



ERGEBNISSE DER HIRNFORSCHUNG – VOM FREIEN WILLEN ZUR NEUROINTERVENTION

TAB-BRIEF NR. 31 / JUNI 2007

»The decade of the brain« wurde bereits 1990 von US-Präsident Bush senior ausgerufen – aber dann wurde daraus doch eher die Dekade des Genoms, weil die DNA-Sequenzierung der menschlichen Chromosomen mit exponentiell steigenden Analyse- und Rechenkapazitäten schneller als erhofft gelang. Aber auch ohne die Rede vom »Jahrzehnt des Gehirns« wieder aufzunehmen, haben die Neurowissenschaften etwa seit dem Jahr 2000 eine Fülle neuer Ergebnisse hervorgebracht, insbesondere durch die Fortschritte bei den bildgebenden Verfahren – wobei oft unklar ist, ob es sich dabei tatsächlich um Erkenntnisse oder nicht eher um immense Datenansammlungen handelt. Auf jeden Fall sind Dimensionen und mögliche Konsequenzen der Hirnforschung verstärkt in der öffentlichen Debatte aufgetaucht, so in Diskussionen zur physiologischen Grundlage von Willen und Verantwortung oder in Kontroversen über neue Möglichkeiten psychischer Manipulation und mentaler Optimierung. Der aktuelle TAB-Bericht »Hirnforschung« gibt einen umfassenden Überblick zum Stand der Forschung sowie zu den wissenschaftsinternen und öffentlichen Debatten.

die Zusammenarbeit von Neuronen (Nervenzellen) aufgeklärt werden. Durch die Molekulargenetik ist es gelungen, bestimmte Neuronengruppen molekular zu charakterisieren und bestimmten Leistungen zuzuordnen. Ebenso ist man bei der Lokalisierung und der Klärung der Bedeutung von Neurotransmittern als Boten- und Überträgerstoffe zwischen Nervenzellen deutlich vorangekommen, womit auch neue Therapiemöglichkeiten für psychische Erkrankungen eröffnet wurden.

FORTSCHRITTE IN DER GRUNDLAGENFORSCHUNG

Die modernen Neurowissenschaften bedienen sich nahezu sämtlicher naturwissenschaftlicher Arbeits- und Methodenbereiche und stellen damit keine einzelne Disziplin dar, sondern bilden ein multidisziplinäres Forschungsfeld. Üblicherweise werden die verschiedenen Zugangsweisen und Forschungsgegenstände der Neurowissenschaften drei Beschreibungsebenen zugeordnet (Abb. 1):

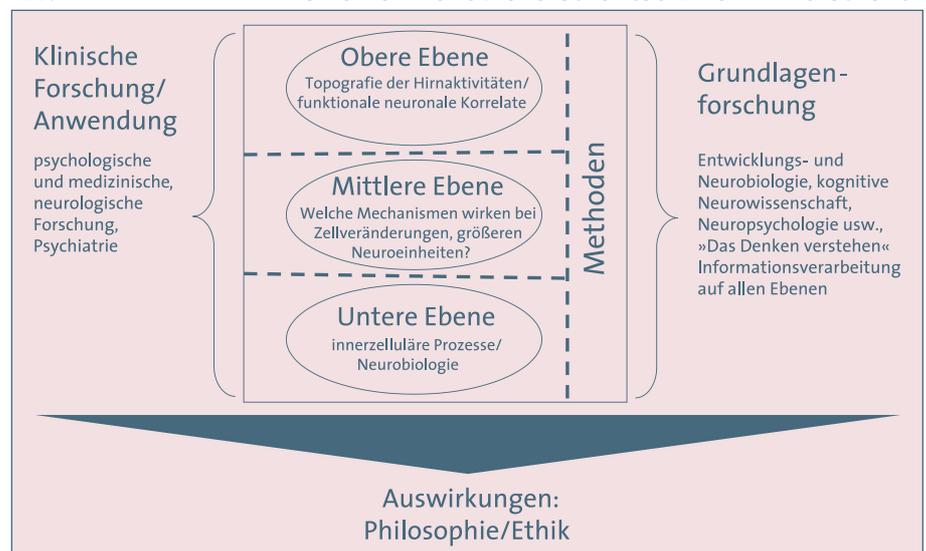
- > einer subzellulären und zellulären Ebene,
- > einer mittleren Ebene neuronaler Netzwerkverbände sowie
- > der Ebene funktionaler Systeme, die den Blick auf die Gesamtfunktion des Hirns richtet.

