

Neurowissenschaftliche Informationssysteme: Chancen und Grenzen in Datenmanagement und Wissensrepräsentation

Sigrid Schmitz, IIG, Abt. 1, Universität Freiburg

1. Einleitung

„Progress in neuroscience might be faster if researchers shared their results in a network of databases. But the technical challenges are huge, and reaching a consensus on what to achieve won't be easy“

Chicurel (2000), Nature 406

Aktuelle Schwerpunkte der neurowissenschaftlichen Forschung insbesondere im Humanbereich sind Analysen über strukturell-funktionelle Zusammenhänge im Gehirn als Grundlage der Informationsverarbeitung und Problemlösung, zur Erklärung von Verhaltens- und Lernstrategien und insgesamt von kognitiven Leistungen. In diesem Forschungsbereich erlaubt die Entwicklung der neuen Methoden des Brain-Imaging in den letzten 10-15 Jahren ganz neue Einblicke in Hirnstrukturen und funktionelle Aktivierungsmuster und stellt dabei gleichzeitig eine enorme Fülle von Daten und Befunden zur Verfügung, die es zu bewerten und in bestehende Konzepte einzubauen gilt.

Was können und sollen informationstechnische Bearbeitungen in diesem Bereich leisten?

Im Zentrum dieses Beitrages stehen Fragen nach der *Repräsentation*, der *Bewertung* und den *Vergleichsmöglichkeiten neurowissenschaftlicher Befunde* insbesondere aus Brain-Imaging-Studien mit Hilfe computergestützter Informationssysteme. Diese Frage wird zunächst in bezug auf die Entwicklung neurowissenschaftlicher Datenbanken untersucht (Kap.2.), die im Rahmen dieses Datenmanagements eine aktuelle Herausforderung darstellt. Denn diese Informationssysteme sollen einen Vergleich von Daten ermöglichen, die aus z.T. ganz unterschiedlichen Datenformaten bestehen: aus struktureller

Magnetresonanztomographie (MRI), aus funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRI), aus single-photon emission computed tomography (SPECT), aus positron emission tomography (PET) aus Elektroencephalographie (EEG) und Magnetencephalographie (MEG), aus near-infrared spectroscopy (NIRS) und nicht zu vergessen aus mikroskopischen Analysen.¹ Alle Spezifitäten dieser Verfahren müssen über die jeweiligen Imaging-Protokolle erfasst werden und die Probleme der Vergleichbarkeit müssen gelöst werden. Dies trifft auch auf die Anwendung unterschiedlicher statistischer Verfahren zur Datenanalyse zu. Nicht zuletzt müssen in funktionellen Untersuchungen (d.h. der Analyse von hirnternen Aktivierungsnetzwerken bei spezifischen Verhaltens- und kognitiven Aufgaben) die Zusammenhänge zwischen den neurowissenschaftlichen Befunden und den jeweiligen Meta-Daten bezüglich der Probanden-Demografie (Alter, Geschlechterverteilung, Händigkeit etc...) und des Versuchsdesigns für die Verhaltens- bzw. Leistungstests berücksichtigt werden. Die Vergleichbarkeit solchermaßen komplexer Brain-Imaging-Datensets ist häufig dadurch erschwert, dass es keine universellen Standards zu Inhalt und Format dieser Sets gibt. Die Problematik des Datenmanagements steht derzeit ganz oben in der Diskussion innerhalb der Brain-Imaging-Community. Die „Organisation of Human Brain Mapping“ (die internationale Vertretung der scientific community zum strukturellen und funktionellen Brainmapping) ruft hierzu aktuell in einem Artikel in Science (OHBM 2001) zur öffentlichen Debatte über verschiedene Lösungsansätze auf (www.humanbrainmapping.org).

Auf einer übergeordneteren Ebene ist allerdings auch zu diskutieren, was mit dem resultierenden „Wissen“ durch Informatisierung, Visualisierung und Formalisierung in solchen Datenbanken und Neuroinformationssystemen geschieht, z.B. welche Hierarchisierungen, Kontextverluste und Generalisierungen in die Datenbankentwicklung und Befundpräsentation eingehen² und welche Theorien und Konzepte über solche Informationssysteme vermittelt werden (Kap. 3 und 4).

Am Beispiel des Themengebietes „Geschlecht und Gehirn“ wird genauer geschaut, welche Polarisierungen, Determinierungen, Naturalisierungen und Objektivitätsmythen in Bezug auf Geschlechterfragen in der informationstechnischen Bearbeitung von Studien und Befunden des Brain-Imaging verborgen sein können

¹ Zur Methodik der bildgebenden Verfahren s. den Beitrag von Jürgen Hennig in dieser Ausgabe.

² Zu analogen Aspekten in der Visualisierung und Vergleichbarkeit von Hirnatlanten s. den Beitrag von Carmen Masannek in dieser Ausgabe.

(Kap. 5). Anhand der Entwicklungsideen zum Informationssystem GERDA – the **gendered digital brain atlas** sollen erste Ideen entwickelt werden, um Determinierungsproblemen zu begegnen und gleichzeitig die Chancen informatischen Datenmanagements zu nützen (Kap. 6).

2. Neurowissenschaftliche Datenbanken: Vergleich und Bewertung von Studien und Befunden

Die aktuelle Diskussion zum neurowissenschaftlichen Informationsmanagement dreht sich heute vorwiegend um die Verwirklichung von Expertensystemen (vgl. Chicurel, 2000; Koslow 2000). In den Neurowissenschaften stellt die explosionsartige Zunahme von Publikationen in unterschiedlichen Disziplinen (Neurobiologie, Neuropsychologie, Neuroradiologie, etc.) und ein enormes Anwachsen der zugrunde liegenden Datenmengen (neuroanatomische, mikrostrukturelle, neurofunktionelle, physiologische Daten, Bilddaten des Brain-Imaging, Parameter aus Verhaltens- und Leistungstests) Forschungsgruppen dieser Disziplinen vor die Problematik, den Überblick über die aktuelle Befundlage zu ihrem Forschungsgebiet zu behalten und Befunde vergleichen bzw. ihre Validität einschätzen zu können. Allein auf der diesjährigen Konferenz der „Organisation of Human Brain Mapping“ waren 1318 Poster zu den Bereichen Mappingsysteme & Brain-Imaging-Methoden & Analysen, Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Gedächtnis, Sprache, Sensorimotorik, Emotion & Kognition, Physiologie, Neurologie und Psychiatrie ausgestellt. Bei einer geschätzten Menge von 1500 neu publizierten Studien pro Jahr mit ca. 10.000 Versuchspersonen-Daten und einer Datenmenge von 100 TeraByte fordert die OHBM zum dringend notwendigen Wissensmanagement Informationstechnologien, die über Datenbanken Ressourcen zur Verfügung stellen, um Übersicht und Vergleich in der Befundlage herstellen zu können (OHBM 2001).

