



*Leonhard Hennen, Christopher Coenen*

ITA-Monitoring  
„Nichtmedizinische Anwendungen  
der Neurowissenschaften“

Pre-Print: 06.12.2011

Erschienen in: Decker, M.; Fleischer, T.; Schippl, J.; Weinberger, N. (Hrsg.):  
Zukünftige Themen der Innovations- und Technikanalyse.  
Methodik und ausgewählte Ergebnisse.  
KIT Scientific Reports 7605.  
Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2012, S. 171-221

# ITAS – Elektronische Pre-Prints

## Allgemeine Hinweise

Wie mittlerweile viele wissenschaftliche Einrichtungen, bietet auch ITAS elektronische Pre-Prints an, die bereits zur Publikation akzeptierte wissenschaftliche Arbeiten von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern - in der Regel Buchbeiträge – darstellen.

Für die Autoren bietet dies den Vorteil einer früheren und besseren Sichtbarkeit ihrer Arbeiten; für die Herausgeber und Verlage die Möglichkeit einer zusätzlichen, werbewirksamen Bekanntmachung des jeweiligen Buchprojekts. Auf die in Aussicht stehende Veröffentlichung wird hingewiesen. Nach Erscheinen der Publikation werden der geänderte Status vermerkt und die bibliographischen Angaben vervollständigt.

Allgemeine Anregungen und Kommentare zu den ITAS Pre-Prints richten Sie bitte an ([info@itas.kit.edu](mailto:info@itas.kit.edu)).

## Empfohlene Zitierweise des vorliegenden Pre-Prints:

Hennen, L.; Coenen, Chr.:  
ITA-Monitoring „Nichtmedizinische Anwendungen der Neurowissenschaften“ (Kurzstudie).  
Karlsruhe: ITAS Pre-Print: 06.12.2011;  
<http://www.itas.fzk.de/deu/lit/epp/2011/heco11-pre01.pdf>

# ITA-Monitoring

Nichtmedizinische Anwendungen der  
Neurowissenschaften

## Kurzstudie

---

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

---

Januar | 11

**Projektleiter:** Prof. Dr. Michael Decker

**Autoren:** Leonhard Hennen (ITAS, KIT), Christopher Coenen (ITAS, KIT)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Ausgewählte Anwendungsfelder der Neurowissenschaften .....</b>	<b>11</b>
2.1 Neurowissenschaften und Lernen.....	11
2.1.1 Lernforschung/ Pädagogische Praxis.....	11
2.1.2 Hirndoping/ Technische Interventionen .....	14
2.2 Neurowissenschaften und Justiz .....	16
2.2.1 Der Einsatz bildgebender Verfahren zur Feststellung von Schmerz.....	17
2.2.2 Der Einsatz bildgebender Verfahren zur Feststellung der Schuldfähigkeit .....	18
2.2.3 Neuroimaging als „Lügendetektor“ .....	20
2.2.4 „Brain Fingerprinting“ .....	21
2.3 Neuromarketing .....	22
2.3.1 Neuroökonomie.....	23
2.3.2 Neuromarketing .....	25
2.4 Neurotechnologien in der Mensch-Maschine-Interaktion.....	28
2.4.1 Nichtmedizinische Anwendungen von Neurotechnologien .....	29
2.4.2 Das Beispiel Computerspiele .....	31
<b>3 Folgedimensionen nichtmedizinischer Anwendungen der Neurowissenschaften .....</b>	<b>36</b>
3.1 Personale Autonomie und Identität.....	36
3.2 Soziale Interaktion und gesellschaftliche Integration .....	38
3.3 Politische Regulierung .....	39
<b>4 Schlussfolgerungen und Vorschläge für ITA-Projekte .....</b>	<b>41</b>
<b>5 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>45</b>



## Zusammenfassung

Die Diskussion um die gesellschaftliche Bedeutung der jüngeren Fortschritte der Neurowissenschaften hat vielfältige Facetten. Sie reicht von der Infragestellung unseres menschlichen Selbstverständnisses als freie Autoren unserer Handlungen bis hin zur Spekulation über Möglichkeiten durch technische und pharmakologische Intervention in das Gehirn, unsere kognitive Leistungsfähigkeit zu steigern oder unsere Selbst- und Weltwahrnehmung gezielt zu beeinflussen. Neben solchen eher ambivalenten Themen spielen für die öffentliche Diskussion selbstverständlich auch deutlich positive Erwartungen an die möglichen medizinischen Anwendungen der Neurowissenschaften eine wichtige Rolle, die es etwa erlauben könnten, psychische und neurologische Erkrankungen wie Demenz, Depression etc. langfristig wirksam zu bekämpfen.

Im Focus der vorliegenden Kurzstudie stehen auftragsgemäß nicht-medizinische Anwendungsfelder der Neurowissenschaften. Es wurden dabei aber auch bewusst solche Anwendungsmöglichkeiten ausgeklammert, die hochspekulative und allenfalls in ferner Zukunft realisierbare Nutzungsmöglichkeiten neurowissenschaftlicher Erkenntnisse betreffen. Ziel war es, solche Felder zu identifizieren, in denen neueste Erkenntnisse neurowissenschaftlicher Forschung bereits heute praktisch genutzt werden oder doch eine Nutzbarkeit als kurzfristig erwartbar eingeschätzt wird.

Der Bereich des schulischen und außerschulischen **Lernens** gilt seit langem als ein Feld, das von der Nutzung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse profitieren kann. Die Kurzstudie zeigt aber, dass trotz erheblicher Fortschritte im Verständnis der physiologischen Grundlagen von Gedächtnisleistungen und Lernvorgängen eine wesentliche Veränderung von Methodik und Didaktik durch die Neurowissenschaften bisher nicht zu verzeichnen ist. Aus den vorliegenden Erfahrungen ziehen Experten den Schluss, dass Lernpsychologie und Pädagogik nach wie vor, insbesondere auf verhaltenswissenschaftliche Methoden und Erkenntnisse in der Forschung, wie auch in der Lernpraxis angewiesen sein werden. Die unterstützende Funktion, die die neurowissenschaftlichen Erkenntnisse für die psychologische Lernforschung haben, kann – neben der Grundlagenforschung – als hinreichende Legitimation für das Forschungsfeld gelten. Weitergehende Erwartungen, gar einer „neurowissenschaftlichen Revolution“ des Lernens, bleiben reine Spekulation. Dass TA-Aktivitäten zu diesem Thema bisher kaum zu verzeichnen sind, ist sicherlich mit der bisher relativ eng begrenzten lernpraktischen Bedeutung der „Neurodidaktik“ zu erklären.

Eine recht rege Diskussion in den USA befasst sich mit den Möglichkeiten der Nutzung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse im Rahmen der **Strafverfolgung** und in **Gerichtsverfahren**. In der Diskussion befinden sich zum einen die Nutzung von Neuroimaging zur Feststellung der Schuldfähigkeit, des Weiteren die Nutzung von Hirnscans und EEG zur Feststellung der Wahrhaftigkeit oder Unwahrhaftigkeit von Aussagen bei der Ermittlung und im Strafprozess (analog etwa zum Lügendetektor) sowie die Nutzung von bildgebenden Verfahren zur Feststellung psychischer Beeinträchtigungen, etwa in Schmerzensgeldverfahren.

Wie die Kurzstudie zeigt, liegen in allen drei Bereichen konkrete Vorstellungen einer Nutzung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse durch die Justiz und auch zum direkten Einsatz von Hirnscans und anderen Technologien im Rahmen polizeilicher und gerichtlicher Untersuchungen vor. Es wird auch von einigen Fällen berichtet, in denen die Nutzung vor Gericht in den USA beantragt wurde. Ein zuverlässiger Überblick über die Zahl der (anscheinend wenigen) Fälle, in denen entsprechende Untersuchungen vor Gericht zum Einsatz kamen, gibt es aber bisher nicht. Bisher ist auch laut einhelliger Expertenurteile die Validität der durch die Verfahren erzielten Ergebnisse nicht hinreichend gesichert, um eine Zulassung als Beweismittel wahrscheinlich erscheinen zu lassen. Es mangle wegen des unzureichenden Verständnisses der Varianz von Messergebnissen an Beweiskraft. Fehlerurteile auf der Basis der Ergebnisse von Hirnscans oder anderen neurowissenschaftlichen Untersuchungen seien daher sehr wahrscheinlich. Dennoch wird zurzeit das Thema in rechtswissenschaftlichen Kreisen in den USA offenbar recht ernst genommen, und es kommt anscheinend immer wieder zu „neurowissenschaftlichen“ Beweisanträgen vor amerikanischen Gerichten.

In den letzten Jahren hat sich die Untersuchung der hirnphysiologischen Vorgänge bei ökonomischen Entscheidungen rasch zu einer eigenen Disziplin, der **Neuroökonomie**, mit eigenen wissenschaftlichen Journalen und internationalen Kongressen etabliert. Der Wert solcher Untersuchungen für die Verhaltensökonomie oder gar ihre Relevanz für realwirtschaftliche oder wirtschaftspolitische Entscheidungen ist aber durchaus umstritten. Dennoch hat sich im Anschluss an die Neuroökonomie das **Neuromarketing** als neues Feld der Marktforschung etablieren können, das anscheinend auf eine gewisse Nachfrage bei Industrieunternehmen stößt. Neuromarketing hat in der breiteren Öffentlichkeit auch bereits zu Diskussionen über Möglichkeiten einer gezielten Manipulation von Kaufverhalten geführt. Die Kurzstudie kommt zu dem Schluss, dass angesichts der bisher vorliegenden Ergebnisse des Neuromarketing kaum Anlass zu solchen Besorgnissen besteht. Der wesentliche Grund für den schnellen Erfolg des Neuromarketing liegt offensichtlich weniger in der Originalität ihrer Erkenntnisse als darin, dass sich durch die Referenz auf (Natur-) Wissenschaft und die angebliche Objektivität der Hirnscans – mittels derer man angeblich dem Käufer beim Kaufen zuschauen und seine geheimsten, ihm selbst nicht bewussten Entscheidungskriterien erkennen könne – die Neurowissenschaften als Mittel zur Vermarktung von ansonsten auf unsicheren Annahmen über Käuferverhalten basierenden Werbestrategien genutzt werden können. Auch wenn aber die Neuroimaging-Methoden bisher keineswegs zu einem tieferen Verständnis davon geführt haben, wie Kaufentscheidungen zustande kommen – und auch wenn der Nutzwert von Hirnscans etwa für die Produktgestaltung oder für Werbekampagnen schwer zu erkennen ist –, könnte die suggestive Kraft der Hirnbilder doch dazu geeignet sein, Neuromarketing auch langfristig als Geschäftsfeld zu stabilisieren.

Ein Thema, an das sich meist recht weitreichende Vorstellungen der Nutzung zur Erweiterung etwa der menschlichen kognitiven Fähigkeiten knüpfen, ist die Kopplung von menschlichem Nervensystem und Computertechnologie. **Mensch-Maschine-Interaktion** in Form der sogenannten Brain-Computer-Interface-Technologie (BCI) hat sich aber auch jenseits von Spekulationen über Human Enhancement bereits in alltagstauglichen Nutzanwendungen realisiert. Hinsichtlich ihrer Wirksamkeit nicht unumstritten, aber bereits relativ weit verbreitet sind nichtmedizinische Anwendungen des sog. Neurofeedback, einer Sonderform des Biofeedback. Ziel des Neurofeedback ist es, dass der Nutzer die eigene Gehirnaktivität beeinflussen kann, indem mittels EEG diese Aktivität erfasst und in Form von akustischen oder visuellen Signalen sofort („in real-time“) rückgemeldet wird. Neurofeedback-Anwendungen spielen im Lernbereich seit längerer Zeit eine gewisse Rolle. Im Sportbereich wird Neurofeedback mit dem Ziel genutzt, die mentale Selbstkontrolle der Sportler zu verbessern.

Direkt hirnaktivitätsbasierte Steuerungstechnologien spielen derzeit bei der Entwicklung von **Computerspielen** eine gewisse Rolle, aber das Wissen zu den aktuellen Möglichkeiten ist – auch aufgrund des Schutzes des geistigen Eigentums seitens der Hersteller von Unterhaltungselektronik in diesem Bereich – äußerst lückenhaft (und zudem zum Teil widersprüchlich). Es besteht eine zwar noch überschaubare, aber durchaus schon über einige öffentliche Projektfördermittel verfügende, sich in Fachworkshops zusammenfindende und auch in Deutschland verankerte Community von Wissenschaftlern, die an der Entwicklung von BCI-Technologien für Computerspiele arbeitet oder sich für diese interessiert. Wie z.T. die BCI-Forschung allgemein, leidet das Feld aber unter oft reißerischer Medienberichterstattung, einem Mangel an begutachteten Zeitschriftenartikeln und auch unter der Neigung zu Übertreibungen bei einigen Forschern. Trotz der erwähnten Bedenken und Unklarheiten sowie des derzeitigen Status als Nischenanwendung sieht eine erhebliche Zahl von seriösen Forschern, gerade auch in Deutschland, die Nutzung im Computerspielbereich als ein in der Zukunft potenziell hochrelevantes Anwendungsfeld von Neurotechnologien an.

Wie die Kurzstudie insgesamt zeigt, sind die Neurowissenschaften als Thema in der ITA angekommen und werden in der Breite sowohl durch klassische überblickartige ITA-Studien als auch in der noch laufenden Enhancement-Debatte hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Folgepotentiale diskutiert. Grundsätzlich sind die Neurowissenschaften damit ITA-seitig – zumindest was grundsätzliche Fragen, wie etwa die mögliche kulturelle Bedeutung der Aufklärung der physiologischen Grundlagen mentaler Aktivität, angeht – recht

gut erfasst. Einige der in der vorliegenden Studie angesprochenen einzelnen Anwendungsmöglichkeiten neurowissenschaftlicher Erkenntnisse wären aber durch spezielle ITA-Studien noch systematisch zu untersuchen.

Es scheinen zurzeit, weniger neue fundamentale Einsichten zur Funktionsweise von Gehirn und Nervensystem und der physiologischen Basis mentaler Leistungen und Bewusstseinsvorgänge zu sein, die merkbare Effekte auf gesellschaftliche Praxisfelder zeitigen. Vielmehr lässt sich beobachten, dass technische Methoden und Instrumente, die für die moderne neurowissenschaftliche Forschung kennzeichnend sind und auch Bedeutung für die medizinische Diagnostik und Therapie haben, sozusagen auf dem Wege des „dual use“ für außermedizinische Anwendungen genutzt werden. Das trifft insbesondere auf das Neuroimaging, aber auch (weniger entwickelt) auf das sog. „Neurofeedback“ zu.

Die nichtmedizinischen Anwendungen von Neurotechnologien sind bisher zumeist entweder noch in der experimentellen Phase oder nur in Nischenbereichen relevant. Sie wären daher in ITA-Studien wohl am besten im Rahmen von thematisch umfassenderen Projekten zu untersuchen. Hier böte sich z.B. ein Projekt zu nichtmedizinischen Anwendungen biosignal-basierter Technologien insgesamt an. Weitere sich anbietende Möglichkeiten sind Projekte zu ‚Virtuelle-Realität‘-Technologien und zum Computerspielbereich. Zum Themenfeld Computerspiele und zur nichtmedizinischen Nutzung des Neuroimaging werden in der Kurzstudie jeweils erste Ideen für entsprechende TA-Projekte entwickelt.



# 1 Einleitung

“Among those charged with the administration of human beings, there is a great hunger for scientific-looking accounts that can justify their interventions, as the aura of science imparts legitimacy to their efforts“ Matthew B. Crawford, *The limits of neuro-talk*, 2008

Die Neurowissenschaften haben sich in den vergangenen beiden Jahrzehnten zu einem forschungspolitisch, aber auch öffentlich vielbeachteten multidisziplinären Forschungsfeld entwickelt. Grund hierfür sind zum einen erhebliche Fortschritte in der Aufklärung des Aufbaus und der Funktion des menschlichen Gehirns und Nervensystems, die u.a. zu einer weiteren Aufklärung der Ursachen vieler psychischer Erkrankungen und z.T. auch zu neuen Möglichkeiten der Therapie, z.B. von Schizophrenie und Depressionen, geführt haben. Daneben ließen sich unterstützt durch die Neurowissenschaften auch neue technische Möglichkeiten in der prothetischen Behandlung von Behinderungen oder zur Unterstützung oder Ersatz verlorener Sinnesfunktionen realisieren (z.B. Cochlea-Implantat). Zudem versprechen die bisherigen Forschungsfortschritte für die Zukunft auch neue Optionen für die Behandlung gesundheitspolitisch und -ökonomisch bedeutsamer Volkskrankheiten wie Alzheimer oder anderer im Alter auftretender mentaler Defekte und psychischer Erkrankungen.

Die Fortschritte der Neurowissenschaften sind zum einen durch neue Formen der Zusammenarbeit dynamischer Wissenschaftsfelder wie der Informatik und der Genetik zu erklären, zum anderen durch neue Zugänge zum Forschungsgegenstand, die durch moderne Technologien wie z.B. Hirnscanner eröffnet werden und es erlauben, die hirnhypophysologischen Vorgänge, die mentalen Vorgängen zugrunde liegen, direkt in vivo zu beobachten.

Neben den erreichten und für die Zukunft erwarteten (oder erhofften) Fortschritten bei der Diagnose und Therapie von Erkrankungen haben aber auch Reflexionen auf die mögliche kulturelle Bedeutung der naturwissenschaftlichen Aufklärung von Hirnfunktionen – und damit der Grundlagen spezifisch menschlicher mentaler Leistungen des Fühlens, Wahrnehmens, Denkens und Handelns – die Aufmerksamkeit einer breiteren Öffentlichkeit erregt. Insbesondere in Deutschland haben die Fortschritte in der Aufklärung der neuronalen Grundlagen geistiger Vorgänge zu einer heftig geführten Debatte über Fragen wie die Determiniertheit oder Freiheit menschlichen Handelns und Entscheidens und der Status von Ich und Selbsterfahrung geführt, die von einigen Hirnforschern als illusionäre Epiphänomene hirnhypophysologisch determinierter Vorgänge aufgefasst werden (Geiger 2004; Hennen et al. 2008). In jüngerer Zeit ist es, angestoßen durch die Debatte um die Konvergenz von Nano-, Info-, Bio- und Neurotechnologien und den zugehörigen Wissenschaften (Coenen 2008), zu Diskussionen um sich eröffnende neue Möglichkeiten technischer Interventionen in Hirn und Nervensystem gekommen. Hier geht es nun nicht alleine um medizinische Optionen, die sich ergeben könnten, sondern es geht vielfach um teils hoch spekulative Prognosen oder Visionen etwa zu neuen Möglichkeiten der Verbindung oder Integration von menschlichem Gehirn und Computertechnologie oder der gezielten pharmakologischen oder sonstigen technischen Erweiterung menschlicher kognitiver und anderer Fähigkeiten über ein normal menschliches Maß hinaus. „Human Enhancement“ ist das Stichwort, unter dem aktuell die Potentiale der Neurowissenschaften nicht nur für die Erforschung und Therapie neurologischer oder psychischer Erkrankungen, sondern auch für die alltagsweltliche Nutzung diskutiert werden.

Im Fokus der TA stehen die Neurowissenschaften erst seit wenigen Jahren. Studien wie die von TA-Swiss zum Neuroimaging und die des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) zur Hirnforschung können als die ersten TA-Studien im engeren Sinne zum Thema bezeichnet werden (Hü-

sing et al. 2006; Hennen et al. 2008). Zu solchen, das Feld der Neurowissenschaften und die möglichen gesellschaftlichen Folgen sondierenden Aktivitäten können auch Bemühungen um die Organisation eines interdisziplinären Diskurses über die gesellschaftlich Bedeutung der Neurowissenschaften gezählt werden (z.B. King Baudouin Foundation/ Rathenau Institute 2005). Daneben sind in jüngerer Zeit spezifischere Studien getreten, die insbesondere durch die Diskussion um Converging Technologies (Berloznik et al. 2006; Coenen 2008) und das „Human Enhancement“ (Merkel et al. 2007; Coenen et al. 2009) angestoßen wurden.

Kennzeichnend für diese Studien ist die Befassung mit aktuell für medizinische Zwecke entwickelten pharmakologischen Interventionen (zur Behandlung von psychischen Erkrankungen) oder von Technologien (etwa zum Ersatz für menschliche Sinnesorgane), wobei diese auf möglicherweise induzierte Optionen für den nichtmedizinischen Gebrauch zur Verstärkung oder Verbesserung menschlicher kognitiver Leistungen oder sonstiger nichtmedizinisch motivierter Interventionen in psychische Wahrnehmung und Empfindung (beispielsweise zur gezielten Unterdrückung unangenehmer Stimmungslagen) hin diskutiert werden. Es geht diesen Studien neben der Reflexion auf die ethische Vertretbarkeit von „Enhancement“ im Wesentlichen darum, zunächst einmal das Feld des technisch Möglichen abzustecken, d.h. kursierende hochfliegende Visionen über „Enhancement“ gegen die aktuell tatsächlich stattfindende Forschung und die kurz- bis mittelfristig wahrscheinlich erscheinenden Möglichkeiten des „Hirndopings“ und anderer Formen der Leistungssteigerung zu spiegeln.

Der oft hoch spekulative Charakter der diskutierten, potentiellen Enhancement-Technologien stellt dabei auch ein zentrales Problem der Identifizierung und Diskussion gesellschaftlicher Folgen und ethischer Probleme dar. Es besteht die Gefahr, eine umfassende Diskussion um das Normative anzuzetteln, bevor das Faktische („Was ist eigentlich technisch realistischerweise möglich?“) hinreichend klar ist. Bei aller Notwendigkeit antizipierender ethischer Reflexion wird vor dem Abdriften in „spekulative Ethik“ gewarnt (Nordmann, Rip 2009), die der Science Fiction und den technophilen Visionen, die in der Debatte insbesondere von sog. „Transhumanisten“ propagiert werden (Coenen et al. 2010), zu viel Ehre angedeihen lässt. Als ein möglicher Weg erscheint hier die genauere Untersuchung der bereits an Tieren erprobten oder regelmäßig praktizierten Enhancement-Verfahren, wobei sich aber verschiedene Probleme beim Vergleich stellen (Ferrari et al. 2010).

Noch am ehesten scheinen Möglichkeiten des Enhancement im Sinne eines „Hirn-Dopings“ durch den Einsatz neuer medikamentöser Interventionen in neuronale Prozesse, kurzfristig eine praktische Rolle spielen zu können. Hierzu läuft derzeit eine TA-Studie des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (<http://www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u141.html>). Weitere relevante Studien wurden z.B. durch die Europäische Akademie Bad Neuenahr durchgeführt (<http://www.ea-aw.de/die-europaeische-akademie/mitarbeiter/thorsten-galert.html#c177>). In einer weiteren laufenden Studie, die im Auftrag der TA-Einrichtung des europäischen Parlamentes durchgeführt wird, spielt ebenfalls die Möglichkeit des Enhancement durch die Nutzung der Fortschritte der Neurowissenschaften eine Rolle (<http://www.rathenau.nl/themas/project/making-perfect-life.html>). Gleiches gilt für ein neues EU-Projekt im Rahmen des Siebten Forschungsrahmenprogramms: Das im November 2011 gestartete Projekt „Ethics in Public Policy-Making: The Case of Human Enhancement“ befasst sich mit der Rolle von Ethik in der Politikberatung zu kontroversen naturwissenschaftlich-technischen Entwicklungen und in deren Governance, wobei das Thema „Human Enhancement“ und dabei speziell auch vertiefend das sog. „Cognitive Enhancement“ beispielhaft untersucht werden.

#### **Bildgebende Verfahren**

Bildgebende Verfahren – wie als bekanntestes z.B. die Computertomographie – spielen für die klinische Diagnostik in vielen medizinischen Feldern seit geraumer Zeit eine wichtige Rolle. Während bildgebende Verfahren für die Neurochirurgie (etwa bei der Identifikation von Hirntumoren) von großer praktischer

Bedeutung sind, steckt die Nutzung des „Neuroimaging“ in der medizinischen, psychologischen und psychiatrischen Diagnostik noch in den Anfängen, weil derzeit der Stand der Forschung noch keine Individualdiagnostik erlaubt, sondern Aussagen über das Vorliegen relevanter Abweichungen von Hirnstrukturen nur auf der Basis aufwändiger Vergleiche über eine größere Anzahl von Probanden hinweg möglich sind. Dagegen haben sich bildgebende Verfahren recht schnell zu einem mittlerweile unentbehrlichen Werkzeug der neurowissenschaftlichen Grundlagenforschung entwickelt. Relevant für die neurowissenschaftliche Forschung sind insbesondere die Positronen-Emissions-Tomographie (PET), die Magnetresonanztomographie (MRT) und die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) sowie das Elektroenzephalogramm (EEG) (Vogelely 2005; Hüsing et al. 2006).

Allen diesen Verfahren gemein ist, dass sie Bilder des tätigen Gehirns liefern, die nicht direkt (etwa über eine Kamera) erzeugt, sondern indirekt über Messwerte gewonnen werden, die computergestützt in Bilder übersetzt werden.