Die Erkenntnisfortschritte der letzten Jahre betreffen insbesondere die subzelluläre und zelluläre Ebene sowie die (übergeordnete) Ebene der funktionalen Systeme. So ist es auf der Ebene

der funktionellen Systeme (insbesondere durch bildgebende Verfahren) gelungen, die Kartierung des Gehirns deutlich zu verfeinern, d.h. verschiedene mentale Leistungen bestimmten Hirnregionen zuzuordnen. Auf der zellulären und subzellulären Ebene konnten der Aufbau, die elektro-physiologische Wirkungsweise und

Die bisherigen Grenzen für das Verständnis der biologischen Grundlagen mentaler Leistungen und Vorgänge und damit die wesentlichen Herausforderungen für die Forschung liegen auf der sogenannten mittleren Ebene der Neuronenverbände. Hier werden die durch die Sinnesorgane in das Gehirn geleiteten Reize in Informationen und sinnhafte mentale Inhalte (Emotionen, Begriffe, Gedanken) übersetzt.

ABB. 1 STRUKTURIERUNG DES FORSCHUNGSGEBIETS »HIRNFORSCHUNG«



Quelle: TAB-Hintergrundpapier Nr. 15 (Autoren: Roloff, N., Beckert, B.), 2006, S. 11

Trotz der Fortschritte bei der Charakterisierung verschiedener Neuronenverbände oder auch einer verbesserten Beschreibung ihres Zusammenwirkens ist man von einem tatsächlichen Verständnis, wie Neuronen Bewusstsein realisieren, noch weit entfernt.

GEIST UND GEHIRN – NEUE ANTWORTEN AUF EINE ALTE FRAGE?

Für besondere öffentliche Aufmerksamkeit haben in den vergangenen Jahren weitreichende erkenntnistheoretische und philosophische Thesen führender Neurowissenschaftler zu den Möglichkeiten einer naturwissenschaftlichen Erklärung geistiger Prozesse gesorgt. Ihnen zufolge würden die Erkenntnisse der modernen Neurowissenschaften zu einer Umwälzung des menschlichen Selbstverständnisses, d.h. unserer Vorstellungen von Subjektivität und personaler Identität, von Selbstbewusstsein, Willen und Handlungssteuerung, führen. Der TAB-Bericht unternimmt einen Durchgang durch die Diskussion zwischen Neurowissenschaften, Philosophie und Kulturwissenschaften – wohl wissend, dass dieser den Fachleuten sicherlich verkürzt erscheinen mag, während er den Nichtfachleuten ein gehöriges Stück Erkenntnisenthusiasmus (oder auch Leidensfähigkeit) abverlangt.

Als Resultat wird herausgearbeitet, dass weitreichende Thesen zur Determination geistiger Vorgänge durch neuronales Geschehen im Gehirn und zum illusionären Charakter der Willensfreiheit bisher empirisch nicht hin-

reichend gestützt sind. Von einigen Protagonisten der Neurowissenschaften wird den Geisteswissenschaften vorgeworfen, deren Konzepte zum Verhältnis von Geist und Gehirn liefern letztlich auf die naturwissenschaftlich unhaltbare Annahme der Existenz einer unabhängigen geistigen Substanz neben dem Materiellen hinaus, weil sie nicht erklären könnten, wie geistige Prozesse auf der Basis neuronaler Aktivität realisiert werden. Dieser Vorwurf einer »Erklärungslücke« kommt jedoch wie ein Bumerang zu den Neurowissenschaften zurück, solange sie das Problem der Herstellung von Bedeutung durch einen wie auch immer gearteten »neuronalen Code« (also auf der mittleren Ebene der neuronalen Netzwerkverbände) nicht lösen können.

