

"Über die Suggestivkraft digitaler medizinischer Bilder und die Verleitung zu voreiligen Schlussfolgerungen"



„Pictorial Turn“

Zum Verständnis immer komplexer werdenden wissenschaftlichen Wissens werden zunehmend Visualisierungen, wie Tabellen, Diagramme, Kurven, Graphiken und Bilder verwendet.¹ Auch wenn sie in der Regel mit Text kommentiert werden müssen, erlauben sie ein rasches Erfassen von Zusammenhängen auf einen Blick. Das Bild „spricht für sich selbst“, scheinbar ohne unser Zutun, und deshalb wird ihm auch leichthin Objektivität zugesprochen. Der Eindruck von unmittelbarer Einsicht entsteht jedoch nicht notwendigerweise, und wenn er sich einstellt, so beruht er einerseits auf einer dem Menschen kognitiv angemessenen Darstellung (z.B. kann ein verraushtes Bild trotz evtl. größerer Bildinformation schlechter erkannt werden als nach der Filterung), und andererseits auf kulturellen Sehtraditionen (z.B. die Relativierung perspektivischer Größenunterschiede) oder spezifischen Seherfahrungen (z.B. das Lesenkönnen von Ultraschallbildern), denen das Bild in diesem Fall genügt. Was also gesehen wird, ist wesentlich auch von vorangegangenen Erfahrungen abhängig.

Insbesondere zur Vermittlung naturwissenschaftlich-technischen Wissens haben Bilder als Erklärungshilfe oder als Veranschaulichung zum Text an Bedeutung gewonnen (vgl. Mitchell² „pictorial turn“). Auch die Medizin argumentiert zunehmend visuell durch die Verwendung technisch konstruierter Bilder, die aus einer Einheit aus Schrift, Bild und Zahl bestehen (Coy 2002)³. Mit der Wirkung heutiger naturwissenschaftlich-technischer Bilder erklärt der Linguist Ludwig Jäger⁴ sogar den Siegeszug der Naturwissenschaften über die textbasierten Geisteswissenschaften, mehr noch, mit der besonders eindrücklichen Bebilderung des Gehirns und der mit bildgebenden Verfahren darin visualisierten Denkvorgänge „den Auszug des Geistes aus den Geisteswissenschaften in die Neurowissenschaften“.

Konstruktive Aspekte medizinischer bildgebender Verfahren

Mit der Röntgenfotographie und noch viel umfassender, mit den neuen bildgebenden Verfahren wie Computer-Tomographie (CT), Positronen-Emissions-Tomographie (PET), Single-Photon-Emissions-Computer-Tomographie (SPECT), 3D-Ultraschall, Magnetresonanz-Tomographie (MRT), funktionelle Magnetresonanz-Tomographie (fMRT) oder Magnet-Enzephalographie (MEG)

¹ Schinzel, Britta (2004): Epistemische Veränderungen durch die Informatisierung der Naturwissenschaften In: Schmitz, Sigrid; Schinzel, Britta (Hrsg.): Grenzgänge. Genderforschung in Informatik und Naturwissenschaften. Ulrike Helmer Verlag: Königstein, S. 30-49.

² Mitchell, W.J.T.: Der Pictorial Turn, in: Kravagna, Christian (Hrsg.): Privileg Blick. Kritik der visuellen Kultur, Berlin 1997, S. 15-40.

³ Coy, Wolfgang (2002): Visuelle Argumentationen, darin: “Visuelle Argumentationen – zur Eigenständigkeit technischer Bilder im Erkenntnisprozess” und “Die Konstruktion technischer Bilder – Eine Einheit von Schrift, Bild und Zahl”. Online: [<http://waste.informatik.hu-berlin.de/Forschung/VisArg/>] (25.05.2004)

⁴ persönliche Kommunikation

wurde der Blick in den lebendigen unverletzten Körper möglich. Mittels dieser „nicht-invasiven“ Verfahren bieten sich neue Möglichkeiten für die medizinische Diagnostik und Therapie sowie für die Grundlagenforschung. Gemeinsam ist den neueren Techniken die bisher unbekannte Fähigkeit zu metabolischen (i.e. neurophysiologischer Stoffwechsel) und mikrostrukturellen Untersuchungen am lebenden und denkenden Menschen. Damit wird nicht nur eine Verzahnung zwischen den medizinischen Grundlagenwissenschaften, welche sich mit den synaptischen, zellulären, genetischen und neuronalen Grundlagen der Gehirnfunktion beschäftigen, und klinischen Untersuchungen direkt am lebenden Menschen möglich, sondern auch eine solche mit anderen Wissenschaften, die sich mit kognitiven und psychischen Eigenschaften des Gehirns befassen.

