



**Fraunhofer** Institut  
System- und  
Innovationsforschung

## **ISI-Forschungsbericht**

# **„Converging Technologies“ und Neurowissenschaften**

## **Welche Rolle spielt die Konvergenz der Spitzentechnologien in der Hirnforschung?**

von  
Bernd Beckert

Kontakt:

Dr. Bernd Beckert  
Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)  
Abt. Neue Technologien  
Breslauer Str. 48,  
76131 Karlsruhe  
Tel.: 0721 / 6809-171  
E-Mail: [Bernd.Beckert@isi.fraunhofer.de](mailto:Bernd.Beckert@isi.fraunhofer.de)  
Web: [www.isi.fraunhofer.de/t](http://www.isi.fraunhofer.de/t)

Karlsruhe im April 2007

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>Vorbemerkung</b>	
<b>1 Einleitung und Fragestellung .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Strukturierung Hirnforschung .....</b>	<b>9</b>
<b>3 Converging Technologies: Grundzüge der Debatte.....</b>	<b>15</b>
<b>4 Recherche: Verbindungslinien zwischen der Converging Technologies- Debatte und der Hirnforschung .....</b>	<b>21</b>
4.1 USA .....	21
4.2 Die Rolle der Verteidigung in der NBIC-Debatte .....	23
4.3 Europa .....	35
4.4 Vergleich der Stoßrichtungen in USA und Europa .....	36
<b>5 Recherche: Visionen und potenzielle Anwendungen: Welche Rolle spielt die Hirnforschung in der Konvergenz-Debatte? .....</b>	<b>45</b>
5.1 Analyse der Beiträge von Neurowissenschaftlern im NBIC-Report ...	45
5.2 Das Human Cognome Project.....	59
5.3 Konvergenz-Visionen in Europa .....	60
5.4 Das Konzept des verbesserten Menschen.....	62
<b>6 Analyse: Interdisziplinarität als Leitthema in beiden Bereichen.....</b>	<b>65</b>
<b>7 Analyse: Konvergenz der Spitzentechnologien: Tragfähiges Konzept oder vorübergehende Modeerscheinung? .....</b>	<b>73</b>
<b>8 Literatur .....</b>	<b>77</b>
 Anhang A: Auswertung der Teilnehmerlisten der zentralen CT-Konferenzen.....	 83
Anhang B: Szenario „verbesserter“ Menschen im Jahr 2020.....	89

## Vorbemerkung

Beim vorliegenden ISI-Forschungsbericht handelt es sich um ein Teilgutachten, das für das TA-Projekt „Hirnforschung“ des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) zwischen 2005 und 2006 erstellt wurde. Der Endbericht des TA-Projekts stützt sich auf insgesamt neun Teilgutachten und wird Mitte 2007 erscheinen. Darin wird unser Gutachten als „FhG-ISI 2005a“ zitiert.

Inzwischen ist die Entwicklung weiter vorangeschritten, das Konzept der „Converging Technologies“ ist auf vielfältige Weise in Forschungsprogramme diffundiert. Zwar stehen nach wie vor Fragen der Funktionsweise des menschlichen Gehirns, Enhancement-Technologien und Mensch-Maschine-Schnittstellen im Mittelpunkt. Es kam jedoch auch zu inhaltlichen Erweiterungen, wie das Beispiel eines EU-Projektes im 7. Rahmenprogramm zeigt, in dem das Potenzial der konvergenten Technologien für den Lebensmittelbereich untersucht werden soll.

Auch die Sozial- und Geisteswissenschaften sind von der Konvergenz-Entwicklung betroffen - sei es als Impulsgeber für die Organisation trans-disziplinärerer Forschung oder als Adressat weitreichender Erklärungsansprüche der Naturwissenschaften. Welche Auswirkungen die Konvergenz-Idee auf das Forschungsprogramm der Sozial- und Geisteswissenschaften im Einzelnen hat, untersucht das Fraunhofer ISI derzeit in einem EU-Projekt in Kooperation mit dem ITAS des Forschungszentrums Karlsruhe, dem Institut de L'Ecole Normale Supérieure Paris und der University of Oxford. Erste Ergebnisse dieses Projekts sind unter der Internet-Adresse [www.fraunhofer.contecs.de](http://www.fraunhofer.contecs.de) abrufbar.

Im Rahmen dieses und anderer Projekte analysiert das Fraunhofer ISI die Konvergenzentwicklung und führt Expertengespräche mit Visionären, Forschungsplanern und Wissenschaftlern in den beteiligten Disziplinen durch. Ziel der Analyse ist es, herauszufinden, wann und in welchen Bereichen konkrete Anwendungen der Konvergenz-Idee zu erwarten sind und an welche Voraussetzungen diese gebunden sind.



# 1 Einleitung und Fragestellung

Ziel dieser Studie ist es, die Rolle der Konvergenz der Spitzentechnologien (Nano, Bio, Info, Kogno) in der Hirnforschung zu beleuchten. Dabei geht es um die Frage, welche Gemeinsamkeiten und Verbindungslinien es zwischen diesen beiden Bereichen gibt und welche Einflussbeziehungen auf einer konzeptionellen Ebene bestehen. Denn noch scheint es zu früh, nach konkreten Anwendungen, praktischen Verfahren oder gar Produkten zu fragen, die sich aus der Überschneidung dieser Bereiche ergeben. Tatsächlich bewegt sich die Konvergenzdebatte momentan ausschließlich auf der Ebene von Visionen und erwarteten wissenschaftlichen Durchbrüchen, während es in der Hirnforschung in den letzten Jahren eine Reihe wichtiger Erkenntnisfortschritte mit praktischem Anwendungspotenzial gegeben hat. Welche Übertragungen hier möglich sind und wie sich beide Bereiche in Zukunft möglicherweise durchdringen können, ist Gegenstand dieser Studie.

Die Studie ist Teil einer Gutachten-Reihe des TAB zum Thema Hirnforschung, in der unterschiedliche Einzelaspekte der Hirnforschung bearbeitet werden. Aufgabe der Teilgutachten ist es, einen möglichen Informations- und Handlungsbedarf der Bundestagsabgeordneten zu identifizieren. Insofern haben die Gutachten den Charakter von Vorstudien. Hintergrund des vorliegenden Teilgutachtens „Hirnforschung und Converging Technologies“ ist die Frage, welche Beiträge die Neurowissenschaften zur Debatte über die Konvergenz der Spitzentechnologien liefern.

Sowohl bei den Neurowissenschaften - die hier synonym auch als „Hirnforschung“ bezeichnet werden -, als auch bei den „Converging Technologies“ handelt es sich per se um multi- oder interdisziplinäre sowie stark heterogen strukturierte Gebiete, für die es (noch) keine verbindlichen Abgrenzungen gibt, auf die man zurückgreifen könnte. Dennoch ist eine annäherungsweise Definition und eine Strukturierung der Gegenstandsbereiche notwendig, um den möglichen Beziehungen zwischen Hirnforschung und Converging Technologies nachgehen zu können.

Deshalb wird in Kapitel 2 zunächst eine Strukturierung des Bereichs Hirnforschung vorgenommen, in der u.a. die drei Forschungsebenen der Neurowissenschaften dargestellt werden. Anschließend werden in Kapitel 3 die Grundzüge der Debatte um die Konvergenz der Spitzentechnologien dargestellt, wobei hier weniger auf die unterschiedlichen Akzentuierungen in den USA und Europa eingegangen wird, als vielmehr auf die gemeinsame Erwartung, dass die Kognitionswissenschaften und darin insbesondere die Neurowissenschaften im Zuge der Konvergenz einen enormen Aufschwung erleben werden.

Wodurch sich dieser Aufschwung genau begründet, welche Teilgebiete der Neurowissenschaften besonders betroffen sind und wo die zentralen Durchbrüche erwartet werden, darüber herrscht allerdings weder in der Literatur noch bei den befragten Experten Einigkeit. Tatsächlich werden diese Fragen so konkret oft gar nicht gestellt. Es herrscht lediglich die diffuse Erwartung, dass sich zentrale neue Erkenntnisse der Hirnforschung als Impulse für die Konvergenz der Spitzentechnologien auswirken werden und umgekehrt. Verfolgt man die gestellten Fragen weiter und insistiert bei den Experten auf eine Einschätzung, so wird deutlich, in welchem frühem Stadium sich die Konvergenzdebatte noch befindet: Es können lediglich Indizien und interessante Hinweise zusammengetragen werden, die sich auf vereinzelte konzeptionelle und persönliche Überschneidungen sowie auf teilweise gemeinsame Visionen stützen.

Der Hauptteil der vorliegenden Studie besteht aus einem Recherche-Teil (Kapitel 4 und 5) und einem Analyse-Teil (Kapitel 6 und 7).

In Kapitel 4 geht es um die konzeptionellen und persönlichen Verbindungslinien zwischen den Converging Technologies und der Hirnforschung in den Vereinigten Staaten und in Europa. Basis der Recherche sind die zentralen Dokumente der Konvergenzdebatte sowie Internet-Recherchen und Fachartikel in einschlägigen Zeitschriften. Aber auch die Experteninterviews, die im Rahmen des Gutachtens für die Hirnforschungsförderprogramme durchgeführt wurden (Roloff; Beckert 2006), wurden dazu genutzt, die Frage nach der Bedeutung der Converging Technologies in der neurowissenschaftlichen Forschung zu stellen. Einen Schwerpunkt in Kapitel 4 stellt darüber hinaus die Frage nach der verteidigungspolitischen Verquickung der amerikanischen NBIC-Debatte dar. Anschließend werden Überschneidungen personeller Art sichtbar gemacht, indem die Hauptakteure der amerikanischen und europäischen CT-Debatte entlang ihrer aktuellen Forschungsgebiete gruppiert wurden.

In Kapitel 5 stehen die Visionen im Vordergrund, die sowohl in der CT-Debatte als auch in den Neurowissenschaften eine Rolle spielen. Hierfür wurden sieben neurowissenschaftlich relevante Aufsätze im NBIC-Report, dem einschlägigen Dokument in der amerikanischen Debatte, ausgewählt und ausgewertet. Die europäische Diskussion ist im Hinblick auf Visionen weniger ergiebig, aber auch hier finden sich Vorstellungen, wofür die Konvergenz der Spitzentechnologien vorangetrieben werden soll und welche Implikationen dies für die Zukunft hat. Etwas ausführlicher wird in diesem Zusammenhang das Konzept des verbesserten Menschen dargestellt, das in beiden Debatten eine wichtige Rolle spielt.

Kapitel 6 und 7 widmen sich der Analyse der Ergebnisse und beschäftigen sich zum einen mit der Forderung nach Interdisziplinarität und zum anderen mit der Frage, ob es

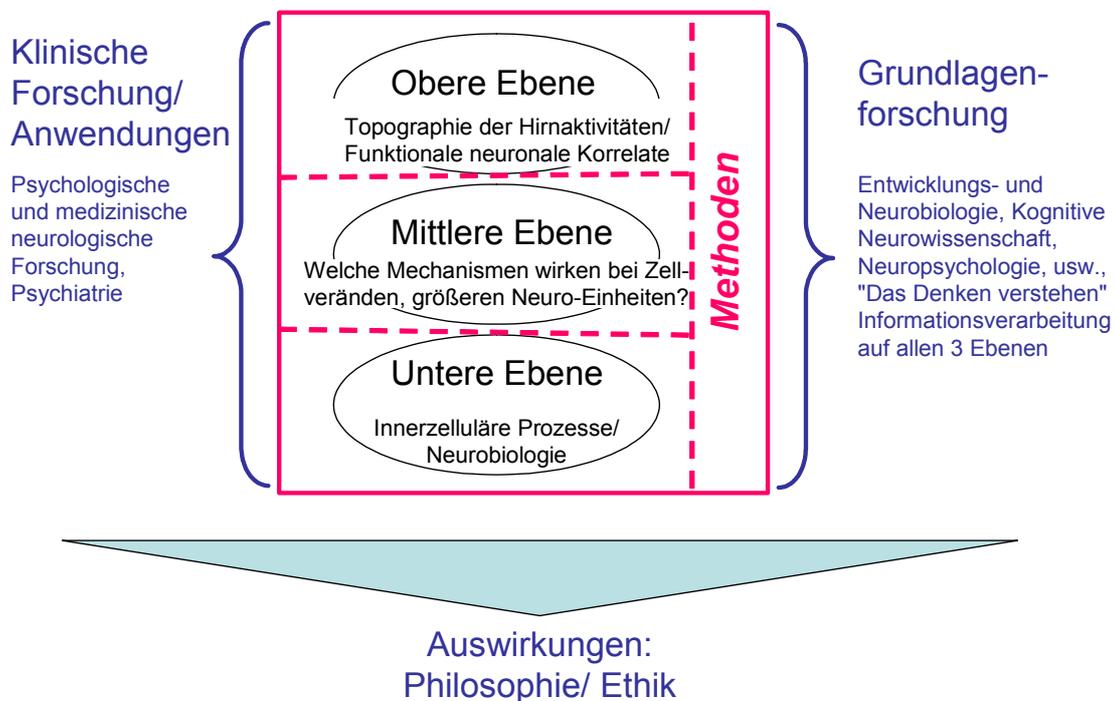
sich bei den konvergierenden Technologien um eine wissenschaftliche Modeerscheinung handelt oder um ein tragfähiges Konzept für die Forschung der Zukunft.



## 2 Strukturierung Hirnforschung

Hirnforschung bzw. Neurowissenschaften sind Oberbegriffe und Zusammenfassungen für einen Forschungsbereich, in dem sehr unterschiedliche Teildisziplinen aus der Medizin, Biologie, Chemie, Physik, Psychologie und Informatik den Fragen nach den materiellen Voraussetzungen und den Funktionsweisen von Denken und Verstehen nachgehen. Eine verbindliche oder allgemein anerkannte Strukturierung des Forschungsgebietes gibt es dabei nicht. Für diese Studie wurde deshalb eine Strukturierung erarbeitet, die sich auf verschiedene Quellen stützt. Wichtigste Quelle ist das 3-Ebenen-Modell, wie es im Manifest der Hirnforschung vorgeschlagen wird (Monyer/ Rösler/ Roth et al. 2004). Dieses wurde durch die Unterscheidung in Klinische Forschung/Anwendungen und Grundlagenforschung ergänzt, wie sie in der forschungspolitischen Praxis üblich ist. Darüber hinaus wurden Hinweise aus der Strukturierung der deutschen neurowissenschaftlichen Gesellschaft, der amerikanischen Neuroscience-Konferenz sowie der befragten Experten aufgenommen. Abbildung 1 zeigt die so entstandene Strukturierung, deren Elemente im Folgenden näher beschrieben werden.

Abb. 1: Strukturierung des Forschungsgebiets „Hirnforschung“



Quelle: eigene Darstellung

Das „Manifest“ von 2004 stellt ein wichtiges Dokument der Hirnforschung in Deutschland dar. Darin diskutieren elf bekannte Neurowissenschaftler Gegenwart und Zukunft der Hirnforschung. Sie stellen dar, dass in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte sowohl auf der unteren als auch auf der oberen Ebene erzielt werden konnten. Dagegen sei über die Mechanismen in Zellverbänden - d.h. über die Zusammenhänge auf der mittleren Ebene - bislang noch zu wenig bekannt (vgl. Monyer; Rösler; Roth et al. 2004). Im Einzelnen werden die Ebenen wie folgt charakterisiert:

**Untere Ebene** („wet brain research“): Hier werden Vorgänge auf dem Niveau einzelner Zellen und Moleküle untersucht. Typische Fragestellungen sind: Wie sind Nervenzellenmembrane mit Rezeptoren und Ionenkanälen ausgestattet? Wie funktionieren Neurotransmitter? Welche Funktionen haben Neurohormone? Wie laufen intrazelluläre Signalprozesse ab, d.h. wie entsteht neuronale Erregung und wie wird sie abgeleitet? Dabei wird zum Teil auf Computermodelle zurückgegriffen, um die Vorgänge in den Nervenzellen zu modellieren und zu verstehen.

*Methoden:* Patch-clamp-Technik, Fluoreszenzmikroskopie, Xenopus-Oocyten-Expressionssystem.

**Mittlere Ebene:** Auf der mittleren Ebene geht es um die Beschreibung des Geschehens innerhalb von Verbänden von Neuronen und Zellen. Eine Hauptfrage ist, wie „Schaltkreise“ von hunderten oder tausenden von Neuronen im Verbund des ganzen Gehirns Informationen kodieren, bewerten, speichern und auslesen. Die mittlere Ebene und damit die Untersuchung von Mikroschaltkreisen gelangt nach Auffassung der Verfasser des Manifests zunehmend in den Mittelpunkt der Forschung. Hier gilt es, jene neuronalen Prozesse zu verstehen, wie sie beim Lernen, Erkennen und Planen von Handlungen vorkommen. Die Autoren des Manifestes gehen davon aus, dass sich neben der experimentellen Neurobiologie die theoretische Neurobiologie als Forschungsdisziplin durchsetzen wird, die dann ähnlich wie die theoretische Physik innerhalb der Physik eine große Eigenständigkeit besitzen wird. Von Fortschritten bei der Erkenntnis von Vorgängen auf der mittleren Ebene erhoffen sich die Autoren des Manifests auch Hinweise auf eine neue „Theorie des Gehirns“.

Die Herausforderung in der mittleren Ebene besteht darin, den „neuronalen Code“ zu entschlüsseln. Dies kann nicht von der unteren und auch nicht von der oberen Ebene bewerkstelligt werden. Der neuronale Code bestimmt, wie die aus der Kommunikation zwischen den Nervenzellen die entsprechenden Leistungen entstehen. Der bekannte Frankfurter Neurowissenschaftler Rolf Singer sieht im neuronalen Code eine Art Sprache, die es zu entschlüsseln gilt: „Der neuronale Code ist in den

Gesprächen verschlüsselt, die die Nervenzellen untereinander führen. An der Codierung eines bestimmten Wahrnehmungsinhaltes, an der Koordination einer bestimmten Bewegung, nehmen immer viele tausend Nervenzellen teil. Es muss ein ungeheuer komplexer, dynamischer Code sein, der auf einer Abstraktionsebene verhandelt wird, die uns intuitiv nicht zugänglich ist“ (Singer 2004, S. 13).

Dass der größte Forschungsbedarf auf der mittleren Ebene besteht, wird auch von Vogeley (2005) konstatiert, wenngleich er darauf hinweist, dass bereits wichtige Forschungsansätze vorliegen: „Derartige Überlegungen betreffen etwa die Arbeiten der Parzellierung des Kortex auf der Basis zyto- und/oder chemoarchitektonischer Kriterienkataloge oder das Konzept der so genannten Modulararchitektur, die sowohl anatomisch als auch funktionell beschreibbar ist. Die Existenz von anatomisch nachweisbaren und auch funktionell relevanten Modulararchitekturen als uniformen Bestandteilen im menschlichen Gehirn (...) kann heute als gesichert gelten“ (Vogeley 2005, 7f).

*Methoden:* Multiple Photonen-Mikroskope, funktionelle Farbstoffe und molekulargenetische Methoden, detailreiche Modellierung der Vorgänge mit Hochleistungsrechnern, die sich an den wirklichen physiologischen Vorgängen orientiert und nicht an die klassische Informatik oder künstliche Intelligenz anlehnt.

**Obere Ebene:** Auf der oberen Ebene geht es unter Verwendung verschiedener Bildgebungsverfahren darum, die Hirnareale zu bestimmen, die bei bestimmten Handlungen bzw. Denkvorgängen aktiv sind. Ziel ist es dabei zu bestimmen, wo im Gehirn die Aktivitätsareale der verschiedenen Funktionen verortet sind. Dazu gehört auch die Erklärung der Funktionen größerer Hirnareale, wie z.B. der Großhirnrinde, der Amygdala oder der Basalganglien. Als thematische Aufteilung der obersten Organisationsebene des Gehirns werden im „Manifest“ folgende kognitiven Funktionen vorgeschlagen: Sprachverstehen, Bilder erkennen, Tonwahrnehmung, Musikverarbeitung, Handlungsplanung, Gedächtnisprozesse, Erleben von Emotionen (vgl. Monyer; Rösler; Roth et al. 2004, S. 31).

*Methoden:* Positronen-Emissionstomographie (PET), funktionelle Magnetresonanztomografie fMRT, Elektroencephalografie (EEG), Magnetencephalographie (MEG) und andere Bildgebungsverfahren.

Die dargestellten Methoden können aufgrund ihrer teildisziplinären Herkunft zunächst als „ebenenspezifisch“ bezeichnet werden, d.h. jede Ebene hat ihre eigenen, genuinen Methoden, die ihrem spezifischen Kontext entstammen und die dort entsprechend weiterentwickelt werden. So kann man z.B. sagen, dass sich kognitive Leistungsmerkmale, die am ehesten mit komplexen Systemeigenschaften in Ver-

bindung gebracht werden, nicht sinnvoll per se mit Methoden der molekularen Neurowissenschaft erfassen lassen. Allerdings gibt es im methodischen Bereich im Kanon der Neurowissenschaften zum Teil erhebliche Überlappungen und Durchdringungen, wie dies z.B. Vogeley (2005, S. 6f) feststellt. Darüber hinaus erscheinen für die Hirnforschung - insbesondere vor dem Hintergrund einer noch ausstehenden Gesamtheorie, die alle drei Ebenen umspannt - jene Bereiche als besonders spannend, in denen Verbindungen verschiedener Methodenbereiche vorgenommen werden. Hierbei wird oft auf die Neuroinformatik bzw. die „computational neuroscience“ verwiesen. Die Neuroinformatik im engeren Sinne wird zwar üblicherweise der mittleren Ebene zugeschlagen, da sie sich mit der Modellierung und Simulation von Funktionen in größeren Zellverbänden beschäftigt. Allerdings sind Computermodelle, Verfahren zur Datenerhebung, -verwaltung und -aufbereitung sowie mathematische Modellierungsverfahren auch auf der unteren und der oberen Ebene von großer Bedeutung. In der modernen Hirnforschung wird deshalb das Potenzial von Verbindungen verschiedener Methodenbereiche betont (vgl. Vogeley 2005, S. 7).

In der hier verwendeten Strukturierung des Forschungsgebietes werden die drei Ebenen der Hirnforschung von der klinischen Forschung, d.h. dem medizinischen Anwendungsbereich einerseits und der Grundlagenforschung andererseits „umklammert“ (Abb. 1). Denn die drei Ebenen stehen zunächst mehr oder weniger separat und werden erst vom Verwendungszusammenhang her verständlich. Eine Zuweisung zur klinischen Forschung oder zur Grundlagenforschung ist zwar nicht immer einfach und oftmals auch nicht notwendig. Die Verwendung der Begriffe in Abb. 1 soll lediglich zeigen, dass eine solche Unterscheidung in manchen Kontexten gebräuchlich ist und dass sie insbesondere in der öffentlichen Forschungsförderung gemacht wird (vgl. z.B. European Commission 2003).

**Klinische Forschung/Anwendungen:** Bei der klinischen Forschung steht das Verständnis von Ursachen und die Behandlung von neuronalen und psychischen Erkrankungen im Vordergrund. Dabei wird unterschieden zwischen neurodegenerativen Krankheiten (Alzheimer, Parkinson, Multiple Sklerose) und psychischen Krankheiten (Schizophrenie, Depression). Auch die Entwicklung und der Einsatz von Neuroprothesen, d.h. intelligenten Ersatzgliedmaßen bzw. -organen, wie das künstliche Ohr ist Gegenstand der klinischen Hirnforschung.

Ein weiteres Ziel der klinischen Forschung ist es, psychische Auffälligkeiten auf Hirnveränderungen zurückführen zu können, entsprechend voraussagen zu können und Fehlentwicklungen bzw. Verhaltensdispositionen diagnostizieren und behan-

deln zu können. Die Suche nach medizinischen Anwendungen ist ein großer und entsprechend stark geförderter Bereich in der Hirnforschung.

**Grundlagenforschung:** Der klinischen Forschung wird oft die reine Grundlagenforschung gegenübergestellt. Auf einer EU-Konferenz zur Strukturierung der Hirnforschung wurde der Grundlagenbereich folgendermaßen beschrieben: „Basic curiosity-driven research, such as molecular and cellular neuroscience, developmental neurobiology, neurogenetics, systems neuroscience, sensory physiology, ethology and cognitive neuroscience“ (European Commission 2003).