Aus diesem Grund sind auch Folgerungen aus den Fortschritten der Neurowissenschaften für das Strafrecht – z.B. hinsichtlich der Frage nach freiem Willen und Schuld eines Täters – nicht zwingend. Hierfür wäre es nötig, den Hirnzustand, der unmittelbar vor einer Straftat bestand, rekonstruieren und die Entscheidung zur Tat als durch diesen Hirnzustand determiniert beweisen zu können. Da die Forschung hiervon noch meilenweit entfernt zu sein scheint, ist auf absehbare Zeit kein ernsthafter Anlass für eine grundsätzliche Revision unserer Auffassung von freiem Willen, von Schuld und Verantwortung erkennbar. Insgesamt lässt sich die Frage nach den möglichen gesellschaftlichen Konsequenzen der Erkenntnisse oder Thesen der Neurowissenschaften zum Verhältnis von Geist und Gehirn daher – einer in der philosophischen

Diskussion gängigen Position folgend – derzeit durchaus (noch) mit »So what?« beantworten.

BESSER LERNEN, MEHR WISSEN DURCH HIRNFORSCHUNG?

Ein spezielles Interesse sowohl der allgemeinen Öffentlichkeit als auch der Bildungsforschung an den Methoden und Erkenntnissen der Hirnforschung begründet sich in der Hoffnung, dass diese zu einem besseren Lernen beitragen können. Ein genauerer Blick zeigt jedoch, dass die bisherigen Ergebnisse der neurophysiologischen Forschung im Kontext von Lernen äußerst selten eindeutig interpretierbar sind. Zwar wird heute besser verstanden, warum Menschen in bestimmten Abschnitten ihres Lebens verschiedene Dinge unterschiedlich gut lernen, wie bestimmte Lernvorgänge physikalisch bzw. chemisch im Gehirn realisiert werden oder wie sich Lernvorgänge in der Gehirnarchitektur niederschlagen. Doch welche Aktivitäten genau im Gehirn ablaufen, bevor es zu einem entsprechendem Lernerfolg kommt, gehört zu den nach wie vor ungeklärten Fragen. Wenn neuronale Voraussetzungen fehlen, bleiben bewährte Lernumgebungen wirkungslos. Wenn keine Lerngelegenheiten zur Verfügung stehen, bleiben Menschen mit einem effizienten Gehirn inkompetent. Die meisten Ursachen für Lernschwierigkeiten liegen zwischen diesen beiden Extremen und lassen sich mit der Lerngeschichte erklären.

Der TAB-Bericht diskutiert perspektivisch, was Hirnforschung und Bildungsforschung voneinander erwar-

ten können und welche Implikationen sich aus neurophysiologischen Untersuchungen des menschlichen Gehirns für kognitionswissenschaftliche und lernpsychologische sowie pädagogische Theorien ergeben. Es wird gezeigt, dass Erkenntnisse aus der Hirnforschung zwar die Rahmenbedingungen beschreiben können, unter denen erfolgreiches Lernen stattfinden kann, dass aber die Beiträge der Neurowissenschaften bisher zu unbestimmt sind, um z.B. konkrete Anleitungen für die Gestaltung schulischer und außerschulischer Lernmöglichkeiten geben zu können. Gleichwohl konnte die Hirnforschung viele Ergebnisse der langjährigen Lehr- und Lernforschung bestätigen: Bei einer Reihe kognitionswissenschaftlicher Ergebnisse, psychologischer Einsichten und pädagogischer Praktiken weiß man heute besser, warum sie funktionieren oder auch warum gerade nicht.

