sei. Sowohl Ähnlichkeits- als auch Kausaltheorien haben gravierende Defizite, denn weder ist ein Bild von Material und Dimension her einem lebendigen Original ähnlich, noch besteht ein kausaler Zusammenhang zwischen Original und Abbild¹⁰. Flusser, dem es letztlich um Hypothesen zur Umgestaltung unseres Denkens durch den Computer und die Informatik geht, gibt Beschreibungen, die für die Interpretation von Bildern raumzeitliche und konnotative Aspekte heranziehen¹¹. In Ablösung von Rorty's „linguistic turn“ sieht Mitchell im „pictorial turn“ ebenfalls ein Zurückholen holistischer Mittel in Abwendung vom Semiotischen¹².

Nach Fiala [Fiala 97] synthetisieren die Informationstechnologien den abstrakten Begriff mit dem Bild, wie in unserem Kontext die abstrakten Streudaten mit deren Visualisierung. „Die computertechnische Simulation generiert eine artifizielle Naturalität, eine künstliche Natürlichkeit.“ Die Abstraktionen mutieren zu konkreten, sinnlich wahrnehmbaren Formen der „Wahrnehmungsgegenstände“. „Zahlen lassen sich zu Bildern komputieren“, wie Flusser [Flusser 92] es ausdrückt. Die Substitution des Natürlichen“ geschieht hier überdies auf der bio-technischen Ebene, nicht nur auf der symbolischen Ebene. Ein Grundzug dieses wissenschaftlichen Erkenntnismodells ist die Tendenz zur Konstruktion, zum Klon der Natur, deren Weg gerade über die Abstraktion verläuft.

⁸ Entsprechend verwenden wir den Begriff „Geschlecht“ für das Ganze der bio-psycho-sozialen Aspekte.

⁹ Der Peirce'sche Zeichenbegriff als Relation zwischen Beschreibungsmittel, beschriebenem Objekt und der Interpretation dieser Beschreibung ist zwar anwendbar, trifft aber nicht die Differenzierung zwischen Bild und Text. Hier scheinen raumzeitliche, denotative vs. konnotative Aspekte, z.B. die Bedeutungsrelation zwischen Pixel/Voxel und Gesamtbild, wichtiger.

¹⁰ Medizinische Bilderzeugungsverfahren beispielsweise verursachen zwar auf physikalischer Ebene eine Kausalkette bis zur Erzeugung von Streudaten und Daten aus durchdringenden Strahlen. Doch die weitere Prozessierung der Daten bis zur Visualisierung folgt weniger kausalen als pragmatischen Erfordernissen. Auf Physiologisches wird auf kompliziertem Weg rückgeschlossen. Was aber auf physiologischer Ebene gemessen wird, ist kausal nicht eruierbar, bestenfalls empirisch.

¹¹ Er sieht in Bildern bedeutende Flächen, deren Bedeutung auf der Oberfläche liegt und sich mit nur einem Blick erfassen läßt. „Schweift der Blick über das Bild („Scanning“), um seine Bedeutung zu vertiefen, setzt sich die gewonnene Bildbedeutung aus der Bildstruktur und der Betrachterintention zusammen. Bilder sind nicht - wie z.B. Zahlen - denotative Symbolkomplexe, sondern konnotative: d.h. sie bieten Raum für Interpretationen. Während der Blick über die Bildfläche schweift, erfaßt er ein Bildelement nach dem anderen und stellt bedeutungsvolle Beziehungen zwischen diesen her. In dem so entstehendem Bedeutungskomplex verleihen sich die Elemente wechselseitig Bedeutung. Die „vertiefte“, „gelesene“ Bedeutung des Bildes ist raum-zeitlich strukturiert, jedoch anders als die Bedeutung von linearen Texten.“ [Flusser 83; Flusser 92]

¹² „Was immer der pictorial turn (...) ist, so sollte doch klar sein, daß er keine Rückkehr zu naiven Mimesis-, Abbild- oder Korrespondenztheorien von Repräsentation oder eine erneuerte Metaphysik von pictorialer „Präsenz“ darstellt: Er ist eher eine postlinguistische, postsemiotische Wiederentdeckung des Bildes als komplexes Wechselspiel von Visualität, Apparat, Institutionen, Diskurs, Körpern und Figurativität.“ [Mitchell 97]