Zur Grundlagenforschung gehört auch die Entwicklung einer „Theorie des Gehirns“, wie sie z.B. im „Manifest“ gefordert wird (Monyer; Rösler; Roth et al. 2004, S. 36). Prinzipiell erwächst die Forderung nach einer neuen Theorie aus den Schwierigkeiten, alleine durch die Erfassung von Hirnaktivitäten auf die Erfahrungs- und Verhaltenskonsequenzen eines konkreten Individuums zu schließen. Zu groß sind die Variationen, die es zwischen Menschen gibt, sowohl hinsichtlich des Genmaterials als auch hinsichtlich der kulturellen Prägungen. Die Autoren des Manifests erhoffen sich eine Theorie, die all diese Variationen erklären kann und die eine Sprache haben wird, die in den heutigen Neurowissenschaften noch nicht bekannt ist. Im Endeffekt könnte sich eine Situation wie in der Physik ergeben: „Die klassische Mechanik hat deskriptive Begriffe für die Makrowelt eingeführt, aber erst mit den aus der Quantenphysik abgeleiteten Begriffen ergab sich die Möglichkeit einer einheitlichen Beschreibung“, so die Verfasser des Manifests (Monyer; Rösler; Roth et al. 2004, S. 36).

**Auswirkungen: Philosophie/ Ethik:** Philosophische Konsequenzen ergeben sich im Zusammenhang mit dem Anspruch der Hirnforschung, eines Tages alle funktionalen und psychologischen Korrelate lokalisiert und verstanden zu haben. Damit einher geht die Möglichkeit, diese auch zu manipulieren, d.h. Sinneswahrnehmungen, Emotionen, Bewußtseinszustände usw. künstlich zu erzeugen. Davon sind auch die Autoren des „Manifests“ überzeugt, die für die Zukunft prognostizieren, dass man „widerspruchsfrei Geist, Bewußtsein, Gefühle, Willensakte und Handlungsfreiheit als natürliche Vorgänge“ verstehen wird, denn sie beruhen auf biologischen Prozessen (Monyer; Rösler; Roth et al. 2004, S. 36). In der Konsequenz bedeutet die Materialisierung des Bewußtseins samt Einschränkung der Willensfreiheit eine „Selbstentzauberung des Ichs“ (vgl. Will 2005) und eine Aufhebung des dualistischen Erklärungsmodells, das von der Trennung von Körper und Geist ausgeht. Allerdings bleiben die Annahmen der Hirnforscher nicht unwidersprochen. Die Kritik bezieht sich dabei vor allem auf die Reduktion aller geistigen Prozesse auf biologi-

sche Grundlagen und auf die behauptete Determiniertheit allen menschlichen Handelns (vgl. z.B. Horster 2005, Fischer 2005, Hacker 2004<sup>1</sup>).

Die von der Hirnforschung in Frage gezogene Willens- und Entscheidungsfreiheit des Individuums hat auch Folgen für die Schuldfähigkeit im rechtlichen Sinne, dann nämlich, wenn z.B. neurowissenschaftliche Gutachten feststellen, dass ein Straftäter nicht schuldfähig ist, sondern aufgrund von nachweisbaren Gehirndeformationen so handeln musste.

Darüber hinaus stellt sich unter ethischen Gesichtspunkten die Frage, wie mit Lifestyle-Pharmazeutika - so genannten Neuroceuticals - umgegangen werden soll, die Gedächtnis, Lernleistungen, Performance und Effizienz steigern („Enhancement“, vgl. z.B. Kutter 2005 und Rögner 2005).

Der Versuch, eine eigene Strukturierung des Forschungsfeldes „Hirnforschung“ in Anlehnung an das 3-Ebenen-Modell und die Unterscheidung von Grundlagenforschung und klinische Forschung vorzunehmen, hat gezeigt, dass an der Entschlüsselung des menschlichen Gehirns viele Teildisziplinen mit sehr unterschiedlichen Hintergründen, Methoden und Fragestellungen beteiligt sind. In der entwickelten Gliederung wird das ganze Spektrum der verschiedenen Forschungsrichtungen und Forschungskontexte deutlich. Die befragten Experten konnten bzw. wollten sich jedoch nicht auf Bereiche festlegen, in denen die wichtigsten Durchbrüche der nächsten Jahre zu erwarten sind.

---

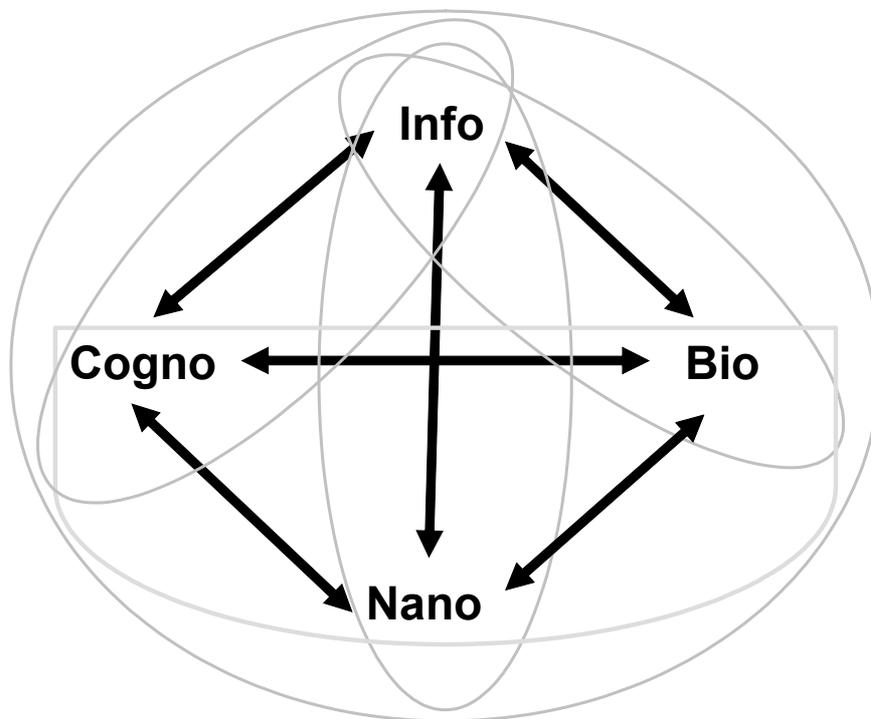
<sup>1</sup> Der britische Philosoph Peter M. Hacker spricht den Hirnforschern gar die Kompetenz und die professionellen Voraussetzungen ab: „Zunächst einmal glaube ich nicht, dass es die Hirnforschung überhaupt gibt. Viele tausend Wissenschaftler überall auf der Welt studieren das Geschehen unter unserer Schädeldecke auf ganz verschiedene Weisen. Allerdings gibt es gewisse Gemeinsamkeiten, was die verwendeten Methoden und angestrebten Erklärungen betrifft. Und dabei haben sich, wie ich meine, einige grundlegende Fehler eingeschlichen: Da werden Begriffe verwechselt, falsche Schlüsse gezogen und sinnlose Interpretationen geliefert“ (Hacker 2004, S. 43).

### 3 Converging Technologies: Grundzüge der Debatte

Der Begriff „Converging Technologies“ verweist auf das Phänomen, dass die vier bisher getrennten Forschungsfelder Nano-, Bio- und Informationstechnologie sowie die Kognitionswissenschaften (NBIC) zunehmend Überschneidungen aufweisen.

Konvergenz wird dabei als „synergetische Kombination“ (Roco/ Bainbridge 2002, ix) gesehen, die sehr verschiedenartige neue Forschungs- und Anwendungsfelder hervorbringen kann. Diese reichen von neuen Verfahren zur bildhaften Visualisierung von Denkprozessen über die Entwicklung unterschiedlichster Mensch-Computer-Schnittstellen bis hin zum "Cyber Soldier". Dabei können entweder alle vier Dimensionen vorhanden sein oder aber die neuen Anwendungen entstehen im Schnittfeld von nur zwei oder drei Bereichen (Abb. 2).

Abb. 2: Konvergenz von Nano-Bio-Info-Kogno, einzelner Paare oder Dreierkombinationen



Quelle: Roco; Bainbridge 2002, p. 2.

Der Begriff der „Converging Technologies“ beschreibt ein relativ neues Forschungsgebiet, das bisher erst wenig wissenschaftlichen Output produziert hat und das als kaum institutionalisiert gelten kann. In Deutschland wurde das Konvergenz-Thema bisher noch nicht als eigenständiges Thema bearbeitet. In den langfristigen Überlegungen des BMBF spielt es aber durchaus eine Rolle. Darauf weist ein Innovationspapier der Bundesregierung hin („Technologien. Die von morgen. - Komplexität beherrschen“, Bonn, Februar 2004), das die Verschmelzung von Bio, Nano, Info und Kognitionswissenschaft als Phänomen kennzeichnet, das tief greifende Auswirkungen auf alle Lebensbereiche haben wird.

Hier wird der Bezug auf die Debatte deutlich, die seit 2001 in den USA unter dem Akronym NBIC (Nano, Bio, Info, Cogno) und als Reaktion darauf seit 2002 in Europa unter der Abkürzung CTEKS (Converging Technologies for the European Knowledge Society) geführt wird.

Inzwischen gibt es eine Reihe guter Zusammenfassungen dieser Debatten bzw. ihrer zentralen Dokumente und Visionen (z.B. Coenen/ Rader/ Fleischer 2004; VDI Technologiezentrum 2004; Lopez 2004; Rader 2005; Cameron 2005; Fleischer und Decker 2005). Auf eine allgemeine Beschreibung der Debatte kann deshalb an dieser Stelle verzichtet werden. Jedoch soll dort genauer auf die Konvergenzvorstellungen eingegangen werden, wo die Verbindungen zu den Neurowissenschaften betroffen sind.

Die Neurowissenschaften werden in der Converging-Technologies-Debatte unter der Überschrift „Kognitionswissenschaften“ (Cogno) zusammengefasst. Die Hirnforschung bzw. die Neurowissenschaften selbst bilden innerhalb der Kognitionswissenschaften bekanntlich nur einen Teilbereich; weitere Forschungsgebiete der Kognitionswissenschaften sind Informatik/ Artificial Intelligence, Linguistik, Ethnologie/ Anthropologie, Psychologie und Philosophie.<sup>2</sup> Die Kognitionswissenschaft ist ähnlich wie die Neurowissenschaft eine „zusammengesetzte“ Wissenschaft, eine Wissenschaft, die die Frage nach Erkenntnismöglichkeiten und -modellen unter Zuhilfenahme der unterschiedlichsten Disziplinen bearbeitet. Obwohl es weitere strukturelle Parallelen zwischen Kognitions- und Neurowissenschaften gibt, bedeutet die Einbeziehung der Kognitionswissenschaften eine weitere Komplexitätssteigerung für die vorliegende Untersuchung, da das Untersuchungsgebiet um eine weitere multi- bzw. interdisziplinäre Forschungsrichtung erweitert wird.

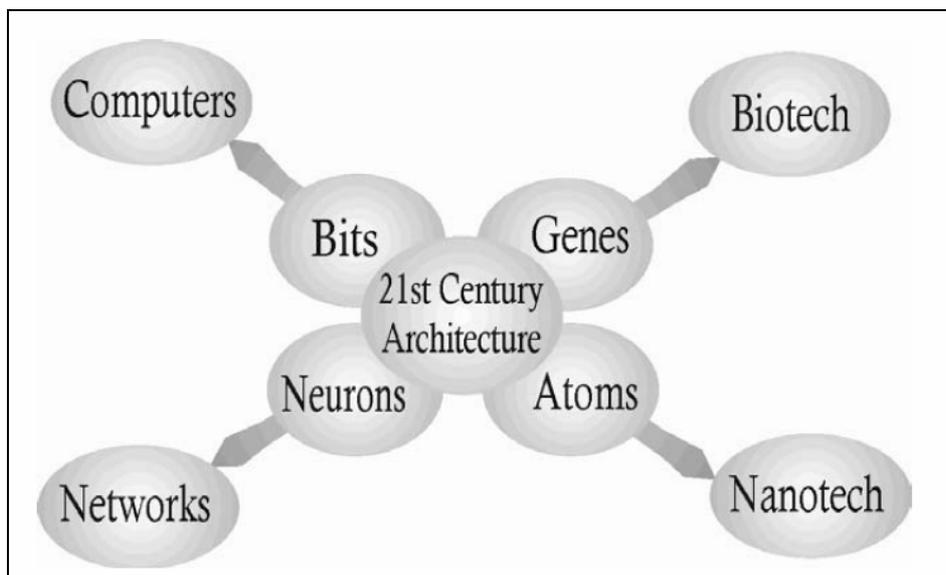
---

<sup>2</sup> Auch leicht abgewandelte Strukturierungen sind möglich. So sieht beispielsweise der Master-Studiengang Kognitionswissenschaften an der Universität Osnabrück Lehrveranstaltungen in folgenden Teilbereichen vor: Computerlinguistik, Kognitionspsychologie, Künstliche Intelligenz, Neurobiopsychologie, Neuroinformatik, Theoretische Informatik und Philosophie der Kognition (vgl. [www.cogsci.uni-osnabrueck.de](http://www.cogsci.uni-osnabrueck.de)).

Das einigende Strukturprinzip in der Converging-Technologies-Debatte ist die Betrachtung von kleinen Dingen. Das Leitprinzip für die postulierte Verknüpfung der Disziplinen Nano, Bio, Info und Kogno ist die Betrachtung der kleinsten Teile als Bausteine der Materie („matter“). Neben der Forderung nach einem interdisziplinären Dialog stellt dies eine wichtige Gemeinsamkeit dar: In allen vier Bereichen geht man davon aus, dass künftige bahnbrechende Innovationen durch die Erforschung der kleinsten elementaren Ebene entstehen. Als Bausteine des neuen Feldes der Converging Technologies betrachtet man:

- die Atome und Moleküle der Nanotechnologie,
- die Gene der Biotechnologie,
- die Bits und Bytes der IuK-Technik und die
- die Neuronen der Hirnforschung (Abb. 3).

Abb. 3: Die Wissenschaftsarchitektur des 21. Jahrhunderts



Quelle: Roco; Bainbridge 2002, p. 71

Die Integration und Synergien der vier Spitzentechnologien bilden den Kern der Konvergenzüberlegungen. Im amerikanischen NBIC-Report „Converging Technologies for Improving Human Performance“ von 2002, dem zentralen Dokument der Konvergenzdebatte findet sich hierfür folgende Beschreibung:

“Convergence of diverse technologies is based on material unity at the nanoscale and on technology integration from that scale. Science can now understand the ways in which atoms combine to form complex molecules, and how these in turn aggregate according to common fundamental principles to form both organic and inorganic structures. Technology can harness (nutzbar machen) natural processes to engineer new materials, biological products, and machines from the nanoscale up to the scale of meters. The same principles will allow us to understand and, when desirable, to control the behaviour both of complex microsystems, such as neurons and computer components, and macrosystems, such as human metabolism and transportation vehicles” (Roco/ Bainbridge 2002, p.2).

Die Vorstellung, allein aus der Größe des Forschungsgegenstands auf Gemeinsamkeiten der Untersuchung zu schließen oder daraus weitreichende Forderungen nach interdisziplinärer Forschung abzuleiten wurde insbesondere von Schummer (2004a) in seinem Aufsatz „Interdisciplinary Issues in Nanoscale Research“ kritisiert. Zweifel an der Idee der einigenden Kraft der Nanoforschung ist insofern berechtigt, als es in jeder Disziplin sowohl Mikro- als auch Makroperspektiven gibt und eine Disziplinenbestimmung auf der Basis von Größe bisher nicht üblich war. Dabei räumt Schummer durchaus ein, dass Größe - d.h. eigentlich „Kleinheit“ - als Leitprinzip der Konvergenzforschung insofern Bedeutung erlangen kann, als damit eine Vision formuliert werden kann, die disziplinenübergreifend Wirkung entfalten könnte:

The idea behind [interdisciplinarity in current nanoscale research, BB] seems to be straightforward: in order to integrate a bunch of scientific and engineering disciplines into one project, they must first study the same objects and secondly have the same vision of what the research should aim at technologically - interdisciplinary research will then follow automatically (Schummer 2004a, p. 12).

Als Forschungs-Vision scheint insbesondere die Konvergenz zwischen Hirnforschung und Nanotechnologie von großer Bedeutung. Fleischer und Decker (2005) stellen in diesem Zusammenhang fest, dass auf der einen Seite medizinische Forschung und Medizintechnik immer tiefer in biochemische und -physikalische Prozesse eindringen und damit physiologische Vorgänge immer besser verstanden werden. Die grundlegenden Lebensprozesse spielten sich dabei im Nanomaßstab ab, die wesentlichen Bausteine haben diese Größenordnung. Auf der anderen Seite, so Fleischer und Decker weiter, “ermöglichen Fortschritte bei den Nanotechniken einen verbesserten analytischen Zugang zur Nanowelt, sodass - unterstützt durch die Nanotechnologie - biologische Prozesse und Systeme zunehmend detaillierter analysierbar und in Folge besser verstanden und möglicherweise auch imitierbar, kontrollierbar oder gar manipulierbar werden” (Fleischer und Decker 2005, S. 127). Darüber hinaus sehen die Auto-

ren in der NBIC-Debatte einen Beleg für einen allgemeinen Trend, nämlich der Verwischung der Grenze zwischen Natur und Technik.



## **4 Recherche: Verbindungslinien zwischen der Converging Technologies-Debatte und der Hirnforschung**

Nach der Darstellung der zentralen Forschungsbereiche der Hirnforschung und einem kurzen Überblick über die Converging-Technologies-Debatte sollen nun Hinweise auf Anknüpfungspunkte, Verbindungslinien und gemeinsame Leitideen konkreter gefasst und ausgeführt werden.

Bei der Suche nach Hinweisen für solche Bezugnahmen wurde nach konzeptionellen sowie nach persönlichen Überschneidungen Ausschau gehalten:

1. Um konzeptionelle Überschneidungen zu identifizieren, wurden die zentralen Dokumente der Converging Technologies Debatte in den Vereinigten Staaten und in Europa sowie weitere relevante Dokumente ausgewertet. Der relativ starke verteidigungspolitische Bezug der amerikanischen NBIC-Debatte ließ es darüber hinaus als erforderlich erscheinen, die Rolle der militärischen Forschung in den USA näher zu beleuchten.

2. Persönliche Überschneidungen zwischen der Hirnforschung und der Converging Technologies-Debatte werden im zweiten Teil dieses Kapitels dargestellt. Um zu zeigen, durch welche wissenschaftlichen Disziplinen die Converging-Technologies in den USA und in Europa geprägt werden, wurden die Forschungsgebiete der beteiligten Hauptakteure recherchiert und gegenübergestellt.

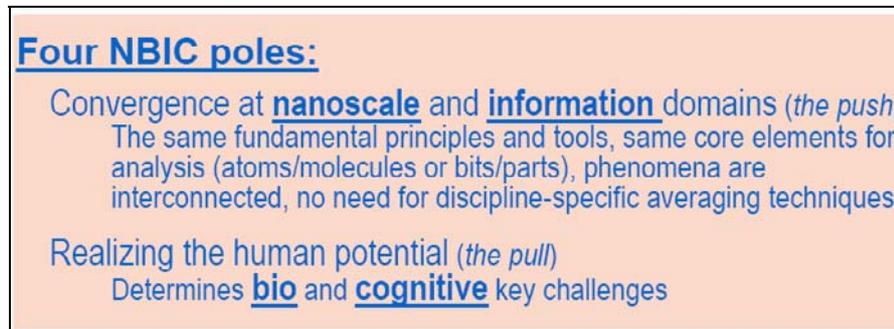
### **4.1 USA**

Instruktiv für die Art, wie Verschränkungen zwischen den Disziplinen entstehen sollen und welche spezifischen Beiträge erwartet werden, ist zunächst, wie im NBIC-Report von Roco und Bainbridge (2002) die Überschneidungen zwischen Nano-, Bio und Informationstechnik gesehen werden: Einerseits wird von der Nanotechnologie erwartet, dass sie neue, effektivere Materialien zum Einsatz in PCs zur Verfügung stellt und von der Biotechnologie, dass sie DNA-basierte Architekturen entwickelt, um die Rechenleistung und Speicherkapazität von Computern drastisch zu erhöhen. Auf der anderen Seite hängen Fortschritte in der Nano- und Biotechnologie wiederum von computergenerierten Modellen und von Visualisierungen ab, die erst durch die Digitalisierung von molekularen Prozessen möglich wurden (vgl. Lopez, p. 9).

Mihail Roco, einer der Hauptakteure der amerikanischen Konvergenzdebatte sieht den Zusammenhang zwischen allen vier Konvergenzbereichen in einer ähnlichen Doppel-

läufigkeit wie die dargestellte Konvergenz von Nano-, Bio- und Informationstechnologie (vgl. Abb. 4):

Abb. 4: Die vier Säulen der NBIC-Konvergenz: Push und Pull-Disziplinen



Quelle: Roco 2004

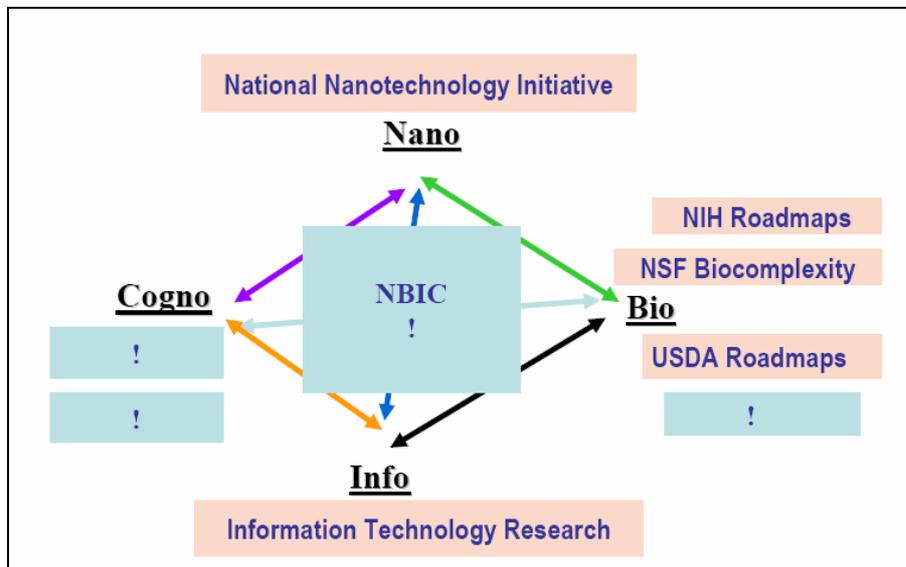
Von den Kognitionswissenschaften wird erwartet, dass sie die materiellen Grundlagen des menschliche Denkens und Verhaltens erforschen, verstehen und letztlich beherrschen. Dies soll möglich werden durch die Kombination von Forschungsmethoden und -erkenntnissen in der Bio-, Nano- und Computertechnologie. Umgekehrt sollen die Forschungsergebnisse der Kognitionswissenschaft - nämlich neue Möglichkeiten zur verbesserten Erkenntnis und Kommunikation - dazu führen, dass neue wissenschaftliche und technologische Entdeckungen auf allen anderen Gebieten möglich werden (vgl. Williams/ Kuekes 2002, p. 68 sowie Lopez 2004, p. 10).

Tatsächlich wird in der NBIC-Diskussion der Hirnforschung eine zentrale Rolle zugewiesen. Denn letztlich laufen die Fortschritte in der Nano-, Bio- und Informationstechnologie darauf hinaus, das komplexeste aller Systeme zu verstehen: das menschliche Gehirn. Im Zusammenhang mit der Erforschung des Gehirns ist dann von multiplen Synergien und von der Vereinigung der Wissenschaften die Rede: „Ultimately, the multiple synergistic pathways in NBIC herald a new renaissance based on a comprehensive understanding of the structure and behaviour of matter from the nanoscale up to the most complex systems yet discovered, the human brain. Unification of science based on unity in nature and its holistic investigation will lead to technological convergence and a more efficient social structure for reaching human goals (Roco/ Bainbridge 2003, p. 1 zitiert in Lopez 2004, p. 10).

Allerdings - so könnte man die Darstellung von Roco deuten (Abb. 4) - ist bislang wenig über die Kognitionswissenschaften und ihren Beitrag zur NBIC-Dabatte bekannt. Die Ausrufezeichen in Abbildung 4 bei „Cogno“ sind die Leerstellen, die es zu füllen

gilt. Nicht nur im Hinblick auf nationale Förderprogramme, die hier nicht aufgeführt werden, sondern vermutlich auch hinsichtlich ihrer Funktion im Konvergenzprozess.