Ein übergeordnetes Ziel solcher neurowissenschaftlichen Datenbanken und Informationssysteme ist es, eine Datenbank-implizite Bewertung der Validität neuer empirischer Befunde zu ermöglichen, ihre Integration in bestehende theoretische Konzepte zu unterstützen oder evtl. notwendige Konzeptveränderung und die Formulierung neuer Forschungshypothesen zu generieren (Koslow 2000).

Anforderungen an eine neurowissenschaftliche Datenbankentwicklung

Im Gegensatz zu den schon weit fortgeschrittenen Gen- und Protein-Datenbanken steht die neuroinformatische Systemerstellung und die zugrunde liegende Wissensmodellierung aus mehreren Gründen noch am Anfang. Die Besonderheiten der Methodik und Datenstruktur stellt die neurowissenschaftliche Datenbankentwicklung dabei vor besondere Aufgaben.

Datensätze der neurowissenschaftlichen Forschung sind komplex und beinhalten anatomische, funktionelle, physiologische und Verhaltensparameter in unterschiedlichen Formaten (die Daten können z.B. aus post-mortem Untersuchungen stammen oder aus Brain-Imaging-Studien am lebenden Gehirn), in unterschiedlichen Dimensionen (der Übergang zwischen MRI und fMRI-Bildern beinhaltet beispielsweise einen Übergang zwischen 3D und 4D) und in wechselnden zeitlichen Bezügen (z.B. Lern- oder Entwicklungsveränderungen innerhalb einer Versuchsserie bzw. im Altersvergleich). Die Abhängigkeit der Befunde von experimentell-methodischen Variationen ist schon derzeit ungleich größer als in der Gen-Protein-Klassifizierung (Koslow 2000). Auf analoge Variabilitäten treffen wir bei der Anschauung der Meta-Daten verschiedener Studien, den demografischen Daten der Versuchspersonen, der Auswahl der statistischen Tests etc.

Hinzu kommt, dass die Daten-Variabilität durch die enorm schnellen methodischen Entwicklungsschritte im Rahmen der bildgebenden Verfahren ebenso schnell zunimmt. Es müssen also nicht nur standardisierte Formate und Datenbankkategorien für den derzeitigen Forschungsstand entwickelt werden, die Datenbanken müssen gleichzeitig offen sein für methodische Neu-Formate, deren Entwicklung z.T. schneller erfolgt als die Entwicklung und Erstellung eines Datenbanksystems. So bringen etwa neue Methoden der Bildakquisition (z.B. der Einsatz von hochmagnetischen Feldern bis zu 9 Tesla im Gegensatz zu den bisher verwendeten 1.5 Tesla), der Einsatz neuer oder veränderter statistischer Verfahren zur Verbesserung der Relation zwischen Signal/Kontrast und dem zugrundeliegenden Rauschen in fMRI und MRI sowie neue Algorithmen zur Standardisierung und Transformierung der Bilddaten substantielle Veränderungen in Dateninhalt und Format. Es kann sein, dass auf der einen Seite verfeinerte Verfahren aktivierte Hirnareale bei der Lösung einer kognitiven Aufgabe detektieren,

die in anderen Verfahren durch schlechtere Signal-Rauschen-Relationen verdeckt bleiben. Andererseits erhöhen aber auch bestimmte statistische Verfahren zur Verbesserung der Signal-Rauschen-Relation die Wahrscheinlichkeit von „false positives“, d.h. ein detektiertes Hirnareal ist in Wirklichkeit nicht aktiver als die Grundaktivität im Gehirn, es wird fälschlicherweise als in dieser Aufgabe besonders aktiv angesehen.³

Die Problematik der Standardisierung versus Offenheit für Neuentwicklungen betrifft auch einen weiteren Bereich. Neurowissenschaftliche Nomenklaturen und Klassifizierungen der zentralnervösen Zusammenhänge sind bis heute uneinheitlich (Chicurel 2000), mehr noch die Zuordnungen funktioneller Areale zu anatomischen Hirnstrukturen, z.B. zu bestimmten Hirnwindungen (Gyri) oder Brodmann-Arealen. Notwendig ist hier die Entwicklung einheitlicher Thesauri in der neurowissenschaftlichen Klassifikation (strukturell und funktionell), inklusive der Entwicklung statistischer Tools für eine solche Nomenklatur (Young/Scannell 2000). Gleichzeitig muss auch das Nomenklatur-Klassifikationssystem offen bleiben für die Implementierung neuer Kategorien, die sich in der Forschungsentwicklung abzeichnen.⁴ Insbesondere mikrostrukturell-autoradiographische Analysen liefern inzwischen neue Erkenntnisse zur Abgrenzung und detaillierten Lokalisation von Arealen (u.a. Palomero-Gallagher et al. 2001) und neuen Subarealen (z.B. Geyer et al. 1999), die in der Nomenklatur und im Zusammenhang mit Brain-Imaging-Untersuchungen Berücksichtigung finden müssen.

Besonders schwierig wird die Konstruktion von Datenbankkategorien in denjenigen Bereichen, in denen die Formate kaum standardisierbar sind. So werden Verhaltenstest in bestimmten methodischen Settings oder Abfolgen zumeist hochspezifisch in Relation zu bestimmten Paradigmen eingesetzt, die selber wiederum abgeleitet werden aus theoretischen und konzeptionellen Überlegungen. Diese Beziehung zwischen der Spezifikation der Verhaltensmethodik und den theoretischen Hintergründen ist durch formalisierte Kategorien nicht abzubilden, sie trifft generell auf die Formalisierungsproblematik textueller Information bei der Entwicklung von Datenbanksystemen zu. Für den Vergleich und die Bewertung von Studien, die alle auf bestimmten Konzepten aufbauen, deren Methodik, Analyse und

³ s. auch den Beitrag von Jürgen Hennig in dieser Ausgabe.

⁴ zur Entwicklung hirntopographischer Wissensbasen, s. auch den Beitrag von Britta Schinzel in dieser Ausgabe.

Dateninterpretation immer abhängig von diesem Konzeptbezug ist und die auch ihre Schlußfolgerungen auf eben jene Konzepte beziehen, ist die Aufnahme dieser Zusammenhänge essentiell. Nicht nur würden Datenbanken ohne diese Bezüge das übergeordnete Ziel der geforderten Konzeptentwicklung und -veränderung (s.o.) ad absurdum führen, sie würden auch verschleiern, dass wissenschaftliche Methodik, Befunderhebung und Interpretation nie(!) unabhängig von den zugrundeliegenden Theorien erfolgt.