Bei dem ältesten Verfahren, dem EEG, wird die elektrische Aktivität des Gehirns (mittels auf der Kopfhaut applizierter) Sensoren aufgezeichnet und verstärkt. Es lassen sich so topographische Aussagen zur regionalen Aktivität der Großhirnrinde gewinnen. Dieses bereits in den 1920er Jahren entwickelte Verfahren ist mithilfe neuer Computertechnologie zum so genannten „brain mapping“ weiterentwickelt worden, wobei die aufgezeichnete Aktivität in Hirnkarten sichtbar gemacht wird. Das Verfahren hat eine im Vergleich zu den anderen bildgebenden Verfahren relativ geringe räumliche Auflösung, erlaubt aber eine Verfolgung und Abbildung der Hirnaktivität im Zeitverlauf. Zudem kann als Vorteil des Verfahrens gelten, dass seine Anwendung ohne Einwirkung auf das Gehirn von außen geschieht. Eine neuere Weiterentwicklung des EEG, das MEG (Magnetenzephalogramm), erlaubt Aussagen über die Tiefe, in der die gemessene Aktivität stattfindet.

Bei der PET werden Stoffwechselaktivitäten im Gehirn durch die Messung des radioaktiven Zerfalls einer den Probanden verabreichten radioaktiven Markersubstanz aufgezeichnet. Auch hier ist die räumliche Auflösung relativ gering (mehrere Millimeter). Die zeitliche Auflösung beträgt ca. eine Minute. Für die Anwendung gelten besondere Sicherheitsregeln, u.a. werden keine Substanzen eingesetzt, die sich im Körper ansammeln können.

Die MRT dient nicht (wie die anderen genannten Verfahren) der Untersuchung von Hirnfunktionen, sondern der Untersuchung des Aufbaus des Gehirns. Dabei werden Signale aufgezeichnet, die im Körper durch ein starkes Magnetfeld (das ca. 50.000-Fache des natürlichen Magnetfeldes der Erde) in Kombination mit Radiowellen erzeugt werden. Aus diesen Signalen, die auf der unterschiedlichen Anregung von Wasserstoffatomen im Gewebe durch das Magnetfeld beruhen, lassen sich detaillierte Bilder des untersuchten Gewebes gewinnen.

Von aktuell größter Bedeutung für die Neurowissenschaften ist die Weiterentwicklung der MRT zur funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT). Das Messprinzip ist das gleiche wie bei der MRT, allerdings wird die Reaktion des Hämoglobins (nicht der Wasserstoffkerne) auf das Magnetfeld erhoben. Damit wird die Verteilung von sauerstoffbeladenem Hämoglobin und solchem ohne Sauerstoff im Gehirn aufgezeichnet und aktive Hirnbereiche (d.h. solche, die aktuell mit viel Sauerstoff versorgt werden) können lokalisiert werden. Die fMRT erlaubt es, kognitive Funktionen mit einer räumlichen Auflösung von 1 Millimeter und einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde zu erfassen.

Wegen seiner Genauigkeit ist die fMRT das aktuell präferierte Verfahren. Es liegt eine unübersehbare Vielzahl von Studien vor, die Hirnfunktionen unter gesunden und pathologischen Bedingungen kartieren. Während MRT und fMRT jeweils eine genaue Lokalisierung von Hirnaktivitäten möglich machen, sind das EEG und seine Weiterentwicklungen für die Beobachtung von Prozessabläufen im Gehirn interessant. Die Kombination der verschiedenen Verfahren ermöglicht die Untersuchung des Gehirns auf verschiedenen räumlichen Ebenen, von der Gesamtanatomie bis hin zu Genen und Molekülen (Hüsing et al. 2006).

Im Folgenden soll nun weder eine weitere Diskussion der Perspektiven der Aufklärung von Gehirnfunktionen und der möglichen grundsätzlichen Folgen für unser kulturelles Selbstverständnis noch eine weitere vertiefte Diskussion des ‚Enhancement-Themas‘ geführt werden. In der vorliegenden Studie sind auftrags-

gemäß nichtmedizinische Anwendungen zu untersuchen, die sich aus den Neurowissenschaften ergeben oder ergeben könnten. Die Studie setzt demnach nicht eigentlich technologiebezogen an, sondern sondiert hauptsächlich Anwendungsfelder, in denen ein aktueller Nutzen neurowissenschaftlichen Wissens postuliert wird oder sich gar Praxisfelder aktuell zu etablieren beginnen, die bisher in der laufenden TA-Diskussion relativ wenig beachtet worden sind. Dabei geht es zum einen um Anwendungen, die sich aus der Nutzung des zentralen Forschungsinstrumentes der Neurowissenschaften für nichtmedizinische Zwecke (Neuromarketing und Justiz), dem „Neuroimaging“, ergeben und zum anderen um mögliche Effekte der Neurowissenschaften auf die verbesserte Organisation von Lernsituationen und die Verbesserung von Lernleistungen. In die Diskussion um letztere Thematik spielen Vorstellungen des Enhancement mit hinein. Erwartungen verbesserter Lernleistungen werden aber auch unabhängig hiervon diskutiert. Die Thematisierung des Feldes „Mensch-Maschine-Interaktion“ fokussiert ebenfalls, jenseits der im Feld verbreiteten visuellen Vorstellungen von Enhancement, auf aktuelle oder sich in kurzfristiger Hinsicht abzeichnende Nutzungsmöglichkeiten, insbesondere im Computerspielbereich.

An die Skizze des Standes der Diskussion zu den ausgewählten Anwendungsfeldern schließt sich ein kurzer Überblick über die Folgendimensionen an, die bei der Befassung mit den Neurowissenschaften in der TA derzeit generell diskutiert werden. Dabei wird dann auch die Enhancement-Debatte etwas ausführlicher berücksichtigt, u.a. weil sie derzeit in der TA wie auch in der sog. neuroethischen Diskussion erhebliche Aufmerksamkeit erfährt. Im Schlusskapitel wird versucht, Schlussfolgerungen für weiteren TA-Bedarf zu ziehen.

## 2 Ausgewählte Anwendungsfelder der Neurowissenschaften

### 2.1 Neurowissenschaften und Lernen

Die Fortschritte der neurowissenschaftlichen Erforschung von Hirnfunktionen haben u.a. auch die Hoffnung geweckt, dass sie Möglichkeiten zur Verbesserung individueller Lernleistungen eröffnen und zur Entwicklung von auf die Funktion des menschlichen Hirns (z.B. des Gedächtnisses) hin optimierten Lernprogrammen bzw. einer entsprechend verbesserten Methodik und Didaktik führen könnten. Daneben wurden auch bis in die allgemeine Öffentlichkeit hinein direkte technische oder pharmakologische Interventionen diskutiert, die z.B. die Konzentrations- und die Merkfähigkeit verbessern sollen. In Bezug auf Lernen geht es also zum einen um die Nutzung des besseren hirnhysiologischen Verständnisses von Lernprozessen als Unterstützung der pädagogischen Praxis, und zum anderen um die direkte Intervention in die Physiologie des Gehirns.

#### 2.1.1 Lernforschung/ Pädagogische Praxis

Was den ersteren Komplex angeht, die Bedeutung der Neurowissenschaften für die Lernforschung und Praxis, sind TA-Studien im engeren Sinne bisher wenig mit dem Thema befasst gewesen. Einzig die Studie des TAB „Einblicke und Eingriffe in das Gehirn“ hat die Frage der Bedeutung der Neurowissenschaften für die Lernforschung und die Pädagogik explizit aufgegriffen. Das niederländische Rathenau-Institut hat in einer Aufsatzsammlung zum Thema „Human Enhancement“ einen Überblicksartikel „The Potential of Cognitive Neuroscience Research for Education“ aufgenommen (Geake 2008). Die Studie von TA-Swiss zum „Impact of Neuroimaging“ enthält eine kurze Zusammenfassung, der aus der Nutzung neuer bildgebender Verfahren gewonnen Erkenntnisse zu neurophysiologischen Korrelaten des Lernens. (Hüsing et al. 2006).

Dagegen ist das Thema selbstverständlich Gegenstand von Forschung und Diskussion in den Neurowissenschaften selbst sowie in der psychologischen Lernforschung. Seit etwa Ende der achtziger Jahre, zeichnet sich eine stärkere Beachtung neurowissenschaftlicher Forschung in der Lernforschung und Didaktik ab, die von Beginn an mit weitreichenden Erwartungen an eine völlige Neuorientierung der Lernforschung und der Pädagogik durch die neurowissenschaftliche Forschung, aber ebenso mit ausgesprochener Skepsis, was die Relevanz der Neurowissenschaften für die Pädagogik angeht, verbunden war (vgl. Byrnes, Fox 1998). Mittlerweile ist zumindest in Expertenkreisen die „Hype and Hope“-Phase einer eher nüchternen Diskussion gewichen. Wegen des bisher begrenzten praktischen Ertrages der Forschung (s.u.) scheinen auch disziplinäre „Neugründungen“ wie die sog. „Neurodidaktik“ – die sich zum Ziel setzt, aus dem wachsenden Wissen über das „materielle Substrat“ des Lernens, das Gehirn, Schlüsse für die didaktische Aufbereitung und Darbietung von Lerninhalten zu ziehen – bisher ein eher randständiges Dasein zu führen. Als ein Kristallisationspunkt praktischer Zusammenarbeit zwischen Neurowissenschaften einerseits und Lernforschung und Pädagogik andererseits kann z.B. das Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen in Ulm gelten. Das Zentrum versucht z.B. ansetzend an der aus Lernforschung wie auch den Neurowissenschaften belegten Bedeutung von exekutiven Funktionen (etwa Verhaltenshemmung und Selbstregulation) als eine wesentliche Voraussetzung für kontrolliertes Lernen, Programme zu entwickeln, wie diese etwa durch Sport systematisch gefördert werden können (Spitzer, Kubesch o.J.).

Ein Überblick über die vielfältigen nationalen und internationalen Forschungsaktivitäten und -ergebnisse kann in der vorliegenden Kurzstudie nicht geleistet werden. Allerdings liegen Überblickstudien und Gutachten zum Thema vor, die ein Zwischenfazit zum Stand der Forschung und einen Ausblick zu den in naher Zukunft zu erwartenden Entwicklungen ermöglichen. Das BMBF unterhält seit 2005 im Rahmenpro-

gramm zur Förderung empirischer Bildungsforschung eine Fördermaßnahme „Neurowissenschaften und Lehr- und Lernforschung/ Neurowissenschaften - Instruktionen - Lernen (NIL)“. Erklärtes Ziel dieser Maßnahme ist es, die Grundlagen für eine rationale und effiziente Vermittlung von Wissen im Rahmen institutionalisierter Lerngelegenheiten zu verbessern und eine nachhaltige Verknüpfung von Lehr-Lernforschung und Neurowissenschaften zu bewirken. Neben der TAB-Studie (Hennen et al. 2008) stützen sich die folgenden Aussagen zur Relevanz der Neurowissenschaften für die Lernforschung auf ein umfangreiches Gutachten, das im Auftrag des BMBF als Pilotstudie zum genannten Programm erstellt wurde (Stern et al. 2005).

Das Gutachten weist bedeutende Fortschritte bei der Aufklärung neuronaler hirnpfysiologischer Aspekte der Kindheitsentwicklung und bei der Aufklärung von physiologisch bedingten Lerndefiziten auf. Die Bedeutung des bisherigen Standes der Hirnforschung für die praktische Verbesserung von Lernprogrammen und der Lernumgebung („gesunder“ Personen) wird aber als begrenzt eingeschätzt. Im Einzelnen würden Erkenntnisse der Lernpsychologie durch die Neurowissenschaften bestätigt, neue bahnbrechende praktische Implikationen gebe es aber nicht und wären auch für die Zukunft kaum zu erwarten. Lernen beim Menschen ist anders als in den vielfach vorliegenden Tierversuchen zum Reiz-Reaktionslernen ein symbolvermittelter Vorgang, bei dem es um Erfassen neuer und Reorganisation vorhandener Wissensinhalte geht.

Die Hirnforschung hat durch die Nutzung neuer bildgebender Verfahren (s. zu diesen auch den Kasten in der Einleitung, S. 178) durchaus Erkenntnisse zu den an Lernprozessen beteiligten Hirnarealen gewinnen können (vgl. Hüsing et al. 2006, S. 134ff.). Grundsätzlich von Bedeutung ist z.B. die durch das „Neuroimaging“ gestützte Annahme einer anhaltenden Plastizität des Gehirns und der sich daraus ergebenden Lernfähigkeit bis ins hohe Alter. Im Einzelnen ist beispielsweise die Bedeutung des für Emotionen zuständigen limbischen Systems für das Lernen belegt, ebenso dass das Frontalhirn für die für erfolgreiches Lernen nötige Fokussierung und Konzentration auf eine Aufgabe verantwortlich ist. Die Neurowissenschaften tragen auch wesentlich zu einem besseren Verständnis physiologischer Ursachen kognitiver Leistungsstörungen und Entwicklungsstörungen bei. Desgleichen sind hierfür bildgebende Verfahren, die es ermöglichen, die bei bestimmten Leistungen normalerweise aktiven Hirnareale zu lokalisieren, ein wichtiges Instrument. Lernforschung und Kognitionswissenschaft können von den Neurowissenschaften außerdem bei der Abklärung verschiedener Hypothesen zu Lernvorgängen oder etwa von theoretischen Modellen z.B. des Arbeitsgedächtnisses und seiner Funktion unterstützt werden. Lernprozesse lassen sich ebenfalls direkt physiologisch als Abnahme des Aktivierungslevels der an bestimmten kognitiven Prozessen beteiligten neuronalen Areale zeigen. Personen mit der größten Leistungssteigerung zeigen offenbar bedingt durch eine gesteigerte Effizienz der beteiligten neuronalen Netze die größte Aktivierungsabnahme. Solche an kurzen automatisierten Lernprozessen gewonnenen Einsichten, sind aber noch daraufhin zu überprüfen, inwieweit sie auch für komplexe langfristige (schulische) Lernprozesse relevant sind, ebenso wie daraufhin ob Lernerfolg möglicherweise auf diesem Weg messbar wäre. Eine Einschränkung des Nutzens bildgebender Verfahren ergibt sich daraus, dass sie kaum zur Untersuchung von langfristigen komplexen Lernprozessen eingesetzt werden können – zum einen wegen hoher Strahlenbelastung und zum anderen wegen des Umstands, dass sie nicht in der natürlichen Lernumgebung, sondern nur in einer künstlichen Laborsituation angewandt werden können.

Dass Erkenntnisse der Hirnforschung bereits bekannte und bewährte Einsichten aus der psychologischen Lernforschung und der Pädagogik bisher im Wesentlichen bestätigen, wird auch von führenden Hirnforschern wie Gerhard Roth gesehen (Becker, Roth 2004). Die Hirnforschung kann zeigen, warum etwas funktioniert. Ergebnisse aus der behavioristischen Lernforschung an Tieren, die zeigen welche Hirnareale bei Lernprozessen nach dem Reiz-Reaktions-Schema aktiv sind und miteinander interagieren, können neuronale Korrelate für etwa das lernverstärkende Prinzip der Belohnung zeigen. Solche Erkenntnisse sind durchaus auf menschliches Reiz-Reaktions-Lernen übertragbar. Hirnphysiologische Mechanismen, „die Lebewesen dazu bringen, Verhalten, das positive Konsequenzen hat, zu wiederholen, und Verhalten das

negative Konsequenzen hat, zu vermeiden, dürften bei Tieren und Menschen in ähnlicher Weise ablaufen.“ (Stern et al. 2005, S. 111). Solche Erkenntnisse sind aber nur von sehr begrenzter Bedeutung für das Verständnis komplexen, symbolischen, an Sprache gebundenen Lernens von Wissensinhalten. Lernen ist hier nicht auf assoziatives Lernen beschränkt, sondern impliziert die Fähigkeit aus vorhandenen Wissensinhalten neue Einsichten und Erkenntnisse durch Neuverknüpfung aktiv zu generieren. Lernen mittels eines symbolischen Systems, wie der Sprache, erlaubt es, Wissensinhalte zu generieren, die über empirische sinnliche Erfahrung hinausgehen. Die hirnhysiologischen Grundlagen solcher Lernprozesse sind bisher weitgehend unverstanden.

Die Mehrzahl der Lernforscher sieht denn auch eine eher eingeschränkte praktische Bedeutung von Ergebnissen der Neurowissenschaften für die Gestaltung von Lernprogrammen (Stern et al. 2005; Schumacher 2007). Allgemein anerkannte Prinzipien und Rahmenbedingungen einer lernförderlichen Gestaltung von Unterricht werden von der Hirnforschung gestützt, etwa zur praktischen Unterstützung der Aneignung von Lerninhalten, zur Wichtigkeit bereichsspezifischen Vorwissens, zur Variation von Anwendungskontexten des Erlernten und zu emotionalen Aspekten des Lernens. Da die Gestaltung von Lernen im Wesentlichen die Darbietung, Strukturierung etc. von Inhalten und Bedeutung umfasst und die Aufklärung der neuronalen Kodierung von Wissen allenfalls in den Anfängen steckt, bleibt der Beitrag der Neurowissenschaften aber begrenzt und wird es wohl auch auf lange Sicht bleiben. Ein direkter Beitrag der Neurowissenschaften ist allenfalls, bei der Aufklärung physiologischer Ursachen für Lernschwächen zu erwarten. So konnten etwa für mit einer bestimmten Form der Lese-Rechtschreibschwäche verbundene Probleme, die Lautstruktur von Sprache zu segmentieren, hirnhysiologische Korrelate gefunden werden (Goswami 2003). Bisher ist aber die praktische Bedeutung auch solcher wichtigen Erkenntnisse der Neurowissenschaften begrenzt.

Welche Aktivitäten genau im Gehirn ablaufen bevor es zu einem entsprechendem Lernerfolg kommt, gehört zu den nach wie vor zu klärenden Fragen. Wenn neuronale Voraussetzungen fehlen, bleiben bewährte Lernumgebungen wirkungslos. Wenn keine Lerngelegenheiten zur Verfügung stehen, bleiben Menschen inkompetent. Die meisten Ursachen für Lernschwierigkeiten liegen zwischen diesen beiden Extremen und lassen sich mit der Lerngeschichte erklären. Hier hilft der Blick in die Neurophysiologie des Gehirns allein nicht weiter, selbst wenn es dereinst gelänge, die fehlenden neuronalen Verbindungen zu identifizieren. Um Menschen mit einer gescheiterten Lernkarriere eine neue Chance zu geben, müsste das ihnen fehlende Wissen möglichst genau beschrieben werden. Daneben müssten für sie Lernumgebungen geschaffen werden, welche den Erwerb des fehlenden Wissens ermöglichen.

Trotz erheblicher Fortschritte im Verständnis der physiologischen Grundlagen von Gedächtnisleistungen und Lernvorgängen lässt sich von einer Revolutionierung von Methodik und Didaktik durch die Neurowissenschaften bisher offensichtlich nicht sprechen. Es lassen sich Lernprobleme heute im Einzelfall – beim Vorliegen bestimmter physiologischer Bedingungen – neurowissenschaftlich erklären (z.B. durch eine physiologisch bedingte defizitäre Ausschüttung von Dopamin<sup>1</sup>). Außerdem lässt sich feststellen, welcher Teil des Gehirns bei der Bewältigung einer Aufgabe aktiviert wird, was im Einzelfall Rückschlüsse auf die Wirkung der vorliegenden Lernsituation und eine gezielte Modifikation der Aufgabenstellung (zur Erleichterung des Lernens) ermöglicht. Die Lernpsychologie und die Pädagogik werden aber nach wie vor insbesondere auf verhaltenswissenschaftliche Methoden und Erkenntnisse in der Forschung wie auch in der Lernpraxis angewiesen sein. Unterschiede in der Lernfähigkeit von Personen sind überwiegend auf Unterschiede in der Erfahrungs- und Lerngeschichte zurückzuführen. Konzepte zur Entwicklung geeigneter Lernverfahren und Methoden werden an dieser Geschichte d.h. letztlich dem mitgebrachten Vorwissen und der durch die individuelle Geschichte bedingten Lernwilligkeit oder Motivation anknüpfen müssen. Die Exploration von bestehenden Lernvoraussetzungen wie auch die Entwicklung hierauf abgestimmter methodisch-didaktischer Konzepte sind auf die Kommunikation und Beobachtung der Person angewiesen. Dass

---

<sup>1</sup> Im Volksmund auch „Glückshormon“ genannt.

Vorgänge des Lernens und Begreifens letztlich auf der physiologischen Ebene in unserem Gehirn realisiert werden, heißt nicht, dass sich diese, durch die Verarbeitung symbolisch codierter Bedeutung, charakterisierte Vorgänge neurobiologisch erklären lassen. Letztlich sind auch für die Erforschung der Anteile der biologischen Faktoren, die für Lernerfolg und Misserfolg herangezogen werden können, naturwissenschaftliche Methoden allein nicht ausreichend. Ob eine physiologische Auffälligkeit des Gehirns für Lernprobleme (oder besonderen Lernerfolg) verantwortlich ist, muss durch verhaltenswissenschaftliche Methoden – d.h. Methoden, die auf ein Verstehen von Sinn (Äußerungen und Handeln der Person) abzielen – festgestellt werden. Neurophysiologische Messungen werden erst durch die Heranziehung psychologischer Konzepte von Aufmerksamkeit, Motivation etc. umfassend interpretierbar.

Die Frage, welchen Beitrag die neurowissenschaftliche Forschung mittel- und langfristig zur Optimierung von Lernprozessen und der individuellen Lernleistung beitragen kann, ist somit zurzeit kaum seriös zu beantworten. Die unterstützende Funktion, die die neurowissenschaftlichen Erkenntnisse für die psychologische Lernforschung haben, kann – neben der Grundlagenforschung – als hinreichende Legitimation für das Forschungsfeld gelten. Weitergehende Erwartungen gar einer „neurowissenschaftlichen Revolution“ des Lernens bleiben reine Spekulation. Dass TA-Aktivitäten zu diesem Thema bisher kaum zu verzeichnen sind, ist sicherlich mit der bisher begrenzten lernpraktischen Bedeutung der „Neurodidaktik“ zu erklären.

### 2.1.2 Hirndoping/ Technische Interventionen

Anders stellt sich die Situation hinsichtlich pharmakologischer und technischer Verbesserungsmöglichkeiten von kognitiven Leistungen und Lernen dar. Das Thema ist in einigen TA-Studien zu den gesellschaftlichen Implikationen der Neurowissenschaften aufgegriffen worden (Hennen et al. 2008; Merkel et al. 2008). Vor allem aber spielt das Thema „Hirndoping“ in der kurzen, aber doch intensiven Befassung der TA mit dem Thema des „Human Enhancement“ eine zentrale Rolle und wird auch in einigen aktuell noch laufenden Studien thematisiert (Zonnefeld et al. 2008; Hennen et al. 2008; Merkel et al. 2007; Coenen et al. 2009). Die Nutzung von ursprünglich für medizinische Zwecke entwickelten Wirkstoffen zur pharmazeutischen Beeinflussung von Hirnvorgängen zum Zwecke des „Enhancement“ wird für verschiedene Anwendungsfelder diskutiert – so etwa zur Verbesserung der Stressbewältigung oder der Vigilanz<sup>2</sup> bei bestimmten Berufsgruppen (Piloten etc.) oder auch zur Beeinflussung von emotionalen Stimmungslagen. Die Diskussionen und TA-Aktivitäten zum Thema „Human Enhancement“ sollen im Folgenden kurz unter dem Gesichtspunkt der potentiellen Bedeutung für schulisches und außerschulisches Lernen skizziert werden.

Bekannt und viel zitiert in der Debatte ist die mittlerweile weit verbreitete Nutzung des für Aufmerksamkeitsdefizit-/ Hyperaktivitätsstörung(ADHS)-Patienten entwickelten Medikamentes „Ritalin“ durch Studenten (vorwiegend in den USA), um ihre Leistungsfähigkeit in Prüfungssituationen zu verbessern (Coenen et al. 2009, S. 80ff.). Der in Ritalin enthaltene, zur Gruppe der Amphetamine gehörende Wirkstoff Methylphenidat steigert Aufmerksamkeit, Konzentration und Durchhaltevermögen. Der Wirkstoff wird illegal auch unter dem Namen Speed verkauft. Neben dem Problem des Missbrauches als Hirndopingmittel wird in TA-Studien auch die Problematik einer zunehmenden Medikalisierung diskutiert, etwa von Aufmerksamkeits- und Konzentrationsschwächen bei Kindern, die bis dato als normal und der kindlichen Entwicklung entsprechend angesehen wurden. In allen westlichen Ländern hat die Nutzung von Ritalin enorm zugenommen.

Ob Methylphenidat und ähnlich wirkende Amphetamine tatsächlich die Leistung in Prüfungssituationen verbessern, ist aber durchaus nicht belegt. Vorliegende klinische Studien zeigen widersprüchliche Ergebnisse. In manchen Studien schneiden Probanden, die das Mittel eingenommen haben, sogar schlechter ab als nicht „gedopte“ Personen. Methylphenidat steigert jedoch nicht nur die Aufmerksamkeit, sondern auch

<sup>2</sup> In der Psychologie und Psychologie bezeichnet Vigilanz Zustände der Daueraufmerksamkeit oder Wachheit.

die Impulsivität, was offenbar dazu führt, dass manche Testpersonen sich selbst überschätzten und die im Test gestellten Aufgaben voreilig oder oberflächlich bearbeiteten.