Abb. 5: Kognitionswissenschaften als Leerstelle in der Konvergenzdebatte



Quelle: Roco 2004

Interessant ist in diesem Zusammenhang der generelle Hinweis, dass durch die Konvergenz der vier Bereiche nunmehr die „harten“ Wissenschaften zu einem neuen, naturwissenschaftlich-technischen Verständnis von Konzepten wie „Kultur“ und „Persönlichkeit“ beitragen werden: Bei Roco und Bainbridge (2002) heißt es dazu: „CT can potentially bring about wholly new kinds of rigorous research on the nature of both culture and personality and a unification of knowledge by combining natural sciences, social sciences, and humanities (zitiert in Coenen/ Rader/ Fleischer 2004, p. 119).

#### 4.2 Die Rolle der Verteidigung in der NBIC-Debatte

Auffällig ist, dass im Hauptdokument der amerikanischen NBIC-Debatte, dem NBIC-Report von 2002, potenzielle militärische Anwendungen einen prominenten Platz einnehmen und ausführlich diskutiert werden. Der Report enthält eine Sektion, in der über 32 Seiten hinweg Positionen und Visionen des Verteidigungsministeriums ausgeführt werden und in der das Spektrum der militärischen NBIC-Anwendungen dargestellt wird (Roco/ Bainbridge 2002, Section E: “National Security”, pp. 287-320).

Darüber hinaus gibt es weitere Hinweise darauf, dass die amerikanische NBIC-Debatte einen starken verteidigungspolitischen Hintergrund hat, oder dass sie vom militärischen Lager zumindest stark vorangetrieben wird. So stellen z.B. Fleischer und Decker (2005) in ihrem Überblickartikel zur CT-Debatte in den USA fest, dass insbesondere die Forschungsvorhaben, die die Verbesserung menschlicher Wahrnehmungsleistungen zum Ziel haben, stark von verteidigungspolitischen Interessen geleitet sind. Genannt wird zum einen die Forschung an Implantaten, mit denen z.B. das Sehen im üblicherweise nicht wahrnehmbaren Frequenzbereichen möglich wird und zum anderen die Entwicklung so genannter Brainchips, mit denen die Leistungen des Gehirns verbessert werden sollen. Auch Joel Garreau, der sich als Wissenschaftsjournalist mit den Forschungsprogrammen des Verteidigungsministeriums im Zusammenhang mit der Hirnforschung beschäftigt hat (vgl. Garreau 2005) betont deren Bedeutung: „(...) you can see the emergence of these technologies<sup>3</sup> most clearly where they are most urgently needed: in war. So it's not surprising that perhaps the most aggressive pursuer of human enhancement is DARPA, the Pentagon's Defense Advanced Research Projects Agency“ (Garreau 2005a, p 4f).

Allerdings könne - so Fleischer und Decker - nicht beurteilt werden, wie weit fortgeschritten diese Forschungen tatsächlich sind, weil die Ergebnisse oftmals nicht veröffentlicht würden: „Informationen über den Stand der Technik in den hierfür eine Rolle spielenden Technikfeldern sind nur bruchstückhaft verfügbar und oft auch nicht transparent - nicht zuletzt deshalb, weil ein Teil der Forschungsarbeiten Bestandteil von Programmen der Verteidigungsforschung ist“ (Fleischer/ Decker 2005, S. 126).

Diese These lässt sich naturgemäß derzeit weder validieren noch falsifizieren. Es können jedoch Hinweise gesammelt werden, die das militärische Interesse dokumentieren. Andererseits sollte die Rolle von DARPA in der amerikanischen Grundlagenforschung differenziert betrachtet werden und nicht 1:1 mit militärischer Forschung gleichgesetzt werden.

Folgende Quellen sollen herangezogen werden, um die These zu prüfen, inwieweit verteidigungspolitische Interessen die Hirnforschung bzw. die NBIC-Debatte in den Vereinigten Staaten prägen:

- Section E im NBIC-Report: „National Security“ und dort insbesondere der Aufsatz von Goldblatt über die Aktivitäten der DARPA,

---

<sup>3</sup> Garreau spricht nicht von NBIC, sondern von „GRIN technologies - genetics, robotics, information technology and nanotechnology“.

- Die Forschungslinien der DARPA, wie sie im Internet dokumentiert sind, sollen auf ihre neurowissenschaftliche Relevanz geprüft werden,
- Aufsätze in der Presse, die sich mit der Rolle der Verteidigung in der Hirnforschung bzw. in der NBIC-Debatte beschäftigen.

Dadurch wird sich ein detailliertes Bild ergeben, in welchen Bereichen die Verteidigung beteiligt ist. Es wird sich jedoch herausstellen, dass es aufgrund der lückenhaften Datenlage nicht möglich ist, den Stellenwert der militärischen Forschung festzustellen. Hierfür müssten detailliertere Zahlen vorliegen, die dann ins Verhältnis zum Gesamtumfang der Förderung der Hirnforschung in den USA gesetzt werden müssten.

### **NBIC-Report Section E: National Security**

Eine genauere Analyse dieser Sektion zeigt, dass für den NBIC-Report bereits laufende Projekte des Verteidigungsministeriums daraufhin überprüft wurden, ob sie mit dem Prinzip der "Converging Technologies" in Zusammenhang gebracht werden können, um sie dann entsprechend darzustellen. Die beschriebenen Projekte und Forschungsprogramme weisen dabei sehr unterschiedliche Konvergenzbereiche auf (Nano-Info, Nano-Bio, Info-Bio-Cogno usw.).

Insgesamt besteht die Section E "National Security" aus einem "Summary", vier "Statements" und der Beschreibung von fünf "Visionary Projects". Die Statements beschäftigen sich mit der jeweiligen Rolle der konvergierenden Technologien in existierenden Forschungsprojekten folgender Institutionen: des Departments of Defense (DoD), der Defense Advanced Research Projects Agencies (DARPA) und des Departments of Homeland Security. Außerdem werden die Converging Technologies im Zusammenhang mit der Terrorbekämpfung und der militärischen Schulung betrachtet. Die anschließend dargestellten fünf visionären Projekte beschäftigen sich mit dem "High-Performance Warfighter", mit nicht-invasiven Techniken zur Verbesserung der menschlichen Leistungsfähigkeit, mit Mensch-Maschine-Schnittstellen, mit unbenannten Militärfahrzeugen sowie mit neuartigen Software-Systemen für die Geheimdienste. Die Texte sind so strukturiert, dass sie zunächst das Projekt oder die Vision darstellen und dann die Rolle der Converging Technologies für deren Realisierung beschreiben.

Inhaltlich ist zunächst festzustellen, dass nicht alle Projekte bzw. Visionen eine neurowissenschaftlich relevante Komponente besitzen: Bei manchen Projekten geht es z.B. um die Weiterentwicklung von IT-Techniken und oder um Möglichkeiten der Verstärkung von Muskelkraft, bei anderen Projekten haben neurowissenschaftliche Forschungen nur eine indirekte Bedeutung (z.B. bei der Entwicklung eines "Cyber Soldiers", der

mit fortgeschrittener Umwelt-, IT- und Körper-Sensorik zur Unterstützung von Entscheidungen im Kampfeinsatz ausgestattet werden soll). Direkte neurowissenschaftliche Relevanz haben dagegen zwei Bereiche, die in der Zusammenfassung (Summary) dieser Sektion (S. 289) unter folgende Überschriften gefasst werden: "Non-drug treatments for enhancement of human performance" und "Applications of the brain-machine interface".

**"Non-drug treatments for enhancement of human performance"**: Hierbei geht es um die Kombination von Verfahren und Methoden aus der Nano- und Biotechnologie, um Schlafmangel und reduzierte Aufmerksamkeit zu kompensieren und um die physische und psychologische Leistungsfähigkeit (von Soldaten) zu erhöhen. Die Effekte sollen sich durch entsprechende Manipulationen im menschlichen biochemischen System einstellen.

**"Applications of brain-machine interface"**: Eine geeignete Mensch-Maschine-Schnittstelle soll Soldaten künftig in die Lage versetzen, Kampfflugzeuge, Panzer und andere Geräte nur mit ihren Gedanken zu kontrollieren, d.h. ohne Zwischenschaltung von motorischen Handlungen und letztlich der bewussten Willensentscheidung vorgelegt ("prior to thoughts", p. 289).

Laut NBIC-Report sind also die Erweiterung menschlicher Fähigkeiten und die Realisierung von Mensch-Maschine-Schnittstellen (Brain-Machine-Interfaces) die verteidigungspolitisch interessantesten NBIC-Forschungsfelder mit direktem Bezug zur Hirnforschung. Entsprechend würde man nun erwarten, dass in der folgenden "Statements" und "Visionary Projects" diese beiden Bereiche näher vorgestellt werden und mit der Darstellung von Forschungsprogrammen und exemplarischen Projektergebnissen untermauert werden. Dies ist allerdings nur sehr bedingt der Fall. Tatsächlich beschränkt sich die Darstellung der DOD-Perspektive auf die Formulierung von Forschungsfragen und die Darstellung von Forschungsfeldern, die bearbeitet werden (sollen). Einige Artikel haben darüber hinaus einen starken Nano-Fokus. Lediglich im Aufsatz von Michael Goldblatt (p. 297-301) werden konkrete Forschungsprojekte, die im Zusammenhang mit NBIC und Hirnforschung stehen, vorgestellt.

Michael Goldblatt war bis Mitte 2003 Leiter der Defense Sciences Office (DSO), einer Unterabteilung der DARPA, die sich mit u. a. Humanbiologie beschäftigt.<sup>4</sup> Die DARPA wurde 1958 als Antwort auf das Sowjetische Sputnik-Programm gegründet und hat heute die Mission, den technologischen Vorsprung des US Militärs zu sichern. Dabei

---

<sup>4</sup> Heute ist Goldblatt Präsident und Chief Executive Officer der Biotechnologiefirma Functional Genetics, Inc., siehe [www.functional-genetics.com/invest.htm](http://www.functional-genetics.com/invest.htm).

ist die DARPA unabhängig von der konventionellen militärischen Forschung und Entwicklung und ist direkt der Leitung des Verteidigungsministeriums unterstellt. Heute arbeiten ca. 240 Personen (davon 150 technisches Personal) bei der DARPA, die ihren Sitz in Arlington, Virginia hat.

In einem Interview mit Joel Garreau beschrieb Goldblatt die Arbeit der DSO folgendermaßen: "Today DARPA is in the business of creating better soldiers—not just by equipping them with better gear, but by improving the humans themselves. Soldiers having no physical, physiological, or cognitive limitations will be key to survival and operational dominance in the future. (...) Imagine if soldiers could communicate by thought alone. And contemplate a world in which learning is as easy as eating, and the replacement of damaged body parts as convenient as a fast-food drive-thru. As impossible as these visions sound ... we are talking about science action, not science fiction" (Garreau 2005a).

In seinem Beitrag für den NBIC-Report "DARPA's Programs in Enhancing Human Performance" klingen Goldblatts Visionen nüchterner. Goldblatt stellt dort folgende - z.T. heute bereits abgeschlossene bzw. modifizierte - Forschungsprogramme der DARPA vor:

- The Metabolic Engineering Program (künstliche Erzeugung von menschlichem Gewebe)
- Exoskeletons for Human Performance Augmentation effort (Außenskelette, um die Tragkraft von Soldaten zu erhöhen)
- Augmented Cognition Program (verbesserte Wahrnehmungsfähigkeit und Entscheidungsfähigkeit durch neurologische und IT-basierte Methoden)
- Continuous Assisted Performance Program (Erhalt von kognitiven Fähigkeiten bei Schlafentzug)
- Brain-Machine Interface Program (Steuerung von Maschinen und Fahrzeugen durch Gehirnaktivitäten)

Aus Goldblatts Beitrag wird nicht klar, in welchem Umfang die verschiedenen Programme gefördert werden, wer die Forschung im einzelnen vor Ort betreibt und in welchem volumenmäßigen Verhältnis sie zueinander bzw. zur gesamten DARPA-finanzierten Forschung stehen.

Das interessanteste Projekt im Konvergenz-Kontext ist sicherlich das Brain-Machine Interface Programm. In diesem Projekt geht es nach Goldblatt darum, den neuronalen

Code für motorische Aktivitäten zu entschlüsseln, um die gewünschten Hirnimpulse manipulativ zu erzeugen. Weitere Aspekte der Forschung sind die Entwicklung von non-invasiven Eingriffsmöglichkeiten in die Gehirnaktivitäten und die Erfindung bzw. Anpassung von Maschinen zur mentalen Steuerung.

Zum Brain-Machine Interfaces Program findet sich im Internet ein Artikel von Gareth Cook, der 2003 im Boston Globe erschienen ist und in dem eine Fördersumme von 24 Mio. Dollar<sup>5</sup> genannt wird, die an verschiedene Forscher an unterschiedlichen Universitäten ging: "The \$24 million enterprise called Brain Machine Interfaces is developing technology that promises to directly read thoughts from a living brain-and even instill thoughts as well. The research, some of which is being done at the Massachusetts Institute of Technology, is already surprisingly advanced. Monkeys in a laboratory can control the movement of a robotic arm using only their thoughts. And last year scientists in New York announced they could control the skittering motions of a rat by implanting electrodes in its brain, steering it around the lab floor as if it were a radio-controlled toy car (Cook 2003).

Beide Experimente werden in der Presse immer wieder aufgegriffen (siehe z.B. Duncan 2005) und als Beleg dafür zitiert, dass Gedankenkontrolle oder Gedankenmanipulation technisch machbar seien. Die Demonstration, dass ein Affe einen Bildschirmcursor oder einen Roboterarm allein mit der Kraft der Gedanken kontrollieren kann, wird als dramatischer Fortschritt gewertet: "Before that, 'people really doubted whether anything like this could work,'" wird z.B. Michael S. Gazzaniga zitiert, der Direktor des Center for Cognitive Neuroscience am Dartmouth College (Cook 2003).

Welche Forscher und Institutionen außer den bereits genannten am Brain-Machine Interface Programm beteiligt sind, lässt sich über die Webseite des DSO nicht recherchieren. Allerdings wird das Programm in einer Pressemitteilung der Duke University in Durham in North Carolina vom 15. August 2002 näher beschrieben. Der dortige Lehrstuhlinhaber für Neurobiologie, Prof. Miguel Nicolelis, ist der wissenschaftliche Koordinator des Projekts (Meredith 2002). Beteiligt sind demnach:

---

5 Meredith (2002) spricht dagegen von einem 26 Mio. Dollar-Programm. Und die letzte öffentlich zugängliche Budgetplanung der DARPA aus dem Jahr 2003 weist für das Programm „Brain Machine Interface“ für die Jahre 2003-2005 ein Budget von 49 Mio. Dollar aus. Nach dieser Budgetplanung ist es das einzige Projekt, das sich in der Sektion „Bio/Info/Micro Sciences“ mit Hirnforschung beschäftigt. Die anderen Titel beschäftigen sich mit Informations- bzw. Nanotechnologien. Siehe: [www.darpa.mil/body/pdf/FY04\\_FY05BiennialBudgetEstimatesFeb03.pdf](http://www.darpa.mil/body/pdf/FY04_FY05BiennialBudgetEstimatesFeb03.pdf).

- Prof. Miguel Nicolelis, Professor of Neurobiology an der Duke University als Koordinator,
- Prof. Craig Henriquez, Professor of Biomedical Engineering an der Duke University,
- Prof. Dennis Turner, Professor of Neurosurgery and Associate Professor of Biomedical Engineering Patrick Wolf an der Duke University,
- Prof. John Chapin von der State University of New York, Brooklyn,
- Prof. Jose Principe von der University of Florida,
- Mandayam Srinivasan vom Massachusetts Institute of Technology und
- Harvey Wiggins von der Firma Plexon Inc. in Dallas.

Darüber hinaus gibt es offenbar weitere Forscher und Institutionen, die über das DARPA-Programm „Brain-Machine Interface“ finanziert werden: Neben der University of California in Los Angeles (UCLA) nennt Garreau (2005a) z.B. Prof. Jon Kaas von der Vanderbilt University (Garreau 2005a, p. 7).

Das Brain Machine Interfaces Program, das 2001 gestartet wurde, taucht heute in der Programmliste auf den Webseiten der DARPA nicht mehr auf. Und dies, obwohl in der Budgetplanung von 2003 noch ein Betrag von 20 Mio. Dollar für das Jahr 2005 ausgewiesen ist.<sup>6</sup> Dies lässt darauf schließen, dass die Forschungen in diesem Bereich aktuell zwar weitergeführt werden, dass das Projekt bzw. die Brain-Machine-Interface-Thematik möglicherweise so nicht mehr in die offizielle Strategie der DARPA passt.

Einen Hinweis in diese Richtung liefert der Vergleich der DARPA-Strategiepläne von 2001 und 2005: Während in der Strategieplanung von 2001 noch von Soldaten die Rede ist, die Geräte und Waffen nur Kraft ihrer Gedanken fernlenken können, fehlt in der Strategiebeschreibung von 2005 der entsprechende Hinweis auf das Brain-Machine Program und auf Soldaten ganz. Stattdessen wird von „Human Assisted Neural Devices“ und von Kriegsversehrten („veterans“) gesprochen, für die intelligente Prothesen entwickelt werden sollen. Interessant ist, dass in der entsprechenden Passage das Textgerüst beinahe gleich geblieben ist und nur die Begriffe ausgetauscht wurden:

„Perhaps the program that best exemplifies the “revolution” in Bio-Revolution is the Brain Machine Interface program. This program is finding ways to detect and directly decode signals in the brain so that thoughts can be turned into acts performed by a machine. Essentially, this program is working on ways for machines to synchronize with minds and then act directly on thoughts. This has actually been demonstrated, to a

---

<sup>6</sup> Quelle siehe oben (FN 6).

limited degree, with a monkey that has been taught to move a computer mouse or a telerobotic arm simply by thinking about it. The long-term Defense implications of finding ways to turn thoughts into acts, if it can be developed, are enormous: imagine U.S. warfighters that only need use the power of their thoughts to do things at great distances“ (DARPA Strategy Plan 2001<sup>7</sup>)

Und im Strategy-Update 2005 lautet die Passage:

„Perhaps the program that best exemplifies the “revolution” in Bio-Revolution is Human Assisted Neural Devices. This program is finding ways to detect and directly decode signals in the brain so that the brain’s motor signals can be turned into acts performed by a machine. This capability has been demonstrated, to a limited degree, with monkeys taught to move a computer cursor and telerobotic arm simply by intending to do so. The near-term benefit of this technology will be to injured veterans, who would be able to control prosthetics far more naturally than ever before by having their brain learn to use a prosthesis in much the same way it learned to use a natural limb. This work, coupled with DARPA’s work in microelectronics, materials, power, and actuation, will form the basis for dramatically improving the current capabilities in prosthetics. The vision is simple but bold: to drastically improve the quality of life for amputees by transforming current limb prostheses into biologically integrated, fully functional limb replacements that have normal sensory abilities“ “ (DARPA Strategy Plan Update 2005<sup>8</sup> p. 28)

Die Veränderung der Schwerpunktsetzung hat möglicherweise mit der Kritik zu tun, die in der Öffentlichkeit in Bezug auf Mensch-Maschine-Kopplungen, wie sie anfangs von der DARPA propagiert wurden, laut wurde. Offenbar ist das Human-Brain-Interfaces Programm der DARPA unter heftigen Beschuss durch die Medien gekommen. Cook (2003) kommentiert dies so:

„Of course, these are outlandishly ambitious ideas [e.g. to download combat-relevant information directly into the brain of the soldier, BB], especially when scientists don't even know how people remember what they had for breakfast. The most ambitious potential applications, which tend to be emphasized when a research program is under fire, lie for now in the realm of only slightly plausible fiction. "When you push basic research, you try to speak about what it might do in the long term," said Poggio, who is

---

<sup>7</sup> Online-Dokument: [www.darpa.mil/body/strategic\\_plan/strategic\\_text.htm](http://www.darpa.mil/body/strategic_plan/strategic_text.htm) (Abgerufen am 13. November 2005).

<sup>8</sup> Online-Dokument: [www.darpa.mil/body/pdf/BridgingTheGap\\_Feb\\_05.pdf](http://www.darpa.mil/body/pdf/BridgingTheGap_Feb_05.pdf) (Abgerufen am 13. November 2005).

a neuroscientist at MIT's McGovern Institute for Brain Research. "But there is always the danger that people will take this too seriously" (Cook 2003, p.2).

Neben dem Brain-Machine-Program, das jetzt offenbar unter der Überschrift „The Human-Assisted Neural Devices (HAND)“ Program weitergeführt wird<sup>9</sup>, sind momentan folgende hirnforschungsrelevante Programme auf der DSO-Webseite aufgeführt<sup>10</sup>:

### **Neovision**

Ziel des Neovision-Programms ist es, eine künstliche Netzhaut zu entwickeln und die Signalweitergabe an das Gehirn zu simulieren. Beteiligt sind das Massachusetts Institute of Technology und das California Institute of Technology (Teilprojekt „A Cortical Interface for Analysis and Synthesis of Visual Recognition“), das Naval Research Laboratory (Teilprojekt: „High Resolution Neural Electronic Interfaces: Devices, Instrumentation and Data Analysis“), die University of California in Berkeley (Teilprojekt „Investigation of Retinal Prosthetics Parameters using the NRL Microelectrode Array“) und die Harvard Medical School (Teilprojekt „Study of the Interface between the Retina and a Custom-Designed Stimulator Chip“).

### **Neurotechnology for Intelligence Analysts (NIA)**

Die Vision des NIA-Programms ist es, Mechanismen für die Bilderkennung des menschlichen Gehirns zu verstehen und diese in der militärischen Aufklärung einzusetzen. Ausgangspunkt ist die neurowissenschaftliche Erkenntnis, dass das Gehirn schneller auf visuell markante Informationen reagieren kann, als der Körper dies z.B. in Form von Bewegung tun kann. Für den Einsatz in geheimdienstlichen oder militärischen Umgebungen soll ein neurobiologisch basiertes Bilderkennungssystem geschaffen werden, das Menschen in die Lage versetzt, eine Große Zahl von Bildern (Fotos, Panoramen und Video) nach vorgegebenen Mustern zu scannen und zu selektieren.

### **Preventing Sleep Deprivation**

Offenbar als Nachfolgeprogramm des „Continuous Assistance Performance Programs“, das Goldblatt im NBIC-Bericht vorstellt, konzipiert, geht es in diesem aktuellen Programm um die Fähigkeit von Soldaten, auch unter Schlafentzug zu funktionieren. Die Ansätze, die momentan verfolgt werden, um dieses Ziel zu erreichen, werden auf

---

<sup>9</sup> Vgl. [www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/hand.htm](http://www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/hand.htm).

<sup>10</sup> Alle drei Programme werden von Dr. Amy A. Kruse koordiniert. Kurzbeschreibungen der Programme finden sich unter [www.darpa.mil/dso/personnel/kruse.htm](http://www.darpa.mil/dso/personnel/kruse.htm).

der DSO-Webseite wie folgt beschrieben: „Among the approaches currently under investigation include novel pharmaceuticals that enhance neural transmission, nutraceuticals that promote neurogenesis, cognitive training, and devices such as transcranial magnetic stimulation. The approaches discovered in this program will greatly increase our soldiers’ ability to function more safely and effectively despite the prolonged wakefulness inherent in current operations“ (DSO 2005, online: [www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/cap.htm](http://www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/cap.htm)).

Die DSO-Programme und Projekte sind aber nur ein Teil der Aktivitäten der DARPA im Bereich der Hirnforschung. Weitere Projekte mit NBIC- und Hirnforschungsbezug sind z.B. in der DARPA-Abteilung „Information Processing Technology Office“ zu finden. Dort werden insgesamt 20 Programme vorgestellt, die sich mit Spracherkennung, selbstlernenden Systemen und mit Themen der Künstlichen Intelligenz befassen (siehe Tabelle 1).

Unter diesen Projekten finden sich auch eine Reihe von Vorhaben, die sich in unmittelbarer Weise mit neurowissenschaftlichen Themen beschäftigen, wie z.B. das Programm „Biologically-Inspired Cognitive Architectures“, in dem Computermodelle für das Verständnis und die Simulation von Hirnprozessen erarbeitet werden.