Doch wie ihr Name sagt, liefern diese digitalen Körpervisualisierungen keine direkten Abbilder, sondern es sind mittels neurowissenschaftlicher, informatischer, mathematischer und computergraphischer Prozesse hergestellte, errechnete Bilder. Es handelt es sich bei diesen Verfahren um komplizierte Kombinationen physikalischer Effekte (meist auf atomarer Ebene), diese ausnutzender technischer Apparaturen, mathematischer und statistischer Verfahren und computergestützter Algorithmen und Berechnungen. Auf dem Weg vom Scanner zum Bild des individuellen Gehirns werden eine Vielzahl von Entscheidungsstellen durchlaufen: Die physikalischen Einstellungen der Maschine (z. B. die Stärke des Magnetfeldes), eine Vielzahl kombinierter mathematischer Algorithmen und informationstechnischer Verfahren, die Auswahl bestimmter computergraphischer Verfahren, sie alle beeinflussen, was im Bild erscheint, was fehlt, was hervorgehoben wird (vgl. Schinzel 2003)⁵. Wegen der Komplexität der Herstellung und der noch geringen Kenntnisse im durch die Verfahren dargestellten mikrostrukturellen Bereich ist es für viele in der Praxis etablierten Kontrastmechanismen unbekannt, was sie eigentlich zeigen, es existieren oft bestenfalls Plausibilitätserklärungen, kein tieferes Verständnis, so der Radiologe Jürgen Hennig (2001)⁶.

Auch wenn sich die so erzeugten Bilder auf einen Referenzkörper beziehen, sind die neuen Bildmaschinen nicht nur verfeinerte exteriorisierte Sinnesorgane des Menschen (vgl. Hagner 1996)⁷, sie sind vielmehr auf die menschliche Wahrnehmung bestimmter parametrisierter Gewebephänomene hin konstruiert und enthalten bereits interpretierende Modelle, Algorithmen und Gestaltungselemente. Dies gilt insbesondere für den Endteil der Bildkonstruktion, die informatische Visualisierung aus den bereits aufbereiteten, gereinigten und weiter bearbeiteten Daten. In vielen Zwischenschritten der so genannten „Visualisierungs-Pipeline“ (Hoehne & Pommert 1996)⁸ werden dabei von verschiedenen Herstellern und Labors Entscheidungen getroffen, bezüglich der Filterung, Interpolation, Segmentierung oder 3D-Rekonstruktion über Rendering-Verfahren. Dem Endprodukt sind diese in das schließlich präsentierte Bild

⁵ Schinzel, Britta (2003): Körperbilder in der Biomedizin. S. 245-264, in: Frei Gerlach, Franziska; Kreis-Schinck, Annette; Opitz, Claudia & Ziegler, Béatrice (Hg.): Körperkonzepte: Interdisziplinäre Studien zur Geschlechterforschung. Münster: Waxmann.

⁶ Hennig, Jürgen (2001): Chancen und Probleme bildgebender Verfahren für die Neurologie. Freiburger Universitätsblätter 153 (3): 67-86.

⁷ Hagner, Michael (1996): Der Geist bei der Arbeit. Überlegungen zur visuellen Repräsentation cerebraler Prozesse. S. 259-286, in: Borck, Cornelius (Hg.): Anatomien medizinischen Wissens. Medizin – Macht – Moleküle. Frankfurt/M.: Fischer Taschenbuch Verlag.