Zusammenfassend werden als aktuelle Aufgaben des Datenbank-Entwurfs die *Verwaltung speicherintensiver Daten* bei gleichzeitig *schnellem Zugriff* (Client-Server-Aufteilung), die *Kompatibilität von Daten* untereinander und die *Transparenz von Forschungsergebnissen* (Stephan/Zilles/Kötter 2000) angesehen. Das Governing Council der Organisation of Human Brain Mapping stellt einige Fragen und Lösungsansätze zur Diskussion.

Spezifische Probleme einer neurowissenschaftlichen Datenbankentwicklung

a) Welche Daten sollen verwaltet werden?

Sollen alle Rohdaten eingegeben werden oder sollen nur analysierte Daten bearbeitet werden, was wiederum das Problem laborspezifischer Analyse-Techniken (betrifft Mapping-Techniken, Visualisierungs-Techniken und Data-Processing mit diversen statistischen Methoden gleichermaßen) in sich birgt. Wie können einerseits Standardisierungswerkzeuge für Brain-Imaging-Daten ebenso wie für Meta-Daten entwickelt werden, die andererseits offen für Neuentwicklungen bleiben?

b) Welche informationstechnischen Hard- und Software-Produkte sollen genutzt werden?

Einerseits benötigen die komplexen Brain-Imaging-Daten-Sets hochentwickelte Plattformen zur besseren Visualisierung und Daten-Analyse, andererseits beschränkt dies aber auch den Zugang für all diejenigen Nutzer, die solche Programme bei sich nicht installieren oder nutzen können.

c) Wo sollen die Daten verwaltet werden?

Das Modell einer zentralen Datenbank (auf zentralem Server) bietet den Vorteil der Standardisierungsmöglichkeit (aktuell hierzu werden derzeit Systeme entwickelt, z.B.

der „Neurogenerator“ von Per Roland, das „fMRI Data Center“ von Jack van Horn, oder Lösungsansätze im International Consortium for Brain Mapping von John Mazziotta). Ein Problem zentraler Datenbanken liegt aber in ihrer Verstetigung. Derzeit ist es zwar möglich von Förderorganisationen (z.B. EU) eine finanzielle Unterstützung für die Entwicklung von Neuroinformationssystemen zu erhalten, aber selten für deren Fortführung und Aktualisierung. Insbesondere unter der oben erwähnten Offenhaltung für neue Ansätze ist dies problematisch, denn keine Forschungsgruppe, die ja in Konkurrenz zu anderen Gruppen steht, wird in der Lage oder gewillt sein, die personellen bzw. finanziellen Ressourcen für eine solche Fortführung alleine und zu Lasten der eigenen Forschungsentwicklung aufzubringen. In einem alternativen Modell verteilter Datenbanken wird zentral nur eine Indexliste geführt, die Verweise auf den Zugang zu einzelnen Laboratorien zur Verfügung stellt. Hier werden die Standardisierung laborspezifischer Methodiken und die Analyseverfahren zum Hauptproblem. Andererseits sind solche Systeme offener und flexibler hinsichtlich der Entwicklung und Implementierung neuer Methodiken. Stephen Koslow, eng assoziiert mit dem Human Brain Project, favorisiert zunächst die Entwicklung themenspezifischer Datenbanken und Informationssysteme, die zukünftig über „neuroscience workbenches“ miteinander gekoppelt werden sollen. Als Lösungsideen werden derzeit auch hybride Systeme oder parallele Entwicklungen diskutiert.

d) Wer bekommt Zugang zu den Daten?

Berücksichtigt werden muss auch das Problem der Datensicherheit. Innerhalb der „neuroscientific community“ herrscht Uneinigkeit, ob Rohdaten einer Autorengruppe auch anderen zugänglich sein sollen (Koslow 2000). Wollen die Autoren z.B. die Daten selber weiter analysieren? Wie soll ein Mißbrauch von Daten geschützt oder sanktioniert werden? Wenn der freie Zugang ermöglicht wird, müssen Ideen bzw. Verfahren entwickelt werden, um die Ursprungs-Autoren, die Zeit und Geld in die Datenerhebung investiert haben, zu vergüten. In welchem Maßstab soll dies geschehen und wer soll dies finanzieren?

e) Der Personenschutz

Ein weiteres Problem ist der Datenschutz von Personendaten. In einer Reihe von Fällen ist es möglich, z.B. aus MRI-Datensätzen, Gesichtsoberflächen zu

rekonstruieren. Es müssen also Werkzeuge entwickelt werden, die solche Informationen „herausschneiden“, ohne dass wichtige Daten des entsprechenden Forschungsfokus verloren gehen.

f) Das wichtigste: Wer bewertet die Validität der Daten?

Entscheidend für die Qualität solcher Datenbanken erscheint heute die Erstellung von Auswahlkriterien für relevante und valide Daten einer Studie (Chicurel 2000; Koslow 2000). Die Diskussion um Qualitätssicherung reicht von Kriterien, welche die Publikation in indizierten Zeitschriften als einziges Kriterium heranziehen, bis hin zu solchen Ansätzen, die eine Reihe von Qualitätskriterien auflisten, die - unabhängig vom Publikationsstatus der Daten - erfüllt sein müssen: u.a. statistische Validität, Genauigkeit der Übereinstimmung mit Rohdaten, Vollständigkeit der Datensätze des Scanning-Verfahrens, Beständigkeit des Zugriffs, physikalische und logische Integrität. Allerdings ist noch nicht gelöst, von wem und wie diese Qualitätskriterien gesichert werden sollen.

Erste Lösungsansätze zu Datenvergleich und Bewertung

Ein besonders wichtiger Diskussionsbereich ist die Frage, wie eigenständig NutzerInnen Bewertungskriterien entwickeln können und sollen.

Erste Ansätze zur Bewertung der Befundvalidität empirischer Studien bietet das Informationssystem SenseLab von Gordon Shepard et al. (<http://ycmi.med.yale.edu/senselab>) zum olfaktorischen System, in dem widersprüchliche Daten und Befunde durch Annotationen hervorgehoben werden und die NutzerInnen auf die Primärliteratur verwiesen werden.

Alternative Ansätze versuchen, die Datenauswahl und Gewichtung stärker auf die NutzerInnen-Seite zu legen, um so eine individuelle Einschätzung der Widersprüchlichkeiten zu ermöglichen. Das Datenbanksystem NeuroScholar (zu neuronalen Konnektivitäten im Rattengehirn) von Gully Burns (<http://www-hbp.usc.edu/Projects/neuroScholar Connx.htm>) erlaubt durch die Auswahl von Filtern, Studien zu gewichten (u.a. nach Journalindex und methodischen Parametern) und damit Hypothesenstärken einzuschätzen. NeuroScholar beschäftigt sich auch mit der Problematik, textuelle Informationen für das Datenbankmanagement zu formalisieren und Unstimmigkeiten neuronaler Nomenklaturen zu erfassen.