Mittlerweile sind weitere Mittel, die die Regulierung von Botenstoffen im Gehirn beeinflussen und zur Entwicklung von neurodegenerativen Erkrankungen entwickelt worden sind, zur Liste potentieller Hirndopingmittel hinzugekommen (vgl. Franke, Lieb 2010). Präparate, die den Botenstoff Dopamin enthalten, werden zur Behandlung von Parkinson-Patienten zur Verminderung motorischer Störungen und von Schlaganfallpatienten zur Unterstützung des Wiederaufbaus des Arbeitsgedächtnisses genutzt. Dopamin besitzt auch für das Lernen eine wichtige Funktion, weil es durch das interne Belohnungssystem des Gehirns verstärkende Reize hervorruft. Untersuchungen an Testpersonen konnten zeigen, dass Dopamin das Lernen und Behalten von Vokabeln unterstützt (Knecht et al. 2004). Fraglich bleibt, ob auch über das assoziative Lernen hinausgehende komplexere Prozesse des verstehenden Lernens durch eine Erhöhung des Dopaminspiegels im Gehirn unterstützt werden können. Zu bedenken gegeben wird, dass Dopamin den Aktivierungszustand des Gehirns unspezifisch erhöht und die erhöhte Assoziationsfähigkeit zu einer unregulierten Aufnahme und Speicherung von irrelevanten Informationen führen kann, während es bei verstehendem Lernen gerade auf die richtige Auswahl und Verknüpfung von Informationen ankommt. Donepezil, das den Acetylcholinpiegel im Gehirn beeinflusst, wird zur Behandlung von Alzheimer eingesetzt, da der Abbau der Gedächtnisleistung auf den im Alter sinkenden Acetylcholinpiegel zurückgeführt wird. Acetylcholin wird im Gehirn in Phasen erhöhter Aufmerksamkeit ausgeschüttet. Untersuchungen zur Verbesserung der Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit bei gesunden Personen erbrachten bisher keine eindeutigen Ergebnisse. Es zeigt sich in einigen Studien, eine leichte Verbesserung der Merkfähigkeit, die mit positiven Effekten auf die Aufmerksamkeit erklärt werden kann, aber den durch Nikotin erzeugten Effekt nicht übersteigt. In anderen Untersuchungen zeigten sich gegenteilige Effekte: Versuchspersonen mit Donepezil schnitten in Aufmerksamkeitstests schlechter ab als die Kontrollgruppe. Untersuchungen zum Einsatz des zur Behandlung von Schlafstörungen genutzten Wirkstoffes Modafinil bei gesunden Personen zur Verbesserung der Aufmerksamkeit, zeigen ähnlich widersprüchliche Ergebnisse.

Insgesamt kann somit derzeit nicht von einer wissenschaftlich belegten, erfolgreichen pharmakologischen Intervention in das Gehirn zur Steigerung kognitiver Leistungen oder gar der Verbesserung langfristiger Lernprozesse gesprochen werden. Neben den unklaren oder geringfügigen Effekten wird gegen die Annahme einer zukünftig weitverbreiteten Nutzung der Mittel zum Alltagsdoping auf die zum Teil erheblichen Nebenwirkungen hingewiesen.

Als Möglichkeiten der technischen Intervention zur Verbesserung von Lernleistungen sind die Transkranielle Magnetische Stimulation (TMS) und die Methode des „Neurofeedback“ in der Diskussion (vgl. Hennen et al. 2008; Hüsing et al. 2006). Es ist bekannt, dass hochfrequente TMS-Impulse auf den frontalen Kortex zur Stimmungsaufhellung führen können, was die Methode interessant für die Behandlung von Depressionen erscheinen lässt. Darüber hinaus konnten kurzfristige Einflüsse auf die kognitive Leistungsfähigkeit (z.B. räumliches Vorstellungsvermögen) experimentell gezeigt werden (Hüsing et al. 2006). Einige Studien zur Möglichkeit der Steuerung kognitiver Leistungen durch „Neurofeedback“, scheinen auf die Möglichkeit einer selbstgesteuerten Verbesserung der Konzentrationsfähigkeit hinzuweisen. Beim Neurofeedback wird die eigene Gehirnaktivität beeinflusst, indem Gehirnaktivität kontinuierlich erfasst und in Form von akustischen oder visuellen Signalen rückgemeldet wird. Die Technologien werden auch bei Aufmerksamkeits- und Hyperaktivitätsstörungen genutzt – um die betroffene Person darauf zu trainieren, beim Auftreten bestimmter Störungsmuster durch Selbstregulation normale Aktivierungsmuster herzustellen –, und sie finden auch in anderen Bereichen Anwendung. Inwieweit hiermit die Möglichkeit einer unspezifischen Steigerung kognitiver Leistungen und der Lernfähigkeit besteht, ist unzureichend untersucht. Trotz der wissenschaftlich nicht belegten Wirksamkeit der Methode, scheint sie auf reges Interesse zu stoßen und wird vereinzelt bereits kommerziell zur Nutzung für die Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit angeboten. (<http://openeeg.sourceforge.net/doc/>). Auch in Deutschland wird die Methode über die

Behandlung von ADHS hinaus mit einer angeblichen „Verbesserung der Hirnleistung bzw. Konzentration zum Beispiel in Sport oder Beruf“ beworben (<http://www.akademie-neurofeedback.de/neurofeedback>).

## 2.2 Neurowissenschaften und Justiz

Da Neurowissenschaften sich zentral mit den physiologischen Grundlagen menschlichen Wahrnehmens, Verhaltens, Kommunizierens, Erinnerens und Fühlens befassen, ist eine Relevanz der Neurowissenschaften für die Justiz und Rechtsprechung in vielfacher Weise vorstellbar. Dies betrifft z.B. die Aspekte der Rekonstruktion von strafrechtlich relevanten Motiven und Verhalten und der unterschiedlichen Sichtweisen von Beteiligten und vor allem die Frage der Schuldhaftigkeit von Handlungen und der Schuldfähigkeit von Akteuren.

Was die Frage der Schuldfähigkeit angeht, berührt die neurowissenschaftliche Grundlagenforschung (etwa in der Untersuchung der hirn-physiologischen Determiniertheit von Handlungen) das Problem des freien Willens. Hierzu hat gerade in Deutschland eine intensive philosophische Diskussion stattgefunden, in denen von Neurowissenschaftlern wie Gerhard Roth eine Revision unserer alltagsweltlichen und strafrechtlichen Konzepte von Schuld gefordert wurde, da die Neurowissenschaften zeigten, dass der freie Wille als eine illusorische Begleiterscheinung des ansonsten neurophysiologisch determinierten menschlichen Handelns aufzufassen sei. Die empirische Untermauerung dieser These muss – wie ein Durchgang durch die Debatte zwischen Neurowissenschaftlern und Philosophen (vgl. z.B. Hennen et al. 2008, S. 64ff.; siehe auch Hüsing et al. 2006, S. 245ff.) zeigt – als bisher nicht gegeben angesehen und als wohl kaum in naher Zukunft (wenn überhaupt) zu lösende Aufgabe an die neurowissenschaftliche Grundlagenforschung zurückadressiert werden. Diese spekulativ-philosophische Thematik kann als – soweit auf dem Stand der aktuellen Forschung möglich – weitgehend aufgearbeitet angesehen werden. Daneben kursieren Vorstellungen einer technischen Intervention in neuronale Prozesse mit potentieller Relevanz für den Bereich der Rechtsprechung, die aber über ein „Man könnte sich vorstellen...“ nicht hinauskommen, so z.B. die gelegentlich in der Debatte um das kognitive Enhancement aufgeworfene Frage nach einer pharmakologisch induzierten Erweiterung menschlicher Erinnerungsfähigkeit, die die Reliabilität von Zeugenaussagen verbessern könnte. Hier kommen ernsthafte Erörterungen der Struktur des menschlichen Gedächtnisses und der Speicherung und Verarbeitung von Erinnerungen zu dem schlichten Schluss, dass in absehbarer Zeit eine künstliche Verbesserung oder Verstärkung des Erinnerungsvermögens von Zeugen wohl kaum möglich sein werde. Was vergessen wurde, ist vergessen, und jegliche Methode der Rekonstruktion aus Erinnerungsfragmenten, sei es durch Befragungstechniken oder künstliche Mittel, ist mit dem Problem einer möglichen Verfälschung von Erinnerung belastet (Wagenaar 2008).

Während also im Falle des „Memory Enhancement“ und der Debatte um den freien Willen wegen des weitgehend spekulativen Charakters eine direkte Einwirkung auf die juristische Praxis zur Zeit und auch in naher Zukunft kaum zu erwarten ist, hat das zentrale technische Hilfsmittel der modernen Neurowissenschaften, das Neuroimaging (s. dazu auch den Kasten in der Einleitung), zu Diskussionen auch in juristischen Fachkreisen geführt. In diesen Diskussionen wird der „Hirnscan“ z.T. als an der Schwelle zur Einführung in den Gerichtssaal als neues technisches Beweismittel angesehen. Mit Neuroimaging-Verfahren wird die Vorstellung verbunden, Zugang zu Strukturen und Prozessen erlangen zu können, die dem Individuum selbst verborgen und damit einer bewussten Steuerung nicht zugänglich, die aber beim Zustandekommen mentaler Prozesse des Denkens und Fühlens und der Steuerung des Verhaltens (vielleicht entscheidend) beteiligt sind. Es kann nicht verwundern, dass die Vorstellung, solche Verfahren im Gerichtssaal einzusetzen, großes Interesse weckt, da es dort ja ganz zentral um die Erkundung der „wahren“ Beweggründe, des Grades der Verantwortlichkeit für eigenes Verhalten und um die Scheidung von Wahrhaftigkeit und Lüge geht. Zudem hat der Einsatz bildgebender Verfahren in den Neurowissenschaften zu einem besseren Verständnis der neurologischen Basis psychischer Störungen, von Sucht und anderer mentaler Zu-

stände geführt, die von Belang in der Strafverfolgung sind.

Unterschieden werden können im Wesentlichen drei Nutzungsmöglichkeiten von Neuroimaging im juristischen Kontext:

- Die Anwendung zur Feststellung der Schuldfähigkeit oder zum Risiko des Begehens einer Straftat aufgrund einer psychischen Störung.
- Die Anwendung zur Feststellung der Wahrhaftigkeit oder Unwahrhaftigkeit von Zeugenaussagen oder Aussagen des Angeklagten bei der Ermittlung und im Strafprozess.
- Die Nutzung von bildgebenden Verfahren zur Feststellung von psychischen Beeinträchtigungen durch eine Straftat etwa in Schmerzensgeldverfahren.

Während in den USA eine intensive Diskussion bereits seit langem im Gange ist und die vorsichtige Adaption des Neuroimaging für die Feststellung von Schuld und Wahrheit in den amerikanischen Gerichtssälen, bereits begonnen zu haben scheint – zumindest Fälle, in denen Anklage oder Verteidigung die Zulassung von Neuroimaging zur Feststellung der Schuldfähigkeit von Angeklagten beantragt haben, sind aktenkundig (Brown, Murphy 2010) – hat die Debatte in Deutschland die juristische Fachdiskussion noch nicht erreicht (vgl. aber, als Ausnahmen, die knappen Erörterungen in Spranger 2007; Beck 2006). An TA-Untersuchungen im engeren Sinne ist nur die Studie zum Neuroimaging von Hüsing et al. (2006, S. 153ff.) zu nennen, in der sich ein kurzes Kapitel zum Thema findet.

Die Diskussion in den USA um die Nutzung von modernen Verfahren der Neurowissenschaften bei der Strafverfolgung und in der Rechtsprechung kann hingegen durchaus als lebhaft bezeichnet werden. Seit 2007 (bis voraussichtlich 2011) läuft ein von der Mac Arthur Foundation gefördertes, groß angelegtes Forschungsprojekt, „The Law and Neuroscience Project“, an dem ca. 40 Neurowissenschaftler, Juristen und Philosophen aus mehreren amerikanischen Universitäten beteiligt sind<sup>3</sup>. Das Projekt führt seit 2007 (z.T. in Kooperation mit dem National Judicial College) regelmäßig Fortbildungsveranstaltungen für Richter („Neuroscience for Judges“) durch, bei denen es neben der Diskussion genereller juristisch relevanter Einsichten aus den Neurowissenschaften (etwa zur Wirkung von Drogenabhängigkeit) auch um eine Diskussion des Pro und Contra des Einsatzes von Neuroimaging-Verfahren zur gerichtlichen Wahrheitsfindung geht. Im Rahmen des Projekts wurde auch eine fortlaufend aktualisierte Bibliographie zum Thema erstellt (<http://www.lawneuro.org/Resources/Bibliography.aspx>). Sie weist allein für das Jahr 2010 (Stand 20. Oktober 2010) immerhin gut 100 wissenschaftliche Publikationen aus, die dem Thema „Neurowissenschaften und Rechtsprechung“ zuzuordnen sind. Darunter sind auch eher allgemeine Erörterungen z.B. zur Frage des freien Willens oder zu Schuldfähigkeit aufgrund von Hirnschädigungen zu finden. Immerhin aber lassen sich anhand der Titel der Publikationen über 30 Beiträge identifizieren, die sich eindeutig mit der Frage der Auswirkungen neurowissenschaftlicher Erkenntnisse auf die Rechtsprechung befassen.

### **2.2.1 Der Einsatz bildgebender Verfahren zur Feststellung von Schmerz**

Die Nutzung von bildgebenden Verfahren im Falle von Schmerzensgeldklagen erfährt erst seit kurzem eine gewisse Aufmerksamkeit in der (amerikanischen) Diskussion um „Neurosciences and the Law“. Wesentlich angeregt wurde die Diskussion durch einen 2009 in Science veröffentlichten Bericht über einen für eine Schmerzensgeldklage erstellten fMRI-Scan. Die von der Vertretung des Klägers angeforderte Computertomographie sollte beweisen, dass ein Chemiarbeiter nach einem Betriebsunfall aufgrund der erlittenen Verbrennungen unter starken chronischen Schmerzen litt. Bevor die Frage zu klären war, ob der Scan vor Gericht als Beweismittel zugelassen werden konnte, kam es zu einer außergerichtlichen Einigung zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer (Miller 2009).

---

<sup>3</sup> Nähere Informationen unter [www.lawneuro.org](http://www.lawneuro.org)

Die Auseinandersetzung mit der Gerichtsverwertbarkeit von Hirnscans zur Feststellung von Schmerzerfahrung kommt insgesamt zu dem Ergebnis, dass der bisherige Stand der Forschung, die Nutzung von Hirnscans in Schmerzensgeldverfahren nicht sinnvoll erscheinen lasse. Dennoch wird vereinzelt die These vertreten, dass gerade wegen der enormen finanziellen Bedeutung von Schmerzensgeldverfahren (etwa bei Arbeitsunfällen, Produkthaftung, ärztlichen Kunstfehlern etc.) die Feststellung von Schmerzerfahrung das Einfallstor von fMRI-Scans in Gerichtsverfahren darstellen könnte. Auch wenn die gewonnenen Aussagen unsicher seien, könnten sie doch als willkommenes Hilfsmittel im Gerichtsverfahren angesehen werden (Kolber 2011, S. 14).

Ein Beitrag zum Thema, der im Rahmen einer vom oben genannten „The Law and Neuroscience“ Projekt publizierten Informationsschrift für Richter „A Judge’s Guide to Neuroscience: A Concise Introduction“ erstellt wurde (Fields 2010), kommt zu einer recht kritischen Einschätzung der juristischen Brauchbarkeit von FMRI in Schmerzensgeldverfahren. Es sei zwar theoretisch vorstellbar, dass man ein bestimmtes Muster der Hirnaktivität als Indikator für die Schmerzerfahrung eines Individuums erfassen kann, allerdings: „to my knowledge, no direct experimental test of this approach has yet been carried out“ (Fields 2010, S. 32). Wie auch in anderen Auseinandersetzung mit dem Thema angemerkt wird (Kolber 2011; Goodenough, Tucker 2010), ist zwar Einiges über die neuronalen Korrelate von Schmerzerfahrungen bekannt, aber wegen der hohen individuellen Variabilität von Hirnscans sind die Erkenntnisse kaum geeignet, Aussagen zu Grad und Art von Schmerzerfahrungen im Einzelfall zuzulassen. D.h. die Erkenntnisse zu den mit Schmerzerfahrung korrelierten Hirnaktivitätsmustern lassen es in keinem Fall zu, etwa im Kontext einer Klage wegen chronischer Schmerzen nach einem Arbeitsunfall, wie im oben zitierten Fall, von einem bestimmten im Hirnscan gewonnenen Hirnaktivitätsmuster mit hinreichender Sicherheit auf das Vorhandensein und den Grad von Schmerzerfahrung zu schließen. Auch zeigten Versuche, Schmerzerfahrung sozusagen zu „kalibrieren“, indem man Probanden eine Einordnung unterschiedlicher Schmerzreize auf einer Skale abverlangt, regelmäßig erhebliche subjektive Abweichungen, die eine „Standardisierung“ von Schmerz unmöglich erscheinen lassen. Schmerz ist eine subjektive Erfahrung und es sei bisher auch unklar, in welchem Maße vorgestellter Schmerz die gleichen Aktivitätsmuster wie tatsächlich erfahrener Schmerz hervorrufen kann, womit eine Manipulation von Schmerz-Scans nicht ausgeschlossen werden könne.

Es bleibt festzuhalten, dass es offenbar möglich ist, in einer experimentellen Situation nach Verabreichung eines bestimmten Schmerzreizes (etwa ein Nadelstich) aus dem Muster der Hirnaktivität unmittelbar nach dem Reiz vorherzusagen, dass die Versuchsperson berichten wird, Schmerz erfahren zu haben. Inwiefern und wann sich aus diesen Ansätzen ein gerichtsfestes Verfahren zur Feststellung (chronischer) Schmerzerfahrung herleiten lässt, ist derzeit kaum zu prognostizieren. Auf der einen Seite wird erwartet, dass das Verfahren – schon weil die Validität der Ergebnisse von einer Jury von Laien kaum zu beurteilen sein wird und es daher geeignet erscheint Richter und Jury zu voreiligen Schlüssen zu veranlassen - analog zum Lügendetektor nach „Rule 403“ der „Federal rules of evidence“ als nicht gerichtsverwertbar eingeordnet werden müsse (Miller 2009). Auf der anderen Seite scheint das Thema aber die kleine Gemeinde der Rechtsexperten, die sich damit befassen, zu allen möglichen Spekulationen anzuregen. So etwa reflektiert Prof. Adam Kolber von der Brooklin Law School ungeachtet eigener eher kritischer Einschätzungen der Reliabilität des Verfahrens (Kolber 2011) doch auf der anderen Seite bereits darüber, ob in Zukunft nicht auch das Strafmaß, entsprechend unterschiedlicher subjektiver Verarbeitung von Schmerz- oder Stresserfahrungen vom Richter individuell angepasst bemessen werden müsse (nach Goodenough, Tucker 2010, S. 71).

### **2.2.2 Der Einsatz bildgebender Verfahren zur Feststellung der Schuldfähigkeit**

Die amerikanische rechtswissenschaftliche Diskussion zum Einsatz von Neuroimaging zur Ermittlung der Schuldfähigkeit ist von Brown und Murphy (2010) kürzlich in einem umfangreichen Artikel für *Stanford Law Review* aufgearbeitet worden.

Belastbare Aussagen dazu, in wie vielen Fällen Neuroimaging in den USA in Gerichtsverfahren genutzt oder beantragt wurde, sind kaum zu machen. Brown and Murphy (2010, vgl. zum Folgenden: S. 1132f.) berichten von einem Fall, in dem eine Positronen-Emissions-Tomographie (PET) genutzt wurde, um die verminderte Schuldfähigkeit eines Angeklagten zu beweisen. PET zeigte eine Anomalität im Frontallappen, die in Verbindung mit einer starken depressiven Störung gebracht wurde. Der Hirnscan wurde aber offenbar im Verfahren nicht zugelassen. Zurzeit ist eine Recherche des „Law and Neurosciences“-Projekts im Gang, um Fälle zu erfassen, in denen der Einsatz von Neuroimaging in Gerichtsverfahren beantragt oder zugelassen wurde. Es lässt sich dem Artikel von Brown and Murphy bzw. der Website des Projekts bisher aber nichts zur Zahl der Verfahren entnehmen. Die Debatte ist anscheinend aber durchaus lebhaft. Brown und Murphy verweisen außerdem auf einen Artikel in der New York Times, in dem ein Neurowissenschaftler berichtet, dass er wegen der zahlreichen Anfragen von Gerichten von seiner Arbeit als „Forensic Neuroscience Consultant“ leben kann.

In diesem Zusammenhang gehören Überlegungen zum Einsatz insbesondere des technisch anspruchsvolleren fMRT-Verfahrens in der Verhandlung von „Mens-Rea“-Fällen, d.h. wenn die Verteidigung darauf plädiert, dass der Angeklagte nicht schuldig ist, weil er aufgrund einer psychischen Störung oder geistigen Behinderung kein Schuldempfinden für seine Tat haben könne. Bisher kann nur aus dem Verhalten eines Angeklagten auf seine Schuldfähigkeit geschlossen werden. Hirnscans erscheinen hier überlegen, weil von ihnen erhofft wird, die Schuldfähigkeit oder die geistige Störung aus dem Hirn ablesen zu können. In der Diskussion ist laut Brown and Murphy (die jeweils auf Gerichtsverfahren verweisen) der Einsatz von Neuroimaging für die Schmerzfeststellung in Schadensersatzverfahren, für die Feststellung der Notwendigkeit von Sicherungsverwahrung und eben auch bei der Schuldfähigkeitsfeststellung. Beantragt wurde Letzteres in den USA, soweit ersichtlich, bereits bei Verfahren zu Kindesentführung und Mord, aber auch bei Jugendstrafsachen.

Bildgebende Verfahren sind mit einer Reihe von technischen Problemen behaftet, die die Interpretation der Ergebnisse äußerst schwierig machen.

In ihrer Bewertung der Nützlichkeit von insbesondere fMRT-Scans für die Feststellung von Schuldfähigkeit, diskutieren Brown und Murphy (2010) eine Reihe dieser technischen Probleme. Zu diesen zählen z.B. die Schwierigkeiten, das eigentliche Signal – d.h. die Reaktion auf den dem Probanden vorgelegten Reiz – von zahlreichen Störsignalen zu differenzieren, die z.B. durch unwillkürliche Körperbewegungen (wie dem Schlucken) auftreten können.

Als zentralen Schwachpunkt machen sie aber das bisher unzureichende Wissen über individuelle Unterschiede in der hirnphysiologischen Reaktion und Verarbeitung von Reizen aus. In der Hirnforschung besteht das wesentliche Ziel darin, die normale oder durchschnittliche Hirnaktivität zu ermitteln, die einem bestimmten Verhalten (z.B. Aggressivität) oder Empfinden zugrunde liegt. Dazu werden die Ergebnisse aus vielen individuellen Hirnscans gemittelt. Im Gerichtsverfahren kommt es dagegen darauf an, die besondere individuelle Reaktion des Angeklagten oder Zeugen zu ermitteln. Dies ist insofern problematisch als verschiedene Experimente aus der Hirnforschung zeigen, dass individuelle Hirnscans für die gleiche Testsituation oft erheblich von den als Referenz ermittelten Gruppen- oder Durchschnittskarten des Gehirns abweichen können (Brown, Murphy 2010, S. 1152).

Brown und Murphy kommen aufgrund ihrer detaillierten Diskussion der Nutzung von fMRT zur Feststellung von Schuldfähigkeit zu dem Schluss, dass das Verfahren zurzeit wegen der erheblichen Mängel die bestehenden Standards für den Einsatz technischer Verfahren als Beweismittel nicht erfüllt. Es mangle wegen des unzureichenden Verständnisses der Varianz von Messergebnissen an Beweiskraft. Fehlurteile auf der Basis von Hirnscanergebnissen seien daher sehr wahrscheinlich.

### 2.2.3 Neuroimaging als „Lügendetektor“

fMRT ist neben der Nutzung zur Feststellung von Schuldfähigkeit auch für die Feststellung der Wahrhaftigkeit von Aussagen in der Diskussion. Der Debatte um die potentielle Nutzbarkeit von Neuroimaging zu diesem Zweck sind die alten Diskussionen um den Lügendetektor vorangegangen. Bekanntlich ist die Validität der durch den Lügendetektor erzielten Ergebnisse umstritten, weshalb er in Europa (und auch speziell in Deutschland) als Beweismittel in Strafverfahren nie zugelassen war. Selbst in den USA hat es nie eine offizielle Zulassung als Beweismittel gegeben, dort ist aber wegen des gelegentlichen Einsatzes durch Strafverfolgungsbehörden die Diskussion nie zu einem Ende gekommen. In der Debatte um den Einsatz von Neuroimaging-Verfahren zum Nachweis von Falschaussagen ist der Verweis auf den klassischen Lügendetektor, den sog. Polygraphen, üblich. In der Regel dient er aber als negative Referenz, da die modernen Verfahren angeblich eine wesentliche Schwäche des Polygraphen nicht aufweisen. Sie sollen „objektiv“ in dem Sinne sein, dass die gemessene Hirnaktivität und damit das gemessene Signal nicht vom Probanden (Verdächtigen) beeinflussbar sind. Ein Verdacht unter dem die Messergebnisse des Polygraphen – der körperliche Indikatoren von Anspannung und Nervosität aufzeichnet (z.B. Blutdruck) – immer gestanden haben. Es wird in den folgenden Aufzeichnungen nicht überprüft werden können, inwieweit diese behauptete „Objektivität“ haltbar ist. Gründe für erhebliche Zweifel daran spielen aber in der Diskussion um die juristische Nutzung des Neuroimaging eine zentrale Rolle. Die Debatte war bereits Gegenstand einer sozialwissenschaftlichen Untersuchung zur sozialen Konstruiertheit der „Objektivität“ der Lügendetektion durch Hirnscans (Littlefield 2009).