Tabelle 1: Projekte der „Information Processing Technology Office“ bei der DARPA

Architectures for Cognitive Information Processing (ACIP)
Advanced Soldier Sensor Information System and Technology (ASSIST)
Biologically-Inspired Cognitive Architectures (BICA)
Personalized Assistant that Learns (PAL)
Bio-Computation(BIO-COMP)
Polymorphous Computing Architectures (PCA)
Compact Aids for Speech Translation (CAST)
Power Aware Computing and Communication (PAC/C)
Coordination Decision Support Assistants (Coordinators)
Quantum Information Science and Technology (QuIST)
Effective, Affordable, Reusable Speech-to-Text (EARS)
Real-World Reasoning (REAL)
Fast Connectivity for Coalitions and Agents Project(Fast C2AP)
Self-Regenerative Systems (SRS)
Global Autonomous Language Exploitation (GALE)

Translingual Information Detection, Extraction and Summarization (TIDES)
High Productivity Computing Systems (HPCS)
Taskable Agent Software Kit (TASK)
Improving Warfighter Information Intake Under Stress
Situation Aware Protocols in Edge Network Technologies (SAPIENT)

Quelle: [www.darpa.mil/ipto/programs/programs.htm](http://www.darpa.mil/ipto/programs/programs.htm)

Die Recherche im Verteidigungsumfeld hat gezeigt, dass die DARPA durchaus als Themensetzer für langfristige Forschung im Bereich der Hirnforschung angesehen werden kann. Zwar gibt es innerhalb der DARPA kein einheitliches, großes und systematisch auf die Hirnforschung ausgerichtetes Programm, sondern lediglich eine Reihe von spezialisierten Forschungsvorhaben, in denen neurowissenschaftliche Teilfragestellungen untersucht werden. Allerdings handelt es sich bei diesen Projekten zum Teil um spektakuläre Projekte, die großes Aufsehen in der Öffentlichkeit und bei Forschern erregt haben, weil sie mit entsprechend kühnen Visionen gestartet sind.

Offen bleiben muss in dieser Studie die Frage, welchen Anteil die von der DARPA und vom DOD direkt geförderten Programme an der gesamten neurowissenschaftlichen Forschung in den USA haben. Eine solche Information würde zwar die Interpretation aktueller Forschungsrichtungen in den Neurowissenschaften erleichtern und könnte darüber hinaus Hinweise auf die Ursprünge der NBIC-Debatte geben. Allerdings müsste man zur Beantwortung dieser Frage sämtliche DARPA-Projekte hinsichtlich ihrer neurowissenschaftlichen Relevanz untersuchen, Budgetzuordnungen bei Projekten vornehmen, die nur zu einem Teil neurowissenschaftliche Fragestellungen verfolgen, sowie das Gesamtvolumen der neurowissenschaftlichen Forschung in den USA kennen.<sup>11</sup>

Es sollte in diesem Zusammenhang beachtet werden, dass die DARPA-Förderungen anders als die direkten DOD-Förderungen nicht zwangsläufig und auch nicht unmittelbar in einem militärischen Verwendungszusammenhang stehen. Die DARPA ist im amerikanischen Forschungssystem generell ein wichtiger Träger der Grundlagenforschung und finanziert an vielen Instituten langfristig orientierte Forschung. Ein System wie in Deutschland, das sich durch eine Vielzahl außeruniversitärer Einrichtungen der Grundlagenforschung auszeichnet, existiert in den Vereinigten Staaten so nicht. Von

---

<sup>11</sup> Während dies bei den DARPA-Programmen mit einer entsprechenden Zeitverzögerung noch prinzipiell möglich scheint, ist dies für die direkt vom DOD geförderten Programmen aufgrund der Geheimhaltung nicht durchführbar. Dies hat bereits diese Recherche gezeigt, in der - im Unterschied zu den DARPA-Projekten - letztlich nichts Genaueres über die vom DOD direkt geförderten Projekte in Erfahrung gebracht werden konnte.

daher können nicht alle Projekte und Programme, die von der DARPA finanziert werden, unmittelbar als Verteidigungsprojekte betrachtet werden. Garreau (2005a) beschreibt die Aufgabe der DARPA folgendermaßen:

“DARPA invests 90% of its \$3-billion-a-year official budget outside the government, mainly funding universities and industry researchers who work at the forefront of the barely possible. By the time a technology is far enough along to attract venture capitalists, DARPA is usually long gone. Its program managers—it has about 140, mostly MDs and Ph.D.s—seek problems they call 'DARPA-esque' or 'DARPA-hard'." Those are challenges verging on the impossible“ (Garreau 2005a, p. 5).

Kennzeichen von DARPA-Projekten ist, dass sie längerfristige, stärker an Visionen orientierte Fragestellungen verfolgen und dass sie oft Ideen generieren, die jenseits des wissenschaftlichen Mainstreams liegen. Ein Grund dafür, dass oft Visionäre und Wissenschaftler mit hoch ambitionierten Programmen eine gute Chance auf Förderung haben, liegt unter anderem am Auswahlverfahren. Denn die Förderentscheidungen fallen nicht im Rahmen von Peer-Review-Verfahren, sondern werden von DARPA-Programmmanagern getroffen. Diese haben zwar meist ebenfalls einen wissenschaftlichen Hintergrund und kennen sich in der entsprechenden Forschungslandschaft sehr gut aus. Dennoch wird über Förderzusagen in einem kleineren Kreis entschieden, so dass auch Projektanträge genehmigt werden, die in Peer-Review-Verfahren möglicherweise abgelehnt worden wären, weil sie zu weit vom als machbar geltenden entfernt sind.

Die DARPA hält sich zugute, mit diesem Verfahren Forschungen und Anwendungen ermöglicht zu haben, die unser heutiges Leben prägen:

„The Internet was once called Arpanet—DARPA funded its development. The agency also helped fund the creation of the computer mouse, the computer-graphics industry, very-large-scale integrated circuits, computers that recognize human speech and translate languages, the computer workstation, and head-mounted displays. DARPA was a key player in the creation of the global positioning satellite system, the cellphone, night-vision sensors, weather satellites, spy satellites, and the Saturn V rocket, which got humans to the moon. It has also helped create advanced fuel cells and telesurgery. All the military's airplanes, missiles, ships, and vehicles, including the materials, processes, and armor that went into them, and especially everything with the word 'stealth' as part of its name, have 'DARPA inside'." (Garreau 2005a).

### 4.3 Europa

In der europäischen Debatte wird betont, dass sich die Kognitionswissenschaften nicht in Artificial Intelligence und Hirnforschung erschöpfen. Daniel Andler als Vertreter der Kognitionswissenschaften in der europäischen CTEKS-Debatte betont, dass auch Psychologie, Linguistik, Anthropologie und Philosophie Bestandteile der Kognitionswissenschaft sind. Andler plädiert dafür, die sozial- und geisteswissenschaftliche Dimension in der Converging-Technologies-Debatte nicht unterzubelichten: „This reminder serves as an antidote against the notion that, within NBIC, ‘cogno’ means, roughly, AI (thus interacting with ‘info’) plus neuroscience (thus interacting with ‘bio’). ‘Cogno’ means what may be relevant, in the converging technologies, about the *mind*, not only about its machine simulations nor only about its biological realisations. The force and relevance of cognitive science entirely rests on the proper understanding and deployment of an integrated investigation of the mind/ brain, with due consideration of machine and formal models, as well as the profound and rich bodies of knowledge accumulated by centuries of research on language, perception and the other major faculties, in linguistics, in philosophical and scientific psychology, in philosophy, logic, anthropology, economics etc. Beyond the proper synergy, what an overly restrictive info+bio view of cognitive science misses the essential role of this accumulated and evolving knowledge. The failures of early AI and neurobiology have no other source, and we should try and avoid repeating such errors. This is emphatically *not* to forget that NBIC is nothing like the simple addition of the basic contributing disciplines: it does not aim, in particular, at absorbing cognitive science. We are considering an interaction of *technologies*. What I *am* pleading for is the active and continued presence of psychologists, linguists, anthropologists and philosophers in the planning and implementing of programmes in NBIC. As an added benefit, I believe that they would help us sort the grain from the chaff in the US and other reports“ (Andler 2004).

Außerdem sei die Kognitionswissenschaft aufgrund ihrer Nähe zu den harten Wissenschaften gut geeignet, eine gemeinsame Sprache im CTEKS-Feld zu finden. Und die Kognitionswissenschaft hat seit langem die Verbindungen zu Bio und Info: „Hence the very idea of NBIC“, so Andler in seinem Beitrag zur Europäischen Konvergenzdebatte (Andler 2004, p. 114).

Auf europäischer Ebene wurde zuletzt im September 2005 in einer High Level Expert Group (HLEG) über Converging Technologies diskutiert. Dies geschah im Rahmen der Konferenz „Key Technologies for Europe“, die am 19 und 20. September 2005 in Brüs-

sel stattfand.<sup>12</sup> Im Mittelpunkt stand dabei die Entwicklung von Strategien, mit denen die europäische F&E-Landschaft auf die neuen Technologien ausgerichtet werden kann. Interessanterweise wurde der Konvergenzgedanke hier nicht mehr als Strukturierungsprinzip für die Gesamtentwicklung verwendet. Zwar sprechen sich die Experten im zusammenfassenden Arbeitsbericht „Creative System Disruption“ für verstärkte Kooperationen zwischen den Disziplinen aus und betonen die innovative Kraft technologiefeldübergreifender Zusammenarbeit. Bei der Strukturierung der Forschungsfelder greifen sie aber nicht auf das Bild der alles übergreifenden Konvergenz zurück, sondern verwenden die Kriterien „Theorienähe“, „Technologieintensität“ und „gesellschaftliche Problemorientierung“. Basierend auf diesen Kriterien wurden für Europa 16 Schlüsseltechnologien in drei Clustern zusammengefasst:

1. **Sozio-systemische Ansätze** („Socio and Systemic Approaches“): Kognitionswissenschaften, Komplexitätswissenschaften („complexity“) sowie Sozial- und Geisteswissenschaften
2. **Querschnittstechnologien** („Transversal Technologies“): Biotechnologie, Kommunikationstechnologie, Informationstechnik, Nanotechnologie und Produktionsprozesse („manufacturing“).
3. **Lösung gesellschaftlicher Probleme** („Targeting Societal Challenges“): Landwirtschaft, Energie, Umwelt, Gesundheitssystem, Sicherheit, Dienstleistungen und Transport (Key Technologies Expert Group 2005: 17ff).

Obwohl dies sicher nicht als Abkehr vom Konvergenzgedanken zu interpretieren ist, wird doch deutlich, dass man in Europa darum bemüht ist, eine eigene Herangehensweise an das Thema Konvergenz zu entwickeln.

#### 4.4 Vergleich der Stoßrichtungen in USA und Europa

Neben Indizien konzeptioneller Art gibt es Hinweise auf persönliche Verbindungen zwischen der Hirnforschung und der CT-Debatte. Um diese herauszuarbeiten, wurden zunächst die Personen bestimmt, die auf den einschlägigen CT-Veranstaltungen in den USA und Europa als Referenten geladen waren, bzw. später als Autoren in den entsprechenden Dokumentationen in Erscheinung treten. Außerdem wurden in Europa die Mitglieder der Key Technologies Expert Group berücksichtigt, die Leiter des Instituts für Nanotechnologie in Großbritannien, die Referenten bei der Eröffnung des spanischen

---

<sup>12</sup> Agenda der Konferenz und Draft Final Report online unter [www.cordis.lu/foresight/conference\\_2005.htm](http://www.cordis.lu/foresight/conference_2005.htm).

Converging Technology Instituts im Jahr 2005 sowie zusätzlich zwei Referenten bei einer Veranstaltung zur Konvergenz der Spitzentechnologien auf dem Mikrosystemtechnik-Kongress in Freiburg im Oktober 2005.

Insgesamt wurden so 78 Personen in den USA und 49 Personen in Europa identifiziert.

Anschließend wurde der fachliche Hintergrund bzw. das derzeitige Forschungsgebiet der jeweiligen Forscher und Forscherinnen recherchiert. Tabelle 1 zeigt im Überblick, wie die Verteilung nach Disziplinen bzw. nach institutioneller Herkunft ausgefallen ist. Eine ausführliche Liste der Personen findet sich in Anhang A.

Tabelle 1: Fachlicher Hintergrund der Referenten auf einschlägigen CT-Konferenzen: Zusammenfassung

	<b>USA</b>	<b>Anteil</b>	<b>EU</b>	<b>Anteil</b>
Naturwiss., Ingenieurswiss., Agrarwiss.	23	30%	20	41%
Sozial- und Geisteswiss., Wirtschaftswiss./ Jura	4	5%	11	22%
Foresight	0	0%	11	22%
Regierung ohne Verteidigung	23	29%	6	12%
Verteidigung (DOD und NASA)	9	12%	0	0%
Unternehmen	19	24%	1	2%
<i>Gesamt</i>	<i>78</i>	<i>100 %</i>	<i>49</i>	<i>99%</i>

Während der Anteil der Naturwissenschaftler und Ingenieure in den USA und Europa eine ähnliche Größenordnung aufweist (30 zu 41%), fällt der Unterschied bei den Sozial- und Geisteswissenschaften deutlich aus (5 zu 22 %).

Tabelle 2: Fachlicher Hintergrund der Referenten auf einschlägigen CT-Konferenzen: Detailliertere Darstellung

	<b>USA</b>	<b>Anteil</b>	<b>EU</b>	<b>Anteil</b>
Chemie	1	1%	1	2%
Biochemie	2	3%	0	0%
Physik	1	1%	2	4%
Biologie	1	1%	0	0%
Ingenieurwiss. (meist Chemieingenieurwesen, Elektrotechnik)	2	3%	6	12%
Geowiss./Umwelt	2	3%	0	0%
Bioengineering	4	5%	1	2%
Informatik/Mathematik/Simulation	3	4%	4	8%
Sozialwiss./Philosophie/Geschichte	4	5%	6	12%
Wirtschaftswiss./Jura	0	0%	5	10%
Neurowissenschaften	4	5%	3	6%
Kognitionswissenschaften (z.B. Linguistik, Psychologie)	2	3%	2	4%
Ernährungswiss., Agrarwiss.	1	1%	1	2%
Foresight	0	0%	11	22%
Regierungsvertreter ohne Verteidigung (DOD und NASA)	23	29%	6	12%
Verteidigung (DOD und NASA)	9	12%	0	0%
Unternehmen	19	24%	1	2%
<i>Gesamt</i>	<i>78</i>	<i>100 %</i>	<i>49</i>	<i>98 %</i>

Der Anteil an Regierungsvertretern und Vertretern des Verteidigungssektors an der Gesamtzahl der an der CT-Debatte beteiligten Personen ist in den Vereinigten Staaten deutlich höher als in Europa (41 zu 12%). Ähnlich verhält es sich mit den Unternehmensvertretern (24 zu 2%).

Dagegen ist in Europa der Anteil von Wissenschaftlern aus Foresight-Instituten mit 22 % auffällig hoch. In den USA konnte überhaupt keine Person eindeutig diesem Bereich zugeordnet werden.

Ein genauerer Blick auf die Verteilungen zeigt, dass die Wissenschaftler, die sich eindeutig den Neuro- oder Kognitionswissenschaften zuordnen lassen, nur insgesamt 8 % (USA) bzw. 10 % (Europa) der gesamten CT-Personen ausmachen (siehe Tabelle 2).

Dabei ist zu beachten, dass auch Forscher, die z.B. an einem biochemischen Institut tätig sind oder Informatiker, die einem Computer Science Department angehören, sich mit neuro- oder kognitionswissenschaftlichen Fragestellungen beschäftigen können. Eine genaue Abgrenzung allein auf der Basis von institutionellen Zuordnungen ist hier nicht immer möglich.

Zusätzlich zu den Personen, die aufgrund ihrer aktiven Teilnahme an einschlägigen Konferenzen gewissermaßen zur erweiterten CT-Community gezählt wurden, seien hier noch zwei deutsche Hirnforscher genannt, deren Forschungsansätze Berührungspunkte mit der Converging-Technologies-Debatte aufweisen: Prof. Dr. Wolf Singer und Prof. Dr. Peter Fromherz.

### **Prof. Dr. Wolf Singer und das Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS)**

Prof. Singer ist Direktor am Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt und einer der Gründungsdirektoren des Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS)<sup>13</sup>.

Singer sieht in der Neurobiologie ein Modell für die künftige Wissenschaftsorganisation und betont in einem Interview in der FAZ die Notwendigkeit, interdisziplinäre Projekte in flexiblen Institutsstrukturen durchführen zu können:

„In vielen Bereichen der Biologie geht es heute darum aufzuklären, nach welchen Prinzipien sich Vielkomponentensysteme selbst organisieren, welcher Art die dynamischen Wechselwirkungen sind, wie in den Relationen der verteilten Aktivitäten Informationen gespeichert, verarbeitet und ausgewertet werden. In all diesen Fällen muss die Aktivität der Komponenten erfasst und mit eigens dafür entwickelten mathematischen Verfahren analysiert werden. Dies erfordert ein hohes Maß an interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Experimentatoren und Theoretikern, eine Kooperation, die neue, flexible Institutsstrukturen erfordert“ (Singer 2004, S. 13f).

Als das Frankfurt Institute for Advanced Studies Anfang 2005 gegründet wurde, veröffentlichte die Universität Frankfurt, an die das Institut angekoppelt ist, folgende Pressemeldung (Mölders 2005):

---

<sup>13</sup> [www.fias.uni-frankfurt.de](http://www.fias.uni-frankfurt.de).

"An diesem exzellenten Forschungszentrum in Hessen, das weltweit kaum seinesgleichen findet, arbeiten international ausgewiesene Wissenschaftler an der interdisziplinären Erforschung komplexer Zukunftsthemen auf dem Gebiet der Naturwissenschaften", erklärte der hessische Ministerpräsident Roland Koch anlässlich der offiziellen Einweihungsfeier des Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) am heutigen 11. März 2005. Unter den Gästen waren zahlreiche hochrangige Vertreter aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft.

"Das Institut ist einzigartig nicht nur in Deutschland und ich verspreche mir sehr viel von der gewollten Zusammenführung universitärer und außeruniversitärer Forschungspotenziale", sagte Prof. Rudolf Steinberg, Präsident der Johann Wolfgang Goethe-Universität, in seiner Begrüßung. Der Vorsitzende des FIAS-Stiftungsrats, Dr. Helmut O. Maucher, führte aus, er sei sich sicher, dass das FIAS bald zu einem Markenzeichen für Qualität und Leistung in der Wissenschaft würde und damit einen wichtigen Beitrag zur Stärkung der wissenschaftlichen Bedeutung von Frankfurt, des Landes Hessen und der Bundesrepublik Deutschland leisten werde.

"Die Wissenschaft im dritten Jahrtausend muss ihre Blickrichtung ändern", erklärte einer der beiden FIAS-Gründungsdirektoren, Prof. Walter Greiner vom Institut für Theoretische Physik der Universität Frankfurt, und ging auf die Grundidee des FIAS ein. Prof. Wolf Singer, Direktor am Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt, und neben Greiner weiterer Gründungsdirektor, unterstrich, dass die Komplexität der dynamischen Prozesse in lebenden Systemen intuitiv nicht mehr zu erfassen sei und deshalb theoretische und experimentelle Ansätze viel enger verschränkt werden müssten als bisher.

Für den Festvortrag hatte man Prof. Hermann Gruber, Direktor der Argonne National Laboratory, Chicago, USA, gewinnen können, der zum Thema "Interdisciplinary Science - the quest of our times" sprach und damit die Grundidee des FIAS herausstellte.

Das FIAS, das im Rahmen eines Public Private Partnerships zwischen der Universität und privaten Stiftern gegründet und seit Dezember 2004 als gemeinnützige Stiftung registriert ist, widmet sich der Spitzenforschung in den theoretischen Naturwissenschaften auf Gebieten, die ein hohes interdisziplinäres und integratives Potenzial haben. Damit ist das Institut eine Einrichtung des (natur-) wissenschaftlichen Querdenkens, die international renommierte Wissenschaftler aus den Bereichen der Theoretischen Biologie, Theoretischen Chemie, Theoretischen Neurowissenschaften und Theoretischen Physik zusammenführt.

Im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Arbeit des FIAS steht die Erforschung komplexer Systeme in der belebten und unbelebten Natur, darunter der Struktur und Dynamik von elementarer Materie, von neuronalen Netzwerken, Biomolekülen, atomaren Clustern und Nanostrukturen.

Dem wissenschaftlichen Beirat des FIAS gehören 13 Mitglieder an; allen voran die drei Nobelpreisträger Prof. Günter Blobel (New York), Prof. Hartmut Michel (Frank-

furt) und Prof. Horst Störmer (New York). Wissenschaftlich arbeitet das FIAS mit benachbarten Forschungsinstitutionen aus dem Rhein-Main-Gebiet zusammen, darunter der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt, den Frankfurter Max-Planck-Instituten für Hirnforschung und für Biophysik sowie dem Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz.

Ebenso bestehen enge Verbindungen zu den naturwissenschaftlichen Fachbereichen und Forschungszentren an der Universität Frankfurt, darunter dem Center for Membrane Proteomics, Center for Biomolecular Resonance, Stern-Gerlach-Zentrum und Center for Scientific Computing.

Die am FIAS tätigen Wissenschaftler engagieren sich auch in der Lehre. Sie halten Vorlesungen und betreuen Doktoranden an der Frankfurt International Graduate School for Science (FIGSS), die im Jahr 2004 ihren Betrieb aufnahm. Derzeit gibt es an der FIGSS rund 20 Doktoranden, die aus Brasilien, China, Deutschland, Frankreich, Iran, Jordanien, Polen, Rumänien, Russland und den USA stammen.

### **Prof. Dr. Peter Fromherz und das Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried**

Prof. Fromherz ist Direktor am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried bei München. Ihm wurde der Durchbruch in der Neuroelektronik zugeschrieben, als es ihm gelang, eine Verbindung zwischen Nervenzellen und Computern herzustellen. Inzwischen wird in Zusammenarbeit mit Infineon die industrielle Fertigung des Neuro-Chips vorangetrieben. In einer gemeinsamen Pressemeldung von dem Max-Planck-Institut und Infineon aus dem Jahr 2003 heißt es (Trepte 2003):

Max-Planck-Institut für Biochemie und Infineon Technologies AG präsentieren industriell gefertigten Neuro-Chip / Anwendung in Neurowissenschaften und Pharmazieentwicklung

Nervensystem und Computer funktionieren elektrisch. Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Biochemie arbeiten deshalb seit Jahren an der Frage, wie man beide Systeme direkt miteinander vernetzen könnte. Im Jahr 1991 setzten sie erstmals eine Nervenzelle von einem Blutegel auf einen Computerchip, und ein Transistor fing die von der Zelle ausgesandten Signale auf. 1995 gelang dieses Experiment dann auch in der Gegenrichtung: Eine Zelle wurde über einen Chip mit elektrischen Impulsen gereizt und antwortete darauf mit Aktionspotentialen, die als Signale gemessen werden konnten. Um in ihren Experimenten die Signale von lebenden Nervenzellen und Zellverbänden messen und an ein Computersystem weiterleiten zu können, bauten die Wissenschaftler bisher ihre Computerchips selbst. Jetzt hat die Infineon Technologies AG in enger Kooperation mit den Max-Planck-Forschern um Prof. Peter Fromherz einen Biosensor-Chip mit rund 16.400

Sensoren vorgestellt, der eine Erweiterung des in Martinsried gefertigten Chips darstellt. Der erstmals am 11. Februar 2003 auf der Fachkonferenz "International Solid-State Circuits Conference" in San Francisco vorgestellte Neuro-Chip eröffnet neue Einblicke in die biologische Funktion von Nervenzellen, neuronalen Netzen und Hirngewebe.

Seit mehreren Jahren arbeitet die Abteilung Membran- und Neurophysik des Martinsrieder Max-Planck-Instituts für Biochemie mit der Infineon Technologies AG an der Entwicklung eines Neuro-Chips. Die Grundlagenforscher nutzten dazu bisher einen selbst hergestellten Chip mit einer linearen Anordnung von 128 Sensoren (Transistoren). Bei dem neuen, von Infineon Technologies AG in enger Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Biochemie entwickelten Biosensor-Chip sind die Transistoren jetzt flächig angeordnet. Insgesamt befinden sich auf einem Quadratmillimeter Chipfläche 128 x 128 Sensoren, also insgesamt 16.384. Dieser neue Chip der CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)-Technologie eröffnet insbesondere in den Neurowissenschaften viel versprechende Möglichkeiten. Jetzt ist es möglich, die elektrischen Signale von Nervenzellen, den so genannten Neuronen, und ganzen Neuronenverbänden im intakten Gewebe in bislang unerreichter Genauigkeit aufzunehmen und zu verarbeiten.