Weiter noch gehen Systeme, welche die Wissensorganisation zu einem bestimmten Themengebiet gänzlich auf die NutzerInnen-Seite verlagern, wie z.B. die GENESIS-Datenbank von James Bower (<http://www.bbb.caltech.edu/hbp>). In solchen Modellbasierten Systemen müssen die NutzerInnen Voraussagemodelle entwickeln (z.B. zur Vernetzung eines Neurons mit anderen). Die davon abhängige Auswahl von Daten aus der Datenbank zeigt Inkonsistenzen und Widersprüche mit den vorhandenen Daten an und ermöglicht NeurowissenschaftlerInnen somit Hypothesenauswahl und deren Überprüfung.

Je unterschiedlicher die Datengrundlage ist, um so problematischer wird die Entwicklung einheitlicher Formate für die Filter-Tools auf NutzerInnen-Seite. Ein erster Ansatz, Daten kognitiver Leistungstests mit neurowissenschaftlichen Daten aus strukturellen und funktionellen Brain-Imaging-Studien zu verbinden, wurde im System BrainMap von Peter Fox (<http://ric.uthscsa.edu/projects/brainmap.html>) entwickelt. Dieses System erlaubt es den NutzerInnen, Studien nach Referenz-Stichwörtern, Leistungstest-Kriterien, Lokations-Kriterien und methodischen Parameteren auszuwählen. Es liefert daraufhin eine Zusammenstellung der relevanten Daten einzelner Studien. Allerdings ist die Evaluation von Widersprüchen hier vollständig den NutzerInnen überlassen, das System selber bietet keine Bewertungs-Tools.

Ein wichtiger Aspekt wird allerdings bis heute weitgehend ignoriert. In der neurowissenschaftlichen Forschung gibt es, wie in anderen Disziplinen auch, nicht nur ein Konzept, sondern mehrere⁵. Daher kann ein entsprechendes Databasing nur erfolgreich sein, wenn unterschiedliche Interpretationszusammenhänge und Konzeptbezüge mit erfasst werden. All dies besteht jedoch – wie schon ausgeführt – aus textuellen Informationen, die kaum bis gar nicht formalisierbar sind. Eine Lösungsidee besteht darin, Datenbanksysteme mit Hypertext-Systemen zu koppeln, die entsprechende Bezüge, theoretische Hintergründe und kritische Beurteilungen in Bild und Wort zur Verfügung stellen. Für solche kombinierten Informationssysteme muss allerdings die Frage der Repräsentation neurowissenschaftlicher Erkenntnisse gesondert betrachtet werden.

⁵ Das Human Brain Projekt fokussiert eingegrenzt auf Gen-Verhaltens-Bezüge, wohingegen in der aktuellen neurowissenschaftlichen Forschung plastizitätsbezogene Ansätze im Mittelpunkt stehen, die den Auswirkungen externer Einflüsse auf Struktur- und Funktionsbeziehungen im Gehirn besondere Bedeutung zumessen.

3. Das Problem der Determination durch Visualisierung in Neuro-Informationssystemen

Hirn-Informationssysteme nutzen vorwiegend computergrafische Animationen zur Vermittlung von Hintergrundwissen über Hirnstrukturen und -funktionen, vielfach kombiniert mit Hypertext-Modulen. Hier stellt sich die Frage: welche Wissensbereiche werden in das System aufgenommen und wie werden sie präsentiert. Welche Theorien und Erklärungskonzepte werden hierüber explizit oder implizit vermittelt?

Männliche Normierung und Polarisierung der Geschlechter

Am Beispiel des Geschlechteraspekts seien einige Problematiken hier ausgeführt. Hirnatlanten – wie auch vielfach neurowissenschaftliche Lehrbücher – benutzen zur Verbildlichung von Grundprinzipien des menschlichen Gehirns häufig Hirndarstellungen, die mit männlichen Konturen umgeben sind (z.B. eine Computeranimation zu zentralnervösen Aktivierungsprofilen bei einer Handbewegung: <http://hendrix.imm.dtu.dk/movies/moviehome.html>). Diese Verbildlichung wird als das normale menschliche Gehirn präsentiert. Das weibliche Gehirn kommt nicht vor.

Prägnantestes Beispiel hierzu sind web- bzw. CDROM-Präsentationen des ‚Visible Human Projekt‘ (vgl. www.uni-mainz.de/FB/Medizin/Anatomie/workshop/vishuman/ und ‚Body Explorer 2.0‘: Bulling, 2001). Dem Projekt liegen computertomografische Datensätze des ganzen Körpers von einem Mann (Segmentaufnahmen im 1,0 mm-Interval, Gesamtdatensatz 15 GB) und einer Frau (Segmentaufnahmen im 0,33 mm-Interval, Gesamtdatensatz 40GB) zugrunde. In den Präsentationen ist es jedoch nur möglich, die Schnittfolgen des Mannes vollständig zu betrachten (als Schnittserien oder als Animation). Von der Frau werden einzig die Bilder des Genitalbereiches zur Verfügung gestellt, obwohl die Segmentierung ihrer Daten wesentlich feiner vorliegt. So treffen wir also in vielen Hirn-Informationssystemen auf eine konsequente Ignoranz des weiblichen Körpers und Gehirns. Der männliche Körper, das männliche Gehirn wird als Standard, als Norm repräsentiert.

Gleichzeitig werden in den öffentlichen Medien Forschungsergebnisse zu Geschlechterdifferenzen im Gehirn häufig zur Bestätigung von Fähigkeits- oder

Verhaltensunterschieden zwischen Frauen und Männern, also zum „Gendering“ benutzt. Damit erleben alte und neue Mythen der Geschlechterstereotype eine deutliche Renaissance, indem sie insbesondere auf hirnstrukturelle und hirnphysiologische Grundlagen zurückgeführt werden, die wiederum genetischer Determinationen und Prädispositionen bzw. hormonelle Wirkungen entspringen sollen. Kaum berücksichtigt werden dagegen neue Erkenntnisse der Neurowissenschaften, die Entwicklung und Funktionalität des Gehirns als Ergebnis von Erfahrungsprozessen aufdecken, die über neuro- und synaptogenetische Plastizität zeitlebens zur strukturellen und funktionalen Anpassung unseres Gehirns an spezifische Erfahrungen führt (vgl. Schmitz 1999a, Schmitz/Schinzel 2001).

Dieser Widerspruch, also die Ignoranz des weiblichen und die normative Präsentation des männlichen in der Darstellung, und gleichzeitig die biologisch-determinierende Polarisierung von Geschlecht in der „öffentlichen Diskussion“, birgt implizit eine besondere Wertung: Der männliche Pol ist die Norm, der weibliche ist die Abnorm.