Der Vorschlag, fMRT zur Strafverfolgung und im Gerichtsverfahren analog zum Lügendetektor einzusetzen, stützt sich auf eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Versuchen, die die Möglichkeit eines Nachweises der Unwahrhaftigkeit von Aussagen durch Messung der Hirnaktivität mittels fMRT nahelegen (s. z.B. Langleben et al. 2002; Ganis et al. 2003; Spence et al. 2004; Greene, Paxton 2009). Diese verschiedenen Hirnscan-Experimente basieren auf der Annahme, dass Lügen sozusagen „mental anspruchsvoller“ ist als Ehrlichkeit, weil zum einen die Wahrheit willentlich zurückgehalten werden muss und zum anderen in komplexen Situationen wie im Gerichtsverfahren ein konsistentes Gebäude aus Falschaussagen, die nicht mit offensichtlichen Tatsachen kollidieren dürfen, konstruiert und aufrecht erhalten werden muss. In der Tat konnte in wissenschaftlichen Experimenten gezeigt werden, dass bei wissentlichen Falschaussagen im Gegensatz zu einer wahrhaftigen Aussage eine erhöhte Hirnaktivität in den exekutiven, für Planung und Handeln zuständigen Regionen des Präfrontalen Cortex<sup>4</sup> festzustellen ist. Hierauf umstandslos auf eine Brauchbarkeit von fMRT in Strafverfahren, zum Zwecke der Lügendetektion zu schließen, ist aber höchst fragwürdig. Zum einen müssen die technischen Probleme von Hirnscans, die Brown und Murphy (2010) für eine Bewertung des Einsatzes von fMRT für „Mens-Rea“-Verfahren durchgeführt haben, auch für den Zweck der Lügendetektion als relevant angesehen werden (also z.B. Störungen des Signals und eine große Varianz von Ergebnissen zwischen Individuen). Vor allem aber wird in Frage gestellt, ob die in den wissenschaftlichen Experimenten an einfachen Entscheidungssituationen gewonnenen Einsichten überhaupt auf die Realsituation in einem Strafverfahren übertragen werden können. So besteht beispielsweise ein typisches Hirn-scan-Experiment zum Beweis von Hirnaktivität bei Falschaussagen darin, dass ein Proband in einem Computertomographen per Knopfdruck („falsch“ oder „richtig“) über die Farbe einer ihm gezeigten Spielkarte gegenüber einer dritten Person lügen soll (Langleben et. al. 2002). Ob die Ergebnisse aus einer so künstlichen und einfachen Situation mit Freiwilligen auf komplexe Situationen mit Personen, die unter hohem Risiko der Strafverfolgung antworten, übertragen werden kann, wird bezweifelt und derzeit als in keiner Weise ausreichend validiert angesehen. Zudem müsse z.B. in Rechnung gestellt werden, dass es sich bei den wissenschaftlichen Experimenten nicht wirklich um Lügen, sondern um „instruierte Lügen“

<sup>4</sup> Der Präfrontale Cortex wird als oberstes Kontrollzentrum für eine situationsangemessene Handlungssteuerung angesehen und ist gleichzeitig intensiv an der Regulation emotionaler Prozesse beteiligt.

handele (Schauer 2009). Entsprechend ist bisher auch, soweit ersichtlich, kein Fall dokumentiert worden, bei dem die Nutzung von fMRT in einem Strafverfahren beantragt wurde (New 2008). Dennoch hat offenbar im Zuge verstärkter Sicherheitsanstrengungen nach dem 9. September 2001 auf der Ebene der Behörden in den USA eine Debatte um den Einsatz von Hirnscans in der Terroristenverfolgung eingesetzt. Eine im Jahr 2009 veröffentlichte sozialwissenschaftlich Studie zur Debatte um Hirnscans und Sicherheitsfragen in den USA ab 2001, führt eine ganze Reihe von Dokumenten und Presseartikeln an, die sich mit der Möglichkeit des Einsatzes von fMRT und „Brain Fingerprinting“ (s.u.) in der Terroristenverfolgung befassen (Littlefield 2009).

In Deutschland sind nur vereinzelt Stimmen laut geworden, die die Möglichkeit eines Einsatzes von fMRT als zusätzliches Beweismittel erwägen, so z.B. bei einer im Jahr 2007 an der Universität Bonn durchgeführten Tagung „Von der Neuroethik zum Neurorecht“ (vgl. Schleim et al. 2007). Bei einer Tagung des Deutschen Ethikrates zum Thema „Der gläserne Mensch“ wurde die Frage „Gedankenlesen mittels Hirnscans“ in zwei Beiträgen kurz angesprochen und auf die Möglichkeiten der Rückschlüsse von Aktivierungsmustern des Gehirns auf mentale Inhalte hingewiesen. Die Anwendbarkeit im Gerichtsverfahren wurde wegen der bestehenden wissenschaftlichen Probleme der Interpretation von Hirnscans und der mangelnden Übertragbarkeit von Labortests auf die Situation im Strafverfahren in Zweifel gezogen (Deutscher Ethikrat 2009). Von Fällen einer Nutzung von fMRT zur Lügendetektion im Gerichtsverfahren wurde bisher nicht berichtet. Nach Einschätzungen in der Fachliteratur ist auch kaum damit zu rechnen, dass in naher Zukunft die offiziellen Standards zur Zulassung technischer Beweismittel (wie etwa peer-review-gestützte Validität) erfüllt werden können (New 2008; Brown, Murphy 2010). Allerdings zeichnet sich eine neue Linie des (kommerziellen) Einsatzes von fMRT zur Testung von Wahrhaftigkeit ab, die bisher kaum ausführlich diskutiert worden ist. Es lassen sich in den USA mindestens zwei Unternehmen identifizieren – „Cephos. Lie detection services“<sup>5</sup> und „No Lie MRI“<sup>6</sup> –, die einen Nachweis von Wahrhaftigkeit mittels fMRT auch zu privaten Zwecken anbieten, etwa in beruflichen Konfliktsituationen. Die Firma Cephos wirbt auf ihrer Website mit dem Slogan: *“If your word, reputation or freedom is in dispute, contact the Cephos team today.”* Die Firma No Lie MRI bietet ihre Dienste u.a. Arbeitgebern zum Zwecke des *“employment screening”* an. Die Firma behauptet, dass es – anders als für den klassischen Lügendetektor (Polygraph) – in den USA kein Verbot zur Nutzung von fMRT-Scans in Einstellungsverfahren gebe:

*“U.S. law prohibits truth verification/ lie detection testing for employees that is based on measuring the autonomic nervous system (e.g. polygraph testing). No Lie MRI measures the central nervous system directly and such is not subject to restriction by these laws. No Lie MRI is unaware of any law that would prohibit its use for employment screening.”<sup>7</sup>*

Inwieweit das Verfahren tatsächlich bereits durch Arbeitgeber genutzt wird, lässt sich nicht feststellen. Zumindest eine weite Verbreitung erscheint aber unwahrscheinlich. Sollte sich aber ein entsprechendes Szenario realisieren, liegt es auf der Hand, dass sich hierdurch eine Diskussion über Eingriffe in Persönlichkeitsrechte (ähnlich etwa zu der Debatte über die Nutzung von Gentests bei Einstellungsgesprächen und -untersuchungen) ergeben würde.

## 2.2.4 „Brain Fingerprinting“

Bezüglich der Überprüfung der Wahrhaftigkeit von Aussagen bei der Ermittlung und im Strafverfahren ist neben fMRT ein als „Brain Fingerprinting“ bezeichnetes Verfahren in der Diskussion, das anscheinend immerhin in zwei Fällen vor Gericht als angeblich zuverlässiger Weg *„of determining an individual’s truth-*

<sup>5</sup> [www.cephoscorp.com](http://www.cephoscorp.com)

<sup>6</sup> [www.noliemri.com](http://www.noliemri.com)

<sup>7</sup> Zitiert nach <http://www.noliemri.com/customers/GroupOrCorporate.htm>, 1.12.10

*fulness*“ eingeführt wurde (New 2008, S. 180). Bei diesem Verfahren wird mittels EEG ein neurologisches Phänomen gemessen, das als P300-Welle bezeichnet wird. Es handelt sich um eine Welle elektrischer Hirnaktivität von einigen hundert Millisekunden Dauer, die als Reaktion auf einen Stimulus auftritt, der in Beziehung mit bereits im Gedächtnis gespeicherter Information steht. Es wird postuliert, dass das Auftreten der Welle indiziert, dass der Stimulus, beispielsweise ein Tatwerkzeug, dem Probanden bekannt ist – die P300-Welle wird also sozusagen als „Bekanntheitsindikator“ interpretiert. Bei der meist propagierten (und mittlerweile patentierten) Methode handelt es sich um ein als MERMER („Memory and Encoding Related Multifaceted Electroencephalic Response“) bezeichnetes Verfahren (Farwell, Smith 2001), bei dem die P300-Welle neben anderen EEG-Parametern gemessen wird. Dem Verfahren liegt der als Standard schon für den Polygraphen entwickelte so genannte „Guilty Knowledge Test“ zugrunde (Littlefield 2009). Dabei wird der Proband oder Verdächtige während der Messung mit drei Typen von Stimuli (Gegenstände wie Werkzeuge, aber z.B. auch Bilder und Worte) konfrontiert: Solchen die in Beziehung zur Tat stehen und dem Verdächtigen (vorgeblich) nicht bekannt sind, solchen die in Beziehung zur Tat stehen, aber dem Verdächtigen bekannt sind, weil sie bereits eine Rolle im Verfahren spielten und schließlich solchen, die in keinerlei Beziehung zur Tat stehen. Der Verdächtige soll jeweils mittels Knopfdruck artikulieren, ob ihm die Gegenstände bekannt oder unbekannt sind. Die gemessene P300-Reaktion soll sich dann, wenn der Verdächtige etwa ein Tatwerkzeug erkennt, signifikant von der Reaktion auf die anderen beiden Typen von Stimuli unterscheiden.

New (2008) berichtet, dass entgegen der Versicherung der Befürworter des Verfahrens die von Farwell und Smith (2001) erzielten Ergebnisse bisher nicht in anderen Untersuchungen repliziert wurden. Darüber hinaus gebe es einige systematische Schwächen des Verfahrens, die es allenfalls für sehr spezielle Fälle als geeignet erscheinen lässt. Das gemessene neurologische Phänomen sage offenbar nichts über die Natur des Wissens aus, das der Befragte hat. Die neuronale Reaktion werde immer gleich ausfallen, ob es sich nun um den Täter handelt, um einen Zeugen oder um eine Person, die später Kenntnis von Aspekten des Verfahrens erhalten hat. Der Stimulus müsse also sehr spezifisch ausgewählt werden, was erheblich detailliertes und in der Regel nicht verfügbares Wissen der Behörden über den Tathergang voraussetze. Trotz dieser Restriktionen und der generell bescheidenen wissenschaftlichen Validierung des Verfahrens ist es aber, wie bereits erwähnt, offenkundig in mindestens zwei Fällen als Beweismittel in ein Verfahren eingebracht worden. In beiden Fällen ging es um Anträge auf Wiederaufnahme des Verfahrens nach Verurteilung in einem Mordfall. In einem Fall wurde das von einem der Urheber des MERMER-Verfahrens (dem erstgenannten Autor von Farwell, Smith 2001) eingebrachte Gutachten – das zeigen sollte, dass der Verurteilte über kein tatrelevantes Wissen verfügte – vom Gericht als nicht den Standards für technische Beweismittel entsprechend zurückgewiesen. Im zweiten Fall wurde es vom Gericht zugelassen, dann aber von der übergeordneten Instanz als unzulässig zurückgewiesen. In diesem Fall erfolgte ein Freispruch aufgrund anderer Beweismittel. Bisher scheint es bei diesen Fällen geblieben zu sein und die von New (2008) berichtete Diskussion unter Fachleuten, die die mangelnde wissenschaftliche Fundiertheit des Verfahrens anzweifeln, lässt es als unwahrscheinlich erscheinen, dass dem Brain Fingerprinting in naher Zukunft mehr als diese episodische Gerichtsrelevanz beschieden sein wird. Sollte sich das Verfahren als valide erweisen, stellte sich laut New (2008) die Frage, ob die Ergebnisse des EEG als „Aussage“ oder als „physical evidence“ (als Indizienbeweis) angesehen werden müssen. Sollte Ersteres zutreffen, würde der Einsatz möglicherweise gegen das Prinzip verstoßen, dass Angeklagte nicht zu einer Aussage gegen sich selbst verpflichtet sind.

## 2.3 Neuromarketing

Bildgebende Verfahren in den Neurowissenschaften (s. dazu auch den Kasten in der Einleitung, S. 178), die es angeblich erlauben, „dem Gehirn beim Denken zuzusehen“, sind für alle wissenschaftlichen Disziplinen, die sich mit menschlichem Verhalten, Wahrnehmen und Empfinden befassen, von einer gewissen Attraktivität. Es kann daher nicht verwundern, dass auch in den Disziplinen, die sich mit der Erforschung

des Zustandekommens ökonomischer Entscheidungen befassen, „Hirnschans“ auf ein großes Interesse stoßen.

Die Disziplin der „Neuroökonomie“, die die neuronalen Grundlagen ökonomischer Entscheidungen experimentell mittels bildgebender Verfahren untersucht, hat sich mittlerweile fest etabliert.

Für eine gewisse Furore in der Öffentlichkeit hat das sogenannte Neuromarketing gesorgt. Hier wird der Versuch unternommen, die Erkenntnisse neuroökonomischer Forschung zu Kaufentscheidungen und Produktpräferenzen von Konsumenten für die Marktforschung sowie für die Werbe- und Verkaufsstrategien von Produzenten zu nutzen. Trotz seiner bisher bescheidenen wissenschaftlichen Grundlage (s.u.) hat das Neuromarketing in erstaunlich kurzer Zeit als Spezialgebiet der Marktforschung Karriere gemacht und wird auch von großen Unternehmen wie der Daimler AG genutzt.

In der TA im engeren Sinne wurde unseres Wissens das Thema Neuromarketing bisher nicht systematisch bearbeitet. Einzig die für TA-Swiss unternommene Studie zu Neuroimaging enthält ein kurzes Kapitel, das insbesondere die Befürchtungen der Öffentlichkeit hinsichtlich einer Manipulation von Kaufentscheidungen durch Neuromarketing aufgreift, aber wegen der mangelnden Aussagekraft von Neuromarketing-Studien diese Befürchtungen als weitgehend unbegründet zurückweist (Hüsing et al. 2006, S. 148 ff.).

### 2.3.1 Neuroökonomie

Die dem Bereich der Verhaltensökonomie zuzurechnende Neuroökonomie ist ein Forschungsfeld, das sich zum Ziel setzt, die Grundlagen ökonomischer Entscheidungen unter Rückgriff auf Erkenntnisse aus den Neurowissenschaften und mittels experimenteller Untersuchungen von Entscheidungssituationen zu verbessern, bei denen die physiologischen Abläufe im Gehirn mittels moderner Scantechniken beobachtet werden. Die „Neuroeconomics“ arbeiten sich dabei vor allem an dem in der klassischen Ökonomie vorherrschenden idealtypischen Modell des rational, orientiert an antizipierten und quantifizierbaren Gewinnen und Verlusten entscheidenden „homo oeconomicus“ ab. Die Neuroökonomie ist ein junger Forschungszweig, in dem Neuro- und Wirtschaftswissenschaften zusammenarbeiten. Ein früher Überblicksartikel über das Forschungsfeld datiert das erste „Neuroeconomics plenary meeting“ in den USA auf das Jahr 2003 (Zak 2004).

Die in ökonomischen Entscheidungsexperimenten eingesetzten Hirnschans-Methoden sind hauptsächlich fMRT und PET. Durch die technisch aufwändigen Messverfahren muss der Versuchsaufbau ökonomisches Entscheiden auf einfache Entscheidungssituationen herunter brechen, in die ökonomische Erwartungen oder Belohnungen involviert sind. Diese können z.B. darin bestehen, dass ein Proband im Scanner mit Bildern einer Reihe von Objekten, für die unterschiedliche Kaufpreise angegeben werden, konfrontiert wird, um sich spontan, für den Kauf eines der Objekte zu entscheiden. Ein wesentliches Problem des Verfahrens besteht darin, dass man das Spezifische der Hirnaktivität in der gegebenen Entscheidungssituation identifizieren will. Dazu wird die sog. Subtraktionsmethode angewandt. Es muss ein dem eigentlichen Experiment möglichst ähnliches Entscheidungsexperiment als Referenzexperiment durchgeführt werden. Die dort beobachteten Aktivitäten werden von den später im eigentlichen Experiment beobachteten Aktivitäten „subtrahiert“, um somit, die für die untersuchte ökonomische Entscheidungssituation spezifische Aktivität „herauszufiltern“. Als geeignetes Referenzexperiment für eine Entscheidungssituation mit ökonomischer Belohnung kann z.B. eine ähnliche Entscheidungssituation ohne ökonomische Belohnung gelten (Zak 2004, S. 1739)

Laut Zak (2004) hat ein von Platt und Glimcher im Jahr 1999 publiziertes Experiment mit Rhesusaffen als Anregung für weitere Forschung gedient und stellt den eigentlichen Einstieg in die Neuroökonomie dar. Dabei wurden drei Rhesusaffen darauf trainiert, beim Auftreten eines Farbreizes eine von zwei Tasten zu drücken, worauf beim Drücken der richtigen Taste eine Belohnung durch Fruchtsaft erfolgte. Das Ergebnis

war, dass (wie vermutet) eine als LIP (Laterales intraparietales Areal) bezeichnete Hirnregion im Sulcus intraparietalis bei der Durchführung der Aufgabe aktiv war. 62,5% der Aktivität von 40 in LIP gemessenen Neuronen war mit einer Gewinnerwartung korreliert. Die Vermutung ist, dass das LIP zwischen dem visuellen Reiz (Farbsignal) und der im Motorcortex initiierten Entscheidung zur Betätigung eines der beiden Hebel vermittelt, somit eine Bewertung der Gewinnerwartung durchführt. Später wurde dieses Ergebnis dahingehend interpretiert, dass das LIP die physiologische Basis des von Ökonomen unterstellten Nutzenkalküls ist – das Nutzenkalkül von Wirtschaftsobjekten also sozusagen durch die Neuronen im LIP durchgeführt wird (Zak 2004, S. 1741).

In der Folge wurden ähnliche Experimente mit menschlichen Entscheidern durchgeführt, die z.B. eine Beteiligung der Amygdala<sup>8</sup> im limbischen System bei Entscheidungen mit anschließender Belohnung zeigten. Auch hier geht es in der Regel um einfache Entscheidungssituationen, die im Hirnscanner durchgeführt werden. Die Betätigung eines bestimmten Knopfes bei einem bestimmten visuellen Signal wird mit monetärem Gewinn belohnt, bei Druck der falschen Taste bleibt der Gewinn aus oder es erfolgt ein monetärer Verlust. Aus der Aktivität der Amygdala wird darauf geschlossen, dass das ökonomische Nutzenkalkül keine rein vernunftmäßige Entscheidung, sondern emotional basiert ist.

Die Neuroökonomie hat sich rasch als (wenn auch vorerst überschaubare) Community mit eigenen wissenschaftlichen Journalen und internationalen Kongressen etabliert. Die internationale Society for Neuroeconomics weist auf ihrer Webseite ([www.neuroeconomics.org](http://www.neuroeconomics.org)) Links zu 15 universitären neuroökonomischen Instituten in den USA, Europa und Australien aus. In Deutschland werden an den Universitäten Magdeburg, Bonn, Münster, Ulm und München neuroökonomische Studien durchgeführt.

Die Bewertung des Nutzens der Neuroökonomie für das Verständnis ökonomischen Verhaltens ist aber durchaus umstritten. Von Befürwortern wird betont, dass hiermit Annahmen der Verhaltensökonomie „naturwissenschaftlich“ unterstützt oder Hypothesen überprüft werden könnten, was langfristig auch für realweltliche Entscheidungen und die Wirtschaftspolitik Bedeutung haben könne (Stanton 2009). So konnte etwa durch neurowissenschaftliche Studien die Annahme gestützt werden, dass – entgegen dem Modell der klassischen Ökonomie – bei ökonomischen Entscheidungen durchaus nicht allein wirtschaftliche Eigeninteressen verfolgt werden, sondern auch ein Ausgleich mit den Interessen anderer gesucht wird (Fehr, Camerer 2007). Von Kritikern hingegen wird die begrenzte Aussagekraft, der in den Experimenten simulierten wenig komplexen Situationen für komplexe ökonomische Entscheidungen angeführt, und es wird auch darauf verwiesen, dass die Neuroökonomie bisher zumeist kaum überraschende Einsichten erbracht hat (Harrison 2008). Dass Menschen Entscheidungen gerade bei Unsicherheit – wenn also bestimmte Aspekte der Situation unbekannt oder kontingent sind – nicht rein rational durch Abwägen aller Fakten treffen (können), sondern erfolgreich Unsicherheit reduzierende Heuristiken anwenden, ist aus der psychologischen Forschung durchaus bekannt. Die sog. Rekognitionsheuristik nutzt z.B. den Grad der Vertrautheit eines Objekts als entscheidendes Kriterium in Wahlsituationen unter Unsicherheit. In psychologischen Experimenten wurde gezeigt, dass die Anwendung einer solchen „Bauchstrategie“ z.B. auch beim Kauf von Aktiendepots involviert und ökonomisch erfolgreich ist (Giegerenzer 2007). Neurowissenschaftlich kann gezeigt werden, dass ein bestimmtes Areal im Stirnlappen offenbar für die Rekognitionsheuristik, d.h. für die Bewertung von Bekanntem, relevant ist. Dies ist sicher für die Grundlagenforschung eine interessante Erkenntnis, in praktischer Hinsicht fügt sie aber dem psychologischen Wissen über die Funktion von Heuristiken in ökonomischen Entscheidungssituationen kaum etwas hinzu. Zweifel werden auch angemeldet, dass sich dies in Zukunft grundsätzlich ändern könne. Analog zur Diskussion um das Verhältnis von

<sup>8</sup> Die Amygdala ist wesentlich an der Entstehung der Angst beteiligt und spielt allgemein eine wichtige Rolle bei der emotionalen Bewertung und Wiedererkennung von Situationen sowie der Analyse möglicher Gefahren: sie verarbeitet externe Impulse und leitet die vegetativen Reaktionen dazu ein. Eine Zerstörung beider Amygdalae führt zum Verlust von Furcht- und Aggressionsempfinden und so zum Zusammenbruch der mitunter lebenswichtigen Warn- und Abwehrreaktionen. (Quelle: Wikipedia.de)

Geist und Gehirn zwischen Philosophie und Kulturwissenschaften einerseits und (einigen) Neurowissenschaftlern andererseits (s. hierzu Hennen et al. 2008), wird auch für die Neuroökonomie auf die grundsätzliche begrenzte Erklärungskraft naturwissenschaftlicher Modelle für die Erklärung symbolisch-kulturell geprägten menschlichen Verhaltens und Entscheidens hingewiesen (Pauen 2007).

### 2.3.2 Neuromarketing

Trotz des bisher begrenzten praktischen und theoretischen Ertrages neuroökonomischer Forschung hat sich parallel zur akademischen Forschung und zum Teil als „Spin-off“ aus dieser, die wirtschaftliche Verwertung von Forschungsergebnissen für das „Neuromarketing“ entwickelt. Unternehmen wie Burda und Daimler nehmen die Dienste neuroökonomischer Institute in Anspruch, und die Zunft der im Neuromarketing tätigen Neurowissenschaftler, Marktforscher und Werbefachleute in Deutschland findet sich seit dem Jahr 2008 zu einem Jahreskongress zusammen<sup>9</sup>. Als Initialzündung für das Neuromarketing gilt in Deutschland die Veröffentlichung einer Studie der Universität Magdeburg, die 2001 erstmals fMRT zum Test der Wirkung verschiedener Stimuli auf Konsumenten einsetzte. Obwohl die Autoren der Studie die Ergebnisse ihres Versuchs eher zurückhaltend interpretierten, löste sie erstaunliche öffentliche Reaktionen bis hin zu Befürchtungen einer zukünftig möglichen Manipulation von Konsumenten aus. Sie gab auch den Anstoß für verstärkte Aktivitäten zum Einsatz von bildgebenden Verfahren der Hirnforschung für Marktforschungszwecke (Hüsing et al. 2006).