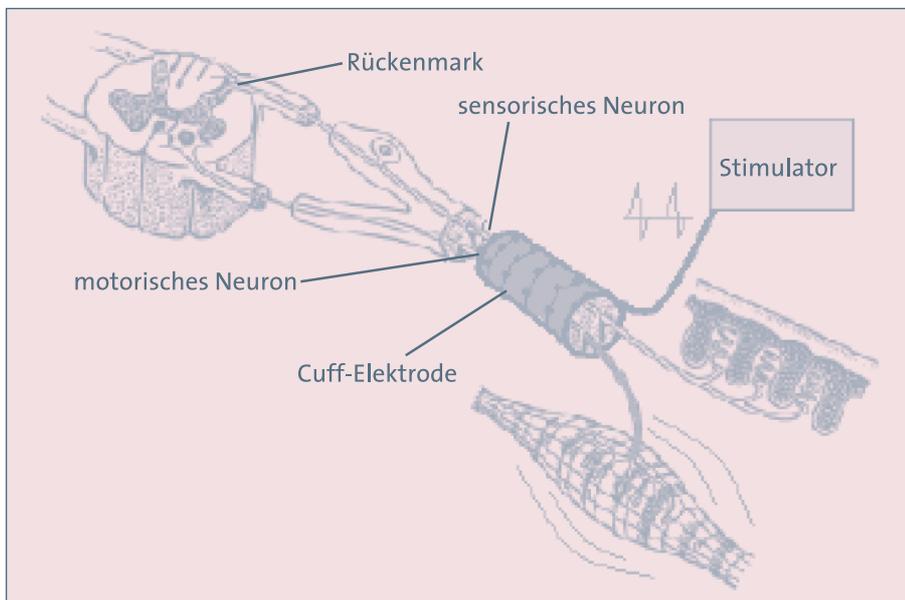
KÜNSTLICHE NETZHAUT, EXTERNE GEHIRNE: NEUROPROTHETIK UND NEUROENHANCEMENT

Ein Anwendungsbereich der Hirnforschung, dessen technische Potenziale öffentlichkeitswirksame utopische Szenarien angestoßen hat, ist die sogenannte Neuroprothetik. Da elektrische Aktivität ein zentrales Element der Signalübertragung zwischen Nervenzellen ist, lassen sich technische Systeme grundsätzlich über neuroelektrische Schnittstellen an das Nervensystem anknüpfen (Abb. 2). Hierdurch ist es möglich, motorische und sensorische, prinzipiell aber auch kognitive und emotionale Prozesse im Gehirn zu beeinflussen. Das bislang konkreteste Entwicklungsfeld ist die Medizin, utopische Projektionen richten sich auf eine Leistungssteigerung des »normalen« Gehirns bzw. Nervensystems.

Die Fälle, in denen bereits neuroelektrische Schnittstellen eingesetzt werden, lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- › Erkrankungen und Verletzungen im Bereich der Sinnessysteme: Hier werden auditorische (u.a. Cochlea-Implantat) und visuelle (Retinaimplantat) sowie Implantate zur Wiederherstellung des Gleichgewichtssinns eingesetzt.
- › Erkrankungen und Verletzungen des motorischen Systems: Hierzu gehören u.a. Bewegungsstörungen, deren Ursache im Bereich der unwillkürlichen Motorik liegt, wie z.B. Morbus Parkinson, aber auch Störungen der Willkürmotorik mit Querschnittslähmung und Schlaganfall als Hauptursachen. Zum Einsatz kommt u.a. die sogenannte Tiefenhirnstimulation.
- › Störungen des »milieu intérieur« des menschlichen Körpers: Hierin eingeschlossen sind chronische Schmerzzustände, Zwangsneurosen, Depression und Epilepsie. Die verwendeten Schnittstellen (u.a. Vagusnerv-, Tiefenhirn-, Motorkortex- und Rückenmarksstimulation) arbeiten ohne Anschluss an weitere externe technische Strukturen.

ABB. 2 FUNKTIONSPRINZIP EINER NEUROELEKTRISCHEN SCHNITTSTELLE



Quelle: TAB-Arbeitsbericht Nr. 117 (im Erscheinen)

Der Entwicklungsstand der verschiedenen Systeme ist sehr unterschiedlich und reicht von Stadien der Grundlagenforschung bzw. Erprobung an einzelnen Probanden (z.B. bei Retinaimplantaten) bis hin zum breiten klinischen Einsatz (z.B. das Cochlea-Implantat zur Wiederherstellung des Hörvermögens in über 100.000 Fällen weltweit oder der Rückenmarks-

stimulation zur Behandlung von Schmerzzuständen bei mehr als 50.000 Patienten). In letzter Zeit hat sich die Entwicklung neuroelektrischer Schnittstellen allerdings stark beschleunigt, und die Palette neuer Einsatzbereiche vergrößert sich zusehends. Dieser Trend speist sich aus den Fortschritten in der IuK-Technologie, der Miniaturisierung mechanischer und elektronischer Systeme sowie den jüngsten Erkenntnissen zur Funktionsweise des Gehirns.

Manche Visionen der Neuroprothetik richten sich auf die Koppelung des menschlichen Nervensystems an externe technische Strukturen, nicht um pathologische Defizite auszugleichen, sondern zur Kapazitäts- und Fähigkeitserweiterung (unter dem Schlagwort »Neuroenhancement«). Obwohl eine gehörige Portion Skepsis angebracht sein dürfte, wie gezielt steuerbar denn mentale, kognitive und emotionale Vorgänge sind, erscheinen entsprechende Visionen von nicht zu unterschätzender Bedeutung nicht nur für die öffentliche Wahrnehmung des Forschungsfeldes. Auch – und gerade – eine wenig kontrollierte bzw. unkontrollierbare Beeinflussung des menschlichen Verhaltens, der Psyche und der Persönlichkeit, würde allerdings massive ethische Fragen aufwerfen.