Visualisierungsmythen werden verfestigt

Desweiteren ist zu berücksichtigen, dass durch die Präsentation von Hirnatlantent und informationstechnisch erstellten Hirnbildern fälschlicherweise bestimmte Determinismen vermittelt werden:

- der Abbildungsmythos, der eine realitätsgetreue Wiedergabe des Gehirns vorspielt, während ein solches Bild in Wirklichkeit eine Konstruktion aufgrund von Standardisierungs- und Transformationsalgorithmen, statistischen Berechnungen und Normierungen darstellt;⁶
- der Objektivitätsmythos, der vermittelt, das Bild sei eine objektive Darstellung der biologischen Prozesse, die in ihrer zeitlichen Dynamik und strukturellen Komplexität allerdings gar nicht in einem Bild festzuhalten sind;
- der Lebendigkeitsmythos, indem durch eine computergrafische Animationen (Schattierung, Färbung, time series, 3D-Rotationen) eine ‚Lebendigkeit‘ der Materie erzeugt wird, die keineswegs eine Wiedergabe der Realität ist, sondern Konstruktion. Sie scheint um so wirklichkeitsgetreuer, je geschickter die Konstruktion ist.

⁶ vgl. hierzu Carmen Masannek in dieser Ausgabe.

4. Hypertexte gegen bildliche Determination

Ein Lösungsansatz zur Verminderung bildlich verursachter Determination kann die Hinzunahme von textuellen Wissensanteilen in Form von *Hypertexten* sein.

Prinzipiell kann ein Hypertext zur Präsentation eines komplexen Sachzusammenhangs, wie z.B. der Gender-Thematik unter Einbezug verschiedener Theoriekonzepte (von genetischer Determination bis hin zur kulturellen Konstruktion) genutzt werden. Für Web-Präsentationen stellen hierbei jedoch die Navigations- und Lesegewohnheiten der Web-NutzerInnen zunächst ein Problem dar. Das Web-Design für Hypermedia-Informationssysteme soll einheitlich, kurz und prägnant sein. Der Aufbau soll modular sein und Bezüge auf andere Module sollen als Links eingebaut werden. Eine solche Verlinkung bedingt Netzstrukturen, die sorgfältig auszuwählen sind. Erläuterungen, Beispiele, lange Zitate und kritische Exkurse sollen in Browser-Fenstern beigefügt werden. Damit ist ein solcher Hypertext grundsätzlich anders aufgebaut als ein Buch, in dem der/die Autor/in seine/ihre Argumentationskette entwickeln, auf Widersprüche hinweisen und unterschiedliche Einsprüche bearbeiten kann.

Kann diese Strukturierungsvorgabe einerseits als Problematik und Einschränkung angesehen werden, so kann sie doch auch – von anderer Seite aus betrachtet - neue Chancen beinhalten. Ein Hypertext bietet zumindest prinzipiell die Möglichkeit, Module zur Verfügung zu stellen, mit denen die Nutzer selbständig kombinieren könnten um damit selbständig ein Bewertungsschema z.T. konträrer Befunde und Konzepte zu entwickeln. Ein solches Design berücksichtigt die von Cecile Crutzen vorgeschlagenen offenen Räume, die in einen gleichwertigen Dialog zwischen DesignerInnen und BenutzerInnen eines informationstechnischen Produktes neue Diskursräume schaffen (Crutzen 2000).

5. Geschlecht, Sprache und Gehirn – ein Beispiel

Die bisher diskutierten Problematiken der Präsentation neurowissenschaftlicher Befunde und ihrer Bewertung sollen im Folgenden anhand eines Beispiels konkretisiert werden. Hierzu werden zwei aktuelle Brain-Imaging-Studien gegenüber gestellt, die sich mit Geschlechterunterschieden in der Sprachverarbeitung und deren zentralnervösen Hintergründen beschäftigen. Es geht darum, ob und

gegebenenfalls wie Strukturunterschiede in bestimmten Hirnarealen in Verbindung mit spezifischen Aktivierungsmustern im Netzwerk dieser Areale Geschlechterunterschiede in sprachlichen Leistungen erklären können.

Fähigkeiten...

Geschlechterstereotype Zuschreibungen besserer Sprachfähigkeiten von Frauen sind differenziert zu betrachten. In der Gesamtheit sprachlicher Testkategorien sind die Effekte gering (Halpern 1997) und weisen im Verlauf der Jahre eine Reduktion in Meta-Analysen auf (Hyde/Linn 1988). Bessere Testergebnisse von Frauen finden sich z.B. in der Verarbeitung und Reproduktion phonologischer und semantischer Informationen und im Wortfluss. Dagegen sind Befunde zum Leseverständnis, zur Analogiebildung und zum Wortschatz widersprüchlich und weisen unterschiedliche Interaktionseffekte zwischen Geschlecht und Altersentwicklung auf (Clark et al. 1990).

...und Hirnaktivierung

Eine linksdominante Sprachverarbeitung ist mit Brain-Imaging-Methoden im Gehirn bei rechtshändigen Personen allgemein festzustellen. Die Frage ist, wie stark sich solche Funktions-Asymmetrien (Lateralitätseffekte) im Geschlechtervergleich abbilden und ob die derzeitige ‚Mainstream‘-Hypothese einer ausgeprägteren Lateralität der Sprachverarbeitung bei Männern (d.h. prominent linksseitige Aktivierungsprofile bei der Bearbeitung von sprachlichen Aufgaben) gegenüber einer stärkeren Bilateralität bei Frauen (d. h. stärkere Vernetzung beider Hirnhälften bei sprachlicher Informationsverarbeitung) haltbar ist.

Bei der Literaturrecherche, ob in populärwissenschaftlichen Zeitschriften oder in Hirn-Datenbanken im Internet stoßen wir unter dem Stichwort Gender und Sprache (bis heute) fast ausschließlich auf ein Zitat. Das Ehepaar Shaywitz und MitarbeiterInnen (Shaywitz et al. 1995) fand bei der Lösung **phonologischer Sprachaufgaben** (Reimerkennung) mit Hilfe von fMRI bei insgesamt 19 männlichen Probanden eine stärkere linksseitige Aktivierung im vorderen Hirnlappen (das hier angesprochene Broca-Areal ist prominent an der Sprachverarbeitung beteiligt), dagegen bei 11 von 19 Frauen eine ausgeprägtere beidseitige Aktivierung. Allerdings zeigt die ausführliche Dokumentation der Studie keine parallelen Leistungsunterschiede in den zugehörigen Sprachtests (Pugh et al. 1996). Obwohl

also Aktivierungsunterschiede und Testergebnisse nicht übereinstimmen, wird diese Studie weitläufig als erster Beleg für stärkere Bilingualität der generellen(!) Sprachverarbeitung bei Frauen gegenüber Männern herausgestellt, wobei häufig weder auf das untersuchte Kortexareal noch auf den spezifischen Sprachtest eingegangen wird.