Beim Neuromarketing geht es um die Umsetzung der in der Neuroökonomie gewonnenen Erkenntnisse zur Effektivierung von Werbung und Verkaufstrategien. Darüber hinaus aber werden bildgebende Verfahren in der Marktforschung direkt eingesetzt, um die Wirkung von Werbung und Marken auf das Zustandekommen von Kaufentscheidungen zu untersuchen und gezielt entsprechende Werbestrategien für den Kunden zu entwickeln. Das Ziel des Neuromarketing ist es, die bislang unsichtbaren Zustände und Prozesse, welche die Entscheidung eines potentiellen Konsumenten für oder gegen ein Produkt steuern, zu erforschen und sie in Beziehung zu sichtbarem Verhalten zu setzen. Es wird beobachtet, welche Gehirnareale durch verschiedene (Produkt-)Stimuli aktiviert werden.

Als größtes Neuromarketingunternehmen gilt die international tätige US-Firma „Neurofocus“<sup>10</sup>. Auf ihrer Internetseite bietet sie eine Untersuchung der „Advertising Effectiveness“, eine „Product Pricing Analysis“ und eine „Brand and Image Analysis“ sowie „Competitive Advertising Intelligence“ auf der Basis von Hirnscans an. In einer Presseerklärung vom 2. September 2010 wirbt sie damit, dass das Magazin „New Scientist“ drei für die Augustausgabe vorgesehene Coverseiten auf ihre Wahrnehmung durch potentielle Käufer hin habe untersuchen lassen. Die auf Basis der gemessenen Hirnaktivität von Probanden durch Neurofocus getroffene Auswahl des „kundenwirksamsten“ Covers war nach Ansicht der Firma der Grund dafür, dass die Zahl der am Kiosk verkauften Exemplare dieser Ausgabe des Magazins 12% über der des gleichen Monats im Vorjahr lag (Neurofocus 2010).

In Deutschland hat sich das Neuromarketing als wissenschaftliche Dienstleistung an einigen Universitäten etabliert und wird von führenden Marktforschungsunternehmen wie BBDO<sup>11</sup> Germany propagiert. Für Deutschland wichtige Akteure sind anscheinend das Marketingunternehmen „Gruppe Nymphenburg Consult AG“ und die „Haufe Mediengruppe“, die seit dem Jahr 2008 jährlich den deutschen „Neuromarketing Kongress“ organisieren. Auf den drei bisher durchgeführten Kongressen traten – neben Vertretern verschiedener Marketingunternehmen sowie Marketingexperten von Firmen wie BMW, Audi und Henkel – auch bekannte Neurowissenschaftler wie Christian Elger (Bonn), Gerhard Roth (Bremen) und Manfred

---

<sup>9</sup> Näheres unter <http://www.neuromarketing-wissen.de>

<sup>10</sup> [www.neurofocus.com](http://www.neurofocus.com)

<sup>11</sup> BBDO ist eine zum US-amerikanischen Unternehmen Omnicorn gehörende Werbeagentur. Der Name der Firma leitet sich von Batten, Barton, Durstine und Osborn ab.

Spitzer (Ulm) auf (siehe die pdf-Dokumente und Videoaufzeichnungen zu den Vorträgen unter <http://www.neuromarketing-wissen.de>). Gerade bei den auf den Kongressen bisher erfolgten Berichten aus der Marketingpraxis, erschließt sich für den Außenstehenden nicht ohne weiteres, worin das Durchschlagende des neurowissenschaftlichen Ansatzes besteht. So werden augenscheinlich z.B. bei der auf dem Kongress 2010 vorgestellten Neuromarketing-Methode der sog. (und offensichtlich selbst bereits als Marke eingeführten) „limbic@types“ gängige Kundentypisierungen wie „Performer“, „Hedonist“ oder „Traditionalist“ neurowissenschaftlich nicht wirklich untermauert. Sie werden lediglich – um in der Sprache der Werbebranche zu bleiben – neurowissenschaftlich „gelabelt“, indem man sie nicht wie bisher üblich als Lebensstiltypen, sondern eben als „Limbic types“ bezeichnet, und damit einen oberflächlichen Bezug zu neurowissenschaftlichen Erkenntnissen über die Bedeutung des „emotionalen“ limbischen Systems beim Zustandekommen von Entscheidungen herstellt.

In einem Artikel der Süddeutschen Zeitung über Neuromarketing und den Bonner Hirnforscher Christian Elger aus dem Jahr 2005 wird gemutmaßt, dass ein Hauptmotiv für den Einstieg von Neurowissenschaftlern ins Neuromarketing darin liegen könnte, dass sie mit dem Anbieten von Dienstleistungen für die Marktforschung und Werbeindustrie eine zusätzliche Finanzierungsquelle für ihre teuren Kernspintomographen aufgetan hätten (Schulte von Drach 2005). In der Tat zeigt die Besetzung der oben genannten Neuromarketing-Kongresse, dass das Interesse der Industrie geweckt werden konnte – und dies, obwohl die bisherigen Erträge von Neuromarketing-Studien bescheiden sind: Sie bestätigen entweder bereits bekannte Einsichten der Marktforschung oder liegen gänzlich auf der Ebene des Common Sense.

Die Branche selbst tritt mit starken Thesen an und schürt hohe Erwartungen hinsichtlich der Eröffnung von „Schleichwegen ins Kundenhirn“ (Häusel 2009). So wird etwa in einer Broschüre von BBDO Germany zum Konzept des sog. „Brain Branding“ (das in Zusammenarbeit mit Hubert Burda Media und Neurowissenschaftlern der LMU München entwickelt wurde) suggeriert, Neuromarketing liefere die Antwort auf zentrale Probleme der Marktforschung und sei der Königsweg zur Entwicklung von effektiven Strategien zur Bewerbung von Marken, da „die bisherige Verständnislücke zwischen Reizaufnahme und Verhaltensfassung [...] durch die Messung der Reizverarbeitung mithilfe der Hirnforschung geschlossen werden“ könne (BBDO o.J., S. 4). Die Hirnforschung könne genutzt werden um „den Verbraucher zielgerichtet zum Käufer zu machen und die Marke nachhaltig im Hirn zu manifestieren“ (ebd., S. 5). Die Erwartung der Marketingbranche, man könne den „buy button“ im Gehirn des Kunden identifizieren, erscheint aber ebenso wenig wissenschaftlich begründet wie die spiegelbildlich, gelegentlich von Verbraucherschutzseite geäußerte Sorge, dass das Neuromarketing den Konsumenten hemmungsloser Manipulation unterwerfen könne.

Ein häufig zum Beweis der Relevanz des Neuromarketing zitiertes Beispiel ist eine im Auftrag von Daimler an der Universität Ulm durchgeführte Studie zur Reaktion von Probanden auf unterschiedliche Autotypen (Erk et al. 2002). Dass durch die zwölf autointeressierten Männer Sportwagen als besonders attraktiv eingeschätzt wurden, war ein zu erwartendes Ergebnis. Es wurde aber durch Hirnscans beobachtet, dass bei den verschiedenen Autotypen unterschiedliche Hirnareale in unterschiedlichem Maße aktiv waren. Bei der Betrachtung von Sportwagen wurde eine wesentlich höhere Aktivität in Gehirnbereichen festgestellt, die mit Belohnung und Selbstbestätigung in Verbindung gebracht werden. Man kann somit also „sehen“, dass das Belohnungssystem angesprochen wird. Hieraus hofft man nun offensichtlich langfristig ein „objektives“ Verfahren der Bewertung neuer Produkte entwickeln zu können, das nicht mehr auf die subjektiv geäußerten Einschätzungen von Probanden angewiesen ist.

Ein weiteres vielzitiertes Beispiel für das Potential des Neuromarketing ist ein mittels Kernspintomographie durchgeführtes Experiment zur Präferenz von Probanden für Coca-Cola bzw. Pepsi Cola (McClure et al. 2004). Wie aus anderen, schon seit den siebziger Jahren durchgeführten Untersuchungen bekannt, zeigte sich auch hier, dass eine Mehrzahl der Probanden bei der Blindverköstigung Pepsi-Cola gegenüber Coca-

Cola geschmacklich bevorzugte. Bei einer Verköstigung unter Nennung der Markenamen schneidet Coca-Cola dagegen überdurchschnittlich gut ab. Im Hirnscan zeigte sich, dass bei Wahrnehmung der Marke und Genuss von Coca-Cola in höherem Maße als bei Pepsi eine Region im präfrontalen Kortex aktiv ist, die mit der Selbstwahrnehmung in Verbindung gebracht wird. Dieses Ergebnis wird als wissenschaftliche Bestätigung dafür angesehen „das die mit dem Markenamen Coca-Cola verbundenen positiven Assoziationen stärker auf die Markenpräferenz wirken als der Geschmack“ (BBDO o.J., S. 13).

Grundsätzlich referiert das Neuromarketing auf bekannte Einsichten wie etwa die, dass das menschliche Gedächtnis nur eine begrenzte Anzahl von Bildern ins aktive Gedächtnis aufrufen kann oder darauf, dass Objekte die emotional stark besetzt sind am besten im Gedächtnis bleiben. Diese und andere Einsichten werden nun durch Hirnscans untermauert, die zeigen, dass bei der Wahrnehmung von Produktmarken verschiedene Hirnregionen tätig sind: Solche die für Wahrnehmung, solche die für begriffliches Wissen, solche die für Gefühle und solche die für individuelles Wollen stehen. Im branchenüblichen Jargon wird die damit anscheinend wissenschaftlich bestätigte, eigentlich triviale Einsicht, dass eine Marke, die der Kunde gut kennt – die also im Gedächtnis verankert ist –, beim Kauf anderen Produkten vorgezogen wird, dann wie folgt formuliert: „Nur wer im Kopf des Verbrauchers ‚top-of-mind‘ ist, d.h. aktiv vom Konsumenten abgerufen werden kann, spielt auch bei der Kaufentscheidung am ‚Point-of-Purchase‘ die entscheidende Rolle“ (BBDO o.J. S. 14).

Es drängt sich der Eindruck auf, dass ein wesentlicher Grund für den schnellen Erfolg des Neuromarketing weniger in der Originalität der Erkenntnisse besteht, die sich aus der neuroökonomischen Forschung ergeben, sondern vielmehr darin, dass sich durch die Referenz auf (Natur-)Wissenschaft und die angebliche Objektivität der Hirnscans (mittels derer man dem Käufer beim Kaufen zuschauen und seine geheimsten, ihm selbst nicht bewussten Entscheidungskriterien erkennen könne) die Neurowissenschaften als Mittel zur Vermarktung von ansonsten auf unsicheren Annahmen über Käuferverhalten basierenden Werbestrategien genutzt werden können: „PR goes hard science“ sozusagen. Ob dies langfristig erfolgreich ist und das Interesse der Branche und ihrer Kunden langfristig anhält, bleibt abzuwarten. Festzuhalten ist, dass man weit davon entfernt ist, mittels Hirnscans das Verhalten eines Konsumenten zu verstehen oder wirklich vorauszusagen. Die Schlussfolgerungen, die etwa zur Bedeutung verschiedener Hirnregionen bei der Entscheidungsfindung gezogen werden, sind durch empirische Ergebnisse kaum gedeckt. Ob das Korrelieren von erhöhtem Sauerstofftransport in einer Hirnregion, den fMRT in Hirnbilder übersetzt, wirklich praktisch relevante Einsichten in das Kaufverhalten eröffnen kann, ist fraglich. Das dabei unterstellte Modell einer modularen Arbeitsweise des Gehirns ist zudem nicht unumstritten (Crawford 2008).

Es gibt bescheidene Ansätze, aus Aktivierungsmustern im Gehirn z.B. darauf zu schließen, welchen Typ von Objekt, beispielsweise ein Gesicht oder eine Landschaft, eine Person wahrnimmt (Schleim, Walter 2007). Wie weit sich solche Ansätze verfeinern lassen, kann heute schwer vorausgesagt werden. Auch solche bescheidenen Möglichkeiten mögen aber ausreichen, den Verdacht zu nähren, dass man mittels Gehirnscans Gedanken lesen oder langfristig den „buy button“ im Gehirn des Kunden ausfindig machen könne. Da nach dem bekannten Thomas-Theorem, das real ist, was Menschen für real halten, wäre eine weitere Verbreitung des Neuromarketing trotz der dürftigen Erkenntnislage nicht auszuschließen. Man kann also durchaus erwarten, dass in Zukunft neue Markenamen oder Logos vor ihrer Markteinführung einer Anzahl von Probanden im Kernspintomographen vorgeführt werden. Es mag auch in Zukunft möglich sein – wie in einer amerikanischen Studie mit dem Titel „Neuropredictors of purchases“ behauptet (Knutson et al. 2007) – bei einer mittels Kernspintomographie beobachteten Kaufentscheidung das Ergebnis der Wahl zwischen zwei Produkten vor dem eigentlichen Kaufakt aus dem Muster der Hirnaktivität vorherzusagen. Auch wenn man damit noch nicht verstanden hat, wie die Kaufentscheidung eigentlich zustande kommt (nach welchem Kriterien, welchem Kalkül, auf der Basis welcher Wahrnehmungen), und auch wenn schwer zu sehen ist, was die Prognose mittels Hirnscan für einen Nutzwert für die Produktgestaltung haben

könnte, könnten solche Nachrichten aus der Wissenschaft doch dazu geeignet sein, das Geschäft mit dem Neuromarketing weiter zu befördern.

## 2.4 Neurotechnologien in der Mensch-Maschine-Interaktion

Im engen Sinn bezeichnet der Begriff ‚Gehirn-Computer-Schnittstelle‘ (Brain Computer Interface, BCI) ein System, bei dem Computertechnik mit dem Gehirn verbunden wird, um dem Nutzer eine Kommunikation mit seiner Umwelt oder auch die Steuerung von Maschinen zu erlauben, ohne dass dieser dabei auf seine motorischen Fähigkeiten zurückgreifen muss. Die durch Medienberichte vermutlich bekanntesten, verschiedentlich bereits erprobten Anwendungen sind die BCI-Steuerung von Rollstühlen oder auch von Avataren in virtuellen Umgebungen sowie die Nutzung durch komplett Gelähmte, die mittels BCI einen Computer bedienen können. In den Medien ist dabei, etwas reißerisch, oft von einer Maschinenbedienung „allein durch Gedanken“ die Rede. Zuweilen werden zu den BCI-Technologien auch solche Technologien gezählt, in denen elektrisch das Nervensystem stimuliert wird, z.B. in der „Tiefen Hirnstimulation“ (Deep Brain Stimulation, DBS) und bei Sinnesprothesen. Insbesondere dann ist als Oberbegriff auch von ‚neuroelektrischen Schnittstellen‘ die Rede. Aufgrund der terminologischen Uneindeutigkeiten wird im Folgenden zumeist allgemein von ‚Neurotechnologien‘ gesprochen.

Gemein ist all diesen Technologien, dass sie bisher ganz überwiegend medizinischen Zwecken bzw. der Verbesserung oder Ausweitung von Handlungs- und Kommunikationsmöglichkeiten körperlich eingeschränkter Menschen dienen. Einige Anwendungen sind in der klinischen Praxis bereits etabliert, mit Patientenzahlen zwischen mehreren Tausend bis zu über 100.000 Menschen (vgl. für einen Überblick hierzu und zum Folgenden z.B. die einschlägigen Kapitel in Coenen et al. 2009; Hennen et al. 2006; Merkel et al. 2007 und die weiterführenden Literaturangaben in diesen Publikationen). Einsatzfelder sind u.a. die Behandlung chronischen Schmerzes (durch Stimulation des Rückenmarks), der Parkinson-Krankheit (durch DBS) und der Epilepsie (durch Vagus-Nerv-Stimulation<sup>12</sup>) sowie sensorische Prothesen (vor allem Cochlea-Implantate).

Schon realisiert (zumindest experimentell) oder in der Diskussion sind nichtmedizinische Anwendungen von Neurotechnologien z.B. für Lernzwecke, im militärischen Bereich, im Sport und für Computerspiele. Einige dieser Anwendungen finden in der Debatte über das sog. „Human Enhancement“ Beachtung, verstanden als eine nichttherapeutische Steigerung menschlicher Leistungsfähigkeit. Dabei wird zuweilen auch darauf hingewiesen, dass Stimulationstechnologien wie DBS, die Vagus-Nerv-Stimulation und die repetitive transkranielle Magnetstimulation (rTMS<sup>13</sup>) bereits zur Behandlung von Depressionen dienen, was perspektivisch die Aussicht eröffne, das Gefühlsleben von Menschen besser als mit Medikamenten zu regulieren („Mood Enhancement“).

Neurotechnologien lassen sich in invasive und non-invasive unterteilen (vgl. dazu Stieglitz et al. 2009). Bei den invasiven Schnittstellen werden Muskeln, periphere Nerven, Rückenmarkswurzeln, das Rückenmark oder das Gehirn kontaktiert. Aufgrund der Notwendigkeit eines operativen Eingriffs mit den entsprechenden Risiken dürften sie auf absehbare Zeit keine Bedeutung im Bereich der nichtmedizinischen Nutzung

<sup>12</sup> Die Vagus-Nerv-Stimulation, d.h. die elektrische Stimulation des linken Nervus vagus mithilfe eines implantierten Impulsgenerators wird vor allem bei Epilepsie-Patienten eingesetzt. Der Impulsgenerator besteht aus einem flachen Titangehäuse und wird vom Operateur unter Vollnarkose unter den linken Brustmuskel im Bereich der Achsel eingepflanzt. Unter der Haut wird ein dünnes Kabel bis in die Halsregion links im Bereich der linken Halsmuskeln vorgeschoben. Dort wird dann der linke Vagusnerv, ein dicker Nervenstrang, mit einer dünnen Elektrode umwickelt, damit die vom Generator ausgehenden Impulse auf den Nerven übertragen werden können.

<sup>13</sup> Die repetitive transkranielle Magnetstimulation (kurz: rTMS) gehört zu der Gruppe der antidepressiven Stimulationsverfahren. Bei ihr werden mit einer Magnetspule (siehe Abbildung rechts) eine Hirnregion innerhalb des Stirnlappens stimuliert, deren Aktivität bei Patienten mit Depressionen in der Regel gestört ist. Die Stimulation erfolgt über große, zeitlich veränderliche Magnetfelder unter Ausnutzung des physikalischen Prinzips der Induktion.

von Neurotechnologien gewinnen, auch wenn vereinzelt schon spekuliert wird, dass sich stark leistungsorientierte Personen – z.B. im militärischen Bereich und in der professionellen Computerspielszene – oder auch Medien- und Biokünstler zunehmend für invasive Anwendungen interessieren könnten. Im Fall der non-invasiven Neurotechnologien werden Elektroden auf die Haut, insbesondere die Kopfhaut, platziert und dann Massensignale größerer Hirnbereiche elektrisch (Elektroenzephalogramm – EEG) oder magnetisch (Magnetoenzephalogramm – MEG) aufgenommen (siehe zu diesen Verfahren auch den Kasten in der Einleitung). Nicht nur bei der medizinischen Nutzung ist das EEG, die am weitesten verbreitete Technik in diesem Bereich.

In den folgenden Ausführungen zu Neurotechnologien werden zunächst einige der tatsächlichen oder möglichen Anwendungsbereiche in kursorischer Art angesprochen. Etwas ausführlicher wird danach auf die Nutzung und Potentiale dieser Technologien für Computerspielanwendungen eingegangen.

Hingewiesen sei zuvor aber noch darauf, dass durch die faktisch immer engere Verbindung des menschlichen Körpers mit Neurotechnik und speziell auch die Zukunftsvision einer Verschmelzung von Mensch und Computer Fragen aufgeworfen werden, die anthropologische Grundannahmen berühren: Wenn wir den Menschen neurowissenschaftlich als physio-psychosoziale Einheit begreifen oder philosophisch-anthropologisch auf seine Doppelnatur als zugleich biologisches und soziokulturelles Wesen abstellen, dann zeichnet sich angesichts der hier angesprochenen Neurotechnologien in beiden Fällen ein grundlegender Wandel der „*conditio humana*“ ab. Menschen werden zu physio-psychosozial-technischen Einheiten, und der biologische Teil der Doppelnatur des Menschen wird zunehmend technisch manipulierbar oder sogar steuerbar und auch der soziokulturelle Teil erfährt eine zunehmende Technisierung. An diesen sich abzeichnenden Entwicklungen werden auch einige der bereits erwähnten transhumanistischen Visionen festgemacht. Deren aktuelle Beliebtheit als Thema z.B. in ethischen Diskussionen (s. z.B. *American Journal of Bioethics* 2010 10/7, Juli 2010) sollte aber keinesfalls dazu führen, dass die gesellschaftlichen Implikationen existierender Neurotechnologien sowie realistischere oder zumindest kurzfristige Zukunftsperspektiven in diesem Bereich vernachlässigt werden.

### 2.4.1 Nichtmedizinische Anwendungen von Neurotechnologien

Bisher sind Neurotechnologien ganz überwiegend auf den medizinischen Bereich beschränkt, und zumindest bei invasiven Technologien dürfte sich daran auch in absehbarer Zeit nichts ändern. Einige nichtmedizinische Anwendungen und realistisch erscheinende Zukunftshoffnungen verdienen aber Beachtung.

Hinsichtlich ihrer Wirksamkeit nicht unumstritten, aber bereits relativ weit verbreitet sind nichtmedizinische Anwendungen des sog. Neurofeedbacks, einer Sonderform des Biofeedback, zu der auch die BCI-Technologie gezählt werden kann (Rief, Birbaumer 2006). Ziel des Neurofeedback ist es, dass der Nutzer die eigene Gehirnaktivität beeinflussen kann, indem mittels EEG diese Aktivität erfasst und in Form von akustischen oder visuellen Signalen sofort („in real-time“) rückgemeldet wird. Neurofeedback-Anwendungen spielen im Lernbereich (s. auch Kap. 2.1) seit längerer Zeit eine gewisse Rolle. Im Sportbereich wird Neurofeedback genutzt, um die mentale Selbstkontrolle der Sportler zu verbessern. Ein relativ bekanntes Beispiel ist der Einsatz von Neurofeedback durch die italienische Nationalmannschaft bei der Fußballweltmeisterschaft 2006, die das Team gewann. EEG-Aufnahmen werden im Leistungssport auch genutzt, um Trainern eine zusätzliche Möglichkeit der Beobachtung von Trainingsleistungen zu bieten und um frühzeitig herauszufinden, wer von seiner Konzentrationsfähigkeit her gesehen gute Voraussetzungen für eine Sportart oder sportliche Einzelaktivität mitbringt. Weitere Anwendungsbereiche sind Computerspiele (s.u.) sowie musikalische und tänzerische Darbietungen (s. z.B. Egner, Gruzelić 2003). Hinsichtlich solcher Darbietungen, aber auch in Bezug auf andere Neurofeedback-Anwendungen, ist jedoch u.a. einzuwenden, dass Leistungssteigerungen bzw. Verbesserungen womöglich bloß durch entsprechende Erwartungshaltungen der Testpersonen erreicht wurden.

Potentiell ergibt sich eine Vielzahl nichtmedizinischer Anwendungen aus der Möglichkeit, mit BCI-Technologie die Bewegung verschiedener Arten von Maschinen zu kontrollieren. In diesem Bereich finden bisher ganz überwiegend Grundlagenforschung und Pilotentwicklungen statt, die vor allem versehrten oder anderweitig körperlich eingeschränkten Menschen zugute kommen sollen. Ziele sind hier vor allem die Steuerung von Rollstühlen und die Kontrolle von funktional immer lebensähnlicher werdenden Gliedmaßenprothesen. Die technisch-wissenschaftlichen Herausforderungen im prothetischen Bereich, die derzeit intensiv in verschiedenen Ländern (und in den USA insbesondere mit Blick auf kriegsversehrte Soldaten) angegangen werden, bestehen vor allem darin, zuverlässige, leistungsfähige und unaufwändig zu nutzende bidirektionale Schnittstellen zwischen Nervensystem und Prothese herzustellen. Insbesondere mit Blick auf non-invasive Neurotechnologien lassen sich auch Ansätze einer breiteren, nichtmedizinischen Nutzung erkennen. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass diese Technologien nicht bei allen Menschen funktionieren. Eine Studie schätzt z.B., dass bei circa 15 bis 30% aller Menschen eine bestimmte weitverbreitete EEG-basierte BCI-Technologie nicht funktioniert, weist aber auch darauf hin, dass es Anzeichen dafür gibt, dass solche Menschen dies durch ein bestimmtes Neurofeedback-Training ändern können (Blankertz et al. 2010).

Eine Expertengruppe in den USA kam bereits vor einigen Jahren (Berger et al. 2007) zu der Einschätzung, dass Japan – ähnlich wie z.B. auch das vom BMBF geförderte Projekt „Berlin Brain-Computer Interface“ (Blankertz et al. 2010) – eine breite und avancierte Perspektive zur Anwendung von BCI in der Gesellschaft verfolge. Nach Ansicht der Expertengruppe umfasst die japanische Vision neben therapeutischen Nutzungen eine Integration von BCI im Alltagsleben „normaler Individuen“, vor allem zur Verbesserung von Bewegungsabläufen, zur Steigerung kognitiver Leistungen und zur Vermeidung von Unfällen. Als nichtmedizinische Anwendungsbeispiele wurden neben Computerspielen auch sportliches Training, Rettungseinsätze, Bombenentschärfungs- und Spielzeugroboter sowie Telekommunikation genannt.