Wie auch schon bei dem in Martinsried entwickelten Chip erfolgt das Messen der neuronalen Signale der Nervenzellen auf dem Neuro-Chip über Sensoren. Die zu untersuchenden Nervenzellen werden dazu direkt auf dem Sensorfeld am Leben gehalten und können dort wieder zu neuronalen Netzen zusammenwachsen. Im Gegensatz zu klassischen Methoden der Neurophysiologie werden die Zellen auf dem Neuro-Chip durch die Messungen nicht gestört oder verletzt. Doch statt wie bislang einzelne Zellen sequentiell zu untersuchen, kann der jetzt entwickelte neue Neuro-Chip auf seinem Sensorfeld mehrere Zellen parallel vermessen. Jede aufgebrachte Nervenzelle liegt dabei auf mindestens einem Sensor. Dieser verstärkt und verarbeitet die extrem schwachen elektrischen Signale (maximal 5 Millivolt) der Zelle. Das wird möglich, weil der Abstand zwischen den Sensoren (acht Tausendstel Millimetern) kleiner ist als der Durchmesser eines Neurons (zehn bis 50 Tausendstel Millimeter). Jeder Sensor kann mindestens 2.000 Werte pro Sekunde aufzeichnen, die in ihrem zeitlichen Verlauf als farbiges Gesamtbild dargestellt werden. Die Forscher können damit erkennen, wie ganze Zellverbände über einen festgelegten Zeitraum auf elektrische Stimulation oder bestimmte Substanzen reagieren.

Von der Innovation versprechen sich die Wissenschaftler vor allem neue Erkenntnisse über das Miteinander der mehr als 100 Milliarden Nervenzellen in unserem Gehirn. Deshalb arbeitet die Arbeitsgruppe um Prof. Fromherz seit einiger Zeit mit Prof. Tobias Bonhoeffer und seinen Mitarbeitern im benachbarten Max-Planck-Institut für Neurobiologie zusammen. Die jetzt mögliche störungsfreie Beobachtung von intaktem Nervengewebe über einen längeren Zeitraum bietet den Neurobiologen kontinuierlichen Einblick in die Abläufe von Lern- und Gedächtnisvorgängen. Durch den Neuro-Chip können aber auch neue Erkenntnisse zum Verständnis der Wahrnehmung sowie der Verarbeitung und Speicherung von Informationen

im Gehirn gewonnen werden. Um beispielsweise die Wechselwirkungen zwischen Zellen verschiedener Hirnareale zu untersuchen, kann man einzelne Nervenzellen oder intakte Gehirnschnitte auf den neuen Chip aufbringen und auf der Sensorfläche miteinander zu neuronalen Netzen verwachsen lassen. Das Zellgewebe bleibt dabei unverletzt und kann über mehrere Wochen am Leben gehalten werden. Die Erforschung des Zusammenwirkens der Nervenzellen im gesamten Gehirn sind wiederum wichtige Schritte, um eines Tages den heute noch unheilbaren Krankheiten des Gehirns besser begegnen zu können.

War es bisher den Max-Planck-Wissenschaftlern gelungen, Nervenzellen von Ratten und Schnecken zu stimulieren und deren Aktivität auch abzuleiten, so wurde der neu entwickelte Neuro-Chip im Max-Planck-Institut für Biochemie bisher nur mit Hirnzellen von Schnecken erfolgreich getestet. Jetzt geht es den Forschern deshalb darum, ihre Forschungsarbeiten auf dem neuen, technisch weiterentwickelten Biosensor-Chip fortzusetzen. Professor Dr. Peter Fromherz kommentiert aus Sicht der Bio-Physiker: "Hier geht ein Traum in Erfüllung, dass unsere langjährige Grundlagenforschung über hybride Neuron-Halbleiter-Systeme nun in einen High-Tech-Chip einmündet. Die gemeinsame Entwicklung des neuen Neuro-Chips ist ein hervorragendes Beispiel für eine geglückte Zusammenarbeit zwischen Grundlagenforschung und industrieller Entwicklung. Die ungewöhnliche Bereitschaft der Infineon Technologies AG, sich auf eine langfristig angelegte Entwicklungsarbeit einzulassen, zahlt sich nun aus." Die Sensibilität des Unternehmens, Vorgaben aus der Grundlagenforschung aufzunehmen, haben es ermöglicht, jetzt den Neuro-Chip aus dem "Eigenbau" des Max-Planck-Instituts in die industrielle Entwicklung zu überführen. "Diese Entwicklung auf der Basis modernster Mikroelektronik eröffnet ungeahnte Möglichkeiten für Anwendungen in Biomedizin, Biotechnologie und Hirnforschung", so Fromherz. Vor allem in der Diagnostik könnte der Chip eingesetzt werden. Dass allerdings ein ins Gehirn eingesetzter Neurochip die menschliche Intelligenz oder die Gedächtnisleistung verbessern könnte oder gar eine Steuerung des Gehirns durch den Computer ermöglichen könnte, davon hält Fromherz überhaupt nichts. "Dies ist schlichtweg Science-Fiction".



## **5 Recherche: Visionen und potenzielle Anwendungen: Welche Rolle spielt die Hirnforschung in der Konvergenz debatte?**

In Kapitel 4 wurde dargestellt, welche Verbindungslinien es auf konzeptioneller und personeller Ebene zwischen der Converging Technologies-Debatte und den Neurowissenschaften gibt. In diesem Abschnitt sollen nun die Visionen und potenziellen Anwendungen, wie sie vornehmlich in der amerikanischen NBIC-Diskussion gesehen werden, im Mittelpunkt stehen. Dabei konzentriert sich die Analyse auf solche NBIC-Visionen, die einen unmittelbaren Bezug zur Hirnforschung haben.

Grundlage für die Darstellung der Visionen sind zunächst sieben ausgewählte Beiträge im NBIC-Report von 2002. Die Beiträge werden auf unterstellte, erwartete und geforderte inhaltliche Verschränkungen zwischen Nano-, Informations-, Bio- und Kognitionswissenschaften untersucht.

Im Anschluss wird das „Human Cognome Project“ etwas genauer beleuchtet, um dann auf das Konzept des verbesserten Menschen einzugehen, das eine wichtige Rolle bei den Visionen in der NBIC-Debatte spielt. Abschließend wird der Frage nachgegangen, welche Visionen es in Europa gibt und wie sich diese von den amerikanischen unterscheiden.

### **5.1 Analyse der Beiträge von Neurowissenschaftlern im NBIC-Report**

Auf der Ebene der Visionen und potenziellen Anwendungsfelder lassen sich eine Vielzahl von Berührungspunkten und Überschneidungen zwischen der Hirnforschung und den Converging Technologies finden. Um diese Überschneidungen näher zu identifizieren, wurde der NBIC-Bericht von 2002 (Roco; Bainbridge 2002) zunächst auf neurowissenschaftlich relevante Papers und Statements untersucht.

Insgesamt finden sich in diesem Bericht sieben Beiträge, die sich explizit mit erwarteten Fortschritten in der Hirnforschung und einem möglichen Forschungsprogramm für die Neurowissenschaften im Kontext der Konvergenz beschäftigen. Es handelt sich dabei um:

- The Consequences of Fully Understanding the Brain (W. Robinett),
- Vision Statement: Interacting Brain (B. Chance/ K.A. Kang),
- Focusing the possibilities of Nanotechnology for Cognitive Evolution and Human Performance (E. Garcia-Rill),
- Brain-Machine Interface via a Neurovascular Approach (R. Llinás, V. Makarov),
- Human-Machine Interaction: Potential Impact of Nanotechnology in the Design of Neuroprosthetic Devices Aimed at Restoring or Augmenting Human Performance (M. Nicolelis),
- Artificial Brains and Natural Intelligence (L. Cauller, A Penz) und
- Brain-Machine Interface (R. Asher).

Die sieben Beiträge sind drei - die Konferenz bzw. den Report strukturierenden Themenfeldern („Sections“) - zugeordnet: „B. Expanding Human Cognition and Communication“ (Robinett), „C. Improving Human Health and Physical Capabilities“ (Chance/Kang, Garcia-Rill, Llinás/Makarov, Nicolelis, Cauller/Penz) und „E. National Security“ (Asher). Bei den Aufsätzen handelt es sich meist um kurze (2-4 seitige) Statements oder Visionary Projects, wobei nicht immer klar wird, wessen Visionen wiedergegeben werden und ob die Autoren für ihre eigene Forschung sprechen, für die Forschung in ihrem Institut oder in ihrem Forschungszweig. Auch gibt es im NBIC-Report keinen Hinweis auf die Kriterien, die bei der Auswahl der Forscher, die Beiträge für die Konferenz bzw. den Bericht geliefert haben, eine Rolle gespielt haben.

In diesem Abschnitt werden die Hauptaussagen aus den sieben Beiträgen kurz dargestellt und der wissenschaftliche Hintergrund der jeweiligen Referenten bzw. Autoren beleuchtet.

Zunächst stellt Lopez (2004) in seiner Analyse des NBIC-Berichts fest, dass alle Beiträge eine Gemeinsamkeit aufweisen: Sie begreifen das Gehirn als maschinenähnliches informations- und kommunikationsverarbeitendes System. Und zwar in einem noch weitergehenden Maße als dies Hirnforscher generell tun. Die mechanistische Betrachtungsweise findet sich zwar in fast allen neurowissenschaftlichen Arbeiten, hier aber wird die Vorstellung auf Nanostrukturen, DNA-Strukturen und letztlich auf alle Lebensstrukturen erweitert: „The fundamental properties of matter are determined by its constituent molecular dynamics. Phenomena such as memory, emotion, and thought are to be explained by reference to a hierarchy that privileges the nanoscale organisation of atoms and constructs a causal explanatory pathway that links

nanostructures to the structure of DNA that in turn extends the link to the interaction of neurons in the brain. The great chain of being begins at the bottom but does not end with the body or the brain" (Lopez 2004, p. 11).

### **The Consequences of Fully Understanding the Brain (W. Robinett)**

Warren Robinett ist der Autor dieses dreieinhalbseitigen Papiers, das von den Herausgebern des NBIC-Reports als Beschreibung eines „Visionary Projects“ interpretiert wurde und das thematisch der Section B. „Expanding Human Cognition and Communication“ zugeordnet wurde. Tatsächlich stellt Robinett kein Projekt im eigentlichen Sinne vor, sondern wirft eine Reihe von Fragen auf und beschreibt, welche Anwendungen in Zukunft denkbar wären, wenn man die Funktionsweise des Gehirns vollständig verstanden hat und in der Lage ist, dieses durch Einbau von Nanocomputern entsprechend zu erweitern („Better Senses“), zu vergrößern („Better Memory“) und seine Verarbeitungskapazität zu erhöhen („Better Imagination“).

Als Beispiel für die Erweiterung der Sinne führt Robinett eine hochauflösende elektronische Minikamera an, die direkt an die entsprechenden Nervenbahnen des Sehsystems angeschlossen werden soll. Und sobald bekannt ist, wie das Gehirn Erinnerungen speichert, wird es nach Robinett auch möglich sein, menschliche Gehirnspeicher nanotechnisch so nachzubilden, dass sie als Speichererweiterungsmodule in das Gehirn verpflanzt werden können, ähnlich wie man bei Computern Speicherkarten einsteckt: „If your brain comes with 20 petabytes factory-installed, wouldn't 200 petabytes be better?“ (p. 149), fragt Robinett lapidar.

Im zweiten Teil seines Aufsatzes beschäftigt sich Robinett mit der Idee, die vollständige Persönlichkeit auf einen Chip zu laden („Downloading yourself into new hardware“), mit „Instant Learning“ („Get a PhD in Mathematics with one click“), mit Reisen in Lichtgeschwindigkeit und mit der Möglichkeit, die Evolution selbst zu bestimmen - mitunter Ideen, die er selbst unter die Überschrift „Now the Really Crazy Ones“ stellt. Allerdings hält er alle diese Ideen für machbar, wenn man nur die physiologischen Prozesse im Gehirn vollständig verstanden hat.

Um dies zu bewerkstelligen, braucht es nach Robinetts Überzeugung neben der Kognitionswissenschaft die Methoden der Nanotechnologie, der Biochemie und der Informationstechnik (p. 148).

Warren Robinett gehört sicherlich nicht zum Mainstream der neurowissenschaftlichen Forschung. Er ist heute auch nicht in der Forschung, sondern als Herausgeber von

Lernsoftware tätig. Davor war er an der University of North Carolina beschäftigt, wo er den so genannten NanoManipulator erfand, ein Virtual-Reality Interface, der es Forschern ermöglichen soll, virtuell auf der Oberfläche einer Mikroskopprobe präsent zu sein ([www.warrenrobinett.com/nano](http://www.warrenrobinett.com/nano)).

### **Vision Statement: Interacting Brain (B. Chance, K.A. Kang)**

Der Aufsatz von Britton Chance und Kyung A. Kang ist wie die meisten Aufsätze mit direktem Hirnforschungs-Bezug im NBIC-Report der Sektion C. „Improving Human Health and Physical Capabilities“ zugeordnet und wird dort als „Statement“ geführt. Die Autoren beschäftigen sich in diesem zweieinhalbseitigen Papier mit den Vor- und Nachteilen verschiedener bildgebenden Verfahren (PET, SPECT, MRI) und stellen die Near Infrared (NIR) Methode vor; eine Methode, die sie offenbar selbst erfunden bzw. weiterentwickelt haben. Die NIR-Methode basiert zum einen wie die herkömmlichen Verfahren auf der Veränderung von Blutwerten. Darüber hinaus zeigt sie aber auch die Hämoglobin-Sättigung an und gibt damit indirekt Aufschluss über den tatsächlichen Energieverbrauch. Dabei ist die NIR-Methode eine der wenigen bildgebenden Verfahren, die tragbar („wearable“) ist. Die Autoren haben ein „NIR Cognoscope“ erfunden, das wie ein Helm getragen werden kann und das die aktiven Hirnregionen aufnimmt bzw. darstellt, während dem Probanden visuelle Reize über eine Brille zugespielt werden.

Um das Cognoscope und andere optischen Kognitionsinstrumente in Zukunft leistungsfähiger zu machen und dem Ziel der Erforschung des lebenden Gehirns ohne Einschränkungen durch den Versuchsaufbau („unobstrusive“) noch näher zu kommen, bedarf es nach Chance und Kang der Hilfe der Nano- und Informationstechnologie: Durch die künftige Entwicklung und den Einsatz von so genannten Nano-Biomarkern erhoffen sich die Autoren Erkenntnisse über biomolekulare Prozesse, die durch bestimmte Reize ausgelöst werden. Außerdem werden Nano-Detekoren und Nano-Batterien benötigt.

Sobald es dann möglich sein wird, mit einem Nano- und IT-technisch optimierten bildgebenden Verfahren Hirnströme so zu messen und darzustellen, wie sie tatsächlich auftreten, sind nach Chance und Kang folgende Anwendungen denkbar: Eindeutige medizinische Diagnose von Hirnkrankheiten, Erkennen von Lernschwierigkeiten bei Kindern durch Hirn-Scans, Überprüfung von Lehrmethoden auf ihre Wirksamkeit, Erforschung des Denkprozesses entlang von Fragestellungen der Kognitionswissen-

schaften, Sichtbarmachung des emotionalen Zustandes eines Menschen und zwischenmenschliche Kommunikation, die nicht der herkömmlichen Sinne bedarf.

Britton Chance ist Mediziner und erimierter Professor für Biophysik, Physikalische Chemie und Radiologische Physik an der University of Pennsylvania in Philadelphia. Er ist Mitglied in der National Academy of Sciences, der Britischen Royal Society und der American Philosophical Society.<sup>14</sup> Kyung A. Kang ist Professorin am Chemical Engineering Department an der University of Louisville in Kentucky. Dort leitet sie das Bio-Optics and Bioseparation Lab.<sup>15</sup> Der Text und die Literaturlisten der beiden Forscher legen die Vermutung nahe, dass es sich hier um renommierte Hirnforscher handelt.

### **Focusing the possibilities of Nanotechnology for Cognitive Evolution and Human Performance (E. Garcia-Rill)**

Edgar Garcia-Rills viereinhalbseitiges Paper stellt ebenfalls ein „Statement“ in dieser Sektion dar. Garcia-Rills nimmt Bezug auf Chance und Kang und konzipiert zwei mögliche Anwendungen für die Near Infrared Detection Methode (NIR). Zum einen soll der nanotechnologisch weiterentwickelte Diagnosehelm den Stress-Level einer Person messen, um in kritischen Situationen - genannt werden militärische Manöver und Weltraum-Einsätze - entsprechend reagieren zu können. Steigt der Stress-Level über einen bestimmten Wert, sollen Entspannungsübungen oder Medikamente helfen, einen Zustand herzustellen, in dem Aufmerksamkeit und Beurteilungsvermögen wieder auf hohem Niveau sind.

Zum anderen könnte ein derartiger Diagnosehelm dazu verwendet werden, erste Anzeichen von „Hyperfrontality“, d.h. von vermindertem Blutfluss im Frontallappen zu erkennen. Hyperfrontality tritt bei gewalttätigen Handlungen auf, aber auch bei Krankheiten wie Schizophrenie oder Depression. Der Helm könnte dabei helfen, individuelle Dispositionen zu erkennen und in Echtzeit zu überwachen. Als mögliche Einsatzgebiete nennt Garcia-Rills „to *screen and select* crews for military or space travel operations“ (p. 205, Hervorhebung im Original). Der Autor weist darauf hin, dass die nanotechnologischen Voraussetzungen für einen solchen Diagnose-Helm heute noch nicht gegeben sind. Er lässt aber keinen Zweifel daran, dass künftige technische Entwicklungen und insbesondere die Konvergenz von Nano- und Informationstechnologie mit den Kognitionswissenschaften zu einem enormen Fortschritt bei den bildgebenden und

---

<sup>14</sup> siehe: [www.uphs.upenn.edu/biocbiop/faculty/pages/chance.html](http://www.uphs.upenn.edu/biocbiop/faculty/pages/chance.html).

<sup>15</sup> siehe: [www.louisville.edu/~kakang01/content.htm](http://www.louisville.edu/~kakang01/content.htm).

-messenden Verfahren ermöglichen werden und unser Bild von der Welt und uns selbst verändern werden. Erkenntnisse und Anwendungen aus dieser Konvergenz werden nach Garcia-Rills Überzeugung Teil unseres Zivilisationsprozesses („enculturation process“) werden, unsere Gehirnstrukturen selbst verändern - so wie das Buch oder der Computer unsere Vorstellung von der Funktionsweise des Gehirns geprägt haben - und letztlich die Evolution im Sinne erweiterter kognitiver Fähigkeiten weiter-treiben.

Interessant ist der Exkurs über die Aufgabe der IT bei der Konvergenz, den Garcia-Rill diesen Überlegungen vorausschickt. Bevor man sich überhaupt an so etwas wie die Implantation von nanotechnologischen Maschinen („devices“) ins Gehirn machen könne, müsse man verstehen, wie das Gehirn Informationen verarbeitet, so Garcia-Rill. Von einem solchen Verständnis sei man heute aber noch weit entfernt. Hier stellt er eine Parallele zur Entwicklung in der IT fest: Während Prozessoren und Speicher seit Jahren immer leistungsfähiger werden, hinkt die Softwareentwicklung deutlich hinterher: „Faster computers seem to encourage less efficient software“, zitiert Garcia-Rill Jordan Pollack, der im NBIC-Report über „limits of design complexity“ referiert (p. 143-145). In ähnlicher Weise habe die Hirnforschung in den letzten Jahren eine Vielzahl von Erkenntnissen über die „Hardware“ des Gehirns geliefert, so z.B. über anatomische Verknüpfungen oder synaptische Interaktionsprozesse. Aber diese Wissenexplosion habe wenig zum Verständnis der „Software des Gehirns“ beigetragen, d.h. über die Mechanismen, mit denen das Gehirn Informationen verarbeitet und bewusste Handlungen einleitet.

Die Vorstellung vom Gehirn als Computer führe letztlich aber in die Irre, so Garcia-Rill. Denn das Gehirn sei keine digitale Maschine, sondern analog konstruiert: Die Mehrzahl der Operationen geschehe nicht digital (als „an oder aus“), sondern auf der Basis gradueller Vorgänge (als „stark oder schwach“). Wie dies allerdings genau funktioniert und wie die Vorgänge modelliert werden können, darüber wisse man noch zu wenig. Deshalb fordert Garcia-Rill die Informatikern auf, analoge Computersoftware zu entwickeln (p. 202f).

Edgar Garcia-Rill ist Physiologe in der medizinischen Fakultät der University of Arkansas in Little Rock, Arizona. Dort arbeitet er am Center for Translational Neuroscience, einer Abteilung des Departments of Neurobiology & Developmental Sciences. In seinen Forschungsarbeiten beschäftigt er sich zum einen mit den Ursachen von Schizophrenie, Alzheimer und anderen Neuropathologien und zum anderen mit Fehlleistungen des motorischen Systems (Parkinson, Huntington sowie Rückenmarksverletzungen).

gen).<sup>16</sup> Seine klinischen Forschungsarbeiten und der Stil seines Aufsatzes, der sich intensiv mit den konzeptionellen Voraussetzungen für konvergente Anwendungen beschäftigt, gibt Anlass zur Vermutung, dass es sich um einen „seriösen“ Forscher handelt.

### **Brain-Machine Interface via a Neurovascular Approach (R. Llinás, V. Makarov)**

Rodolfo Llinás' und Valerie Makarovs Beschreibung eines „Visionary Projects“ ist mit sechseinhalb Seiten der längste Aufsatz der sieben hier betrachteten Beiträge und liest sich wie ein Projektantrag, in dem bereits einzelne Arbeitsschritte definiert werden. Er befasst sich mit den Voraussetzungen für eine Mensch-Maschine-Kopplung und schlägt vor, die Kopplung über neuronale Blutgefäße („Neurovascular Approach“) zu bewerkstelligen. Ihre Idee basiert ebenso wie die Ideen der anderen hier betrachteten Hirnforscher hauptsächlich auf erhofften Durchbrüchen in der Nanotechnologie. Offenbar haben nanotechnologische Visionen die Erwartungen der Hirnforscher beflügelt, in naher Zukunft Konzepte realisieren zu können, die bisher für unmöglich gehalten wurden.

Eine auf Nanotechnologie (nano-wire technology, nano electronics) basierende Gehirn-Maschine-Schnittstelle soll zur Diagnose und Behandlung von unnatürlichen Hirnfunktionen eingesetzt werden, zur Überwachung von Hirnzuständen und der Sicherstellung von Funktionen - aber auch, um Hirnfunktionen direkt zu stimulieren („to both tap and address brain activity“, p. 216).

Llinás und Makarov benötigen dazu mehrere Millionen elektrisch geladene Nano-Partikel, die als „nano-wires“ bezeichnet werden und die einen Durchmesser von nur 0.5  $\mu\text{m}$  haben sollen. Sie sollen in die Blutbahn gespritzt werden, über die Venen in das Gehirn gelangen und dort als Aufnahme-Leitungen („recording points“) fungieren. Kombiniert mit externen Empfangsgeräten, die auf die Frequenzen bzw. Sendeleistungen der nano-wires ausgelegt sind, soll ein Mega-Elektrodensystem entstehen, das sehr viel mehr und genauere Informationen über Hirnaktivitäten generiert als alle heute bekannten bildgebenden Verfahren. Nach Ansicht der Autoren ist ein solches System in 10 Jahren einsatzfähig (p. 218).

---

<sup>16</sup> siehe: [www.uams.edu/neuroscience\\_cellbiology/faculty/details.asp?id=48](http://www.uams.edu/neuroscience_cellbiology/faculty/details.asp?id=48).

In einem zweiten Schritt widmen sich die Autoren der Frage, wie die Software beschaffen sein muss, damit die anfallenden riesigen Datenmengen ausgewertet, gespeichert und interpretiert werden können. Dazu schlagen sie die Verwendung spezieller Algorithmen vor und spezifizieren die Speicheranforderungen.

Rodolfo R. Llinás ist Mediziner und Professor für Neurowissenschaften an der New York University im Department of Physiology and Neuroscience. Er ist (Mit-) Herausgeber renommierter Zeitschriften wie „Neuroscience“, „Journal of Neurobiology“, „Pfluegers Archive“ und dem „Journal of Theoretical Neurobiology“. Er selbst forschte u.a. über „Electrophysiological Analysis of Synaptic Transmission“ und „Neurobiology of Cerebellar Evolution and Development“, so die Titel zweier von ihm verfassten Bücher. Das jüngste, auf seiner Website genannte, Buch stammt aus dem Jahr 1996 und hat den Titel: „The Mind-Brain Continuum“.<sup>17</sup> Aufgrund der vorliegenden Informationen kann davon ausgegangen werden, dass Llinás ein renommierter Neuro-Biologe ist. Valerie Makarov ist sein Mitarbeiter an der New York University.