NERVOSITÄT, HYPERAKTIVITÄT, DEPRESSION, DEMENZ: WAS LEISTET DIE NEUROPHARMAKOLOGIE?

Die Allgegenwart des Themas ADHS (Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Störung) bei Kindern und Jugendlichen, die auch volkswirtschaft-

lich folgenreiche Zunahme von Angst-erkrankungen und affektiven Störungen (z.B. Depression) in Deutschland, Europa und weltweit sowie das immer drängender werdende Problem der Altersdemenz – dies sind nur drei Beispiele für die Heterogenität und die gesellschaftliche Bedeutung pathologischer Störungen der Hirnaktivität. Es ist daher folgerichtig, dass die medizinisch orientierte, d.h. auf Krankheitsgeschehen fokussierte Forschung im Gesamtgebiet der Hirnforschung bzw. der Neurowissenschaften den wichtigsten Bereich repräsentiert, sowohl in Bezug auf die öffentlichen und privaten Investitionen bzw. Ressourcen als auch bezüglich der erzielten Erkenntnisse und Ergebnisse zur Funktion und Dysfunktion des Gehirns bzw. Nervensystems.

Hirnspezifische Krankheiten werden üblicherweise in psychische (wie Angsterkrankungen, Depression, Psychosen) und neurologische (wie Alzheimer, Epilepsie, Migräne, Parkinson) Erkrankungen unterteilt, wobei eine klare Grenzziehung zwischen beiden Kategorien kaum möglich ist. Als psychische Erkrankungen werden solche bezeichnet, deren Ursprünge überwiegend mit dem Gehirn assoziiert werden, bei denen Veränderungen der Persönlichkeit im Vordergrund stehen und die – zumindest bislang – vorwiegend auf der Ebene der Symptome beschrieben werden und nicht anhand der (physiologischen) Mechanismen, die zur Erkrankung führen.

Neurologische, vor allem neurodegenerative Erkrankungen spielen in der alternden Gesellschaft eine wachsende Rolle, gleichzeitig scheinen psychische

Krankheiten weltweit auf dem Vormarsch. Die (nur schwer bestimm- baren) Gesamtzahlen werden auf 25 bis 30 % Erkrankter in der Bevölkerung Deutschlands wie Europas geschätzt, darunter zwei Drittel psychisch Kranke.

Unterscheidung und Zuschreibung von psychischen gegenüber neurologischen Erkrankungen – die auch das periphere Nervensystem betreffen können – sind deutlich von gesellschaftlichen Bewertungen geprägt: Während Krankheiten des Nervensystems im Allgemeinen als »normale« Krankheiten wie Diabetes oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen gelten, treffen psychisch Erkrankte oft auf spezifische Vorbehalte.

Der TAB-Bericht zeigt anhand der Krankheitsbilder Angsterkrankungen, ADHS, Depression, Parkinson, Schizophrenie und ihrer Behandlungsansätze exemplarisch die medizinische und gesellschaftliche Bedeutung psychischer und neurologischer Krankheiten auf. Das äußerst weite Spektrum analytischer, diagnostischer und therapeutischer Verfahren zur Erforschung und Behandlung neurologischer und psychischer Krankheiten konnte insgesamt nur umrissen werden.

Einen Schwerpunkt bilden die wirkstofforientierten, pharmazeutischen Verfahren, darunter besonders die Psychopharmaka mit potenzieller nichtmedizinischer Alltagsnutzung. Ein (stark) zunehmender Einsatz von Psychopharmaka im Alltagsleben ist in den USA für größere Teile der Bevölkerung, gerade für die leistungsorientierten, belegt und wird in

Europa zunehmend beobachtet. Die individuellen und gesamtgesellschaftlichen Folgen sind in vieler Hinsicht wohl nur schwer absehbar, erscheinen aber grundsätzlich weitreichend. Die Diskussion gesellschaftlicher Tendenzen und Implikationen neuer medizinisch nutzbarer Ergebnisse der Neurowissenschaften muss (und wird) sich daher in den nächsten Jahren ganz zentral um den zunehmenden Einsatz von Psychopharmaka zur Leistungssteigerung, zur Selbst- und zur Fremdmannipulation, drehen. Ein enger Bezug zum Problem der Zunahme neurodegenerativer Erkrankungen ergibt sich daraus, dass viele Medikamente zu deren Behandlung prinzipiell zur Leistungssteigerung Gesunder eingesetzt werden könnten.