In den letzten Jahren wurden parallel zu den vielfältigen internationalen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen im Bereich der BCI-Steuerung von Rollstühlen und Prothesen auch verschiedene Projekte zur Steuerung von Robotern oder von Avataren in virtuellen Umgebungen durchgeführt.

Generell lässt sich hinsichtlich des Bereichs der Maschinensteuerung per BCI feststellen, dass bei einigen Nutzern die Bedienung bereits in beachtlicher Schnelligkeit erfolgt. So spielte eine Testperson an einem Stand der technischen Universität Braunschweig auf der CeBIT 2010 mittels dieser Technologie Flipper. Auch die BCI-Steuerung von Robotern (durch Menschen oder Affen) gelang in den letzten Jahren experimentell. Verschiedentlich wurde zudem bereits gezeigt, dass BCI-Technologie zur Bedienung von Computerspielen und in ‚virtuellen Welten‘ (wie z.B. Second Life) genutzt werden kann (s.u.), und auch die Bedienung von Computern für die Kommunikation (z.B. Schreiben von E-Mails) kann mittlerweile in einem Tempo gelingen, das sogar kommerzielle Angebote für körperlich stark eingeschränkte Menschen attraktiv erscheinen lässt (s. <http://www.intendix.com/>).

Die Militärforschung, insbesondere der USA, gehört seit Langem zu den treibenden Kräften im Bereich der Neurotechnologien und speziell der BCI-Forschung und -Entwicklung. Bereits in den 1970er Jahren hatte in den USA (an der University of California Los Angeles, UCLA) die BCI-Forschung eingesetzt, unterstützt von der National Science Foundation. Bald richtete auch die Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), eine für Cutting-Edge-Forschung zuständige Einrichtung des US-Verteidigungsministeriums, ihr Interesse auf diesen Bereich, das bis heute anhält. Die erhebliche Zahl und Vielfalt neurowissenschaftlicher und -technologischer Projekte, die im Kontext der Militärforschung und oft unter Verweis auf zivile Nutzungsmöglichkeiten der Ergebnisse („Dual Use“) gefördert werden, haben bereits zu Diskussionen über ethisch und anderweitig problematische Aspekte dieser Art von Forschung geführt. Militärische Nutzungsmöglichkeiten ziviler Forschung spielen in der neuroethischen Diskussion und in TA-Studien hingegen eher nur am Rande eine Rolle, und die (ohnehin seltenen) ausführlichen Auseinandersetzungen

zungen mit der neurowissenschaftlichen ‚Dual-Use‘-Thematik fokussieren auf die Militärforschung (z.B. Moreno 2006). In der Förderung von Neurotechnologie-Projekten in der US-Militärforschung spielt neben dem erheblichen Engagement im Bereich der Neuroprothesen auch die Vision eine Rolle, dass in der Zukunft BCI zur Steuerung und Kontrolle von Waffensystemen und anderen militärisch nutzbaren Maschinen und Gegenständen eingesetzt werden könnten. Aktuell interessiert sich die DARPA, anknüpfend an ältere Projekte, auch für die Entwicklung eines Helms, mit dem die Gehirnaktivität von Soldaten, in einer Tiefe wie z.B. bei der Tiefen Hirnstimulation, per Fernbedienung des Helms kontrolliert und manipuliert werden soll. Die Realisierung dieses Forschungsvorhabens dürfte allerdings in naher Zukunft nicht zu erwarten sein, insbesondere dann nicht, wenn man die umfassenden, bis zu einem kognitiven „Enhancement“ reichenden Anwendungsmöglichkeiten berücksichtigt, die von einem involvierten Wissenschaftler (Tyler 2010) genannt werden.

Auch in Bezug auf Verkehrssicherheit und Fahrzeugkontrolle werden Hoffnungen in Neurotechnologien gesetzt. So finden z.B. am ‚Zentrum Mensch-Maschine-Systeme‘ der Technischen Universität Berlin bereits Experimente mit Autofahrerassistenz-Systemen statt, bei denen mittels EEG die Handlungen des Fahrers vorausgesagt und in Zukunft dadurch z.B. Vollbremsungen automatisch beschleunigt werden sollen. In dem bereits zitierten Überblickaufsatz von Blankertz et al. (2010) werden die Herausforderungen und Perspektiven in diesem Bereich näher dargelegt. Darüber hinaus wird z.B. auch auf Nutzungen für die Erforschung von Musikwahrnehmung, für die (bereits erfolgte) Entwicklung eines EEG-basierten Web-Browsers sowie für Spiele hingewiesen. Ebenfalls von Interesse sind Technologien, mit denen in verschiedenen Anwendungskontexten (z.B. Militär, Raumfahrt, private Mobiltelefonie) lautlose sprachliche Kommunikation auf elektromyographischer Basis ermöglicht werden soll (vgl. dazu z.B. Katayama 2009; Wand, Schultz 2009).

## 2.4.2 Das Beispiel Computerspiele

Ein ökonomisch hochrelevantes Feld, in dem nichtmedizinische Anwendungen von Neurotechnologien bereits eine gewisse Rolle spielen, ist der Computerspielbereich. Allgemein wurde dieses Feld in der TA längere Zeit eher nur am Rande behandelt, was auch mit dem im politisch-öffentlichen Diskurs oft negativen Image einiger dieser Spiele zu tun haben mag bzw. mit problematischen Konsummustern vor allem jugendlicher Nutzer. Zwar wurden vereinzelt bereits frühzeitig das (mittlerweile realisierte) enorme ökonomische Potential von Computerspielen, deren kulturelle Relevanz und die relevanten Technologien angesprochen (vgl. z.B. Grunwald et al. 2006, S. 46, S. 125ff.; Hennen et al. 1997, S. 84; Paschen et al. 2002, S. 156-158; Riehm, Wingert 1995, S. 61-64). TA-Projekte, die sich ausführlich oder sogar ausschließlich diesem Thema widmeten, wurden aber erst relativ spät und selten durchgeführt.

Eine europäische TA-Institution, die den Computerbereich in einem eigenen Projekt untersucht hat, ist das flämische IST (Instituut Samenleving & Technologie), vormals viWTA (Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek). In Zusammenarbeit mit drei weiteren belgischen Partnern untersuchte das IST die Thematik zwar fast ausschließlich in Bezug auf jugendliche Nutzer, aber doch recht umfassend (siehe auch den Abschlussbericht: De Pauw 2008). Der Fokus lag dabei auf der Computerspielindustrie (und insbesondere der Position und den Chancen Flanderns in dieser), auf den positiven und negativen Effekten von Computerspielen, auf Spielen als soziale Netzwerke („social networks“) sowie auf Computerspielen für den Bildungsbereich. Neben Literaturstudien wurden dabei u.a. auch Stakeholder-Interviews und Umfragen durchgeführt sowie öffentliche Diskussionsveranstaltungen zum Thema ausgewertet. Die öffentliche Sorge, dass Computerspiele Aggressionen und Gewalt fördern könnten, stufte das IST als unbegründet ein. Das Problem der Computerspielsucht bedürfe genauerer Untersuchung, man solle aber auch nicht die positiven Effekte des Computerspielens ausblenden, insbesondere nicht hinsichtlich der Möglichkeiten im Bildungsbereich. Zudem hätten beliebte Onlinespiele und virtuelle Welten (wie ‚World

of Warcraft' und ‚Second Life’) eine soziale Funktion in einer Netzwerkgesellschaft: Zwar existierten hier auch Risiken, aber die wichtige Rolle, die solche Spiele im Sozialleben der Spieler einnehmen, müssten differenziert betrachtet werden. Ebenfalls nicht auf problematische Konsummuster beschränkt war ein Projekt für das Europäische Parlament (Böhle et al. 2008), das sich zwar nicht allein dem Thema Computerspiele widmete, aber doch sowohl auf ökonomische und technische als auch auf kulturelle Aspekte relativ ausführlich einging. Die Studie stimmt mit der IST-Studie u.a. darin überein, dass der besondere Reiz von Computerspielen verstärkt für Bildungszwecke genutzt werden könnte. Eine nichtprojektbezogene TA-Studie, in der Computerspiele im Fokus stehen, wurde von Zweck (2006) zum umfassenderen Thema ‚Virtuelle Realität’ vorgelegt. Er argumentierte, dass selbst in technologischer Hinsicht umfassende Innovations- und Technikanalysen oft die Gesamtheit eines kulturellen Wandlungsprozesses nicht in den Blick bekämen. Um dies zu erreichen, müssten natur-, geistes- und sozialwissenschaftliche Perspektiven ineinander fließen, was in dieser Studie dann bereits, vor allem am Beispiel des Computerspielbereichs, geleistet wurde. Der hohen Relevanz von Computerspielen in der heutigen Gesellschaft trugen auch Projekte Rechnung, die im Rahmen der Aktivitäten zu Innovations- und Technikanalysen in der zweiten Hälfte der 2000er Jahre durch das BMBF gefördert wurden. Zu nennen sind hier ein Projekt zur Spielkultur an der Universität Hamburg, in dem die biographische Bedeutung des Spielens und speziell des Online-Spielens im digitalen Alltag untersucht wurde, ein Projekt zum Datenschutz in Online-Spielen am Unabhängigen Landeszentrum für Datenschutz Schleswig-Holstein sowie das Projekt RealSymbIn Games (Realitätsnahe und symbolische Interaktion bei Games und Online-Games), das technologische, soziale, wirtschaftliche und kulturelle Rahmenbedingungen und Auswirkungen von Computerspielen thematisierte.

Die erhebliche Bedeutung des Computerspielbereichs als Gegenstand diverser disziplinärer Forschung (einschließlich der Kultur- und Sozialwissenschaften) spiegelt sich also mittlerweile auch verstärkt im TA-Kontext wider. Einig sind sich alle aufgeführten TA-Studien darin, dass der Computerspielbereich – wohl auch aufgrund der langjährigen abwertenden Einschätzung als subkultureller, infantiler oder riskanter Zeitvertreib – in seiner Bedeutung in vielerlei Hinsicht unterschätzt werde. Diese Unterschätzung erscheint auch deshalb als bedenklich, weil der Bereich durchaus als technologischer und kultureller Innovationstreiber gelten kann und weil der allgemeine Bedeutungszuwachs von Computerspielen neue Debatten über eine ‚gamification’ bzw. Ludifikation, wenn nicht der Gesellschaft als Ganzes, so doch zumindest der Online-Ökonomie entfacht hat.

Neben den „klassischen“ Bedienelementen (wie Tastatur, Maus und Konsole) haben in den letzten Jahren auch Neurotechnologien im Computerspielbereich an Bedeutung als Steuerungselemente gewonnen. Ebenfalls (und womöglich selbst auf lange Sicht von größerem) Interesse ist in diesem Zusammenhang die Nutzung von BCI- und anderen biosignalbasierten Technologien für die Entwicklung von Computerspielen, da mit deren Hilfe z.B. die Aufmerksamkeit von Spielern, Langweilempfindungen und das Erreichen des sog. ‚flow’, also des völligen Aufgehens im Spiel, untersucht werden können. Zumindest in der Medienberichterstattung ist aber die Nutzung von Neurotechnologien für die Steuerung von Computerspielen derzeit das relevantere Thema, weshalb im Folgenden nur darauf näher eingegangen wird.

So sind im Gefolge des Einsatzes von Biofeedback-Technologien im Computerspielbereich auch diverse Neurofeedback-Elemente, z.T. auch schon kommerziell, eingeführt worden. Derzeit besteht sowohl in den Neurowissenschaften als auch in der Industrie durchaus ein nennenswertes Interesse an BCI-Anwendungen für die Steuerung von Computerspielen. Auch wenn auf absehbare Zeit nicht zu erwarten ist, dass der Computerspielbranche bei nichtmedizinischen Anwendungen von BCI-Technologien eine ähnliche Innovationstreiberrolle zukommen wird wie in der Unterhaltungselektronik, so dürften Spiele – neben anderen Anwendungen wie Fahrassistenzsystemen – bei einer etwaigen Verbreitung dieser Technologien in der Gesellschaft doch eine Rolle spielen. Hinzu kommt, dass rein unterhaltende Computerspiele durch die neuen Steuerungselemente für körperlich eingeschränkte bzw. behinderte Menschen leichter bedienbar werden sollen.

Reine BCI-Spiele werden schon seit längerer Zeit im medizinischen Bereich eingesetzt, vor allem um die Bedienung von assistiven BCI-Technologien zu trainieren, aber z.B. auch dazu, die Behandlung von Kindern mit Aufmerksamkeitsdefiziten zu unterstützen. Blankertz et al. (2010) bemerken zu solchen reinen BCI-Spielen, dass diese außer ihrem neuartigen Steuerungselement keinen besonderen Reiz hätten. Es handele sich um recht einfache, nicht-„immersive“ Spiele – die also emotional und motivational nicht so attraktiv wie andere, komplexere Computerspiele seien –, weshalb außerhalb des medizinisch-rehabilitativen Bereichs i.d.R. keine starke Motivation dafür bestehen dürfte, lange Zeiträume mit dem Spiel zu verbringen. Hier lässt sich aber ergänzen, dass sog. ‚Casual Games‘ – also einfache, auch auf mobilen Geräten gut zu spielende Gelegenheitsspiele „für zwischendurch“ – in gewisser Hinsicht als ökonomisch besonders attraktiver Bereich gelten (Böhle et al. 2008). Zudem zeigen – worauf auch Blankertz et al. (2010) hinweisen – Experimente wie die bereits erwähnte Nutzung von BCI-Technologie zur Steuerung eines Flipperspielautomaten, dass hochgradig „immersive“ und motivierende Spiele mit reiner BCI-Steuerung möglich sind. Auf dem Unterhaltungsmarkt – zu dessen Kontext auch diverse zu Entspannungs-, Meditations- und „Selbsterfahrungs“-zwecken eingesetzte Bio- und Neurofeedback-Geräte zählen – sind bereits Spiele, bei denen Objekte mittels BCI-Technologie bewegt werden, und es gibt auch bereits rein BCI-gesteuerte Computerspiele zu Unterhaltungszwecken, die von den Herstellern der BCI-Steuerungselemente angeboten werden (z.B. Spiele der Firma ‚NeuroSky‘ für deren ‚Mindset Headset‘).

Für den kommerziellen nicht-medizinischen Computerspielbereich dürfte aber auch auf längere Sicht die Möglichkeit relevanter sein, BCI-Technologie für zusätzliche Steuerungselemente anzubieten (neben den etablierten Bedienelementen wie Tastatur, Maus und Konsole). Damit könnte BCI-Technologie zu einem Element komplexer Computerspiele werden – wie den beliebten, aufgrund problematischer suchtartiger Konsummuster aber auch umstrittenen MMORGs (‚Massive Multi-Player Online Role-Playing Games‘), bei denen eine große Zahl von Spielern eine persistente virtuelle Welt bevölkern (z.B. ‚World of Warcraft‘ mit über 10 Millionen Abonnenten weltweit). Hier könnte es u.a. attraktiv sein, bestimmte „Fähigkeiten“ von Avataren über BCI-Steuerung zu realisieren, z.B. telekinetische Fähigkeiten einer magiekundigen Spielfigur. Bereits heute ist es – nicht nur nach Herstellerangaben, sondern auch laut Presseberichten – möglich, als BCI-Technologien bezeichnete Geräte wie den ‚Neural Impulse Actuator‘ (NIA) der Firma ‚OCZ Technology Group‘, zur Steuerung von kommerziell erfolgreichen Computerspielen wie dem First-Person-Shooter-Spiel ‚Unreal Tournament‘ zu nutzen. Dabei ist allerdings darauf hinzuweisen, dass bei solchen Geräten – zum Teil erklärtermaßen und zum Teil womöglich insgeheim – nicht nur Hirnaktivität, sondern auch andere Biosignale, z.B. Nutzung von Gesichtsmuskulatur- und Augenbewegungen, als Input genutzt werden. Im Fall des NIA funktioniert laut einem Test, der von einem Fachonlinejournalisten durchgeführt wurde (Lin 2008), nur die Kontrolle per Gesichtsmuskeln ohne längeres Üben zuverlässig, während die Steuerung per Augenbewegungen mehr Übung erfordert und die per Hirnaktivität die schwierigste ist (für die auch der Hersteller keine genaue Anleitung oder Erklärung anbietet). Dennoch kommen dieser Journalist, andere Tester sowie einige wissenschaftliche Publikationen (z.B. Minjin et al. 2009) zu dem Ergebnis, dass auch die Steuerung per Gehirnaktivität als attraktives, spielleistungssteigerndes Bedienelement genutzt werden kann, zumindest zusätzlich zu den klassischen Bedienelementen sowie zu anderen biosignalbasierten Steuerungsmöglichkeiten. Einer der leitenden Entwickler der Firma ‚OCZ Technology Group‘ hat im Jahr 2008 laut Onlinemedienberichten ein Testspiel in ‚Unreal Tournament‘ gegen einen der besten ‚Unreal Tournament‘-Spieler bestritten, wobei Letzterer klassische Steuerungselemente nutzte. Die Ergebnisse hätten gezeigt, dass durch den NIA durchaus beachtliche Leistungen in diesem Spiel erreicht werden können. Für den Markterfolg von Geräten dieser Art dürfte entscheidend sein, ob sie ohne größeren Aufwand (z.B. als einfaches Headset) einsetzbar sind und ob mit ihnen zumindest bei einigen Spielfunktionen Vorteile (vor allem hinsichtlich der Reaktionszeit bei Spielaktionen) zu erzielen sind – während die Frage, welche Biosignale genutzt werden, vermutlich sekundär ist (vgl. dazu und zu den eher ernüchternden Resultaten eines Tests eines ähnlichen Geräts: Heingartner 2009).

Direkt hirnkaktivitätsbasierte Steuerungstechnologien spielen im Computerspielbereich derzeit also bereits eine gewisse Rolle, aber das Wissen zu den aktuellen Möglichkeiten ist – auch aufgrund des Schutzes des geistigen Eigentums seitens der Hersteller von Unterhaltungselektronik in diesem Bereich – äußerst lückenhaft (und zudem zum Teil widersprüchlich). Derzeit besteht eine zwar noch überschaubare, aber durchaus schon über einige öffentliche Projektfördermittel verfügende, sich in Fachworkshops zusammenfindende und auch in Deutschland verankerte Community von Wissenschaftlern, die an der Entwicklung von BCI-Technologien für nichtmedizinische Computerspiele arbeitet oder sich für diese interessiert (vgl. z.B. Blankertz et al. 2010; Nijholt, Tan 2007 und auf <http://hmi.ewi.utwente.nl/brainplay07/contributions> die Workshop-Beiträge). Wie z.T. die BCI-Forschung allgemein leidet das Feld anscheinend unter oft reißerischer Medienberichterstattung, einem Mangel an begutachteten Zeitschriftenartikeln und auch unter der Neigung zu Übertreibungen bei einigen Forschern. Neben den durch den erwähnten Schutz geistigen Eigentums verursachten Unklarheiten kommt laut einem Bericht des einflussreichen Technologiemagazins ‚Wired‘ (Cole 2007) erschwerend hinzu, dass einige Forscher und Firmen aus dem Feld medizinischer oder Entspannungsanwendungen vor möglichen Gesundheits- und Sicherheitsrisiken warnen. Sie betrachten die Nutzung von Neurotechnologien allein für Unterhaltungszwecke im Computerspielbereich mit Skepsis und fordern, dass diese, wenn überhaupt, nur nach wissenschaftlichen Untersuchungen der Unbedenklichkeit erlaubt werden sollte. Einige der Firmen, die reine Unterhaltungsprodukte (wie die oben erwähnten Geräte) anbieten, betonen, dass diese Produkte aufgrund ihrer (oft allerdings dann nicht näher erläuterten) technischen Spezifika ungefährlich seien.

Trotz der erwähnten Bedenken und Unklarheiten sowie des derzeitigen Status als Nischenanwendung sieht eine erhebliche Zahl von seriösen Forschern (z.B. Nijholt 2008), gerade auch in Deutschland (z.B. Blankertz et al. 2010), die nichtmedizinische Nutzung im Computerspielbereich als ein in der Zukunft potentiell hochrelevantes Anwendungsfeld von Neurotechnologien an.



### **3 Folgedimensionen nichtmedizinischer Anwendungen der Neurowissenschaften**

Bei vielen nichtmedizinischen Anwendungen, die sich zumindest perspektivisch aus den Neurowissenschaften ergeben, handelt es sich eher um weitreichende Visionen und spekulative Erwartungen denn um in der Entwicklung befindliche oder schon leistungsfähige Technologien. Besonders kontroverse Visionen dieser Art – wie die eines „Neuro-Enhancement“ – finden derzeit besondere Aufmerksamkeit in ethischen Diskussionen und auch in der TA. Auch in der Debatte um die NBIC-Konvergenz, in der das Thema „Human Enhancement“ zentral ist (s. Kap. 2), spielen die Potentiale der Neurowissenschaften eine herausragende Rolle. Allerdings sind diese Debatten z.T. durch eine gewisse Prominenz extremer, von sog. Transhumanisten vertretender Thesen zur technischen Verbesserung des Menschen (bzw. des menschlichen Gehirns) oder zu einer Cyberzivilisation gekennzeichnet, in der die Menschheit von Maschinenintelligenz dominiert oder gar abgelöst wird. Solche eher dem Bereich der Science Fiction zuzurechnenden Gedankenexperimente sind unseres Erachtens in einem TA-Projekt nicht ernsthaft, hinsichtlich der damit eventuell verbundenen gesellschaftlichen Folgen zu diskutieren, sondern allenfalls auf ihre Plausibilität und Realitätshaltigkeit hin zu untersuchen. Sie werden deshalb im Folgenden ausgeklammert. Das Thema einer Erweiterung menschlicher Fähigkeiten ist allerdings auch jenseits solcher Vision bestimmend für die Diskussion über einige der sich durch die Neurowissenschaften eröffnenden Anwendungen, insbesondere in der Diskussion über ein kognitives Enhancement bzw. „Hirn-Doping“ durch diverse Substanzen. Daher wird in den Folgenden auch relativ ausführlich auf die Enhancement-Thematik eingegangen.

#### **3.1 Personale Autonomie und Identität**

Technische oder sonstige Eingriffe in das Nervensystem oder das Gehirn des Menschen, betreffen nolens volens die menschliche Wahrnehmung, menschliches Empfinden und Bewusstsein. Nicht zufällig haben die Neurowissenschaften mit der von manchen Vertretern der Zunft vehement vorgetragene These, dass das menschliche Bewusstsein letztlich nur ein Epiphänomen materieller menschliches Verhalten und Handeln determinierender bio-chemischer Abläufe und der freie Wille als handlungssteuernde Instanz eine reine Illusion sei, die größte öffentliche Aufmerksamkeit erregt – auch wenn diese These bisher durch Forschungsergebnisse nicht gestützt werden kann. Es ist daher nicht verwunderlich, dass in der Diskussion konkreter technischer Anwendungen der Neurowissenschaften Fragen der personalen Selbstwahrnehmung, Autonomie und Identität einen wesentlichen Teil der in TA-Studien diskutierten Folgepotentiale ausmachen.

Zu den personalen Folgen sind zunächst natürlich die möglichen gesundheitlichen Risiken zu zählen, die mit der Nutzung von Psychopharmaka und Neurotechnologien verbunden sind. Während bei nicht-invasiven Methoden wie z.B. beim Neurofeedback bisher kaum gesundheitliche Risiken diskutiert werden, stellt sich die Lage bei Pharmaka anders da. Unzweifelhaft sind einige der Substanzen, die seit längerer Zeit auch zum Zweck der Leistungssteigerung eingenommen werden (vor allem Stimulanzien wie Amphetamine), unter gesundheitlichen Gesichtspunkten bedenklich. In einem aktuellen Übersichtsartikel zu in der „Brain Doping“-Debatte zentralen Substanzen kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass die Substanzen, die eine gewisse leistungssteigernde Wirkung haben (Stimulanzien und Modafinil), durchgängig relevante Nebenwirkungen und Sicherheitsrisiken aufweisen (Franke, Lieb 2010). Zudem könne Koffein als eine wirksame Alternative zum pharmakologischen Neuroenhancement gelten. Forderungen nach einer Liberalisierung in diesem Bereich müssten daher kritisch hinterfragt werden.

Risiken sind natürlich ebenso für die medizinische Nutzung von Psychopharmaka wie auch für medizinisch indizierte neuronale Implantate bekannt: Bei neuronalen Implantaten ist z.B. das Risiko einer ungewollten Anregung von benachbarten Hirnarealen durch die angelegte neuronale Schnittstelle zu beachten – mit möglichen Folgen für die physische und psychische Gesundheit. Diese Erkenntnisse lassen sich auf potentielle nichtmedizinische Formen der Nutzung übertragen (Merkel et al. 2007). Hierbei ist selbstverständlich auch zu beachten, dass die Nebenwirkungen auch psychischer Art sein oder kognitive Fähigkeiten betreffen können, wie z.B. die von Parkinsonpatienten berichteten negativen Auswirkungen von DBS auf das Sprachvermögen (Dubiel 2006; vgl. zu dieser Thematik z.B. auch Coenen et al. 2009).