### **Human-Machine Interaction: Potential Impact of Nanotechnology in the Design of Neuroprosthetic Devices Aimed at Restoring or Augmenting Human Performance (M. Nicolelis and M. Srinivasan)**

In dem knapp vierseitigen Paper von Nicolelis über die Voraussetzungen, Möglichkeiten und Einsatzgebiete von Mensch-Maschine-Kopplungen wird ähnlich wie in den beiden vorangegangenen Aufsätzen ein direkter Bezug zur Nanotechnologie hergestellt. Brain-Machine Interfaces (BMI) sind für Nicolelis inkorporierte künstliche Geräte („devices“), die die Steuerung von motorischen Abläufen, aber auch von Gedanken, Emotionen, Handlungsabsichten usw. übernehmen können. Um solche Geräte in Zukunft realisieren zu können, d.h. um die heutigen Prothesen weiter in den so genannten „neural space“ hinein zu verlegen, damit sie nicht mehr als externe Steuerungswerkzeuge empfunden werden, sind die neueren und künftigen Entwicklungen der Nanotechnologie von großer Bedeutung.

Aus der Neuroprothetik kommend erweitert Nicolelis die Idee der inkorporierten Steuerung von Gliedmaßen auf die Steuerung sämtlicher kognitiven Aktivitäten. Dabei entwickelt er Anwendungsszenarien, in denen Brain-Machine-Interfaces zur Erweiterung menschlicher Fähigkeiten dienen, indem sie Lernprozesse beschleunigen oder mit Hil-

---

<sup>17</sup> siehe: [www.med.nyu.edu/people/R.Llinas.html](http://www.med.nyu.edu/people/R.Llinas.html).

fe spezieller Virtual Reality Systeme fremde Erfahrungen realistisch erfahrbar machen (p. 225).

Nicolelis verweist auf Erfolge seiner Forschung bei der Entwicklung von Arm-Prothesen, die nur über Hirnimpulse gesteuert werden können. Und er berichtet von erfolgreichen Hirn-Manipulationen bei Mäusen, die dazu gebracht wurden, auf fremde, aber inkorporierte Steuerungsimpulse zu reagieren. Es ist dieser Ansatz, der die Forschungsarbeiten von Nicolelis so umstritten macht. In der Öffentlichkeit erzeugen die Berichte über Brain-Machine-Interfaces oft Assoziationen mit Gedankenkontrolle und Fernsteuerung durch künstliche Instanzen. Dies könnte mit ein Grund dafür sein, warum das neue DARPA-Forschungsprogramm nicht mehr „Human Brain Interfaces“ heißt, sondern als „Human-Assisted Neural Devices“-Programm betitelt wurde - obwohl darin womöglich die gleichen Forschungen betrieben werden (vgl. Abschnitt 4.2).

Miguel A. L. Nicolelis ist Professor für Neurowissenschaften im Department of Neurobiology and Biomedical Engineering an der Duke University in Durham, North Carolina. Er ist Psychologe und nennt auf seiner Homepage folgende Forschungsinteressen: „Computational properties of large neural ensembles in behaving animals“, „Sensorimotor plasticity in adult and developing sensory animals“, „Neuronal basis of sensorimotor learning“ „Development of brain-machine Interfaces for restoring neurological function“ und „Neuronal basis of tactile perception“.<sup>18</sup>

Nicolelis kann wohl als renommierter Hirnforscher bezeichnet werden. Seine Publikationsliste ist imposant, außerdem leitet er eine Reihe größerer Forschungsprojekte. Das wohl wichtigste, bzw. das mit dem größten öffentlichen Interesse, ist bzw. war das Brain-Machine Interface Projekt, das von der DARPA finanziert wurde bzw. wird (siehe ausführlicher Abschnitt 4.2).

### **Artificial Brains and Natural Intelligence (L. Cauller, A. Penz)**

Der dreiseitige Aufsatz von Larry Cauller und Andy Penz ist der theoretisch anspruchsvollste der sieben hier betrachteten Papers. Er beschäftigt sich mit den konzeptionellen und technischen Voraussetzungen künstlicher Gehirne und geht der Frage nach, welche Funktionsprinzipien in einem künstlichen Gehirn zur Anwendung kommen können.

Als Neuroinformatiker und Psychologe kommt Cauller schnell zu dem Schluss, dass nur nichtlineare, dynamische Modelle geeignet sind, die enorme Komplexität des

---

<sup>18</sup> siehe: [www.nicolelislab.net/NLNet/Load/CVs/Nicolelis\\_CV.pdf](http://www.nicolelislab.net/NLNet/Load/CVs/Nicolelis_CV.pdf)

menschlichen Gehirns abzubilden. Dabei ist er der Überzeugung, dass sich neuronale Prozesse nicht vollständig mathematisch beschreiben, geschweige denn nachbilden lassen. Eine exakte und hermetische Beschreibung von Hirnaktivitäten ist laut Culler aber auch gar nicht notwendig. Vielmehr gilt es, die Fähigkeit des menschlichen Gehirns zu kontinuierlichen Neubildungen (Emergenzen) auf künstliche Gehirne zu übertragen. Anschließend sei es notwendig, künstliche Gehirne zu trainieren, d.h. sie Situationen auszusetzen, in denen sie selbständig lernen können: „...emergence of higher functions in artificial brains will probably require the same kinds of care and nurturing infrastructure we must give our children.“ (p. 229). Bei der Beschreibung des Konzeptes der Emergenz beruft er sich auf Jean Piaget und zitiert ein Werk von Elman, Parisi und Bates.<sup>19</sup> Die Fähigkeit des Gehirns zur Emergenz basiert laut Culler auf neuronalen Interaktivitäten („neuronal interactivity“, p. 229) zwischen einzelnen Neuronen, zwischen Neuronenverbänden sowie zwischen Gehirn und Umwelt.

Der Grund, warum künstliche Gehirne geschaffen werden sollen, wird von Culler nicht thematisiert. Es setzt voraus, dass sich die Neurowissenschaften unweigerlich mit der Konstruktion künstlicher Gehirne auseinandersetzen werden. Allein der Versuch ermögliche zentrale neue Erkenntnisse über die Funktionsweise des Gehirns.

Culler spricht von Neurowissenschaftlern, die mutig genug seien, den Weg zu einem künstlichen Gehirn zu skizzieren und zählt sich zu ihnen (p. 227). Fortschritte bei der Nanotechnologie sieht auch er als zentral an. Minimal-invasive „nano-neuro-transceiver“ (p. 229) bilden für ihn die Voraussetzung einer effektiven Kommunikation zwischen Mensch und Maschine. Dass die Nanotechnologie irgendwann in der Lage sein wird, genügend „computer power“ bereitzustellen, um Hirnprozesse zu modellieren, steht für ihn außer Frage. Aus der „nano-neuro-cogno-symbiosis“ (p. 227) erhofft er sich darüber hinaus Erkenntnisse über geeignete Verfahren und Modelle, mit denen die menschliche Intelligenz in künstlichen Umgebungen emuliert werden kann.

Lawrence J. Culler ist Associate Professor im Neuroscience Program der University of Texas in Dallas. An der School of Behavioral Brain Sciences der Universität lehrt er Computational Neuroscience. Er hat Abschlüsse in Psychologie und Biologie. Auf seiner Homepage<sup>20</sup> findet sich eine lange Publikationsliste zu unterschiedlichen Themen. Obwohl er sich auf seiner Homepage eher als Visionär oder gar als Aktivist darstellt (er bezeichnet sich selbst als „NeuroInteractivist“, wobei sich diese Bezeichnung offenbar auf sein Konzept der Emergenz bezieht), kann er auf eine Reihe wissenschaftlicher

---

<sup>19</sup> Elman, J.; Parisi E.; Bates, M. et al. (1997): Rethinking Innateness : A Connectionist Perspective on Development, Boston: MIT Press.

<sup>20</sup> siehe: [www.utdallas.edu/~lculler/](http://www.utdallas.edu/~lculler/)

Publikationen verweisen, die ihn als renommierten Forscher ausweisen. Anhand der verfügbaren Informationen lässt sich nicht feststellen, ob Cauller dem wissenschaftlichen Mainstream zugeordnet werden kann oder ob der visionäre Charakter seiner Arbeiten überwiegt.

### **Brain-Machine Interface (R. Asher)**

Robert Ashers Beitrag zum NBIC-Report findet sich in der Section E. „National Security“. Asher war Programm-Manager bei der DARPA, der Forschungseinrichtung des amerikanischen Verteidigungsministeriums und berichtet in diesem zweiseitigen Papier über das DARPA-Programm „Brain-Machine-Interface“. Im Artikel davor stellte er unter der Überschrift „Non-Drug Treatments for Enhancement of Human Performance“ ebenfalls kurz ein Programm vor, das sich mit der Überwindung von durch Schlafentzug hervorgerufenen Funktionsstörungen beschäftigt. Beide DARPA-Projekte wurden bereits in Abschnitt 4.1 ausführlicher dargestellt.

Ashers Papier liefert keine zusätzlichen Informationen zum Brain-Machine-Interfaces Programm. Jedoch weist sein Artikel drei interessante Eigenarten auf, von denen zwei als typisch für die hier untersuchten Aufsätze an der Schnittstelle von Nano-Bio-Info einerseits und Cogno, d.h. Hirnforschung andererseits, gelten können.

Zum einen schließt er von noch nicht vorhandenen Forschungsergebnissen auf eine Vielzahl möglicher zukünftige Anwendungsbereiche. Er berichtet vom Brain-Machine-Interfaces Programm, in dem angestrebt wird, ein Militärflugzeug nur mit den Gedanken zu steuern: „This program has as its goal human ability to control complex entities by sending control actions without the delay for muscle activation“ (p. 315). Die Ergebnisse dieses Unterfangens sind allerdings auch für ganz andere Bereiche von Bedeutung und werden laut Asher zu neuen Konzepten und Anwendungen in folgenden Bereichen führen: „learning and training, automobile control, air traffic control, decision-making, remote sensing of stress, and entertainment“ (p. 315). Asher führt aus, was z.B. eine direkte Verbindung in das Gehirn im Unterhaltungsbereich bedeuten würde: „Can you imagine the impact of being immersed in a fully 3-D audio-visual simulation of the battle of Gettysburg?“ (p. 315).

Ein zweites Merkmal seines Papers ist ebenfalls typisch für die Beiträge im NBIC-Report: Er listet auf, welche Rolle die Konvergenz der Technologien für das beschriebene Unterfangen spielen. Unter der Überschrift „Role of Converging Technologies“ findet sich jeweils ein Absatz zu Nano, Bio und Cogno. Darin finden sich bei Asher jedoch keine konkreten Hinweise auf Verknüpfungen, sondern lediglich allgemeine Be-

merkungen, dass alle drei Bereiche wichtig sind für die Realisierung elektromagnetischer Hirnmanipulationen, wie sie im Projekt angestrebt werden.

Die dritte Eigenart seines Papiers findet sich so nicht in den anderen Aufsätzen: Er fordert die Teilnehmer der Konferenz bzw. die Leser der Dokumentation auf, sich am DARPA-Programm zu beteiligen: „To achieve this goals, enter a partnership with DARPA to fund additional technologies and applications that would enhance the brain-machine interface effort“ (p. 316).

Dr. Robert Asher war Programmmanager beim Projekträger der DARPA, den Sandia National Laboratories in Albuquerque und ist inzwischen 60jährig verstorben.

## **Zusammenfassung**

Die Textanalyse von sieben ausgewählten Aufsätzen aus dem NBIC-Report hat gezeigt, dass es im Überschneidungsbereich zur Hirnforschung eine Reihe visionärer Projekte und Forschungsansätze gibt. Ihnen allen ist der direkte Bezug zu Nanowissenschaft und Nanotechnologie eigen. Denn ob es sich um Ideen zur Verbesserung menschlicher Sehleistungen, um neue, nichtinvasive bildgebende Verfahren, um die Echtzeit-Diagnostik von emotionalen Zuständen oder um die Steuerung von Gliedmaßen oder Geräten mit Hilfe von Brain-Machine-Interfaces geht - alle Ansätze benötigen die Nanotechnologie gewissermaßen als „enabling technology“ zur Umsetzung ihrer Visionen.

Die Beiträge der neurowissenschaftlich orientierten Wissenschaftler im NBIC-Report unterscheiden sich z.T. stark hinsichtlich ihres konzeptionellen Tiefgangs, ihrer Verankerung in der aktuellen neurowissenschaftlichen Debatte und in ihrer Definition von Konvergenz. Sie lassen sich schwerlich zu einem einheitlichen Forschungsprogramm für die „konvergierenden Neurowissenschaften“ zusammenfügen.

Allerdings gibt es thematische Gemeinsamkeiten: Alle untersuchten Beiträge sind - neben der Absicht, die Funktionsweise des Gehirns oder seiner Teilbereiche zu verstehen - von der Absicht getragen, die menschlichen Fähigkeiten zu erweitern (cognitive enhancement), wozu es z.T. notwendig ist, bestimmte kognitive Funktionen von außen zu manipulieren.

Hinsichtlich erweiterter menschlicher Fähigkeiten zeigt sich entsprechend der Interpretation der Neuroethikerin Wrye Sententia im NBIC-Bericht folgendes Spektrum: „Research applications, as discussed [in the NBIC-Report, BB], evidence a number of trends in cognitive enhancement: improved learning, sensory and cognitive capabilities;

enhanced communications; human-machine interfaces, life extension; health and military applications for improved memory, attention and skill. Future trends may lead to direct brain-machine interfaces (BMIs), pharmaceutical genomics and regenerative neuromedicine, neuromorphic technologies, and biochips with complex functions to name a few possibilities" (Sententia 2004, p. 226).

Dieses Spektrum teilt sie in drei konkrete Anwendungsbereiche auf. Der Bereich, in dem die externe Manipulationen kognitiver Funktionen eine Rolle spielen, stellt den entferntesten Anwendungsbereich dar:

- health and mental health (neural or cognitive prostheses, neuropharmaceuticals),
- cognitive potential (bioinformatics, mind-enhancing pharmaceuticals), and
- proposed parallel life forms (nanotechnology, biochips, neural and information technologies) (Sententia 2004, p. 226)."

Abschließend bleibt zu fragen, inwieweit die dargestellten Beiträge Anknüpfungspunkte in der neurowissenschaftlichen Debatte haben, d.h. ob die dort formulierten Visionen und Methoden vom Mainstream der aktuellen Forschung geteilt werden. Ausgangspunkt ist die Behauptung in einem Bericht der britischen Royal Society nach der der NBIC-Report vom Hauptstrang der neurowissenschaftlichen Forschung weit entfernt sei:

„One would be forgiven (...) for dismissing many of the papers as being less about sound science and technology than they are about science fiction (for example, the volume talks extensively about the 'human cognome project' but contains little by way of mainstream neuroscience“ (Royal Society; Royal Academy of Engineering 2004, p. 55).

Auf das „human cognome project“ soll im folgenden Abschnitt näher eingegangen werden. Der Behauptung allerdings, der NBIC-Bericht habe mit dem Mainstream der Hirnforschung nicht viel zu tun, kann hier nicht gefolgt werden. Zwar ist nicht klar, nach welchen Kriterien die Referenten zum Thema Hirnforschung ausgewählt wurden und oft es ist es schwierig zu unterscheiden, ob die Autoren ihre aktuelle und teilweise hochrangige Forschung nach Maßgabe der Konvergenz „zurechtgeschrieben“ haben oder ob es sich tatsächlich um Visionäre mit Extrempositionen ohne Bezug zum Mainstream handelt. Die Recherche der Forschungszusammenhänge, in denen die ausgewählten Autoren stehen, hat jedoch Hinweise darauf ergeben, dass die Mehrzahl der Referenten (fünf von sieben) durchaus renommierte Forscher sind.

Dabei soll nicht verschwiegen werden, dass sich im NBIC-Report teilweise auch sehr visionäre und futuristische Ideen finden, denen letztlich die wissenschaftliche Bodenhaftung fehlt. Ein Beispiel hierfür ist der Aufsatz von Rubin, Hirschbein, Masciangioli et al.: „The Communicator: Enhancement of Group Communication, Efficiency and Creativity“, eine knapp fünfseitige Abhandlung in der Sektion „Enhancing Group and Social Outcomes“ (p 265-270 ).

Dort wird ein Gerät vorgestellt, das „The Communicator“ genannt wird und das ein Brain-to-Brain-Interface darstellen soll, mit dessen Hilfe die Ungleichheit zwischen Kommunikationspartnern, die Isolation bestimmter Individuen von ihrer Umwelt, kulturelle Konflikte und ähnliches verringert werden sollen. Die Vision des „Communicators“ zielt auf ein System, „that will enhance individual attributes and remove barriers to group communication such as [...] user’s physical disabilities, language differences, geographic distance and disparity in the knowledge possessed by group members“ (Rubin; Hirschbein; Masciangioli et al. in: Roco; Bainbridge 2002, 266).

José López, der in seinem Aufsatz „Bridging the Gaps: Science Fiction in Nanotechnology“ die Nanotechnologie- und Konvergenz-Debatten auf ihre Nähe zum literarischen Genre der Science Fiction untersucht, kommt zu dem Schluss, dass sich spätestens bei der Vision vom „Communicator“ die Schale der NBIC-Debatte weit in Richtung „Fiction“ neigt (vgl. López 2004, p.10).

Die Neigung zur Science Fiction und damit zum Unseriösen und Unwissenschaftlichen wurde auch von anderen Autoren festgestellt, so z.B. von Coenen/ Rader/ Fleischer 2004 (p. 119), die konstatieren, dass sich in der NBIC-Debatte „Science“ und „Fiction“ bis zur Unkenntlichkeit vermischen. Lopez sieht dagegen in der Übernahme von Versatzstücken aus der Science-Fiction-Literatur die einzige Möglichkeit, die enorme Lücke zwischen Zukunftsvisionen und dem heutigen Stand der Technik zu schließen (Lopez 2004). Die oftmals gewagten Visionen im NBIC-Report haben danach eher die Aufgabe, Möglichkeitsräume und potenzielle Anwendungen zu beschreiben als konkrete Forschungsprogramme zu skizzieren.

## 5.2 Das „Human Cognome Project“

Die Kognitionswissenschaften (cogno) werden in der amerikanischen Debatte offenbar als “promising newcomer” zu den drei bereits etablierten “big Os” nano, bio, info betrachtet.<sup>21</sup> Die Integration der Kognitionswissenschaften hat darüber hinaus mit dem „Human Cognome Project“ eine weitere ambitionierte Vision hervorgebracht. Das „Human Cognome Project“ hat sich analog zum Human Genome Project nichts weniger vorgenommen als das gesamte Gehirn und das menschliche Verhalten auf der Basis von physikalisch-chemisch-biologischen Prozessen im Nanobereich zu erklären (siehe auch Lopez 2004, p. 10).

Die Idee geht offenbar auf Robert E. Horn zurück, einem Professor für Informations-Visualisierung am Center for the Study of Language and Information an der Stanford University, der auf der NBIC-Konferenz in einem der „Breakout Panels“ vorschlug, in einem Jahrhundertprojekt zu erforschen, wie das menschliche Gehirn funktioniert (Horn 2002).

Über das „Human Cognome Project“ lässt sich heute, mehr als drei Jahre nach der NBIC-Konferenz, im Internet wenig finden. Zumindest aber einen Eintrag im amerikanischen Wikipedia kann das Projekt inzwischen vorweisen. Dort heißt es:

“The Human Cognome Project seeks to reverse-engineer the human brain, paralleling in many ways the Human Genome Project and its success in deciphering the human genome. Analytical techniques used in the Human Cognome Project include:

- studying brain biology and chemistry in wet lab experiments,
- studying brain structure using frozen tissue sample scanning and imaging,
- studying brain activity and function using active brain imaging, (which is improving both spatial and temporal resolutions in successive technology generations)
- studying brain development through the field of morphogenesis.
- studying brain disease, injury and dysfunction through the fields of brain pathology, neurology and psychopharmacology, and
- studying psychology relative to brain structure and function through neuropsychology.

---

<sup>21</sup> Darauf verweisen z.B. Coenen/ Rader/ Fleischer 2004, p. 121.

The National Science Foundation (NSF) and other scientific research bodies have endorsed the Human Cognition Project. Fundamental brain research as the primary enabler for creating smarter-than-human artificial intelligence is endorsed by many public figures, most notably entrepreneurs Ray Kurzweil, Jeff Hawkins and Paul Allen, and scientist Stephen Hawking“ (Wikipedia.org, Keyword: „Human Cognition Project“, September 2005).

Inwieweit und ob überhaupt konkrete Arbeiten an diesem Projekt begonnen wurden, lässt sich derzeit nicht sagen. Michael Rader (2005) vermutet, dass es sich um eine private Initiative mit lediglich losen Verbindungen zu Forschungsinstitutionen handelt.<sup>22</sup>

Die Behauptung im Wikipedia-Eintrag, wonach die NSF und andere Forschungsinstitutionen das „Human Cognition Project“ unterstützen würden („endorse“), kann hier nicht bestätigt werden. Fehlende Hinweise auf laufende Arbeiten geben eher Anlass zu der Interpretation, dass es sich um ein One-Man-Show handelt oder dass die Arbeiten erst ganz am Anfang stehen.

### **5.3 Konvergenz-Visionen in Europa**

Auch in der europäischen Variante der Converging-Technologies-Debatte gibt es eine Reihe von Visionen, die Anknüpfungspunkte an die Hirnforschung haben. Aus den insgesamt 20 Visionen des State of the Art-Berichts der HLEG haben folgende Visionen einen direkten oder indirekten Bezug zur Hirnforschung (Foresighting the New Technology Wave - Expert Group 2004, p. 137ff):

- Direct broadband interfaces between the human brain and machines, transforming work in factories, controlling automobiles, ensuring military superiority, and enabling new sports, art forms and modes of interaction between people.
  
- Robots and software agents useful for human beings, operating on principles compatible with human goals, awareness, and personality.

---

<sup>22</sup> „The Human Cognition Project seem now to be under way in the shape of a loosely connected private initiative“, Rader 2005, p. 8).

- Individual learning more reliable and quickly.
- A human body more durable, healthy, energetic, easier to repair, and resistant to many kinds of stress, biological threats, and ageing processes.
- Combinations of technologies and treatments compensating for physical and mental disabilities.
- Expanded creative abilities for engineers, artists, and architects by a variety of tools and improved understanding of the wellsprings of human creativity.
- Individuals will have improved awareness of the cognitive, social, and biological forces operating their lives.
- The work of scientists will be revolutionised by importing approaches pioneered in other sciences.

Die Visionen im europäischen Bericht bleiben eher blass, sie werden nicht näher ausgeführt und sie stellen teilweise lediglich Merkposten dar. Auffällig ist, dass es auf der Ebene der in den Berichten formulierten Visionen keine wesentlichen Unterschiede zwischen der amerikanischen und der europäischen Converging-Technologies-Debatte gibt. Dies kann jedoch auch darauf zurückzuführen sein, dass der wesentliche Impuls aus dem amerikanischen Kontext stammt und eine genuin europäische Antwort auf NBIC zur Zeit erst entwickelt wird.

An dieser Stelle müsste eine Untersuchung ansetzen, die sich genauer damit beschäftigt, wie diese europäische Antwort zustande kommt, welche Schwerpunkte gesetzt werden und welche Personen die Debatte prägen. Erste Hinweise darauf hat die Auswertung der Referentenlisten der einschlägigen CT-Konferenzen ergeben, die in Abschnitt 4.4 vorgenommen wurde. Weitergehende Analysen sind jedoch notwendig, um die inhaltlichen Entwicklungslinien der europäischen Debatte besser einschätzen zu können.

## 5.4 Das Konzept des verbesserten Menschen

Basierend auf neueren Erkenntnissen aus der klinischen neurobiologischen Forschung werden in der Hirnforschung derzeit auch Medikamente und Methoden erprobt, mit denen sich kognitive Fähigkeiten und Leistungen verbessern lassen. Die Diskussion um konvergierende Technologien hat diese Entwicklung aufgenommen und weitergeführt, indem für die Zukunft mannigfaltige Anwendungen vorausgesagt werden, mit denen sich menschliche Fähigkeiten künstlich erweitern lassen. Das Konzept des verbesserten („enhanced“) Menschen prägt wie dargestellt insbesondere die amerikanische Debatte (Abschnitt 5.1); es ist aber auch in der europäischen CTEKS-Diskussion präsent.<sup>23</sup>

Als weitere Verbindungslinie zwischen der Hirnforschung und der Converging Technologies-Debatte soll deshalb in diesem Abschnitt das Konzept des verbesserten Menschen etwas ausführlicher dargestellt werden.

Im Mittelpunkt der neurobiologischen Forschung steht die Bekämpfung von degenerativen Hirnerkrankungen, von Behinderungen und Alterungsprozessen. Allerdings ist es bekanntlich oft ein kurzer Weg von einer medizinischen Anwendung zur Lifestyle-Droge. Denn mit der Entwicklung von Medikamenten gegen das Vergessen zur Behandlung von Alzheimer-Patienten ist prinzipiell auch die Möglichkeit gegeben, die Merkfähigkeit von gesunden Menschen zu verbessern. Die visionären Anwendungen aus der NBIC-Debatte vom verbesserten Menschen, von der Aufhebung menschlicher Begrenzungen mittels Technik bzw. von der Erweiterung menschlicher Fähigkeiten über natürliche Grenzen hinaus haben hier ihren eher unspektakulären Anfang.