Kaum zitiert werden dagegen PET-Studien zu vergleichbaren Lesetests, die zwar deutliche methodische Effekte (z.B. Testart, Testreihenfolge) aber keine Geschlechtereffekte in kortikalen Aktivierungsmustern feststellten oder andere, die sogar identische Muster bei Wortflüssigkeitsleistungen - dem deutlichsten Unterscheidungskriterium von Sprachleistungen im Geschlechtervergleich - fanden (Buckner et al. 1995; Price et al. 1996).

Julie Frost und Co-AutorInnen (Frost et al. 1999) untersuchten die Gehirne von 100 Personen (Gesamt-Hirn-Scans unter fMRI von 50 Frauen und 50 Männern) in einem auditiven Test zur **semantischen Kategorisierung**. Kontroll-Test (zur Subtraktion rein auditiver Verarbeitung) war eine Tonhöhen-Unterscheidung. Es konnten keine Geschlechterunterschiede in den semantischen Sprachleistungen festgestellt werden. Die Auswertung der Hirnaktivierung in der reinen Wort-Kategorisierung zeigte ein Netzwerk von assoziierten Hirnarealen auf, das linkshemisphärisch frontal-kortikale Areale (Broca), temporal-kortikale Areale (Wernicke), den Gyrus Angularis, thalamocapsulare und retrospleniale Areale einbezog. Weder eine zufällige Aufteilung der Versuchspersonen in zwei Gruppen noch die Gruppenunterteilung nach Geschlecht ermittelte Unterschiede in den Asymmetriekoeffizienten zentralnervöser Aktivierung der untersuchten Hirnareale. Julie Frost kommt in der Diskussion ihrer Resultate im Vergleich mit anderen Studien, inklusive der von Shaywitz et al. (1995) zu dem Ergebnis:

„Taken as a whole, this literature does not provide strong evidence for sex differences in the large-scale neural organization of language functions. If present, these differences are likely to be small in comparison with the degree of similarity in language system organization between men and women“ (Frost et al. 1999:206).

Das vorgestellte Beispiel macht mehrere Problematiken bei der Implementation dieser „Erkenntnisse“ in neurowissenschaftliche Informationssystemen deutlich:

- Wenn es gilt, Erkenntnisse aus der Widersprüchlichkeit der aktuellen Befundlage zu ziehen, so ist dies nur möglich, wenn die spezifischen Eigenheiten und

Einschränkungen der jeweiligen empirischen Arbeiten klassifiziert und der vergleichenden Analyse sowie der Validitäts-Bewertung zugänglich gemacht werden.

- Der Bezug zu unterschiedlichen Interpretationskonzepten für messbare Geschlechterunterschiede bei erwachsenen Probanden muss herausgestellt werden. So können diese Unterschiede genetisch determiniert bzw. hormonell/metabolisch induziert sein, aber auch als Ergebnis neuronaler Plastizität aufgrund von Erfahrungseinflüssen (i.S. sprachlicher Praxis) auftreten oder schließlich eine Kombination aller dieser Faktoren widerspiegeln.
- Schließlich sind Bewertungswerkzeuge zu entwickeln, die den NutzerInnen des Informationssystems eine eigene Einschätzung der Validität von Konzepten, Hintergründen und den empirischen Befunden ermöglichen.

6. Anforderungen an ein Informationssystem zu Geschlecht und Gehirn

Das Projekt „GERDA – the **gendered digital brain atlas**“ dient der Herstellung eines WWW-basierten, frei zugänglichen Informationssystems in englischer Sprache zu „Geschlecht und Gehirn“, das den Anforderungen von „Gender Studies“ gerecht wird. Es wird in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen InformatikerInnen und BiologInnen am Institut für Informatik und Gesellschaft der Universität Freiburg (IIG) entwickelt. Dabei besteht die Notwendigkeit, eine gemeinsame Sprache zwischen der Informationstechnik und der Neurowissenschaft zu finden, um den fachspezifischen Anforderungen, Inhalten, Fragestellungen und Ansätzen gerecht zu werden.

Das Ziel unserer Arbeit ist es, im Zuge der gesellschaftlichen Aufgabe zur umfassenden Information der Öffentlichkeit der häufig gleichzeitigen Naturalisierung von Geschlechterunterschieden in der gesellschaftlichen Debatte entgegen zu wirken. Hierzu soll die Bereitstellung von Informationen zu Struktur, Funktion und Entwicklung des Gehirns sowie zu Gender-Aspekten in diesen Zusammenhängen dienen. Empirische Befunde aus Brain-Imaging Studien (wie z.B. die ausgeführten Sprachstudien) sollen in einer Datenbank aufbereitet, verwaltet und solchermaßen zu Verfügung gestellt werden, dass die Bewertung der Befunde, ihrer

Widersprüchlichkeit und ihrer Einbindung in theoretische Konzepte und Interpretationszusammenhänge (z.B. nature-nurture-Diskurs) auf NutzerInnen-Seite zu erkennen und eine kritische Übersicht über den aktuellen Diskurs zu Geschlecht und Gehirn zu erlangen ist.

Die Verankerung von GERDA innerhalb der Gender-Forschung bedeutet primär, Wissenschaft nicht als neutralen Erkenntnisprozess zu betrachten, sondern als gesellschaftlich-kulturelles Unternehmen, in dem Forschende, Forschungsprozesse und Forschungsergebnisse in die jeweiligen kulturellen Wertvorstellungen eingebunden sind. Das bedeutet auch, dass die Präsentation von Wissen ebensolchen Verzerrungen unterliegt. Empirische Befunde sind nicht per se ob ihrer Empirie objektiv, ihre Genese entstammt immer einem bestimmten theoretischen Kontext und Interpretationszusammenhang, welcher die Methodik, Auswertung, Befunddarstellung und deren Interpretation beeinflusst.

Mit der Einbettung von Gehirndifferenzierung und strukturell-funktionellen Grundlagen in ein komplexes Wirkungsgefüge zwischen biologischer Disposition und umweltoffener Plastizität (Schmitz 1999a) betrachten wir „Geschlecht“ nicht mehr unter der Trennungskategorie sex/gender, sondern in seiner Gesamtheit biologischer, psycho-sozialer und erfahrungsabhängiger Aspekte. Körperliche Entität wird ebenso als Ursache wie als Ergebnis von Verkörperungen externer Erfahrungen gewertet. Konstruktion wird körperliche Realität (zur aktuellen ‘embodiment’-Diskussion vgl. Fausto-Sterling, 2001, Schmitz/Schinzel, 2001). Wechselwirkungen zwischen diesen Aspekten stehen bei allen Fragen der Ausbildung von Geschlechterunterschieden im Gehirn im Mittelpunkt. Daher geht es nicht darum, anatomische und physiologische Verankerungen von Geschlecht im Gehirn zu negieren, sondern vielmehr darum, deren zeitabhängige Entstehung vor dem Hintergrund der umweltoffenen und dynamischen Hirnplastizität zugänglich zu machen und damit den Konstruktionen von Geschlecht in Gehirnstruktur und -funktion Rechnung zu tragen.