Weiter gehen Überlegungen, inwieweit sich durch die Nutzung von Neuropharmaka und neuronalen technischen Implantaten Veränderungen der personalen Selbstwahrnehmung oder der personalen Identität ergeben könnten (Kollek 2005; Hennen et al. 2008; Merkel et al. 2007; EGE 2005). Solche Bedenken sind in der Vergangenheit auch schon hinsichtlich bestimmter neurochirurgischer Eingriffe vorgebracht worden. Neuronale Prothesen und insbesondere neuronale Implantate, da sie die eigene psychische Konstitution beeinflussen, können als Teil der eigenen Person wahrgenommen werden und verändern somit die personale Selbstwahrnehmung. Gehören die Handlungsanteile, die dem Implantat oder der Prothese zuzuschreiben sind, noch zur eigenen Person? Insbesondere bei Implantaten, die in komplexe psychische Vorgänge eingreifen, würde die Selbsterfahrung der Person möglicherweise drastisch verändert. Sowohl bei Implantaten aber auch bei Psychopharmaka könnte sich die Frage stellen, inwieweit eine Person noch in der Lage ist, das eigene Handeln zu steuern. Hieraus ergäben sich dann auch rechtliche Fragen nach der Verantwortungs- oder Zurechnungsfähigkeit von Personen. Mögliche Einschränkungen personaler Autonomie können sich auch durch Psychopharmaka, die zur Stimmungsaufhellung eingesetzt werden, ergeben. Die künstliche Veränderung des emotionalen Zustandes – wie beim Rauschmittelkonsum – schneidet die Person in gewisser Weise von einer authentischen Erfahrung der Umwelt und der eigenen Person ab. Ähnliche Probleme werden im Rahmen der Enhancement-Debatte auch für in Zukunft mögliche pharmakologische oder andere Interventionen in das menschliche Erinnerungsvermögen diskutiert (Coenen et al. 2009). Die gezielte „Löschung“ oder Unterdrückung negativer Erinnerungen könnte – sollte dies je möglich sein – für Traumapatienten eventuell hilfreich sein, würde aber auch als gezielter Eingriff zur Veränderung der personalen Identität angesehen und genutzt werden können.

Die Diskussion um die personalen Implikationen möglicher nichtmedizinisch motivierter Interventionen in das menschliche Nervensystem sind notwendigerweise hoch spekulativ, da die Anwendungen wie z.B. die gezielte Erweiterung oder Einschränkung der Erinnerungsfähigkeit weitgehend spekulativ bleiben. Die bisher vorliegende ausführlichste Beschäftigung mit den personalen Implikationen neurowissenschaftlicher Anwendungen liefert daher auch eine umfangreichen Entwicklung der philosophischen Aspekte der Begriffe Person und personale Identität, beschränkt sich aber bezüglich der Folgen auf mögliche Nebeneffekte medizinischer Interventionen auf die Personalität und das Problem des Umgangs mit personalen Risiken im Falle nicht-einwilligungsfähiger Personen (Merkel et al. 2007, S. 189 ff.). Angesichts des bisherigen Nischendaseins nichtmedizinischer Anwendungen von Neurotechnologien bleibt es ebenfalls noch hoch spekulativ, nach den möglichen Folgen einer alltäglichen Nutzung solcher Technologien im Computerspiel- und „Virtuelle Welten“-Bereich zu fragen. Denkbar wäre hier, dass eine Identifikation mit der Figur, die in der ‚virtuellen Welt‘ geführt wird (Avatar), leichter suchthafte Züge annehmen könnte.

Konkreter erscheinen aber Folgenpotentiale für die personale Autonomie wie sie im Hinblick auf mögliche Einsichten über Verhaltensdispositionen oder charakterliche Eigenschaften diskutiert werden, die sich aus dem Fortschritt der Neurowissenschaften ergeben könnten. Hierzu zählt die Nutzung bildgebender Verfahren vor Gericht wie auch eventuell zum Zwecke des Neuromarketing. Die mögliche Nutzung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse könnte sensible Einsichten über die Person implizieren, deren Nutzung gegen den

Willen der Person einen Eingriff in die Autonomie darstellen würde, der juristisch mit starken Argumenten rechtfertigt werden müsste.

Grundsätzlich wäre auch die Frage zu stellen, inwieweit durch die nichtmedizinische Nutzung von Neuroimaging ein unangemessenes mechanistisches Bild der Determiniertheit des Mentalen bzw. Vorurteile über die Möglichkeit objektiver „Messung“ etwa von unbewussten Motiven von Personen gefördert werden könnten.

### 3.2 Soziale Interaktion und gesellschaftliche Integration

Unabhängig von den möglichen technischen Nutzenwendungen, die sich aus der neurowissenschaftlichen Forschung ergeben bzw. ergeben könnten, gibt der Fortschritt im Verständnis des Aufbaus und der Funktionsweise des Gehirns, also die Grundlagenforschung selbst, Anlass zu weitreichenden auch eine breitere Öffentlichkeit interessierenden Debatten über mögliche gesellschaftliche Konsequenzen. Hierzu haben einige Neurowissenschaftler durch die Verbreitung provokanter Thesen zum Verhältnis von Geist und Gehirn beigetragen. Sollte das Ziel, alle Bewusstseinsleistungen auf ihr materielles Substrat zurückzuführen – d.h. als biochemischen Vorgang erklären zu können –, tatsächlich realisierbar sein, würde dies in der Tat eine drastische Veränderung unseres Selbstbildes implizieren. Es wäre dann vorstellbar, dass sich der Kern jeglicher sozialen Interaktion, nämlich die wechselseitige Unterstellung von Verantwortlichkeit und Zurechenbarkeit als Akteure, und damit die Grundlage jeglicher Moral, auflösen würde – oder doch nicht mehr in gleicher Weise und Selbstverständlichkeit in der lebensweltlichen Kommunikation unterstellt werden könnte. Wie z.B. von Gerhard Roth vertreten, würde dies auch bedeuten, dass die Annahme von Schuldfähigkeit und Verantwortung im Strafverfahren ihre Grundlage entzogen würde. Diese biologistische Auffassung menschlichen Bewusstseins hat zu vielfältigen kritischen Reaktionen von Seiten der Geisteswissenschaften geführt, die den Anspruch der Neurowissenschaften zurückweisen und Geist, Sprache und Kultur als eigenständige Sphären behaupten, die einer naturwissenschaftlichen Erklärung nicht zugänglich seien. Diese Debatte ist vielfach dokumentiert und hat auch in TA-Studien z.T. breiten Raum eingenommen. Als Zwischenfazit, dass durchaus länger Bestand haben könnte, wird hier festgestellt, dass die bisherigen Ergebnisse der Forschung solche weitreichenden Schlussfolgerungen nicht decken.

Kurzfristig möglicherweise virulent werdende Probleme ergeben sich dagegen auf der Anwendungsebene, so z.B. eine mögliche schleichende Ausweitung des Indikationsspektrums für Psychopharmaka. Es kann erwartet werden, dass die Entwicklung von Medikamenten zur Behandlung von neurologischen und psychischen Erkrankungen in den kommenden Jahren stark vorangetrieben wird, was wegen der wachsenden Zahl z.B. von altersbedingten Erkrankungen durchaus wünschenswert und auch gesellschaftlich notwendig erscheint. Gleichzeitig könnte damit aber auch eine wachsende Zahl von Verhaltensabweichungen und Auffälligkeiten zum Gegenstand medizinischer medikamentöser Behandlung werden, die bisher als „normal“ oder allenfalls als Anlass zu psychotherapeutischer Intervention angesehen werden. Zum einen könnte eine erweiterte Verfügbarkeit von Psychopharmaka den Stellenwert psychotherapeutischer Beratung verändern. Weiterhin könnte sich aber der Krankheitsbegriff auf Formen sozial unerwünschten Verhaltens oder als unangenehm empfundener psychischer Empfindlichkeiten ausweiten, die heute nicht als pathologisch gelten, sondern als angemessene bzw. verstehbare Reaktionen auf persönliche oder soziale Problemlagen. Die Ausweitung der Verschreibung von Ritalin bei verhaltensauffälligen Kindern in den letzten Jahren scheint man durchaus auch als Indikator für eine Tendenz zur Medikalisierung sozialer Probleme betrachten zu können.

Eine Reihe gesellschaftlicher Probleme sehen vorliegende TA-Studien gegeben, sollten Szenarien einer zunehmenden Verfügbarkeit von leistungssteigernden Drogen, also Möglichkeiten des kognitiven Enhan-

ment, Realität werden. Zunächst einmal ist die Veralltäglicdung der Nutzung kognitiver Enhancement-Mittel in einer wettbewerbsorientierten Gesellschaft kein unrealistisches Szenario, sollten dementsprechende (nebenwirkungsarme) Mittel verfügbar sein. Diskutiert wird der dann entstehende soziale Druck, der über die schleichend steigenden Erwartungen an individuelle Leistungsfähigkeit, auf den Einzelnen einwirkt, im Interesse seiner Konkurrenzfähigkeit auf die Nutzung entsprechender Mittel zurückzugreifen. Befürchtungen werden auch bezüglich der weiteren Entwicklung von prothetischen Mitteln, die zur Verbesserung der Lebensqualität behinderter Menschen wünschenswert erscheint, geäußert. Sollten solche Entwicklungen auch zu Enhancement-Zwecken verfügbar sein könnte sich das Verständnis speziesnormaler Leistungsfähigkeit verändern, und bisher als normal empfundene körperliche Leistungsfähigkeit oder Ausstattungen als verbesserungsbedürftig aufgefasst werden, etwa Kleinwüchsigkeit oder Übergewicht (vgl. zu dieser Thematik Grunwald 2008, S. 308 ff.).

Es bleibt grundsätzlich festzuhalten, dass sich die Diskussion um Enhancement zu großen Teilen im Bereich des Spekulativen bewegt. Es können durchaus Zweifel angemeldet werden, inwieweit in naher Zukunft tatsächlich nennenswerte Möglichkeiten der kognitiven Leistungssteigerung – ohne ernsthaft Nebenwirkungen, die eine Veralltäglicdung ihrer Nutzung unwahrscheinlich machen – zur Verfügung stehen werden. Während Probleme wie eine zunehmende Medikalisierung von Verhaltensabweichungen und psychischen Störungen ein durchaus ernstzunehmendes Folgszenario darstellen, kann die Debatte um Enhancement-Technologien doch als weitgehend dem Bereich „spekulativer Ethik“ (Nordmann, Rip 2009) angehörig betrachtet werden. Aktuelle Untersuchungen des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) kommen zu eher nüchternen Einschätzungen, was eine zukünftig mögliche Verbreitung von kognitivem Enhancement angeht, und stellen in Frage, ob der Begriff Enhancement – da irreführend – in der Debatte über Folgen neuer Psychopharmaka überhaupt genutzt werden sollte (vgl. Sauter 2010).

Hoch spekulativ ist bisher die Aussicht, durch Gehirn-Computer-Schnittstellen-Technologie eine quasi-telepathische Alltagskommunikation einschließlich der Kommunikation von Gefühlen und Empfindungen zu ermöglichen. Realistischer erscheint hingegen die Möglichkeit, mittels elektromyographiebasierter Technologie lautlose sprachliche Kommunikation in verschiedenen Anwendungskontexten zu ermöglichen. Die Nutzung von Neurotechnologien zur Gerätesteuerung ermöglicht es zudem zumindest perspektivisch, dass körperlich eingeschränkte oder behinderte Menschen neue oder verbesserte Möglichkeiten der sozialen Integration erlangen. Dies betrifft z.B. deren Mobilität sowie deren Nutzung von Computertechnologie für Kommunikations-, soziale Vernetzungs- und Unterhaltungszwecke.

### 3.3 Politische Regulierung

Politisch stellt sich die Frage nach der Notwendigkeit von regulierender Intervention. Angesichts des wenig fortgeschrittenen Charakters nichtmedizinischer Anwendungen der Neurowissenschaften ist hierzu derzeit aber nur wenig zu sagen. Eine Zulassung des Einsatzes von Neuroimaging für nichtmedizinische Zwecke im Bereich der Strafverfolgung und Rechtsprechung wäre ohne rechtliche Regelungen, die Aussagen zur Beweiskraft der Methode und den Umständen der zulässigen Nutzung umfassen, kaum vorstellbar.

Die Nutzung von Enhancement-Technologien oder -mitteln müsste wohl als Wahrnehmung eines individuellen Rechtes angesehen werden, in das nur einzugreifen wäre, wenn negative Folgen für Dritte oder Selbstgefährdung bestehen. Soweit dies nicht in Anschlag gebracht werden kann, wird eine politische Regulierung weithin als schwierig eingeschätzt. Ethische Bewertungen etwa des kognitiven Enhancement kommen immer wieder zu dem Schluss, dass die absehbaren Möglichkeiten des Hirndoping wohl kaum ethisch anders zu bewerten seien als etablierte Formen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit (s. z.B. Galert

2010; van den Daele 2010). Warum sollten individuell wahrgenommene Defizite kognitiver, körperlicher oder ästhetischer Art nicht zum Einsatz entsprechender Mittel berechtigen, wenn sie doch Nebenwirkungen einmal ausgeklammert das subjektive Wohlbefinden oder die Zufriedenheit befördern? Wo liegt der Unterschied zwischen einer allseits kulturell akzeptierten Nutzung von etwa Koffein zur Verbesserung der Aufmerksamkeit gegenüber den neuen Möglichkeiten des Enhancement? Zonneveld et al. (2008) stellen in ihren Schlussfolgerungen zu einem Expertenworkshop „Enhancement“ in den Kontext der Frage nach dem „guten Leben“. Sie konstatieren hier eine Schwäche liberaler Gesellschaften, die sie gegenüber individuell eingeforderten Rechten auf Nutzung jedweder Möglichkeit der Erweiterung der eigenen Leistungs- oder Erlebnisfähigkeit hilflos macht. Die Frage nach dem guten Leben oder die Frage „what it means to be human“ sind der Sphäre privater Präferenzen und Entscheidungen überlassen. Die Herausgeber sehen sie im Falle von Enhancement hier aber schlecht aufgehoben, weil zumindest potenziell eine grundsätzliche Veränderung der „conditio humana“ impliziert sein könnte. Grundsätzlich würde sich bei einer veralltäglichten Nutzung von kognitiven „Enhancern“ wahrscheinlich eine Regulierung des Gebrauchs in Prüfungssituationen nicht vermeiden lassen. Es würden sich hier ähnliche Probleme des Ausschlusses von unfairem Wettbewerb und entsprechender Kontrollen wie heute im Sport stellen. Gesundheitliche Risikofragen stellten sich, wenn neurotechnologische Eingriffe, die nichtmedizinischen oder behinderungskompensierenden Zwecken dienen, so attraktiv würden, dass eine nennenswerte Zahl von Menschen die Risiken eines operativen Eingriffs auf sich nehmen. Auch wenn es nicht ausgeschlossen ist, dass z.B. hochkompetitive oder stark leistungs- und leidensbereite Gruppen wie Soldaten und professionelle Computerspieler denkbare leistungssteigernde Neuro-Implantate attraktiv fänden (vgl. zu dieser Thematik z.B. Coenen et al. 2009; Grunwald 2008; Nijholt et al. 2009), so erscheint diese Zukunftsperspektive aber doch noch extrem spekulativ.

Hinsichtlich der Nutzung von (überwiegend direkt aus dem Bereich aus der Medizintechnologie stammenden) Neurotechnologien und anderen biosignalbasierten Technologien für Unterhaltungs- und andere nichtmedizinische Zwecke könnten in Zukunft Gesundheits- und Sicherheitsaspekte verstärkt thematisiert und dann eventuell auch politisch reguliert werden. Hierbei könnte es z.B. um Zulassungsverfahren gehen, um Sicherheitsaspekte (z.B. in Bezug auf den Straßenverkehr), um Fragen der rechtlichen Verantwortlichkeit (z.B. bei neuartigen Fahrassistenzsystemen) und um den Jugendschutz bei möglicherweise emotional besonders stark ansprechenden und daher hohe Suchtpotentiale besitzenden Neurotechnologie-Computerspielanwendungen.

## 4 Schlussfolgerungen und Vorschläge für ITA-Projekte

Die Neurowissenschaften sind als Thema in der TA angekommen und werden in der Breite sowohl durch klassische überblickartige TA-Studien als auch in der noch laufenden Enhancement-Debatte hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Folgepotentiale diskutiert. Grundsätzlich sind die Neurowissenschaften damit TA-seitig, zumindest was grundsätzliche Fragen, wie etwa die möglichen kulturelle Bedeutung der Aufklärung der physiologischen Grundlagen mentaler Aktivität, angeht, recht gut erfasst. Einige der in der vorliegenden Studie angesprochenen einzelnen Anwendungsmöglichkeiten neurowissenschaftlicher Erkenntnisse, wären aber durch spezielle TA-Studien noch systematisch zu untersuchen. Hierzu werden im Folgenden einige Anregungen formuliert.

Wegen der zu erwartenden weiteren Fortschritte in Forschung und Anwendung ist selbstverständlich ein weiteres Monitoring der Entwicklung der Neurowissenschaften angezeigt, um auf zu erwartende Durchbrüche der Forschung mit eventuellen Weiterungen für die gesellschaftlich Praxis und politischen Regulierungsbedarf rechtzeitig reagieren zu können. Dies gilt insbesondere auch für den Bereich der medizinischen Anwendungen, die in der vorliegenden Studie nicht betrachtet wurden. Insbesondere mögliche Erfolge in der Aufklärung von Ursachen altersbedingter neurologischer Erkrankungen sind wegen der möglichen gesundheitsökonomischen Effekte von Bedeutung.

Was den Bereich nichtmedizinischer Anwendung angeht, steht – wie an verschiedenen Stellen in der vorliegenden Studie erwähnt – momentan das Thema „Human Enhancement“ im Zentrum des Interesses. Hier erscheinen die in jüngerer Zeit abgeschlossenen oder noch laufenden TA-Studien derzeit ausreichend. Erhebliche gesellschaftliche Folgen und ethische Debatten sind sicherlich für den Fall der Realisierung vieler derzeit diskutierter Enhancement-Möglichkeiten zu erwarten. Nur ist die Realisierbarkeit solcher Erweiterungen menschlicher kognitiver Leistungen derzeit kaum seriös abzuschätzen und kann – wenn überhaupt – allenfalls für die fernere Zukunft erwartet werden. Sinnvoll erscheinen TA-Studien im Kontext „Enhancement“ eher für die etablierte Praxis des Missbrauchs oder der „erweiterten“ Nutzung neuer Stimulanzien und Psychopharmaka, wie etwa Ritalin. Hier würden aber zunächst wahrscheinlich weniger ethische Probleme und weitgehende gesellschaftliche Folgen als Fragen der tatsächlichen Wirkung und Nebenwirkungen genutzter „Enhancement-Medikamente“, im Sinne eines „Health Technology Assessment“, im Vordergrund stehen.

Auch bei den in der vorliegenden Kurzstudie näher untersuchten Anwendungsfeldern stellt sich zunächst vor allem die Frage nach der tatsächlichen Leistungsfähigkeit der erhofften bzw. in der Praxis bereits angekommenen Anwendungen neurowissenschaftlichen Wissens.

Dabei scheint das Anwendungsfeld „Lernen“ noch am wenigsten hinsichtlich beobachtbarer Effekte der Neurowissenschaften auf die (schulische) Praxis entwickelt zu sein. Hier hat sich aber offenbar im Bereich der Forschung zumindest die wechselseitige Beobachtung psychologischer Lernforschung und neurowissenschaftlicher Forschung soweit etabliert, dass eine intensive fachliche Diskussion möglicher zukünftiger Effekte der Neurowissenschaften für Forschung und Praxis gesichert scheint. Für eine darüber hinaus gehende grundsätzliche Thematisierung von Effekten der Neurowissenschaften auf die Gestaltung von Curricula, Lernumgebung oder individuelle Lernleistung besteht aber vorläufig eher kein Anlass.

Es scheinen zurzeit weniger neue fundamentale Einsichten zur Funktionsweise von Gehirn und Nervensystem und der physiologischen Basis mentaler Leistungen und Bewusstseinsvorgänge zu sein, die merkbare Effekte auf gesellschaftliche Praxisfelder zeitigen. Vielmehr lässt sich beobachten, dass technische Methoden und Instrumente, die für die moderne neurowissenschaftliche Forschung kennzeichnend sind und auch Bedeutung für die medizinische Diagnostik und Therapie haben, sozusagen auf dem Wege des „Dual use“

für außermedizinische Anwendungen genutzt werden. Das trifft insbesondere auf das Neuroimaging, aber auch (weniger entwickelt) auf das sog. „Neurofeedback“ zu.

Die nichtmedizinischen Anwendungen von Neurotechnologien sind bisher zumeist entweder noch in der experimentellen Phase oder nur in Nischenbereichen relevant. Sie wären daher in TA-Studien wohl am besten im Rahmen von thematisch umfassenderen Projekten zu untersuchen. Hier böte sich z.B. ein Projekt zu nichtmedizinischen Anwendungen biosignalbasierter Technologien insgesamt an. Weitere sich anbietende Möglichkeiten sind Projekte zu ‚Virtuelle-Realität‘-Technologien und zum Computerspielbereich.

### **Computerspiele**

Bei einem möglichen Projekt zum Computerspielbereich – das im Folgenden kurz beispielhaft skizziert werden soll – wäre die in dieser Kurzstudie fokussierte Nutzung von Gehirn-Computer-Schnittstellen (BCI) lediglich ein Element technologischer Innovation in einem dynamischen, ökonomisch und kulturell bereits bedeutenden Feld. Die medizinischen Nutzungen von Computerspielen könnten genauso einbezogen werden wie der Bedeutungszuwachs von Computerspielen in anderen Nichtunterhaltungsbereichen (z.B. ‚serious games‘ und bei Simulationen), die ökonomischen Perspektiven der gesamten Branche sowie das ganze Spektrum biosignal- und bewegungsbasierter neuer Steuerungsmöglichkeiten, wie z.B. auch die vor allem durch die ‚Wii‘-Produkte der Firma ‚Nintendo‘ bekannten Videokonsolen mit eingebauten Bewegungssensoren (vgl. für einen journalistischen Beitrag zu neueren Entwicklungen in diesem Spektrum: Stuart 2010). Im Unterhaltungsbereich dürften sich Anwendungen von Neurotechnologien in absehbarer Zukunft auf die Nutzung bei der Entwicklung von Spielen, auf einen Nischenmarkt für reine BCI-Spiele sowie auf die Ergänzung der etablierten Steuerungselemente (Maus, Tastatur, Konsole) durch BCI-Technologien beschränken (Blankertz et al. 2010). Letzteres könnte dann auch bei populären Spielen und damit ökonomisch relativ relevant werden, z.B. durch Möglichkeiten, bestimmte „Fähigkeiten“ von Avataren auf neuartige Weise im Spiel zu realisieren. Denkbar ist auch, dass im als besonders dynamisch geltenden Wachstumsmarkt der ‚Casual Games‘ (Böhle et al. 2008) BCI-Technologien aufgrund des einfachen Charakters der Spiele als Hauptsteuerungselemente Verbreitung erlangen. Mittel- bis langfristig könnten die Anwendungen im Spielbereich noch vielfältiger werden. Schon jetzt ließe sich z.T. abklären, inwieweit die nichtmedizinische Nutzung von Neurotechnologien in diesem Bereich riskant ist, sowohl unter im engeren Sinn gesundheitlichen und Sicherheitsaspekten als auch mit Blick auf suchtartige Konsummuster von Spielen. Zudem wären möglichst genau, die tatsächliche Leistungsfähigkeit und die Potentiale der einschlägigen Anwendungen zu bestimmen. In einem umfassenden TA-Projekt zum Computerspielbereich könnte auch die Nutzung von Computerspielen für Lernzwecke thematisiert werden, wobei dann Neurotechnologien ebenfalls eine gewisse Rolle spielen könnten. In einem umfassenden Projekt ließe sich von den in dieser Studie angesprochenen TA-Studien ausgehen, und die in der Förderung von Innovations- und Technikanalysen zum Thema berücksichtigten Kompetenzen könnten wieder eingebunden werden. Dabei ließen sich dann schließlich eventuell auch weitergehende gesellschaftliche und kulturelle Aspekte des Themas – wie z.B. Tendenzen einer wachsenden Durchdringung der Gesellschaft mit Computerspielen („gamification“ bzw. „Ludifikation“) sowie die kulturelle und technologische Innovationstreiberrolle des Computerspielgenres – berücksichtigen.