⁸ Hoehne, Karl-Heinz & Pommert, Andreas (1996): Volume Visualization. S. 423-443, in: Toga, Arthur W. & Mazziotta, John C. (Hg.): Brain mapping: The methods. San Diego: Academic Press.

eingehenden Modelle und Paradigmen nicht mehr anzusehen. D.h. sie verdecken die Auswahl technischer Verfahren, die im einen Fall zur „Objektivität“ des Bildes (hier: Genauigkeit der Referenz auf den Originalkörper) beitragen, im anderen aber ihr abträglich sein können (was sich in falsch positiven oder falsch negativen Artefakten niederschlagen kann). Entsprechend kann ein solches Bild auch verschiedene mögliche Bedeutungen transportieren, wie die An- oder Abwesenheit einer pathologischen Struktur. Daher bedarf es von Seiten der diese Bilder betrachtenden Ärzte nicht nur einschlägiger „Lese- Erfahrungen“ und eines geschulten Blicks, der individuelle Abweichungen von pathologischen Strukturen unterscheiden kann, sondern einer abwägenden Gesamteinschätzung, die erst in Kombination mit dem klinischen Eindruck zu einer Diagnose befähigt. Die erstaunlich realistisch anmutenden Bilder verdecken aber auch die physiologischen und mathematischen Modellannahmen, die bildlichen Konnotationen und Darstellungskonventionen, sowie den Adressatenbezug (Bilder für die klinische Diagnose, für den chirurgischen Eingriff, zur Demonstration für Patienten, für die Lehre, zur Weiterbearbeitung in Atlanten) der Bildpräsentation, die alle in den Bearbeitungs- und Visualisierungsprozess der Ausgangsdaten eingegangen sind.

Weiterverwendung der medizintechnischen Bilder und Verfahren

Zunehmend mehr Wissenschaften und die Industrie bedienen sich vor allem der funktionellen Bildgebung (mittels SPECT, PET oder fMRT), um aus den so genannten Aktivierungsbildern, die bei definierten Anregungen oder Denkanforderungen im medizintechnischen Bild sichtbaren Orte größerer Blutversorgung im Gehirn zeigen, Aussagen über kognitive Vorgänge und menschliches Verhalten abzuleiten. Dieses Vorgehen setzt die Annahme einer Korrespondenz zwischen Anatomie, Struktur und Funktion voraus. Die fMRT ist eine dynamische Anwendung der statischen MRT, wo zur Untersuchung einer möglichen Vielzahl physiologischer Vorgänge sequentielle Wiederholungen immer derselben Aufnahme unter Variation eines zu bestimmenden Parameters durchgeführt werden. 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 z.B. Licht, Denksportaufgaben oder Berührungsreize. Diese Möglichkeit der Beobachtung der lokalen kortikalen Aktivierung hat in den letzten Jahren einen Siegeszug durch die Neurowissenschaften angetreten. Niemand kann sich der Faszination dieser Bilder so leicht entziehen. Die frappante Darstellung des Endresultats der Auswertung kann leicht darüber hinwegtäuschen, dass eine lange Kette von Auswertungsschritten erforderlich ist, um diese Ergebnisse aus den gemessenen Daten herauszufiltern, so J.Hennig (2001, s.a.a.O.). Diese Auswertungsprogramme implizieren modellbasierte Annahmen, sowie automatisierte Bewertungen von intersubjektiven Abweichungen und von Interferenzen von Bewegungen der Untersuchungssubjekte mit den Bildaufnahmesequenzen, also bereits interpretierende Automatisierungsschritte, neben der berechnenden Korrektur von Variationen der Geräteanordnung, „magnetischen Ausleuchtung“, etc. Die endgültigen Bilder entstehen erst durch Überlagerung von anatomischen Aufnahmen (individuellen bei fMRI oder standardisierten bei PET) und den eingefärbten Darstellungen der Aktivierungsareale. Dies alles impliziert, dass die Bilder, nicht nur über die Parametrisierung, variable Darstellungen erzeugen, dass sie Artefakte enthalten können, kurz dass sie von akuten kontingenten Bedingungen und Kontingenzen der technischen Erzeugung abhängig sind. J.Hennig weist auf die Gefahr hin, die medizinische Bildgebung als „black box“ zu behandeln, ohne Kenntnis der

radiologischen Erzeugungsprozesse und ihrer Zusammenhänge mit physiologischen und neurologischen Verhältnissen.