Aktuell vorgesehen sind in GERDA neben ‘Geschlecht und Sprache’ die Themenkomplexe ‘Geschlecht und Kortikale Asymmetrie’, ‘Geschlecht und Raum’, ‘Geschlecht und Motorik/Händigkeit’, ‘Geschlecht, Hormone und Gehirn’.

Aus den Analysen zu neurowissenschaftlichen Datenbanken und Informationssystemen ergeben sich für den Aufbau von GERDA bestimmte

Aufgaben und Problematiken. Mit folgende Fragestellungen sollen der Diskurs um Geschlecht und Gehirn unter Bereitstellung von Befunden und Daten aus Brain-Imaging-Studien gefördert werden:

- Welche Geschlechterunterschiede auf der Fähigkeitsebene werden angenommen?
- Welche Hirnstrukturen werden in den Fokus der Recherche genommen (und welche nicht)?
- Wie werden Fähigkeitstests mit funktionellen Hirnanalysen kombiniert?
- Welche Schlussfolgerungen werden aus den Ergebnissen hinsichtlich natürlicher oder erworbener Fähigkeiten gezogen?
- Wird die Ebene der Plastizität der Hirnentwicklung einbezogen?
- Welche Studien werden in der wissenschaftlichen Debatte wie häufig herangezogen bzw. welche Befunde werden ignoriert?

Bei der Systementwicklung werden wir berücksichtigen: Wie kann der explizite Einbezug von Geschlecht erfolgen, ohne in der computergrafischen Verbildlichung und/oder in der informationstechnischen Wissenspräsentation mit Hilfe von Hypertexten und Datenbanken in den Kanon der biologischen Determination von Geschlechterunterschieden einzufallen oder in die oben beschriebene Wertungsfalle zu tappen? Das System GERDA kombiniert hierzu eine objekt-relationale Datenbank mit Hypermedia aus Text und Bild, die Zugang zu meta-analytischen Daten und kritischen Begleittexten, wissenschaftlichen reviews etc. bieten.

Die GERDA-Datenbank kategorisiert, implementiert und verwaltet Informationen empirischer Gender Studies mit Bezug zum Gehirn. Eine objektgeleitete Kategorisierung für die Datenbank zu „Gender und Gehirn“ muss folgende Klassen einbeziehen:

- genaue Lokalisation und Zuordnung der untersuchten Hirnareale (strukturell und funktionell), bei der eine einheitliche Kartierung, z.B. bis heute anhand von Talairach-Koordinaten⁷, die uneinheitliche Klassifizierung anhand anatomischer Namen ergänzt;
- Klassifikation kognitiver Leistungstests nach spezifischen Funktionsaspekten (im gewählten Beispiel die Kategorisierung von Sprachsubtests nach phonologischer, semantischer, orthographischer, lexikalischer etc. Analyse);

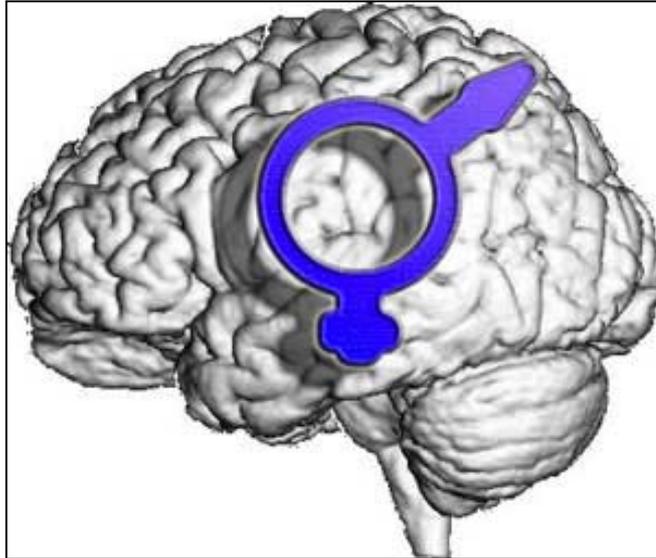
- Einteilung methodischer Parameter sowohl bezogen auf die neurowissenschaftliche Analyse (Scanning-Protokoll, statistische Verfahren) als auch bezogen auf die Leistungstests (Verhaltensprotokoll);
- Meta-Daten zu Anzahl und Geschlechterverhältnissen der Probanden;
- adäquate Darstellung der Resultate mit statistischen Angaben (z.B. auch zur Effektstärke!);
- Einbezug verschiedener Interpretationskonzepte, die durch die Befundlage gestützt werden sollen;
- Zitationspraxis, d.h. welche Befunde werden zur Unterstützung der eigenen Studie herangezogen, welche nicht.

Eine zentrale Aufgabe in der Entwicklung der GERDA-Datenbank wird die Konzeption und Implementierung von Bewertungswerkzeugen sein, die den NutzerInnen die Möglichkeit geben, die Validität der Befunde sowie ihre Einbindung in bestimmte theoretische Konzepte und Interpretationszusammenhänge zu erkennen und kritisch zu beurteilen. Eine solche Bewertung erfordert die Hinzunahme vor kritischen Texten, Reviews und Hintergrundinformation zum Themengebiet Geschlecht und Gehirn.

GERDA-Text&Image enthält hierzu Hirnbilder (Ansichten, Schnittbilder) und Animationen eines einzelnen weiblichen Gehirns⁸, das den häufigen Verzerrungen durch Standardisierungs- und Transformationsalgorithmen in generalisierten Hirnatlanten die Spezifität eines einzelnen Individuums entgegen halten soll. Mit Hilfe dieser Hirnbilder wird eine Navigation durch das Gehirn ermöglicht und es werden detailliertere und weiterführende Informationstexte verlinkt. Damit stellt GERDA-Text&Image Grundwissen zur Entwicklung, zur Makro- und Mikrostruktur, zur Funktion und Physiologie sowie zur Dynamik und Plastizität des Gehirns zur Verfügung. Zusammenfassungen und kritische Übersichten zu verschiedenen Aspekten von Geschlecht und Gehirn werden vernetzt und ermöglichen einen Einblick in die Vielfältigkeit, die Komplexität, die Präsentation und das Wissensmanagement über wissenschaftliche und/oder populäre Medien zu Gehirn und Geschlecht.

⁷ Auch die Kartierung nach Talairach ist begrenzt, da eine eindeutige und genaue Zuordnungen nur im Nahbereich der Komissur-Ebene gewährleistet ist.

⁸ Die Ausgangsdaten zur Visualisierung dieses Gehirns erhalten wir über die Kooperation mit dem C. & O. Vogt Institut für Hirnforschung der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf sowie dem Institut für Medizin im Forschungszentrum Jülich (Professor Dr. Karl Zilles und Dr. habil. Katrin Amunts).