### **Außermedizinische Nutzung von Neuroimaging**

Der bereits praktizierte Einsatz bildgebender Verfahren im Neuromarketing wie auch die intensiven Diskussionen zur Nutzung dieser Verfahren in der Strafverfolgung und Rechtsprechung lassen ebenfalls eine intensivere Thematisierung durch TA-Studien angebracht erscheinen. Hier sind vor allem mögliche ethische Aspekte und verschiedene gesellschaftliche Folgen relevant. Die im Auftrag von TA-Swiss (Hüsing et

al. 2006) durchgeführte Studie zum Neuroimaging kann hier als Orientierung dienen. Die Studie war allerdings eher als Überblick angelegt, und die hier zur Diskussion stehenden Anwendungsfelder waren zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie noch kaum ausreichend konturiert. Der Stand und die möglichen gesellschaftlichen Implikationen des Neuromarketing könnten – da in Deutschland offenbar bereits von nicht unerheblicher Bedeutung – in einer eigenen Studie untersucht werden. Eher angemessen erscheint aber eine etwas breiter, an der Technologie des Neuroimaging und den sich abzeichnenden außermedizinischen Anwendungsfeldern ansetzende Studie, steht doch in beiden hier thematisierten Einsatzfeldern die Frage nach der tatsächlichen Leistungsfähigkeit und der Validität der erzielten Ergebnisse im Vordergrund.

Eine TA-Studie zur Anwendung bildgebender Verfahren in den Feldern Marketing und Justiz würde also zunächst generell die Aussagekraft von Hirnscans zum Thema haben. Es ist durchaus auch im Bereich der neurowissenschaftlichen Grundlagenforschung nicht abschließend geklärt, welchen Wert Hirnscan-Experimente für die Aufklärung der physiologischen Basis komplexer mentaler Vorgänge haben bzw. haben können. Es bestehen gravierende methodologische Probleme, die sich aus Rückschlüssen aus der indirekten Messung neuronaler Aktivität (Bluttransport zu besonders aktiven Hirnregionen bei fMRT) oder den Schwierigkeiten des Herausfilterns der für den untersuchten mentalen Vorgang relevanten Aktivität aus der Gesamtaktivität des Gehirns ergeben. Zudem wird die in Hirnscan-Experimenten unterstellte Annahme einer modularen Arbeitsweise des Gehirns – das also bestimmte Hirnregionen auf bestimmte Aufgaben spezialisiert sind – von einigen Fachvertretern als durchaus nicht hinreichend theoretisch und empirisch untermauert, betrachtet. Es wären also zunächst die methodologischen und theoretischen Probleme von Hirnscan-Experimenten aufzuklären. Hierzu wären in der Nutzung der Technologie erfahrene und an der Theorieentwicklung interessierte Neurowissenschaftler sowie Experten aus der sozialwissenschaftlichen Forschung (etwa aus der Verhaltenspsychologie) miteinander ins Gespräch zu bringen. Ziel wäre es, eine Beurteilungsgrundlage für die doch vielfach als zu weitgehend kritisierten Rückschlüsse von Grundlagenforschungsergebnissen auf praktische Anwendungen in den Bereichen Neuromarketing und Justiz zu gewinnen. Für diese beiden Felder wäre dann zunächst die Validität, der von den Akteuren (insbesondere im Neuromarketing) postulierten Nutzenanwendungen zu diskutieren. Hierbei wären auch nach den Erwartungen und Motiven von Kunden und Anbietern zu fragen. Beim Neuromarketing würde diese Diskussion an einer etablierten Praxis anknüpfen können, während für den Bereich Justiz eher prospektiv die Sinnhaftigkeit des Einsatzes von Neuroimaging zwischen Neurowissenschaftlern, Rechtswissenschaftlern und -praktikern sowie Sozialwissenschaftlern zu diskutieren wäre. Die zu berücksichtigenden Folgendimensionen würden wahrscheinlich auf den Bereich des Persönlichkeitsschutzes und auf Eingriffe in Persönlichkeitsrechte fokussieren. Daneben sollte es aber auch ein Anliegen der Untersuchung sein, einen Beitrag zur sachlichen Beurteilung der Aussagekraft von Hirnscans auch im Hinblick auf eine breitere Öffentlichkeit zu leisten. Die gelegentliche Rede vom „Gedankenlesen“ lässt es als durchaus sinnvoll erscheinen, die „suggestive Kraft der Hirnbilder“ mit realistischen Einschätzungen zu kontrastieren, um zu einer Entmythologisierung beizutragen. Hierzu wäre es auch angebracht, dort wo die Anwendung hinreichend konkret ist (wie beim Neuromarketing), durch geeignete Befragungstechniken, die Sicht von Laien auf den Einsatz von Neuroimaging zu untersuchen: um Hinweise auf kursierende Erwartungen und Befürchtungen oder auch auf Potentiale der irreführenden Nutzung von Laienvorurteilen hinsichtlich der „Objektivität der Bilder“ zu erhalten.



## 5 Literaturverzeichnis

- BBDO-Germany* (o.J.): Brain Branding: Eine neue Perspektive für das Markenmanagement, [www.bbdo-consulting.de/cms/de/publikationen/brand\\_management/brand\\_management/pdf/2004\\_11\\_POI\\_1\\_-\\_BrainBranding\\_-\\_Eine\\_neue\\_Perspektive\\_fuer\\_das\\_Markenmanagement.pdf](http://www.bbdo-consulting.de/cms/de/publikationen/brand_management/brand_management/pdf/2004_11_POI_1_-_BrainBranding_-_Eine_neue_Perspektive_fuer_das_Markenmanagement.pdf) (14.10.10)
- Beck, S.* (2006): Unterstützung der Strafermittlung durch die Neurowissenschaften?. In: Juristische Rundschau, S. 146-150
- Becker, N.; Roth, G.* (2004): Hirnforschung und Didaktik. Ein Blick auf aktuelle Rezeptionsperspektiven. In: *Erwachsenenbildung* 50, S. 106-110
- Berger, T.; Chapin, J.; Gerhardt, G.; McFarland, D.; Principe, J.; Soussou, W.; Taylor, D.; Tresco, P.* (2007): WTEC Panel Report on International Assessment of Research and Development in Brain-Computer Interfaces. World Technology Evaluation Center, Inc.: Baltimore; <http://www.wtec.org/bci/BCI-finalreport-10Oct2007-lowres.pdf>
- Blankertz, B.; Tangermann, M.; Vidaurre, C.; Fazli, S.; Sannelli, C.; Haufe, S.; Maeder, C.; Ramsey, L.; Sturm, I.; Curio, G.; Müller, K.-R.* (2010): The Berlin Brain-Computer Interface: Non-Medical Uses of BCI Technology. *Frontiers in Neuroscience*
- Böhle, K.; Rader, M.; Weber, A.; Weber, D.* (2008): Looking forward in the ICT & Media industries. STOA Final Study 34. Brussels: European Parliament 2008 (IP/A/STOA/FWC2005-28/SC34); <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2008/boua08a.pdf>
- Brown, T., Murphy, E.* (2010): Through a scanner darkly: Functional Neuroimaging as evidence of a criminal defendant's past mental states. In: *Stanford Law Review* 62, S. 1119-1208
- Byrnes, P. J.; Fox, N. A.* (1998): The Educational relevance of Research in Cognitive Neuroscience. In: *Educational Psychological Review*, Vol. 10, S. 297-242
- Coenen, C.* (2008): Konvergierende Technologien und Wissenschaften. Der Stand der Debatte und politischen Aktivitäten zu „Converging Technologies“, Hintergrundpapier Nr. 16, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin
- Coenen, C.; Schuijff, M.; Smits, M.; Klaassen, P. Hennen, L.; Rader, M. Wolbring, G.* (2009): Human Enhancement. Science and Technology Options Assessment (STOA), European Parliament, Brüssel (STOA 2009-13)
- Coenen, C.; Gammel, St.; Heil, R.; Woyke, A.* (Hg.) (2010): Die Debatte über "Human Enhancement". Historische, philosophische und ethische Aspekte der technologischen Verbesserung des Menschen. Bielefeld
- Cole, E.* (2007): Direct Brain-to-Game Interface Worries Scientists. *Wired*, 09.05.07, [http://www.wired.com/medtech/health/news/2007/09/bci\\_games](http://www.wired.com/medtech/health/news/2007/09/bci_games)
- Crawford, M. B.* (2008): The limits of Neuro-Talk. In: *The New Atlantis*; S. 65-78
- Deutscher Ethikrat* (2009): Der gläserne Mensch. Tagungsdokumentation, Berlin
- De Pauw, E.; Pleysier, S.; Van Looy, J.; Bourgonjon, J.; Rutten, K.; Vanhooven, S.; Soetaert, R.* (2008): Ze krijgen er neit genoeg van! Jongeren en gaming, een overzichtstudie (Onderzoeksrapport, Februar 2008). Brüssel: viWTA (Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek)
- Dubiel, H.* (2006): Tief im Hirn. München
- EGE (European Group on Ethics in Science and New Technologies)* (2005): Ethical Aspects of ICT Implants in the Human Body, Opinion No. 20 of the European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission. Brüssel
- Egner, T.; Gruzelier, J.* (2003): Ecological validity of neurofeedback: Modulation of slow wave EEG enhances musical performance. In: *NeuroReport* 14, S. 1221-1224

- Erk, S.; Spitzer, M.; Wunderlich, A. P.; Galley, L.; Walter, H. C. A.* (2002): Cultural Objects modulate reward circuitry. In: *Neuroreport* 13, S. 2499-2503
- Farwell, L. A.; Smith, S. S.* (2001): Using Brain MERMER testing to detect knowledge despite efforts to conceal. In: *Journal of Forensic Science* 46, S. 135
- Fehr, E.; Camerer, C. F.* (2007): Social neuroeconomics: the neural circuitry of social preferences. *Trends in Cognitive Sciences* 11, S. 419-427
- Ferrari, A.; Coenen, C.; Grunwald, A.; Sauter, A.* (2010): Animal Enhancement. Neue technische Möglichkeiten und ethische Fragen (Expertenbericht im Auftrag der Eidgenössischen Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich, EKAH). Bern: Bundesamt für Bauten und Logistik BBL (Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, Bd. 7)
- Fields, H.* (2010): Can Neuroscience Identify Pain? In: *A Judges Guide to Neuroscience*, University of California, Santa Barbara
- Franke, A.; Lieb, K.* (2010): Pharmakologisches Neuroenhancement und „Hirndoping“. Chancen und Risiken. In: *Bundesgesundheitsblatt* 53/8, S. 853-860
- Galert, T.* (2010): „Das optimierte Gehirn“. Potenziale und Risiken des pharmazeutischen Enhancements psychischer Eigenschaften. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis (TATuP)* 19/1 (April 2010), S. 67-70
- Ganis, G.; Kosslyn S. M.; Stose S.; Thompson, W. L.; Yurgelun-Todd D. A.* (2003): Neural Correlates of Different Types of Deception: An fMRI Investigation. In: *Cerebral Cortex* 13, S. 830-836
- Geake, J.* (2008): The potential of cognitive neuroscience for education: education and the human potential. In: *Zonneveld, L.; Dijkstra, H.; Ringoir, D.* (Hg.): *Reshaping the Human Condition: Exploring Human Enhancement*. In: The Hague, S. 53-64
- Giegerenzer, G.* (2007): *Bauchentscheidungen. Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition*. München
- Goodenough, O. R.; Tucker, M.* (2010): Law and Cognitive Neuroscience. In: *Annual Review of Law and Social Sciences* Vol. 6, S. 61-92
- Goswami, U.* (2003): Why theories about development dyslexia require developmental design. In: *Trends in Cognitive Sciences* 7, S. 534-540
- Greene, D. G.; Paxton, J. M.* (2009): Patterns of neural activity associated with honest and dishonest moral decisions. In: *Proceedings of the national Academy of Sciences of the United States of America* 106, S. 12505-12511
- Grunwald, A.; Banse, G.; Coenen, Chr.; Hennen, L.* (2006): *Netzöffentlichkeit und digitale Demokratie. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag*, Bd. 18. Berlin
- Grunwald, A.* (2008): *Auf dem Weg in eine nanotechnologische Zukunft. Philosophisch-ethische Fragen*. Freiburg (Breisgau)
- Harrison, G. W.* (2008): Neuroeconomics a critical consideration. In: *Economics and Philosophy* Vol. 24, S. 303-344
- Häusel, H. G.* (2009): Schleichwege ins Kundenhirn (Interview). <http://www.haufe.de/acquisa/specialContentDetail?id=1237801126.17> (14.10.10)
- Heingartner, D.* (2009): Loser: Mental Block. Emotiv says its game controller works at the speed of thought, but it doesn't. In: *IEEE Spectrum*, January 2009, <http://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/gaming/loser-mental-block>
- Hennen, L.; Katz, Chr.; Paschen, H.; Sauter, A.* (1997): Präsentation von Wissenschaft im gesellschaftlichen Kontext. Zur Konzeption eines "Forums für Wissenschaft und Technik. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Bd. 4. Berlin

- Hennen, L.; Grünwald, R.; Revermann, C.; Sauter, A.* (2008): Einsichten und Eingriffe in das Gehirn. Die Herausforderung der Gesellschaft durch die Neurowissenschaften. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Bd. 24. Berlin
- Hüsing, B.; Jäncke, L.; Tag, B.* (2006): Impact Assessment of Neuroimaging. Zürich
- King Baudouin Foundation, Rathenau Institute* (2004): Connecting Brains and Society. The present and future of brain science. Proceedings and synthesis report of an international workshop, April 2004. Amsterdam
- Katayama, K.* (2009): Invention Awards: A Real-Life Babel Fish For the Speaking Impaired. Popular Science, 05.20.2009; <http://www.popsci.com/scitech/article/2009-05/electronic-voice-box>
- Knecht, S.; Breitenstein, C.; Bushuven, S.; Wailke, S.; Kamping, S.; Flöel, A.; T`Zwitserlood, P.; Ringelstein, E. B.* (2004): Levodopa - faster and better word learning in normal humans. In: *Annals of Neurology* 56, S. 20-26.
- Knutson, B.; Scott, R.; Wimmer G. E.; Prelec, D.; Loewenstein, G.* (2007): Neural Predictors of Purchases. In: *Neuro* 53, S. 147-156
- Kolber, A.* (2011): The Experiential Future of the Law. *Emory Law Journal* (forthcoming)
- Kollek, R.* (2005): From Chance to Choice? Selbstverhältnis und Verantwortung im Kontext biomedizinischer Körpertechniken. In: Bora, A.; Decker, M.; Grunwald, A.; Renn, O. (Hg.): *Technik in einer fragilen Welt – Die Rolle der Technikfolgenabschätzung*. Berlin, S. 79–90
- Langleben, D.D.; Schroeder, L.; Maldjian, J. A.; Gur, R. C.; McDonald, S.; Ragland, J. D.; O'Brien, C. P.; Childress, A. R.* (2002): Brain activity during simulated deception: an event-related functional magnetic resonance study. In: *Neuroimage* 15(3), S. 727-732
- Lin, M.* (2008): OCZ NIA Brain-Computer Interface. *HotHardware*, 21.07.2008, [http://hothardware.com/Articles/OCZ\\_NIA\\_BrainComputer\\_Interface/](http://hothardware.com/Articles/OCZ_NIA_BrainComputer_Interface/)
- Littlefield, M.* (2009): Constructing the Organ of Deceit: The Rhetoric of fMRI and Brain Fingerprinting in Post-9/11 America. In: *Science, Technology & Human Values* 34, S. 365-392
- McClure, S. M.; Li, J.; Tomlin, D.; Cypert, K. S.; Montague, L. M.; Montague, P. R.* (2004): Neural correlates of behavioural preferences for culturally familiar drinks. In: *Neuro* 44, S. 379-387
- Merkel, R.; Boer, G.; Fegert, J.; Galert, T.; Hartmann, D.; Nuttin, B.; Rosahl, S.* (2007): Interventing in the Brain: Changing Psyche and Society. In: *Ethics of Science and Technology Assessment Vol. 29*. Berlin u. Heidelberg
- Miller, G.* (2009): Brain Scans of Pain Raise Questions for the Law. In: *Science* Vol. 323, S. 195
- Minjin, K.; Kyoungwoo, B.; Gyuhan, O.; Taiyoung, R.* (2009): A Study on New Gameplay Based on Brain-Computer Interface. In: *Digital Games Research Association (Hg.): Proceedings of DiGRA 2009: Breaking New Ground: Innovation in Games, Play, Practice and Theory*; <http://www.digra.org:8080/Plone/dl/db/09287.16307.pdf>
- Moreno, J. D.* (2006): *Mind Wars: Brain Research and National Defense*. New York, Washington
- Nijholt, A.* (2008): BCI for Games: A ‘State of the Art’ Survey. In: Stevens, S.; Saldamarco, S. (Hg.): *Entertainment Computing – ICEC 2008. 7th International Conference, Pittsburgh, PA, USA, September 25-27, 2008*. In: *Proceedings, Lecture Notes in Computer Science* 5309, S. 225-228
- Nijholt, A.; Tan, D.* (2007): Playing with your brain: brain-computer interfaces and games. (Workshop auf der 4th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2007), 13.-15. Juni 2007, Salzburg). In: Bernhaupt, R.; Inakage, M.; Lee, N.; Natkin, S.; Tscheligi, M. (Hg.): *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE 2007 (Series: ACM International Conference Proceedings Series, Bd. 203)*. Rostrevor: Curran Associates, S. 305 – 306
- Nijholt, A.; Reuderink, B.; Oude Bos, D.* (2009): Turning Shortcomings into Challenges: Brain-Computer Interfaces for Games. In: Nijholt, A.; Reidsma, D.; Hondorp, H. (Hg.): *Intelligent Technologies for Interactive Entertainment. Third International Conference, INTETAIN 2009, Amsterdam, The Netherlands, June 22-24, 2009, Pro-*

- ceedings, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering 9 (Part 2), S. 153-168
- Nordmann, A.; Rip, A.* (2009): Mind the gap revisited. In: *Nature Nanotechnology* 4, S. 273 - 274
- Neurofocus* (2010): Sales success shows Neuromarketing moves magazines: New Scientist reports 12% increase in newsstand sales for issue featuring Neurofocus tested cover design, Press release, London 2. 9. 2010 ([http://www.neurofocus.com/pdfs/NewScientist\\_CoverDesign\\_ROI.pdf](http://www.neurofocus.com/pdfs/NewScientist_CoverDesign_ROI.pdf)) (10.10.2010).
- New, J. G.* (2008): If you could read my mind – implications of neurological evidence for twenty-first century criminal jurisprudence. In: *The Journal of Legal Medicine* 29, S. 179-198
- Paschen, H.; Wingert, B.; Coenen, Chr.; Banse, G.* (2002): Kultur – Medien – Märkte. Medienentwicklung und kultureller Wandel. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Bd. 12. Berlin
- Pauen, M.* (2007): Neuroökonomie – Grundlagen und Grenzen. In: *Analyse & Kritik* 29, S. 24-37
- Platt, M. L.; Glimcher, P. W.* (1999): Neural correlates of decision variables in parietal cortex. In: *Nature* 400, S. 233-238
- Rief, W.; Birbaumer N.* (Hg.) (2006): Biofeedback: Grundlagen, Indikationen, Kommunikation, praktisches Vorgehen in der Therapie. Stuttgart
- Riehm, U.; Wingert, B.* (1995): Multimedia – Mythen, Chancen und Herausforderungen. Mannheim
- Sauter, A.* (2010): Beschleunigung der Evolution durch pharmakologische Leistungssteigerung? Human Enhancement zwischen Utopie und Trivialität. In: Gerhard, V., Lucas, K., Stock, G. (Hg.): *Natur, Technik und Kultur in der Perspektive der Evolution* (in Vorbereitung)
- Schauer, F.* (2009): Neuroscience lie detection and the law. In: *Trends in Cognitive Science* 14, S. 101-103
- Schleim, S.; Spranger, T. M.; Walter, H.* (2007): Von der Neuroethik zum Neurorecht? Der Beginn einer neuen Debatte. In: *Nervenheilkunde* 26, S. 813-818
- Schleim, S.; Walter, H.* (2007): Gedankenlesen mit dem Hirnscanner? In: *Nervenheilkunde* 26, S. 505-510
- Schulte von Drach, M. C.* (2005): Neuronen würden Whiskas kaufen. In: *Süddeutsche Zeitung* vom 13.07.2005
- Schumacher, R.* (2007): The Brain is not Enough. Potentials and Limits in Integrating Neuroscience and Pedagogy. In: *Analyse und Kritik* 29/1, S. 38-46
- Spence, S.A.; Hunter, M. D.; Farrow, T. F. D.; Green, R. D.; Leung, D. H.; Hughes C.J.; Ganesan, V.* (2004): A cognitive neurobiological account of deception: evidence from functional neuroimaging. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 359, S. 1755-1762
- Spitzer, M.; Kubesch, S.* (o.J.): Zur Definition und Bedeutsamkeit exekutiver Funktionen für die pädagogische Praxis. ZNL Ulm, <http://www.znl-ulm.de/html/n18-editorial.html> (28.09.10)
- Spranger, T. M.* (2007): Neurowissenschaften und Recht. In: *Jahrbuch für Wissenschaft und Ethik*, Bd.12, S. 161-178
- Stanton, A. A.* (2009): Neuroeconomics: A critique of „Neuroeconomics: A critical Reconsideration“. Prepared for the *Revue Francaise d’Economie*. <http://ssrn.com/abstract=1113226> (11.10.2010)
- Stern, E.; Grabner, R.; Schumacher, R.* (2005): Lehr-Lern-Forschung und Neurowissenschaften: Erwartungen, Befunde und Forschungsperspektiven. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Bonn
- Stieglitz, Th.; Rubehn, B.; Henle, C.; Meier, W.; Schuettler, M.* (2009): Gehirn-Computer-Schnittstellen zur Ableitung und Stimulation. In: *Orthopädie-Technik* 2009(6), S. 376-382
- Stuart, K.* (2010): 3D games enter a new generation. The launch of PlayStation Move and Xbox Kinect signals a revolution in the way that we interact through the Internet. In: *The Observer* vom 19.09.2010, <http://www.guardian.co.uk/technology/2010/sep/19/3d-games-xbox-playstation>
- Tyler, W.* (2010): Remote Control of Brain Activity Using Ultrasound, *Armed with Science* (Website), 01.09.2010; <http://science.dodlive.mil/2010/09/01/remote-control-of-brain-activity-using-ultrasound/>

- Van den Daele, W.* (2010): Auf eigene Rechnung. Gegen Neuro-Enhancement lässt sich schwer argumentieren. In: WZB-Mitteilungen 127 (März 2010), S. 9-11
- Vogeley, K.* (2005): Stand der Forschung, Anwendung und Perspektiven der Neurowissenschaften. Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages. Köln
- Wagenaar, W. A.* (2008): Enhancing memory in the Criminal Trial process. In: Zonneveld, L.; Dijstelbloem, H.; Ringoir, D. (Hg.): Reshaping the Human Condition: Exploring Human Enhancement. In: The Hague, S. 65-76
- Wand, M.; Schultz, T.* (2009): Towards Speaker-Adaptive Speech Recognition based on Surface Electromyography, Vortrag auf der International Conference on Bio-inspired Systems and Signal Processing (Biosignals 2009), Porto, 14. Januar 2009; [http://csl.ira.uka.de/fileadmin/media/publication\\_files/WandSchultz\\_Biosignals2009.pdf](http://csl.ira.uka.de/fileadmin/media/publication_files/WandSchultz_Biosignals2009.pdf)
- Zak, P.* (2004): Neuroeconomics. In: Philosophical Transactions of the Royal Society London 359, S. 1737-1747
- Zonneveld, L.; Dijstelbloem, H.; Ringoir D.* (Hg.) (2008): Reshaping the Human Condition. Exploring Human Enhancement. In: The Hague: Rathenau Institute (in collaboration with the British Embassy, Science and Innovation Network and the Parliamentary Office of Science and Technology)



## **Autorenverzeichnis**

*Coenen, Christopher. Dipl.-Pol.*; Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 721 / 608 - 2 45 59; Fax: +49 (0) 721 / 608 - 2 48 06; E-Mail: christopher.coenen@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>

*Hennen, Leonhard. Dr.*; Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Ahrstraße 45, 53175 Bonn; Tel.: +49 (0) 228 / 308 18 - 34; Fax: +49 (0) 228 / 308 18 - 30; E-Mail: leonhard.hennen@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>



## Kontakt Daten

### Prof. Dr. Michael Decker

Tel.: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 30 07

Fax: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 48 06

E-Mail: michael.decker@kit.edu

## ITAS – Institutsprofil und Forschungsprogramm

Das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) erarbeitet und vermittelt Wissen über die Folgen menschlichen Handelns und ihre Bewertung in Bezug auf die Entwicklung und den Einsatz von neuen Technologien. Das ITAS erforscht wissenschaftliche und technische Entwicklungen in Bezug auf systemische Zusammenhänge und Technikfolgen. Umweltbezogene, ökonomische, soziale sowie politisch-institutionelle Fragestellungen stehen dabei im Mittelpunkt. Wesentliche Ziele sind die Orientierung der Forschungs- und Technikpolitik, die Einflussnahme auf die Gestaltung sozio-technischer Systeme im Hinblick etwa auf Kriterien nachhaltiger Entwicklung sowie die Durchführung diskursiver Verfahren zu offenen oder kontroversen technologiepolitischen Fragen. Die Ergebnisse der Forschung und Beratung sind öffentlich.

Für weitere Informationen: <http://www.itas.kit.edu>

### Anschrift

Institut für Technikfolgenabschätzung  
und Systemanalyse (ITAS)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe

Leitung: Prof. Dr. Armin Grunwald

Sekretariat: Bettina Schmidt-Leis

Tel.: + 49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 25 01

Fax: + 49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 48 06