In der aktuellen neuropharmakologischen Forschung geht es nämlich um eher alltägliche Verbesserungen von Hirnleistungen, wie beispielsweise der Konzentrationsfähigkeit oder der Verlängerung von Wachphasen. Ziel ist dabei die pharmakologische Optimierung des Gehirns zur Verbesserung von Lernleistungen, Stimmung, oder Wahrnehmung und von vegetativen Funktionen wie Schlaf, Appetit oder Sexualität. (Technology Review 10/2003 zitiert in Welan 2005, S. 14.)

Den Stand der Forschung der pharmakologischen Optimierung des Lernens hat Welan 2005 zusammengetragen. Bereits heute auf dem Markt sind folgende „Hirnpillen“: Das Medikament Ritalin, das räumliches Vorstellungsvermögen verbessern soll, Prozac, das nicht nur gegen Depressionen hilft, sondern auch das Selbstvertrauen heben und Lebensfreude erhöhen kann. Das Medikament Modafinil hilft wach zu bleiben und er-

---

<sup>23</sup> siehe Foresighting the New Technology Wave - Expert Group 2004, p. 139.

leichtert es, sich Zahlenreihen zu merken und Regeln zu lernen. In Entwicklung bzw. bereits in Tests befinden sich folgende Medikamente:

- Das amerikanische Unternehmen Cortex Pharmaceuticals forscht an der Verbesserung des Denkens. Der bislang größte Erfolg der Forscher dieser Firma: die Entwicklung so genannter Ampakine, einer Wirkstoffgruppe, die die Funktionen des Ionenkanals an der Nervenzelle verändern, so dass mehr Kalzium-Ionen hineinströmen können und damit das Signal zur Gedächtnisbildung verstärkt wird. Die ersten Tests mit Patienten sind offenbar erfolgreich verlaufen.
- Auch bei Memory Pharmaceuticals sind die ersten Tests mit Patienten angelaufen. Das Unternehmen arbeitet unter Federführung des Nobelpreisträgers Prof. Eric Kandel an der Entwicklung eines PDE-4-Hemmers. Der neue Wirkstoff soll den Abbau eines Signalmoleküls (cAMP), das ein Schalter für die Langzeiterinnerung darstellt durch das Enzym Phosphodiesterase (PDE) blocken und so einen positiven Einfluss auf die degenerativen Hirnveränderungen ausüben. Im Tierversuch verschwanden altersbedingte Gedächtniseinschränkungen fast vollständig. Mit beteiligt an der Entwicklung ist Großkonzern Roche.
- Zur Erreichung eines anderen Forschungsziels ist man bei der Firma Memory Pharmaceuticals eine Lizenzvereinbarung mit Bayer eingegangen, so dass das Leverkusener Unternehmen im Falle des Erfolgs die Vermarktungsrechte am Wirkstoff MEM 1003 besitzen wird. Auch dieser soll Veränderungen am Ionenkanal der Nervenzellen bewirken – die erste klinische Testphase ist inzwischen abgeschlossen.
- Schließlich arbeiten auch Forschergruppen bei den Pharma-Konzernen GlaxoSmithKline, Johnson & Johnson und Merck sowie von zahlreichen jungen Pharma-Unternehmen wie Helicon, Axonyx oder NeuroLogic an der Erforschung neuer Neuro-Pillen (vgl. Welan 2005).

An die aktuellen Forschungsergebnisse schließen sich eine Reihe von Spekulationen und Visionen an: Hirnpillen und Brain-Tunings werden z.B. nach Zack Lynch, dem Direktor des Neurosociety Instituts in San Francisco der große Markt der Zukunft. Den Forschern wird es nach seiner Überzeugung bald gelingen, Medikamente für schnelleres Lernen zu entwickeln. Damit soll es dann z.B. möglich werden, chinesisch in nur acht Wochen zu lernen. Alzheimer soll schließlich ganz getilgt werden, das Altern sich insgesamt verlangsamen und letztlich sogar rückgängig gemacht werden. Darüber hinaus sollen Gefühlspillen („emoticeuticals“) Stresserscheinungen bekämpfen und Erfahrungspillen („sensoceuticals“) das Vergnügen an der eigenen sensorischen Erfahrung steigern (vgl. Lynch 2004). Garreau (2005b) hat das Leben in einer Welt von „ver-

besserten“ Menschen in einem interessanten Szenario illustriert, das in Anhang B wiedergegeben ist.

In seinem Aufsatz „Neurotechnology and Society (2010-2060)“ entwickelt Lynch eine weitere interessante Anwendung für Hirnpillen: Er beschreibt einen neurotechnologisch aufgerüsteten („enhanced“) Börsenmakler, der über ein emotionales Vorhersagesystem verfügt, das ihm Neurofeedback in Echtzeit darüber gibt, welche Gefühle und impliziten Annahmen bestimmten Geschäften zugrunde liegen. Um zu verhindern, dass Entscheidungen auf emotionaler statt auf rationaler Basis getroffen werden, sollen hormonbasierte Gefühlspillen („Emoticeuticals“) dafür sorgen, dass die Händler nicht in Überhitzungszustände („hot states“) geraten, die sie bisher oft zu unbedachten Entscheidungen verleiteten (Lynch 2004, p.232). Lynch schließt daraus, dass Hirnpillen in diesem Sinne allen Menschen eine bessere Kontrolle über ihre Gefühle erlauben und rationalere Verhaltensweisen im privaten, beruflichen und politischen Umfeld ermöglichen werden (vgl. Lynch 2004, p.233).

Einen Schritt weiter geht Lynch, wenn er die Möglichkeiten von „Nanobiochips“ beschreibt. Die immer besser werdenden Neuroimaging-Techniken würden unweigerlich dazu führen, dass in Zukunft genaue und kostengünstige biologische und neurologische Analysen durchgeführt werden könnten. Nanobiochips sind Chips, mit denen genetische und neurologische Funktionen in Echtzeit bestimmt werden können.

Dies wird nach Überzeugung von Lynch die neurologischen Analyseverfahren so verändern wie der Microchip die Verwendung von digitalen Daten veränderte. Denn durch die in Zukunft massenhaft verfügbaren Biochips werden Unmengen von Daten erhoben - insbesondere Daten über die Vorgänge auf der neuro-molekularen Ebene - die dann durch die Kombination mit neuen Neuroimaging-Techniken zu neuen Erkenntnissen über die Funktionsweise des Gehirns führen werden.

Darüber hinaus werden - nach Ansicht Lynchs - Biochips bis zum Jahr 2020 den Entwicklungsprozess von Medikamenten von heute 15 auf nunmehr 2 verkürzt haben und die Kosten von 800 Mio. Dollar auf 10 Mio. Dollar reduziert haben. Die Möglichkeit, Krankheiten auf einer molekularen Ebene zu bekämpfen, wird dazu führen, dass die Lebenserwartung bis 2020 signifikant steigt und dass die geistige Gesundheit und Fitness bis ins hohe Alter erhalten bleibt (Lynch 2004, 232ff).

## **6 Analyse: Interdisziplinarität als Leitthema in beiden Bereichen**

Die Forderung nach interdisziplinärer Forschung, nach disziplinenübergreifendem Methodentransfer und nach Modell- und Theorieübertragungen über Wissenschaftsgrenzen hinweg ist sowohl in der Hirnforschung als auch in der Konvergenz-Diskussion eine zentrale Forderung und die wohl auffälligste Parallele zwischen beiden Bereichen. Die Forderung nach Interdisziplinarität ist dabei kein Zufall, sondern ein konstitutives Merkmal sowohl in den Neurowissenschaften als auch bei der Konvergenz der Spitzentechnologien. Bahnbrechende Erkenntnisse und Innovationen werden in beiden Bereichen durch die intelligente Kombination von Methoden aus den jeweiligen Disziplinen erwartet.

Dennoch gibt es Unterschiede in den Vorstellungen von interdisziplinärer Forschung und ihrer Realisierung, die im Folgenden dargestellt werden sollen.

In der Hirnforschung betrifft die Forderung nach Interdisziplinarität sowohl den klinischen Bereich, bei dem es um die Behandlung von Hirn- bzw. Nervenkrankheiten geht, als auch den Grundlagenbereich, der sich mit den Mechanismen beschäftigt, die diesen Krankheiten zugrunde liegen sowie die drei Ebenen, die sich mit der Funktionsweise und der Entschlüsselung des menschlichen Gehirns beschäftigen (siehe Abschnitt 2).

Grund für die Forderung nach mehr Zusammenarbeit von Forschern unterschiedlicher Fachrichtungen ist nicht nur die drastisch gestiegene Spezialisierung innerhalb der einzelnen Disziplinen und damit die zunehmende Verteilung des vorhandenen Wissens auf verschiedene „Köpfe“. Denn die Erkenntnis, dass beispielsweise die Erforschung von Krankheiten Wissen aus mehreren Disziplinen erfordert, ist nicht neu. Aber die Menge des vorhandenen Wissens in den einzelnen relevanten Fachdisziplinen hat in den letzten Jahren so stark zugenommen, dass einzelne Wissenschaftler nur noch einen Bruchteil des Gesamtwissens innerhalb ihrer Disziplin beherrschen können (vgl. z.B. van Raan 2005).

In den Expertengesprächen, die im Zuge der Recherchen für diese Studie und die Studie zu den Förderprogrammen geführt wurden, wurde immer wieder betont, dass erfolgreiche Hirnforschung heute nur noch dann betrieben werden kann, wenn es gelingt, diejenigen „Köpfe“ zusammenzubringen, die über das jeweils notwendige Teilwissen verfügen. Hintergrund ist die Tatsache, dass in der Hirnforschung in weit stärkerem Maß als in anderen Forschungsbereichen eine konsequente Orientierung entlang konkreter Fragestellungen (und weniger entlang von Disziplinen) notwendig ist und zum Teil auch bereits realisiert wird.

Der Untersuchungsgegenstand der Hirnforschung - das menschliche Gehirn - gilt nicht umsonst als das komplexeste bekannte bzw. unbekannteste System, das aus entsprechend unterschiedlichen Perspektiven und mit Hilfe unterschiedlicher Methoden betrachtet werden muss. Will man z.B. die Signalverarbeitung in Neuronen untersuchen, reicht es generell nicht aus, Biologen zu fragen, die sich mit molekularbiologischen Phänomenen auskennen, sondern man muss auch z.B. Physiker einbeziehen, die sich mit elektrischen Phänomenen auskennen und die in der Lage sind, diese adäquat zu messen und zu interpretieren. Auch Ingenieure, Radiochemiker oder Medizintechniker sind an vielen Stellen gefragt. So stellen Neuroimaging-Apparate mit ihren Strahlenquellen und Magnetfeldern bereits „interdisziplinäre Maschinen“ dar, die nicht ohne das Know-how aus den verschiedenen Gebieten betreiben werden könnten. Und bei der Aufbereitung der Daten, die über Versuche mit solchen Apparaten gewonnen werden, werden oft Informatiker und Mathematiker eingesetzt, die in der Lage sind, komplexe Datenbanken und -modelle zur Verfügung zu stellen (vgl. Hüsing; Jäncke; Tag, 2005).

Eine weitere typische Fragestellung, bei der die Forderung nach Interdisziplinarität augenfällig wird, könnte z.B. lauten: „Wie kommt Alzheimer zustande, welche Prozesse laufen hier falsch ab?“ Auch hier müssen wie bei allen medizinischen Forschungen neben zellphysiologischen Prozessen viele weitere Mechanismen betrachtet werden und experimentelle Methoden aus unterschiedlichen Disziplinen angewendet werden, um einer Antwort näher zu kommen.

Ein Beispiel dafür, wie sich in der Hirnforschung Erkenntnisse und Methoden aus verschiedenen Disziplinen ergänzen können, kommt aus dem Bereich der bildgebenden Verfahren, also der oberen Ebene der Hirnforschung. Hier geht es darum, neuronale Korrelate von Handlungen oder Empfindungen zu bestimmen. Für eine valide Bestimmung bzw. Beschreibung von Hirnleistungen fehlen den Hirnforschern oft die geeigneten Instrumente. Deshalb bietet es sich hier an, Psychologen zu Rate zu ziehen, die über umfangreiches Methodenwissen verfügen und die beispielsweise Methoden entwickelt haben, um zu bestimmen, wie räumliches Vorstellungsvermögen getestet werden kann.

Prinzipiell bedeutet dies, dass Methoden und Testsysteme, die in der Psychologie entwickelt worden sind, in einem neuen Zusammenhang eingesetzt werden. Bei der Frage der neuronalen Korrelate heißt dies oft auch, dass keine wirklich neuen Erkenntnisse über Verhaltensursachen generiert werden, wohl aber, dass bereits vorhandene Beobachtungen verifiziert werden können, indem man die ihnen zugrunde liegenden Hirnaktivitäten sichtbar macht und lokalisiert. So lässt sich beispielsweise die aus Psychologie und Pädagogik bekannte Beobachtung, dass positive emotionale Beteiligung die Lernbereitschaft steigert nunmehr mit Hilfe von Neuroimagingverfahren nachvollziehen.

Interdisziplinäre Vorgehensweisen können also zu einer Bestätigung und Validierung von jeweils genuinen Ergebnissen und Thesen führen und so die Grundlage für gemeinsame originäre interdisziplinäre Forschungsprojekte legen (siehe auch Williams/Kuekes 2002).

Ein Ansatz, dies in die praktische Forschung zu übertragen, findet sich z.B. im Sonderforschungsbereich (SFB) 517 "Neuronale Grundlagen kognitiver Leistungen", der an der Universität Oldenburg angesiedelt ist. In diesem SFB untersuchen Forscher verschiedener Disziplinen das Zustandekommen kognitiver Leistungen in tierischen und menschlichen Gehirnen, wobei das Hauptaugenmerk den Funktionen "Aufmerksamkeit" und "Bewertung" und deren gegenseitigem Verhältnis gilt. Hierbei werden die Einflüsse zwischen Aufmerksamkeit, Bewertung und den letztendlichen Handlungsentscheidungen sowie deren Störungen auf mehreren Systemebenen – von der subzellulären-zellulären Ebene über einzelne Zellverbände bis hin zum Verhalten – mit Hilfe einer Vielzahl von Methoden betrachtet. Untersuchungsgegenstand sind das visuelle, das auditorische und das limbische System von Tieren und Menschen. Dabei kommen verschiedene neurobiologische experimentelle Techniken zum Einsatz (z.B. neuroanatomische und elektrophysiologische Methoden, Verhaltensbiologie) und es werden unterschiedliche Neuroimagingmethoden verwendet (z.B. EEG, EKP, fMRI, MRS). Neben dem experimentellen Schwerpunkt wird auch die Kooperation zwischen Experimentatoren und Theoretikern betont, da theoretische Grundlagen und Konzepte aus der Mathematik und der Informatik (nichtlineare dynamische Systeme, Schätztheorie) wichtige Ansatzpunkte für die Erforschung der untersuchten Prozesse liefern sollen (vgl. Gutachten zu Förderprogrammen).

Hinsichtlich ihrer starken Orientierung an Fragestellungen anstatt an Disziplinen, ihres äußerst komplexen Untersuchungsgegenstandes sowie der erwarteten weitreichenden Konsequenzen könnte die Hirnforschung gar als Modell für die Entwicklung in anderen Wissenschaftsbereichen fungieren. So argumentiert beispielsweise Mary Clutter, die Direktorin der amerikanischen National Science Foundation für Biowissenschaften im Neuroscience Newsletter, einer Publikation der amerikanischen neurowissenschaftlichen Gesellschaft, dass die Zeit reif sei, um die „großen Fragen“ anzugehen: „We are fortunate to live during a time when the sciences are converging and the tools of genomics and other technologies are transforming all of biology. *The neurosciences provide a strong model for what is happening in biology and in science overall in the 21st century.* It is now within the realm of possibility to answer the "big" questions by studying these questions across levels of organization (i.e., from molecules to populations to whole ecosystems) through the concerted efforts of scientists and teams of scientists across disciplinary boundaries“ (Hervorhebung BB, Clutter 2004).

Der Verweis auf die Konvergenzdebatte und die Hoffnung, größere Systeme zu verstehen, sobald man verstanden hat, was sich in den kleinsten Elementen abspielt, ist hier instruktiv. Tatsächlich erhofft sich die Hirnforschung neue Impulse aus der Entwicklung einer Theorie des Geistes (Theory of Mind), die auf der Entschlüsselung des neuronalen Codes basiert bzw. diese vorwegnimmt. Um zu einer derartigen Entschlüsselung zu kommen, reichen die vorhandenen Methoden allerdings nicht aus. Deshalb wird von Vordenkern der Hirnforschung erwartet, dass in der Zukunft mit Hilfe von nanotechnischen Verfahren nicht-invasive Verfahren entwickelt werden können, die zu neuen Erkenntnissen über die Funktionsweise des Gehirns führen.

Die Hoffnung auf eine Fruchtbarmachung von künftigen Ergebnissen der Nanotechnologie formulierte Wolf Singer in einem Interview in der FAZ folgendermaßen:

„Wir sind weiterhin darauf angewiesen, die Aktivität einzelner Nervenzellen zu erfassen, und das erfordert den Einsatz invasiver Techniken, die beim Menschen nicht angewandt werden können. Aber vielleicht gelingt noch einmal ein methodischer Durchbruch, der es dann erlaubt, nicht-invasiv die elektrische Aktivität von einzelnen Nervenzellen zu registrieren. Gegenwärtig wird an Verfahren gearbeitet, die es erlauben, mit Bündeln von Elektroden, die auf Dünnschichttechnik basieren, an sehr vielen Stellen im Gehirn gleichzeitig abzuleiten und dann mit Hilfe leistungsstarker Computer die Aktivitäten auf charakteristische Muster zu durchsuchen, die dann mit bestimmten Verhaltensleistungen in Verbindung gebracht werden können. Vielleicht gelingt es, Mikrochips zu bauen, die drahtlos mit Energie versorgt werden, lokale Potentiale messen und das Ergebnis senden können und dabei so klein sind, dass sie ohne zu stören im Hirngewebe verbleiben können. Man könnte dann unter konstanten Bedingungen am frei beweglichen Tier die Aktivität einer sehr großen Zahl von Neuronen erfassen und mit dem jeweiligen Verhalten in Beziehung setzen“ (Singer 2004, S. 13f).

Dazu sollen neue Methoden aus der Nanotechnologie die Aufzeichnung der Kommunikation zwischen Neuronen ermöglichen. Es soll möglich werden, den Neuronen bei der Arbeit „zuzuhören“ („listening to neurons at work“). Tassin (2004) schreibt dazu:

„New methods for recording spiking activity are available but they consist of a maximum of 240 independently movable electrodes which is a lot but not sufficient if one considers the billions of cells that constitute the brain. It is very likely that nanotechnologies will greatly improve recording from neurons. It may be proposed that carbon nanotubes will be used to obtain multi-electrodes: A carbon nanotube consists of a graphitic sheet rolled over itself, forming a single graphene cylinder exclusively made of carbon atoms. Its extremities may be closed by two half fullerenes (carbon balls). Each nanotube is a single molecule made up of a hexagonal array of covalently

bonded carbon atoms, the strongest existing liaison. Carbon nanotubes come in two species : single walled and multi-walled. Single Wall nanotubes (SWNT) consist of one cylinder, whereas Multi Wall nanotubes (MWNT) comprise several (7 to 20 usually) concentric graphene cylinders. They show quantum conductance, the highest tensile strength, the highest surface area for a carbon system and a very large aspect ratio.

Nanotubes can be grown at desired places, by pre-patterning of a catalyst. The diameter of MWNTs can be controlled by the size of the catalyst dot. The direction of growth can be aided by applying an electric field. Because nanotubes have the highest tensile strength of any solid, along their axis, they could be used to reinforce polymer composites. The strength or elastic modulus of the composite should vary linearly with the nanotube loading. Finally, their huge aspect ratio or sharpness makes them good field emitters, they are better than other forms of carbon because they conduct well“ (Tassin 2004, p. 119f).

Neben der Aufzeichnung von neuronalen Kommunikationsaktivitäten sollte künftig auch die Stimulation von neuronaler Kommunikation möglich werden. Ziel sei es dabei, von außen Vorgänge in Bewegung zu setzen, die nicht über Medikamente zu erreichen sind. Durch elektrische Stimulation der entsprechenden Hirnregionen sollen neuronale Aktivitäten ausgelöst werden, die Krankheiten wie Parkinson und OCD (Obsessive Compulsive Disorder) mildern. Weiter geht Tassin in seinem Zukunftsszenario davon aus, dass es der Hirnforschung irgendwann gelingt, Verletzungen von Nervenzellen zu heilen, indem man sie „repariert“, d.h. indem physikalische Trennungen durch Wachstumsstimulationen rückgängig gemacht werden. Eine andere Möglichkeit, dies zu erreichen wäre es, die Übertragung zwischen den Zellen, die durch die Verletzung gestört sind, durch elektrische Impulse oder durch Radiowellen-Übertragung zu ersetzen (Tassin 2004, p. 126).

Auch wenn diese Ausführungen eher in den Bereich der Visionen fallen, hat die Beschäftigung mit der Frage der Interdisziplinarität in der Hirnforschung gezeigt, dass es hier bereits konkrete Überlegungen gibt, wie man Interdisziplinarität organisieren kann, wie Methoden und Erkenntnisse aus anderen Disziplinen für die eigene Fragestellungen fruchtbar gemacht werden können und welche konkreten Erwartungen man an andere Forschungsbereiche, wie beispielsweise der Nanotechnologie hat. Insofern könnte die Hirnforschung nicht nur konzeptionell als Vorbild für Ansatz und Methode bei der Konvergenz der Spitzentechnologien fungieren (vgl. Clutter 2004) - sie ist auch inhaltlich, d.h. auf der Ebene der Forschungspraxis weiter fortgeschritten. Ein Beispiel für Interdisziplinarität in der Hirnforschung sind die im Jahr 2004 neu eingerichteten Bernstein Zentren, in denen Kliniker und Theoretiker, Ingenieure und Informatiker,

Softwarespezialisten und Mediziner gemeinsam an neurowissenschaftlichen Fragestellungen arbeiten.<sup>24</sup>

Die Converging-Technologies Debatte befindet sich dagegen in einem sehr frühen Stadium, in dem Visionen und die Mobilisierung von Forschern und Forschungsförderern im Vordergrund stehen. Dabei spielt die die Interdisziplinarität in diesen Visionen eine besondere Rolle.

Sie ist - neben der gemeinsamen Beschäftigung mit den kleinsten Elementen - der zweite wichtige Baustein in der Converging-Technologies-Debatte und wird mit entsprechendem Nachdruck gefordert. Im amerikanischen NBIC-Report werden die künftigen Früchte einer interdisziplinären - und das heißt dort „konvergenten“ - Forschung in einem enthusiastischen Ton vorgetragen, der beinahe religiös anmutet. Auf die transhumanistischen Tendenzen in der amerikanischen NBIC-Debatte wurde bereits an anderer Stelle verwiesen (siehe z.B. Coenen/ Rader/ Fleischer 2004, Cameron 2005). Hier soll dagegen die auffällige Lücke zwischen großen Visionen, ambitionierten Zielen und weitreichenden Konsequenzen der Konvergenzentwicklung einerseits und den bislang wenig durchdachten - aber mit viel Nachdruck vorgebrachten - Wegen zur Interdisziplinarität andererseits interessieren. So stellen z.B. die Herausgeber des „New Atlantic“ in ihrem Artikel „Carried Away with Convergence“ (2003) nach einer ausführlichen Schilderung der Visionen des NBIC-Berichts fest:

“So what is holding us back from this new world of wonders? A simple lack of cooperation, we are told. Heretofore, science has been hindered by excessive specialization. But in the coming years, the report suggests, the distinctions that separate scientific disciplines will break down, as advances in one field enable new thinking in others. “The tyranny of reductionism too long the unwritten law of modern science, is changing, incorporating a more holistic convergent model”, writes James Canton, one contributor to the report. (...) In preparation for the NBIC convergence, the education system, some contributors recommend, should be overhauled down to the lowest school level to bridge curriculum gaps between disparate subject areas, and professional societies should be made to expand the narrow definitions of their fields” (The Editors of the New Atlantis 2003, p. 103f).