Logo von Gerda: Seitenansicht des individuellen weiblichen Gehirns

Um das digitalisierte Abbild des weiblichen (Beispiel-)Gehirns und die zugehörigen WWW-fähigen Grafiken nicht nur als reine Informations- und Navigationshilfe nutzen zu können, sollen auch Ergebnisse funktioneller Brain-Imaging-Studien graphisch eingebunden werden.⁹ Dabei wird stets zu klären sein, wie eine bildliche Präsentation von Befunden so zu gestalten ist, damit Bilder die gewünschte Information einerseits in prägnanter Form wiedergeben, andererseits aber Geschlechterunterschiede möglichst nicht festschreiben, sondern – im Gegenteil – den BetrachterInnen gerade die große Variationsbreite des menschlichen Gehirns in all seinen Facetten verdeutlichen.

Die GERDA-Datenbank und GERDA-Text&Image werden interaktiv verlinkt, so dass einerseits ein schneller Zugriff auf Basiswissen bzw. kritische Übersichten ausgehend von der Datenbank und andererseits ein Einstieg in den Anfragemodus der Datenbank aus Hypertexten ermöglicht wird, um zu bestimmten Wissensgebieten empirische Studien einzusehen.

Bei allen Implementierungen sollen geschlechtsspezifische Navigationsstrategien im web berücksichtigt werden. Stärkere Präferenzen für landmarkenorientierte

⁹ Zusammenarbeit besteht hierzu bereits mit der neuronanatomischen Arbeitsgruppe von Frau Prof. Dr. Cordula Nitsch der Universität Basel, die funktionale Hirnstudien zur Sprachverarbeitung durchführen, und mit Frau

Strategien bei Frauen, wie sie im öffentlichen Raum mehrfach nachgewiesen wurden (Schmitz, 1999b), stellten sich erstmals in einer Untersuchung von Sharon McDonald und Linda Spencer (McDonald/Spencer, 2000) auch in Bezug auf Web-Navigtionen heraus. Angelehnt an die Arbeit von Crutzen (2000) sollen genderneutrale Web-Navigationshilfen und Visualisierungstechniken entwickelt werden, die das Navigationsverhalten von Frauen und Männern gleichermaßen berücksichtigen. Um dies zu erreichen werden bei der Modellierung und Systementwicklung die von Frauen bevorzugt benutzten Web-Navigationshilfen wie distinctive landmarks, nodes oder signposts in die Konstruktion miteinbezogen.

Die Evaluation von GERDA, insbesondere die Bewertung der inhaltlichen Module, der Datenbankinformationen und der Navigationshilfen, kann und soll kontinuierlich im interdisziplinären Dialog erfolgen. Wir fordern daher alle Interessierten auf, am Wachsen und Gedeihen von GERDA aktiv teilzunehmen. Wir planen, mit GERDA Ende 2001 die ersten Schritte im Internet zu wagen.

7. Literatur

- Buckner, R./Raichle, M./Petersen, S. (1995): Dissociation of human prefrontal cortical areas across different speech production tasks and gender groups. *Journal of Neurophysiology* 74: 2163-2173.
- Chicurel, M. (2000): Databasing the brain. *Nature* 406: 822-825.
- Clark, E./Gardner, M.K./Brown, G./Howell, R.J. (1990): Changes in analogical reasoning in adulthood. *Experimental Aging Research* 16: 95-99.
- Crutzen, C. (2000): Interactie, en wereld von verschillen. Een visie op informatica vanuit genderstudies. Dissertation. Open universität Niederlande. Heerlen.
- Frost, J./Binder, J./Springer, J./Hammeke, T./Bellgowan, P./Rao, S./Cox, R. (1999): Language processing is strongly left lateralized in both sexes. Evidence from functional MRI. *Brain* 122: 199-208.
- Geyer, S./Schleicher, A./Zilles, K. (1999): Areas 3a,3b,and 1 of human primary somatosensory cortex. *Neuroimage* 10, 63-83.
- Halpern, D.F. (1997): Sex differences in intelligence: Implications for education. *American Psychologist* 52: 1091-1102.
- Hyde, J.S./Linn, M.C. (1988): Gender differences in verbal ability: A meta-analysis. *Psychological Bulletin* 104: 53-69.
- Koslow, S.H. (2000): Should the neuroscience community make a paradigm shift to sharing primary data? *NatureNeuroscience* 3: 863-865.

- OHBM: The Governing Council of the Organization of Human Brain Mapping (2001): Neuroimaging Databases. *Science* 292, 1-4.
- Palermo-Gallagher, N./Amunts, K./Mazziota, J.C./Toga, A.W./Zilles, K. (2001): Brodmann's area 40 as revealed by quantitative receptor autoradiography. *Neuroimage* 13 (6, Part 2), S583.
- Price, C./Moore, C./Friston, K. (1996): Getting sex into perspective. *Neuroimage* 3: 586.
- Pugh, K./Shaywitz, B./Shaywitz, S./Constable, R./Skudlarski, P./Fulbright, R./Bronen, R./Shankweiler, D./Katz, L./Fletcher, J./Gore, J. (1996): Cerebral organization of component processes in reading. *Brain* 119: 1221-1238.
- McDonald, S./Spencer, L. (2000): Gender differences in Web navigation. In: Balka, E./Smith, R.(eds.): *Women, Work and Computerization*. Kluwer, Boston, pp. 174-182.
- Schmitz, S. (1999a): Geschlechterdifferenzen im zentralen Nervensystem zwischen Determination und Dynamik. In: Schinzel, B./Schletz, E. (1999): *Geschlechterdifferenzen im zentralen Nervensystem und ihre graphische Repräsentation und Wissensdarstellung*. IIG-Berichte 1/99, pp. 26-43.
- Schmitz, S. (1999b): *Wer weiß wohin? Orientierungsstrategien beim Menschen: Geschlechterunterschiede und ihre Hintergründe*. Verlag Hänssel-Hohenhausen. Egelsbach.
- Schmitz S./Schinzel, B. (2001): *Female Brain Atlas: An information system on brain research for reviewing and deconstructing gender differences*. Proceedings of the Symposium „Nature of Gender – Gender of Nature. Univ. Kiel. Westdeutscher Verlag. (in press).
- Shaywitz, B./Shaywitz, S./Pugh, K./Constable, R./Skudlarski, P./Fulbright, R./Bronen, R./Fletcher, J./Shankweiler, D./Katz, L./et al. (1995): Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature* 373: 607-609.
- Stephan, K.E./Zilles, K./Kötter, R. (2000): Coordinate-independent mapping of structural and functional data by objective relational transformation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 355: 37-54.
- Young, M.P./Scannell, J.W. (2000): Brain structure-function relationships: advances from neuroinformatics. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 355: 3-6.