Walter Benjamin [Benjamin 63] beschäftigt sich zwar mit Film und Photographie, doch können seine Unterscheidungen auch auf die bildgebenden Verfahren übertragen werden: das Eindringen des Kameramanns in die Gegebenheit, die Zerstückelung der Bildkomponenten, die Maskierung und Denaturierung einer tieferliegenden Realität oder gar die Maskierung in Abwesenheit einer tieferliegenden Realität, bis hin zum Verweis auf keine Realität, sondern nur mehr auf sein eigenes Simulakrum. Baudrillard greift die Unterscheidung von Simulation und Simulakrum auf, wonach eine Simulation sich noch immer auf eine Art Urbild, ein Original, bezieht, während ein Simulakrum in einem ununterbrochenen Kreislauf ohne Referenz nur mehr auf sich selbst verweist, nicht auf etwas Reales außerhalb ihrer selbst. Wesentlich Visualisierungen aus den bildgebenden Verfahren der Biomedizin haben einen zu komplizierten epistemologischen Charakter, um klar in diese Unterscheidung zu passen, sie fungieren sowohl als Simulakra, mit denen interaktiv gearbeitet wird, als auch als bildliche Simulationen, die mit der Realität der Körper in bestimmte Übereinstimmungen gebracht werden müssen, um erfolgreich diagnostizieren oder (Roboter gestützt) operieren zu können.

Die *Sicht auf den Körper* hat sich durch die Möglichkeiten der „optisch“ in den Körper eindringen medizininformatischen bildgebenden Verfahren stark verändert. Er erscheint transparent, direkt, auch online einsichtig und präzise zugänglich. Die Universalität der informatischen Repräsentation macht Verbildlichung und Eingriff nahezu austauschbar: wo in Voxel repräsentiert wird, kann nach dem elektronischen Skalpell, das nur das Bild bearbeitet, auch das Roboterskalpell im Körper geführt werden und schneiden und die Wirkungen, also Eindringen, Verschiebung der Gewebe und Schnitte sind direkt elektronisch visualisierbar. Die technische Verbindung der Visualisierung des Körperinneren mit der Roboterchirurgie ist nahtlos, da der Code der Visualisierung elektronische und physiologische Medien gewissermaßen austauschbar und kombinierbar macht. Das Computerbild koppelt verschiedene Medien, den Tomographen, den Rechner, den Roboterarm und den menschlichen Körper, denn in den informationstragenden Bildeinheiten haben nicht nur bildliche (örtliche, farbliche und Intensitäts-Informationen), sondern noch viele andere Informationen Platz. Es ist ein Charakteristikum der universalistischen digitalen Medien, dass sie alle Medien zu verbinden erlauben und austauschbar machen. Die Interaktivität, die Grundvoraussetzung der Roboter gestützten Chirurgie ist, ist eine konsequente Folge dieser Verbindung von Realitätsebenen.¹³

Kritisch gewendet sind Austauschbarkeit der Materialien, Denaturalisierung und Naturalisierung Elemente des postmodernen Programms der Technowissenschaften, mit ihrer konstruktivistischen Konzeption alles Seienden als bestehend aus kontingenten und ineinander überführbaren Komponenten [Weber 99 S. 471]. Der Unterschied zwischen Natur und Kultur ist eliminiert. Das Simulakrum wird in Natur materialisiert: „it's `nature of no nature““. Feministische Forscherinnen sehen darin die Fortsetzung der maskulinistischen Träume von Unsterblichkeit und Omnipotenz, der Möglichkeit von Transzendenz und Manipulierbarkeit des Körperlichen, des „masculine birth of life“ bis hin zu Phantasmen „lebendiger“ autonomer Technofakte. Diese Prozesse sind faktisch längst eingeleitet: eine neue Verdinglichung des Körpers und seiner Komponenten zu entindividualisierter Biomasse, zu nachwachsendem Rohstoff, eine freie Kombinatorik der Körperstoffe macht sie