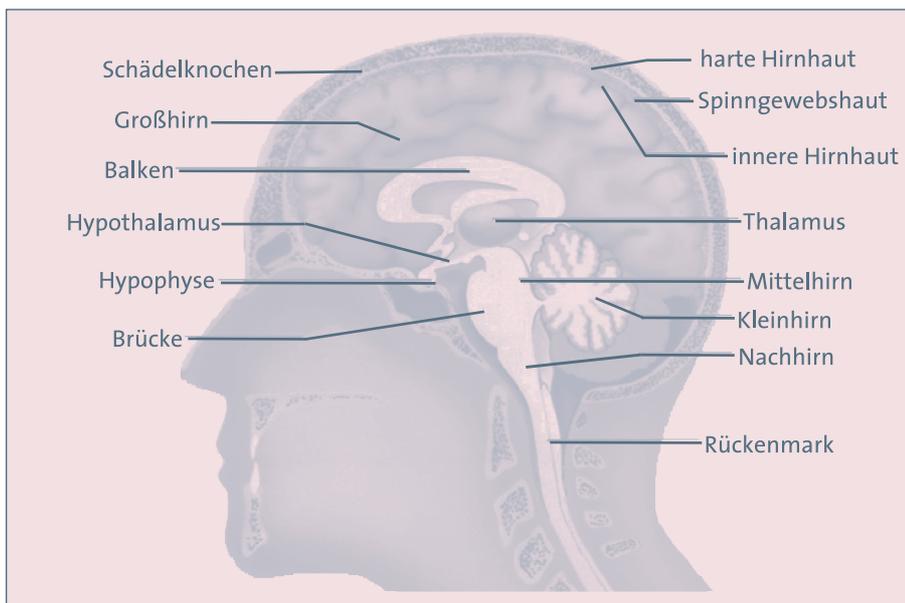
FOLGENFORSCHUNG WEITER GEFRAGT

Der TAB-Bericht zur Hirnforschung macht an vielen Stellen deutlich, dass insbesondere bei einer Reihe von Entwicklungen in der medizinischen Anwendung der Neurowissenschaften vertiefende TA-Untersuchungen sinnvoll erscheinen, z.B. zur Entwicklung neurodegenerativer Erkrankungen in einer alternden Gesellschaft und den sich hieraus ergebenden Herausforderungen für das Gesundheitssystem. Das Aufgreifen dieser Problematik würde allerdings einen Ansatz erfordern, der über das Thema »Neurowissenschaften« hinausgreift und gesellschafts- wie gesundheitspolitische Fragestellungen einbezieht.

Als im engeren Sinn hirnforschungsspezifische Fragestellung bietet sich insbesondere ein TA-Projekt zum Thema »Pharmakologische und technische Neurointerventionen: Nutzen und Risiken in Medizin und Alltag« an. Damit würde das aktuell besonders in der politischen Diskussion stehende Problem der möglichen Verbesserung und Steigerung menschlicher Leistungen durch den Einsatz neurowissenschaftlicher Erkenntnisse (»cognitive enhancement«) thematisiert, und es würden die nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie gesellschaftlich und politisch bedeutendsten wissenschaftlich-technischen Entwicklungen (Psychopharmaka und neuroelektrische Schnittstellen) in den Blick genommen. Mit dem Thema Enhancement ergäbe sich zudem ein Bezug zur aktuell forschungspolitisch relevanten Debatte um die Konvergenz von Nanotechnologie, Informatik, Bio- und Neurowissenschaften (»converging technologies«).

ABB. 3

ANATOMIE DES MENSCHLICHEN GEHIRNS



Quelle: <http://www.uni-potsdam.de/portal/maio4/forschung/parkinson.htm>

KONTAKT

Dr. Arnold Sauter
030/28 491-110
sauter@tab.fzk.de

HINWEIS ZUR VERÖFFENTLICHUNG

Der Bericht wird nach der Abnahme durch den Deutschen Bundestag als TAB-Arbeitsbericht Nr. 117 erscheinen.