Dennoch schließen viele Wissenschaftler, auch in Distanz zu Radiologie und Medizin, umstandslos auf funktionelle Abläufe im Gehirn: so Kognition- und Lernforscher nicht nur auf die Orte von Denk- und Lernvorgängen, sondern auch auf diese selbst, Musikologen oder Kunstwissenschaftler auf musikalische oder künstlerische Aktivitäten, Werbefachleute auf die Erzeugung von Aufmerksamkeit durch Werbeträger, Neurotheologen auf die Lokalisierung und damit den Beweis religiöser Erfahrungen im Gehirn bis hin zu Gottesbeweisen und Beweisen der Existenz von Engeln, und Psychologen haben neuerdings auf die Möglichkeiten des fMRI zur Verwendung als Lügendetektoren hingewiesen. Es gibt kaum mehr Gebiete und Wissenschaften, die sich mit der Kognition und dem Verhalten von Menschen befassen, die das Präfix Neuro- für die Verwendung funktioneller Bildgebung des Gehirns nicht adoptiert haben. Dass dabei i.d.R. von situationsbedingten Momentaufnahmen ausgesuchter Einzelpersonen und sehr künstlich anmutenden Untersuchungsbedingungen generalisiert wird; dass aufgrund der noch geringen Kenntnisse über das Gewebe in damit fokussierbaren Maßstäbe und über mikrostrukturelle Vorgänge im Gehirn unbekannt ist, was diese Bilder eigentlich vorzeigen, wie sie zu interpretieren wären und was aus ihnen zu schließen erlaubt wäre, stört die Flut an Untersuchungen und die empirisch noch schlecht fundierten angeblich wissenschaftlichen Veröffentlichungen kaum. Man befindet sich ja mittels der neuesten Technologien an vorderster Front der Forschung.

Normierungen

Problematisch sind auch die Standardisierungsbemühungen bei der Verbildlichung des Körpers. Mit Projekten, wie dem Human Brain Project⁹, sollen das Gehirn und seine Funktionen immer detaillierter in den wissenschaftlichen Blick genommen werden. Es hat zum Ziel, möglichst viele Daten „vom Gen bis zum Verhalten“ in Datenbanken zur Verfügung zu stellen und zu integrieren; weiter daraus ein generalisiertes anatomisches 3D-Standardgehirn, aber auch funktionelle oder krankheitsbedingte Hirnatlanten zu erstellen, um zu einem umfassenderen Verständnis von „normaler“ und „abnormaler“ Gehirnfunktion zu gelangen. Zur anatomischen Standardisierung stehen verschiedene Mittelungsverfahren zur Verfügung, um die vergleichende Gebietsbestimmung vorzunehmen: landmarkenorientiert (am Schädelknochen), volumentreu oder durch lineare, affine und Transformationen höherer Ordnung. Da die anatomischen Verhältnisse stark interindividuell variabel sind, haben alle Mittelungsverfahren Probleme bei der Verwendung als Normierungsinstanz. Deshalb bedient man sich u.a. durch Algorithmen deformierbarer Atlanten oder der graphischen Darstellung statistischer Eigenschaften auf den anatomischen Umrissen in Wahrscheinlichkeits- und Variabilitätsatlanten.¹⁰ Dieses Vorgehen, so Masanneck¹¹, erklärt rechnerisch bestimmte Variationsgrenzen anstelle von

⁹ <http://nessus.loni.ucla.edu/icbm/index0.html>

Masannek, 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.

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

¹⁰ 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: pp 81-92.

¹¹ Masannek, Carmen (2001): Das Human Brain Project – Hirnforschung im 21. Jahrhundert. Freiburger Universitätsblätter 153 (3): 87-104.

deskriptiv-statischen Vorfindungen oder soziokulturellen Vorschreibungen zur Norm, die nicht mit Naturgesetzen zu verwechseln sind. In ihrer kritischen Analyse hat sie zudem aufgezeigt, wie sich im HBP-Projekt kulturelle Definitionen des gesunden bzw. kranken Geistes mit der Existenz-Setzung¹² in hirnanatomischen Ursachen vermischen.