¹³ Vief [Vief 89, S. 280] schreibt, „die computergenerierten Bilder sind nicht mehr rein visuell, sondern vervollständigt bis zu einem Punkt, an dem der Unterschied zwischen Realität und Bild verschwindet. Das binäre Punktbild unterscheidet sich auch darin von seinen analogen Vorläufern, daß es ein interaktives Bild ist. Das Bild bezieht die Betrachterin, den Betrachter mit ein. So kann es z.B. auf sie, ihn reagieren. ZuschauerInnen werden zu BenutzerInnen. „Es verschwimmen zwei Realitätsebenen: die des Bildes und die des Benutzers.“ (S. 282). Und weiter: „Mit der Komplettierung (*gemeint ist: Universalität der Repräsentation; eigener Kommentar*) der Bilder wird ihr realitätsstiftender Charakter verstärkt.“ (S. 279)

unmittelbar kapitalisierbar [Gehring 01]. Die durch bildgebende Verfahren eingeleitete neue Durchlässigkeit der Körpergrenzen lässt die Elemente von Leben letztlich zu Objekten von Markt und Handel werden.

Literatur und URLs:

Baudrillard: „Agonie des Realen“, Berlin 1978.

Barz, S. u.a.: KörperBilderKörperPolitiken, Bremen 1998.

Benjamin, Walter: Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit, in: Ders.: Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit. Drei Studien zur Kunstsoziologie, Frankfurt a.M. 1963, S. 7-44.

Benthien, Claudia: Haut. Literaturgeschichte, Körperbilder, Grenzdiskurse, Reinbek bei Hamburg 1999.

Duden, Barbara: Der Frauenleib als öffentlicher Ort. Vom Mißbrauch des Begriffs *Leben*, Hamburg/Zürich 1991.

Fiala, Erwin: Symbolische Welten und Abstraktionen, in: Ders.; List, E. (Hrsg.): Leib Maschine Bild, Wien 1997, S. 139-155.

Flusser, Vilém: Für eine Philosophie der Fotografie, Göttingen 1983.

Flusser, Vilém: Die Schrift. Hat Schreiben Zukunft? Frankfurt a.M. 1992.

Flusser, Vilém: Lob der Oberflächlichkeit. Für eine Phänomenologie der Medien, 2., durchgeseh. Aufl., Mannheim 1995.

Gehring Petra: Neue Ökonomien: die Zirkulation von Körperstoffen, die Zirkulation von Körperdaten; www.uni-freiburg.de/zag/zag/sites/gehring.htm

Haraway, Donna: Monströse Versprechen. Coyote-Geschichten zu Feminismus und Technowissenschaft, Hamburg, Berlin 1995.

Haraway, D.: Die Neuerfindung der Natur : Primaten, Cyborgs und Frauen. Frankfurt/Main: Campus-Verlag, 1995a

Haraway, Donna: Anspruchloser Zeuge1@ Zweites Jahrtausend. FrauMann trifft OncoMouseTM. Leviathan und die vier Jots: *Die Tatsachen verdrehen*, in: Scheich, Elvira (Hrsg.): Vermittelte Weiblichkeit. Feministische Wissenschafts- und Gesellschaftstheorie, Hamburg 1996, S. 347-389.

Hennig, Jürgen: Chancen und Probleme bildgebender Verfahren für die Neurologie; in Schinzel (ed.): Interdisziplinäre Informatik: Neue Möglichkeiten und Probleme für die Darstellung komplexer Strukturen am Beispiel neurobiologischen Wissens; Freiburger Universitätsblätter, 3, 2001, Rombach, Freiburg.

Huerta, M.F.; Koslow, H.; Leshner, A.I.(1993): The Human Brain Project: An

international Resource; TINS; 16: 52-56

Masanek, C. (1999): Das genormte Gehirn. Was verbirgt sich hinter dem Human Brain Projekt. In: Koryphäe 26, S. 12-17;

Masanek, Carmen: Das Human Brain Project- Hirnforschung im 21. Jahrhundert; in Schinzel (ed.): Interdisziplinäre Informatik: Neue Möglichkeiten und Probleme für die Darstellung komplexer Strukturen am Beispiel neurobiologischen Wissens; Freiburger Universitätsblätter, 3, 2001, Rombach, Freiburg.

Mitchell, W.J.T.: Der Pictorial Turn, in: Kravagna, Christian (Hrsg.): Privileg Blick. Kritik der visuellen Kultur, Berlin 1997, S. 15-40.