Die 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. Bessere neuroanatomische Zuordnungen erlauben heute Atlanten wie ECHBD oder MNI. Mit der u.U. gestörten Funktion durch Krankheit entsteht der Wunsch, diese und Korrespondenzen zwischen pathologischen Strukturen und gestörter Funktion ins Bild zu setzen. So zeigen sich manche neurologischen Erkrankungen, wie die Parkinsonsche Erkrankung, die Multiple Sklerose, die Alzheimer-Krankheit, aber auch psychische Erkrankungen in funktionellen Hirnbildern als physiologische Abweichungen. Für eine Reihe solcher Erkrankungen, wie endogene Depression oder Schizophrenie wurden krankheitsspezifische neuroanatomische, neurophysiologische oder funktionelle Atlanten hergestellt (Narr et al. 2001)¹³. Für die Schizophrenie gibt es sogar geschlechtsdifferenzierte Atlanten. Die Bildgebung der Krankheit kann leicht dazu führen, dass Diagnose und Therapiebedürftigkeit statt anhand klinischer Befunde nun anhand der bildlichen Evidenz gestellt werden. Doch zeigt ein Bild, das Ähnlichkeiten mit dem Krankheitsatlas hat, im Einzelfall wirklich eine individuelle Erkrankung, oder auch nur die Gefahr einer solchen? Und was ist Ursache und was Wirkung?

Weitere Differenzierungen durch Gruppierungen gibt es nach Geschlecht, Alter, oder auch (in den USA) nach Ethnien, mit dem Ziel, für die Gruppe spezifische Krankheitsmuster zu identifizieren. Manche Risiken und Nebenwirkungen sind leicht vorstellbar, andere liegen tiefer im epistemologischen Wandel (siehe auch Schmitz 2004 und Schinzel 2004)¹⁴.

Bei der Betrachtung von „Geschlecht im Gehirn“ mittels bildgebender Verfahren untersuchten Schmitz und Nikoleyczik¹⁵ neurowissenschaftliche funktionelle Sprachuntersuchungen, die als Nachweis von Unterschieden gelten: „Shaywitz et al. (1995)¹⁶ fanden bei der Reimerkennung mit Hilfe von fMRI bei 19 Probanden

¹² Schmitz (s.a.a.O.) bezeichnet die Etablierung einer Kausalitätsbeziehung zwischen soziokulturell definierten Kategorien, wie Krankheit, Geschlecht, Ethnie und ins Bild gesetzter Anatomie als Existenz-Setzung.

¹³ Narr, K.L.; Thompson, P.M.; Sharma, T.; Moussai, J.; Zoumalan, C.I.; Rayman, J. & Toga, A.W. (2001): 3D Mapping of Gyral Shape and Cortical Surface Asymmetries in Schizophrenia: Gender Effects. *American Journal of Psychiatry* 158 (2): 244-255. Online: [http://www.loni.ucla.edu/~thompson/SZ/schizo_atlas.html] (29.06.2004)

¹⁴ Schmitz, Sigrid (2004): Körperlichkeit in Zeiten der Virtualität. In: Schmitz, Sigrid; Schinzel, Britta (Hrsg.): *Grenzgänge. Genderforschung in Informatik und Naturwissenschaften*. Ulrike Helmer Verlag: Königstein, S. 118-132.

Schinzel, Britta (2004): Digitale Bilder: Körpervisualisierungen durch bildgebende Verfahren in der Medizin. In Coy, Wolfgang (Hrsg.): *Bilder als technisch-wissenschaftliche Medien*, Workshop der Alcatel-Stiftung und des Helmholtzzentrums der HU Berlin. <http://waste.informatik.hu-berlin.de/Forschung/VisArg/2004>

¹⁵ Nikoleyczik, Katrin (2004): NormKörper: ›Geschlecht‹ und ›Rasse‹ in biomedizinischen Bildern. In: Schmitz, Sigrid; Schinzel, Britta (Hrsg.): *Grenzgänge. Genderforschung in Informatik und Naturwissenschaften*. Ulrike Helmer Verlag: Königstein, S. 133-148.

¹⁶ Shaywitz, Bennet A.; Shaywitz, Sally E.; Pugh, Kenneth R.; Constable, R. Todd; Skudlarski, Pawel;