Müller-Dohm, Stefan: Visuelles Verstehen. Konzepte kultursoziologischer Bildhermeneutik, in: Ders.; Jung, Thomas (Hrsg.): „Wirklichkeit“ im Deutungsprozeß. Verstehen und Methoden in den Kultur- und Sozialwissenschaften, Frankfurt a.M. 1993, S. 438-457.

Pease, Allan & Barbara: Warum Männer nicht zuhören und Frauen schlecht einparken; Ullstein, München 2000 (Übersetzung aus dem Original, Australien 1998)

Pöppe, C.; Sakas, G.; Jendrysiak, U.: »Medizinische Bildverarbeitung«, in: Spektrum der Wissenschaft, Dossier 1/1999, S. 18-35.

Pörksen, Uwe: Weltmarkt der Bilder. Eine Philosophie der Visiotype, Stuttgart 1997.

Schinzel, B.; Schmitz, S. (2001): GERDA: Ein Informationssystem zur Hirnforschung mit dem Ziel der Aufarbeitung und Dekonstruktion von Geschlechterunterschieden. In: Freiburger FrauenStudien (im Druck)

Schmitz, Sigrid: Informationssysteme zu neurobiologischem Wissen – Chancen und Grenzen; in Schinzel (ed.): Interdisziplinäre Informatik: Neue Möglichkeiten und Probleme für die Darstellung komplexer Strukturen am Beispiel neurobiologischen Wissens; Freiburger Universitätsblätter, 3, 2001, Rombach, Freiburg.

Schmitz, S.:Das Projekt ‚GERDA‘: Informationstechnische Darstellung, kritische Reflexion und Dekonstruktion in der Hirnforschung. In: FIFF-Kommunikation 3/01, 2001a; S 36-41

Schmitz, S.; Schinzel, B (2001): GERDA: A brain research information system for reviewing and deconstructing gender differences. Proc. of Symposium „The Nature of Gender – the Gender of Nature“. ZiF, Universität Kiel: Westdeutscher Verlag (im Erscheinen)

Steinbrenner, Jakob; Winko, Ulrich: Bilder in der Philosophie & in anderen Künsten & Wissenschaften, in: Dies. (Hrsg.): Bilder in der Philosophie & in anderen Künsten & Wissenschaften, Paderborn/München/Wien/Zürich 1997, S. 13-40.

Thompson PM, Woods RP, Mega MS, Toga AW (2000b) Mathematical/Computational Challenges in Creating Deformable and Probabilistic Atlases of the Human Brain. Human Brain Mapping 9: 81-92.

Vief, Bernhard: Vom Bild zum Bit. Das technische Auge und sein Körper, in: Kamper, Dietmar; Wulf, Christoph (Hrsg.): Transfigurationen des Körpers. Spuren der Gewalt in der Geschichte, Berlin 1989, S. 265-292.

Weber, Jutta: Selbstorganisation als little invisible hand; in Bergmann, U. et al (Hrsg.): Hand. Medium Körper Technik; thealit. Bremen 2001.

Weber, Jutta: Contested Meanings. Nature in the Age of Technoscience, in: Mittelstraß, Jürgen (Hrsg.): Die Zukunft des Wissens, Konstanz 1999, S. 466-473.

Weber, Jutta: Feminismus & Konstruktivismus. Zur Netzwerktheorie bei Donna Haraway, in: Das Argument. Zeitschrift für Philosophie und Sozialwissenschaften 227, Heft 5, S. 699-712.

URLs zum Human Brain Project:

<http://nessus.loni.ucla.edu/icbm/index0.html>

zum Visible Human:

<http://www.nlm.nih.gov/pubs/resources.html> und

http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html

URLs zu medizinischen Visualisierungstechniken:

www.medcom-online.de

http://www.quarks.de/blick_in_den_koerper/10.htm

URLs, die sich mit dem Thema Körper, Körperbild, Geschlecht befassen:

<http://www.gradnet.de/pomo2.archives/pomo2.papers/schlehahn00.htm>

<http://www.freitag.de/2000/12/00121801.htm>

<http://www.sfb511.uni-konstanz.de/publikationen/menschliche.html>

<http://www.univie.ac.at/Geschichte/LHOMME/lhomm941.html>

Petra Gehring, Philosophie, Hagen