eine stärkere linksseitige Aktivierung im vorderen Hirnlappen, bei 11 von 19 Probandinnen eine ausgeprägte beidseitige Aktivierung. Allerdings fanden sich keine parallelen Leistungsunterschiede. Diese viel zitierte Studie wird als Beleg für eine stärkere Bilateralität der generellen (!) Sprachverarbeitung bei Frauen gegenüber Männern herausgestellt und wird auch populärwissenschaftlich so rezipiert“. Zur Herstellung von Evidenz werden nur jene Bilder herangezogen, die Unterschiede zeigen. „Es wird dabei allerdings nicht berücksichtigt, dass das aktuelle Bild der Hirnstruktur oder -funktion das Ergebnis einer individuellen Historie (wie sie über Konzepte der Hirnplastizität erklärt wird) repräsentiert. Damit ist es selbst wissenschaftsimmanent kein Beleg für eine biologische Determination.“... In einer Studie von J. Frost et al. (1999)¹⁷ jedoch, „mit 100 Personen, fanden sich keine Geschlechterdifferenzen in den Sprachleistungen und bezüglich der Aktivierungs-Asymmetrie der untersuchten Hirnareale. Die Forschungsgruppe hat in ihrer Publikation außerdem eine „von der Norm“ abweichende Darstellungsart gewählt, indem in den Visualisierungen der Gehirnaktivitäten nicht nur nach „Männern“ und „Frauen“ unterschieden wurde, sondern die Daten auch zufällig zu zwei Gruppen zugeordnet, ausgewertet und visualisiert wurden. Auch hier fanden sich keine Unterschiede.“ Doch wird diese Arbeit im Unterschied zu Shaywitz et. al. kaum zitiert. Anelis Kaiser¹⁸ konnte zeigen, dass die Einstellung der fMRT Einfluss auf die Darstellung von lateralisierten Sprachleistungen hat: einmal zeigten sich bei denselben Personen Geschlechtsunterschiede, einmal nicht, einmal sogar waren bei den Männern die Seiten vertauscht. Welche Schäden die Popularisierung angeblich fundierter wissenschaftlicher Studien in Büchern wie denen von Pease & Pease „Warum Männer nicht... und Frauen nicht...können“ für die geschlechtliche Zuschreibung von Kompetenzen und in Folge für die Berufsorientierung, etc. anrichtet, möge einmal wissenschaftlich untersucht werden.

Zusammenfassende Kritik

Die bildgebenden Verfahren haben biomedizinische Methoden und Paradigmen grundlegend aufgemischt und einen enormen Zuwachs an Material für Erkenntnis gebracht. Dabei präsentieren sich die Visualisierungen des denkenden Gehirns als Ergebnis epistemologisch neutralen technisch-naturwissenschaftlichen Handwerks unter Rückbezug auf die naturwissenschaftliche Objektivität der für diese Verfahren genutzten physikalischen Effekte. Der Körper erscheint transparent, direkt, auch online einsichtig und präzise zugänglich. Digitale Bilder des Körpers, seiner Organe oder seiner Funktionen sollen objektive und unbeeinflusste Wahrheiten darstellen. Doch bei genauerer Betrachtung haben sich mit ihnen tief greifende Veränderungen der Sicht des Menschen auf sich selbst, auf seinen Körper und das „Menschsein“ allgemein etabliert. So beispielsweise die Annahme, dass die Verortung von Krankheiten und menschlichen Eigenschaften im Körper zu sehen und in diesen Bildern repräsentabel sei, dass sich auch das Subjekt Mensch in den lebenden Körperbildern erschließt. (vgl. Schmitz 2004¹⁹). Die neue, nun neurologisch

Fulbright, Robert K. et al. (1995): Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature* 373: 607-609.

¹⁷ Frost, Julie A.; Binder, Jeffrey. R.; Springer, Jane A. & Hammeke, Thomas. A. (1999): Language processing is strongly left lateralized in both sexes: Evidence from functional MRI. *Brain* 122 (2): 199-208.

¹⁸ Kaiser, Anelis; Esther Kuenzli und Cordula Nitsch (2004): Does sex/gender influence language processing? Men show bilateralization in a language production task. Poster. Human Brain Mapping Conf. 2004, Budapest.

¹⁹ Schmitz, Sigrid (2004, s.a.a.O.).

begründete Willensfreiheitsdebatte²⁰ ist nur eine Konsequenz dieser Verdinglichung des Menschen im Neurochemischen und Neurophysiologischen, mit Auswirkungen auf das Selbstbild des Menschen, oben reflektiert in der Rechtsphilosophie.

²⁰ vgl. z.B. Hochhuth, Martin: Die Bedeutung der neuen Willensfreiheitsdebatte für das Recht, Juristenzeitung (JZ), 2005; 745- 753