Auch in der europäischen Debatte wird Interdisziplinarität gefordert. So z.B. von Daniel Andler in seinem Beitrag „Seriously Connecting Cognition and Society (Andler 2004, p. 116) im HLEG-Bericht “Foresighting the New Technology Wave”. Allerdings sucht man

---

<sup>24</sup> Siehe dazu die ausführliche Darstellung im Gutachten zu den Förderprogrammen Abschnitt 4.1 „Bernstein-Zentren/Nationales Netzwerk Computational Neuroscience“.

in der europäischen Debatte eine ähnlichen Fixierung auf die „Segnungen“ der Interdisziplinarität - wie sie in den Vereinigten Staaten festgestellt werden kann - vergebens.

In allen Ländern, in denen Berichte oder Projekte im Bereich der Converging Technologies zu finden sind, steht die Idee des Zusammenwachsens bzw. Verschmelzens verschiedener Forschungsbereiche und Anwendungsfelder im Vordergrund. Ihren Ursprung hat diese Idee in der Konvergenz der digitalen Medien, wie sie Mitte der 90er Jahre prognostiziert wurde. Damals stand die technische Konvergenz von Medienformen, Übertragungsnetzen und Endgeräten im Vordergrund. Diese war möglich geworden, weil sich aufgrund technischer Entwicklungen nunmehr alle Medienformen (Text, Ton, Bild und Bewegtbild) in digitaler Form als Bits und Bytes darstellen und übertragen ließen. Inzwischen hat sich herausgestellt, dass die technische Realisierbarkeit allein nicht ausreicht, um neue, massenattraktive Medienanwendungen und Mediennutzungsformen hervorzubringen und diese nachhaltig bei einem größeren Publikum zu etablieren (vgl. z.B. Beckert 2002 und Beckert/ Kubicek 2000). Bei der Übertragung des Konvergenzkonzepts auf die Disziplinen Nano, Bio, Info und Cogno stellen sich nun ganz ähnliche Fragen, die sich mit den Möglichkeiten ihrer Realisierung, mit potenziellen Anwendungsgebieten und mit Auswirkungen auf künftige Nutzungsformen beschäftigen.

Beobachtet man den bisherigen Verlauf der Converging-Technologies Debatte, so zeigt sich eine Erweiterung der Feldes, das konvergieren soll: In der amerikanischen Diskussion steht die Konvergenz von Nano-, Bio-, Informationstechnologien und Kognitionswissenschaften sowie das Konzept des verbesserten Menschen im Vordergrund. In der Kanadischen Debatte geht es zusätzlich um Umweltwissenschaften, Materialwissenschaften, das Gesundheitswesen und das Ernährungssystem (vgl. STFPP). Und in der europäischen Debatte wird eine Konvergenz diskutiert, die beinahe alle Wissensbereiche einschließt. Hier geht es um die Konvergenz von Nano-Bio-Info-Cogno-Socio-Anthr-Philo-Geo-Eco-Urbo-Orbo-Macro-Micro (HLEG 2004, siehe auch Fleischer und Decker 2005, S. 122f).

Hinsichtlich der Entgrenzung des Konvergenzgedankens und den damit einhergehenden Anforderungen an interdisziplinär ausgerichtete Forschung stellt sich eine gewisse Skepsis ein. Tatsächlich wurde kritisch eingewendet, dass die existierenden Vorstellungen von Interdisziplinarität wenig durchdacht sind und dass hier davon ausgegangen wird, dass sich interdisziplinäre Forschung automatisch einstellen wird, wenn man sich erst einmal auf eine gemeinsame Vision und einen gemeinsamen Forschungsgegenstand (wie z.B. die Erforschung der kleinsten Elemente) geeinigt hat (vgl. Schummer 2004, p. 12). Schummer charakterisiert die NBIC-Debatte dabei als eine Variante

der „Super-Interdisziplinarität“: „(...) there is currently a naive rush from the badly understood interdisciplinarity towards new visions of super-interdisciplinarity to be centred on nanotechnology“ (Schummer 2004, p. 9). „Super-Interdisziplinarität“ bezeichnet dabei eine neue Einheit aller oder zumindest vieler verschiedenen Wissenschaften. Nach Schummers Einschätzung kann sich heute aber weder die Nanotechnologie noch die Konvergenz der Spitzentechnologien auf konkrete interdisziplinäre Projekte berufen. Im besten Falle könne man von einer multidisziplinären Bewegung sprechen, in die unterschiedliche Wissenschaftsbereiche eher lose involviert sind, in der es aber bislang keine starken Verbindungen, Überlappungen oder integrativen Tendenzen gibt (zur Unterscheidung von Multi-, Inter- und Super-Interdisziplinarität siehe Schummer 2004, p. 11).

## **7 Analyse: Konvergenz der Spitzentechnologien: Tragfähiges Konzept oder vorübergehende Modeerscheinung?**

Der visionäre Charakter des amerikanischen NBIC-Reports, der hohe Anteil von Foresight-Spezialisten in der europäischen Debatte und der augenfällige Abstand zwischen möglichen Anwendungen und aktuellem Stand der Forschung geben Anlass zu der Frage, inwieweit es sich bei der Konvergenz der Spitzentechnologien lediglich um ein Gedankenexperiment handelt, das zur Zeit zwar in aller Munde ist, das aber wenig Substanz und Aussicht auf längerfristige Effekte hat.

Die Analyse der zentralen Dokumente der Converging-Technologies-Debatte hat in dieser Hinsicht zweierlei ergeben: Erstens wird dort aus der prinzipiell nicht neuen Forderung nach Interdisziplinarität ein futuristisches Nano-Bio-Info-Cogno-Programm abgeleitet, das zu einem neuen Paradigma verdichtet wird. Zweitens werden aus eher unspektakulären Forschungserfolgen in speziellen Bereichen, Zukunftsbilder entworfen, die von radikalen Veränderungen ausgehen.

Diese Hinweise sprechen zunächst dafür, dass es sich bei den Converging Technologies eher um eine Modeerscheinung, denn um ein tragfähiges Forschungskonzept oder eine erfolgversprechende Zukunftsrichtung handelt.

Allerdings ergab die Recherche der wissenschaftlichen Hintergründe der Hauptpersonen der Debatte, dass sich durchaus renommierte Forscher und anerkannte Wissenschaftler mit der Idee der Konvergenz auseinandersetzten und hierfür Vorschläge erarbeiteten. Dies kann wiederum als Indikator für die Relevanz der Konvergenz-Idee gewertet werden.

Hier muss jedoch einschränkend angemerkt werden, dass eine letztgültige Beurteilung, ob es sich bei den betroffenen Forschern um renommierte Mainstream-Wissenschaftler oder eher um Visionäre mit zweifelhaftem „Standing“ in der Scientific Community handelte, nicht möglich war. Um in diesem Zusammenhang zu einer fundierten Einschätzung zu kommen, wäre z.B. eine bibliometrische Analyse sinnvoll, die über Publikationshäufigkeit und inhaltliche Spezialisierung sowie Renommee von wissenschaftlichen Zeitschriften Genaueres über das „Standing“ der entsprechenden Wissenschaftler in ihrem Forschungsbereich zu erfahren. Eine entsprechend angelegte bibliometrische Analyse könnte darüber hinaus weitere Informationen über Ursprünge, Hauptpersonen und inhaltliche Hauptlinien der Converging-Technologies Debatte liefern.

Die Frage nach der „Seriosität“ der Forscher kann allerdings auch anders aufgelöst werden: Denn akzeptiert man die Idee einer umfassenden Konvergenz von Wissens- und Technologiebereichen und die damit einhergehende Forderung nach Interdisziplinarität, so ist es zum jetzigen Zeitpunkt der Debatte möglicherweise wichtiger, große Visionen zu entwickeln und kühne Zukunftsentwürfe zu skizzieren als handfeste Forschungsergebnisse zu präsentieren. Denn dadurch wird dem Konzept der konvergierenden Spitzentechnologien eine große Aufmerksamkeit zuteil - es werden Diskussionen angeregt und Auseinandersetzungen über die Sinnhaftigkeit dieses Forschungsdesigns angestoßen.

Entsprechend der Gesetzmäßigkeiten wissenschaftlicher Themenzyklen, die Breiter (1995) am Beispiel der Künstlichen Intelligenz-Forschung herausgearbeitet hat, kann man auch bei den Converging Technologies, deren Themenkarriere noch ganz an Anfang steht, erwarten, dass auf die Phase der großen Hoffnungen und Visionen dann eine zweite Phase, die der Enttäuschung folgt, auf die wiederum eine Phase der Stabilisierung und Neuendeckung des Themas unter veränderten Vorzeichen folgt.

Entlang dieser Argumentationslinie könnte man anführen, dass z.B. auch Drexlers Konzept der Nanowissenschaft und Nanotechnologie anfangs eine ähnlich geringe wissenschaftliche Bodenhaftung aufwies wie heute das Konzept der Converging Technologies. Dennoch haben seine Visionen wesentlich dazu beigetragen, dass die Nanotechnologie heute mit entsprechenden staatlichen Forschungsfördergeldern ausgestattet ist und sich in den Vereinigten Staaten sogar eine „National Nanotechnology Initiative (NNI) um die Nano-Entwicklung bemüht.<sup>25</sup>

Der Hinweis auf die Nanotechnologie als Vorreiter der Converging Technologies hat insbesondere in den USA noch eine weitere Implikation: Schummer (2004) hat darauf hingewiesen, dass möglicherweise Prinzipien der institutionellen Forschungsförderung für das Aufkommen der CT-Debatte mit verantwortlich waren. Denn augenscheinlich waren eine Reihe von Nano-Förderprojekten und -Programmen in den Vereinigten Staaten ausgelaufen und es bedurfte eines neuen Themas, um zu verhindern, dass Forschungsgelder abgezogen wurden. Außerdem waren offenbar auch Kompetenzstreitigkeiten bei Fördereinrichtungen von Bedeutung. Möglicherweise haben also auch

---

<sup>25</sup> Hier wird u.a. die Vorstellung vertreten, dass es außerhalb des Programms gar keine Nanoscience and Technology (NST)-Bewegung gibt. So z.B. von Lopez 2004, p. 9. Wichtigster Promotor und Direktor der NNI ist Mihail Roco. Für Roco selbst stellt die NBIC-Debatte eine Fortführung der begonnen Nano-Forschung dar (vgl. Roco 2004).

Auseinandersetzungen um Budgets innerhalb der US-Administration zur Entstehung der CT-Debatte beigetragen (vgl. Schummer 2004, p. 67).

Neben der Klärung der Ursprünge der Converging-Technologies Debatte wird in Zukunft stärker die Frage ins Blickfeld rücken, welchen inhaltlichen Verlauf die Diskussion nimmt, welche prinzipielle Richtung eingeschlagen wird und welche Forschungsbereiche besonders betroffen oder engagiert sein werden.

Hier muss in Zukunft nachgezeichnet werden, in welchen Bereichen sich die betroffenen Forschungsbereiche tatsächlich aufeinander zu bewegen, wo die Disziplinen tatsächlich zusammenwachsen und welche neuen Fragestellungen sich im Verbund der Disziplinen und Methoden am besten bearbeiten lassen.



## 8 Literatur

- Andler, Daniel (2004): What does the „C“ stand for in the NBIC Acronym? In: Foresighting the New Technology Wave - Expert Group (2004): State of the Art Reviews and Related Papers. June 14, 112-117.
- Beckert, Bernd, 2002: Medienpolitische Strategien für das interaktive Fernsehen. Eine vergleichende Implementationsanalyse. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Beckert, Bernd/ Kubicek, Herbert, 2000: Narrowcast: Die TV- und Online-Erweiterung. Anbieterstrategien und Erfolgsfaktoren für neue digitale Fernsehdienste und breitbandige Online-Angebote. Bremen: Schintz.
- Breidbach, Olaf, 1999: Die Materialisierung des Ichs. Zur Geschichte der Hirnforschung im 19. und 20. Jahrhundert. Frankfurt/M.: Suhrkamp .
- Breiter, Andreas (1995): Die Forschung über Künstliche Intelligenz und ihre sanduhrförmige Entwicklungsdynamik. Die Dynamik einer Wissenschaft im Spiegel ihrer Wahrnehmung in der Öffentlichkeit. In: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, Jg. 47, Heft 2, S. 295-318.
- Cameron, Nigel M. de S. (2005): Convergence & Divergence: European Union Responses to US Converging Technology Policy. Documentation of the presentation at the National Science Foundation Converging Technologies Conference, Hawaii 2005. Online: [www.nano-and-society.org/law/](http://www.nano-and-society.org/law/)
- Clutter, Mary (2004): NSF Rethinks its Neuroscience Program. The Future of Neuroscience at the National Science Foundation. In: Neuroscience Quarterly, Winter 2004, online: <http://apu.sfn.org/content/Publications/NeuroscienceNewsletter/2004winter/NSF.html>.
- Coenen, Christopher, Rader, Michael; Fleischer, Torsten (2004): Of Visions, Dreams and Nightmares: The Debate on converging Technologies. Report on the Conference „converging Technologies for a Diverse Europe“, Brussels September 14-15, 2004. In: Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis Nr.3, 13. Jg., Dezember, 118-125.
- Cook, Gareth (2003): Defending DARPA. The government's strangest research might be its best. In: The Boston Globe, July 4. DARPA's 24 Mio. Dollar Forschungsprogramm "Brain Machine Interfaces"
- Coskina, Paradiso; Kminorz, Yvette (2005): Converging Technologies - Potenziale für Deutschland. VDI/VDE-Innovation + Technik GmbH, Teltow.
- Duncan, David Ewing (2005): Fernsteuerung durch Gedanken. In: Technology Review März, S. 73-78.

- European Commission (2003): Brain Research in Europe: Structuring European Neuroscience. Conference Announcement and Program, Brussels, 18 September 2003, Online: [http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2003/brain/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2003/brain/index_en.html).
- Fischer, Falk (2005): Die melancholische Wissenschaft. Eine Sinnsuche zwischen Dichtung und Wahrheit. SWR2 Wissen, Manuskript der Sendung vom 5. September, [www.swr2.de](http://www.swr2.de).
- Fleischer, Torsten; Decker, Michael (2005): Converging Technologies. Verbesserung menschlicher Fähigkeiten durch emergente Techniken? In: Bora, Alfons; Decker, Michael; Grunwald, Armin et. al (Hrsg.) (2005): Technik in einer fragilen Welt. die Rolle der Technikfolgenabschätzung. Reihe Gesellschaft-Technik-Umwelt, Neue Folge 7, Berlin: edition sigma, S. 120-132.
- Foresighting the New Technology Wave - Expert Group (2004): State of the Art Reviews and Related Papers. June 14.
- Garreau, Joel (2005): Radical Evolution: The Promise and Peril of Enhancing Our Minds, Our Bodies – and What It Means to Be Human. Doubleday.
- Garreau, Joel (2005a): Perfecting the Human. In: Fortune, May 30, online: [www.mindfully.org/Technology/2005/Perfecting-The-Human30may05.htm](http://www.mindfully.org/Technology/2005/Perfecting-The-Human30may05.htm).
- Hacker, Peter M. (2004): Hirnforschern aufs Maul geschaut. Interview in: Geist & Gehirn 5/ 2004, S. 43-45.
- HLEG (2004): Converging Technologies - Shaping the future of European Sciences. Report of the High Level Expert Group "Foresighting the New Technology Wave" by Rapporteur Alfred Nordmann. Brussels. Siehe auch: [http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2004/ntw/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2004/ntw/index_en.html).
- Horn, Robert E. (2002): Beginning to Conceptualize the Human Cognome Project. Online: [www.stanford.edu/~rhorn/a/topic/cognom/tocCncptlzHumnCognome.html](http://www.stanford.edu/~rhorn/a/topic/cognom/tocCncptlzHumnCognome.html)
- Horster, Detlef (2005): Versprochen ist versprochen. Julian Nida-Rümelin verteidigt den freien Willen. In: SZ 27./28. August.
- Hüsing, Bärbel; Jäncke, Lutz; Tag, Brigitte (2005): Impact Assessment of Neuroimaging. unpublished draft final report TA-SWISS xx/2006, Bern, Switzerland: Centre for Technology Assessment at the Swiss Science and Technology Council (TA-SWISS).
- Key Technologies Expert Group (2005): Creative System Disruption. Towards a Research Strategy Beyond Lisbon. Draft final report. In preparation of the Conference „Key Technologies for Europe“ in Brussels, 19th and 20th September 2005, online: [www.cordis.lu/foresight/conference\\_2005.htm](http://www.cordis.lu/foresight/conference_2005.htm).

- Kutter, Susanne et al. (2005): Schneller schlau durch Lernpillen. Erkenntnisse der Hirnforschung nutzen. In: Wirtschaftswoche 19.07.2005.
- López, José (2004): Bridging the Gaps: Science Fiction in Nanotechnology. In: HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry, Vol. 10, No.2 (2004), pp. 129-152.  
online: [www.hyle.org/journal/issues/10-2/lopez.htm](http://www.hyle.org/journal/issues/10-2/lopez.htm).
- Lynch, Zack (2004): Neurotechnology and Society (2010-2060). In: Annals of the N.Y. Academy of Sciences 1013: 229–233 (2004).
- Meredith, Dennis (2002): DATPA TO Support Development of Human Brain-Machine Interfaces. In: Duke University press release of August 15. Online: <http://www.dukenews.duke.edu/2002/08/darpacontract0802.html>.
- Mölders, Monika (2005): Frankfurt Institute for Advanced Studies eingeweiht. Einrichtung des (natur-)wissenschaftlichen Querdenkens. Pressemeldung der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt (Main) vom 11. März 2005. online: <http://idw-online.de/pages/de/news104148>.
- Monyer, Hannah; Rösler, Frank; Roth, Gerhard et al. (2004): Das Manifest. Elf führende Neurowissenschaftler über Gegenwart und Zukunft der Hirnforschung. In: Gehirn und Geist 6/2004, S. 30-37.
- Philip Rubin, Murray Hirschbein, Tina Masciangioli et al. (2002): THE COMMUNICATOR: ENHANCEMENT OF GROUP COMMUNICATION, EFFICIENCY, AND CREATIVITY. In: Roco/ Bainbridge 2002 (eds.), p. 302-307.
- Rader, Michael (2005): FISTERA WP1: Case Study United States. From Nano to NBIC Convergence. Version 2, June, FISTERA - Thematic Network on Foresight on Information Society Technologies in the European Research Area, ITAS Karlsruhe, online: [http://fistera.jrc.es/docs/FISTERA%20US\\_Nano\\_to\\_NBIC.pdf](http://fistera.jrc.es/docs/FISTERA%20US_Nano_to_NBIC.pdf).
- Roco, Mihail C. (2004): The Emergence and Policy Implications of Converging Technologies. Presentation-Slides online: [www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/nbic\\_roco\\_04\\_0422\\_@aaas\\_57sl.pdf](http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/nbic_roco_04_0422_@aaas_57sl.pdf).
- Roco, Mihail C.; Bainbridge, William S. (eds.) (2002): Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. NSF/ DOC-sponsored report, Arlington, VA: National Science Foundation, June, Online: [www.wtec.org/ConvergingTechnologies](http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies).
- Roco, Mihail C.; Bainbridge, William S. (eds.) (2003): Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. Kluwer, Dordrecht. (Redigierte und gekürzte Buchfassung von Roco; Bainbridge 2002).

- Rögener, Wiebke (2005): Doping fürs Gehirn. Medikamente zur Therapie neurologischer Leiden verbessern auch die Denk- und Gedächtnisleistung Gesunder. In: SZ 30. September 2005.
- Royal Society; Royal Academy of Engineering (2004): Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. RS policy document 19/04. London, July. Online: [www.nanotec.org.uk/finalReport.htm](http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm).
- Schummer, Joachim (2004): „Societal and Ethical Implications of Nanotechnology“: Meanings, Interest Groups, and Social Dynamics. In: *Techné* 8:2 Winter, pp. 56-87.
- Schummer, Joachim (2004a): Interdisciplinary Issues in Nanoscale Research. In: Baird, D.; Nordmann, A.; Schummer, J. (eds.): *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam: IOS Press, 10-20.
- Sententia, Wrye (2004) : Neuroethical Considerations. Cognitive Liberty and Converging Technologies for Improving Human Cognition. In: *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1013, p. 221-228.
- Singer, Wolf (2004): Das Gehirn ist ein wunderbares Organ. wie im Kopf aus dem Zusammenspiel von hundert Milliarden Nervenzellen ein Bild von der Welt und von uns selbst entsteht. In: FAZ 25. November, online: [www.sprachewerner.info/gehirn](http://www.sprachewerner.info/gehirn)
- STFPP (2003): Bio-Systemics Synthesis. Science and Technology Foresight Pilot Project (STFPP), Research Report No. 4. Montreal. Online: <http://agora.scitech.gc.ca>.
- Tassin, Jean-Pol (2004): Neuro-scientific aspects of Foresighting the NTW. In: *Foresighting the New Technology Wave - Expert Group (2004): State of the Art Reviews and Related Papers*. June 14, 117-126.
- The Editors of The New Atlantis, "Carried Away with Convergence," *The New Atlantis*, Number 2, Summer 2003, pp. 102-105. online: [www.thenewatlantis.com/archive/2/soa /convergence.htm](http://www.thenewatlantis.com/archive/2/soa /convergence.htm).
- Trepte, Andreas (2003): Max-Planck-Institut für Biochemie und Infineon Technologies AG präsentieren industriell gefertigten Neuro-Chip. Anwendung in Neurowissenschaften und Pharmaentwicklung. Pressemeldung des MPI, online: [www.innovations-report.de/html/berichte/biowissenschaften\\_chemie/bericht-16444.html](http://www.innovations-report.de/html/berichte/biowissenschaften_chemie/bericht-16444.html).
- Roloff, Nils; Beckert, Bernd (2006): Staatliche Förderstrategien für die Neurowissenschaften. Programme und Projekte im internationalen Vergleich. TAB Hintergrundpapier Nr. 15, April. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Online: [www.tab.fzk.de/de/hp.htm](http://www.tab.fzk.de/de/hp.htm).

- Urban, Martin (2004): Ich ist ein anderes. In: SZ 22. Oktober, Online: [www.sueddeutsche.de/panorama/artikel/714/41673](http://www.sueddeutsche.de/panorama/artikel/714/41673).
- van Raan, Anthony F.J. (2005): Measurement of Central Aspects of Scientific Research: Performance, Interdisciplinarity, Structure. In: Measurement, 3(1), p. 1-19.
- VDI Technologiezentrum (2004): Übersichtsstudie. Internationale Technologieprognosen im Vergleich. Studie im Auftrag des BMBF, Autoren: Axel Zweck, Petra Seiler, Dirk Holtmannspötter, Ulrich Albertshauer, Reihe Zukünftige Technologien Nr. 52, Düsseldorf, Januar.
- Vogeley, Kai (2005) : Stand der Forschung. Anwendungen und Perspektiven der Neurowissenschaften. Gutachten zum Teil-Thema „Überblick und Entwicklung der Hirnforschung“ (Arbeitstitel) im Rahmen der Ausschreibung des TA-Projekts „Hirnforschung“ (Vorstudie). Bonn. Manuskript, Oktober.
- Welan, Katharina (2005): Converging Technologies - Die neue Revolution. In: Vision-Rundschau Nr. 107, Jänner, Berufsinfozentren Wien, online: [www.ams.or.at/wien/biz/index.html](http://www.ams.or.at/wien/biz/index.html)
- Will, Birgit (2003): Gedanken aus Chemie. In: Technology Review, 23.09.03, online: [www.heise.de/tr/artikel/40436](http://www.heise.de/tr/artikel/40436).
- Williams, Stanley R.; Kuekes, Philip J. (2002): Balancing Opportunities and Investments for NBIC. In: Roco/ Bainbridge 2002 (eds.), p. 67-71.



**Anhang A: Referenten bei zentralen Konferenzen zu „Converging Technologies“ und ihr fachlicher Hintergrund (Basis für die Auswertung der Tabellen in Abschnitt 4.4)**

**USA (Roco und Bainbridge, 2002)**

- (1) Daniel Akins, Director, IGERT on Nanostructures, The City University of New York, Department of Chemistry
- (2) Jill Banfield, University of California, Berkeley, Department of Earth and Planetary Sciences and Department of Environmental Science, Policy, and Management
- (3) Jeffrey Bonadio, University of Washington, Bioengineering Dept.
- (4) Rudy Burger, MIT, Media Lab Europe
- (5) Kathleen Carley, Carnegie Mellon University, Department of Social & Decision Sciences
- (6) Lawrence J. Cauller, University of Texas at Dallas, Neuroscience Program, University of Pennsylvania
- (7) Avis H. Cohen, University of Maryland, Dept. of Zoology
- (8) Patricia Connolly, University of Strathclyde, Bioengineering Unit, Wolfson Centre
- (9) Delores M. Etter, U.S. Naval Academy
- (10) Edgar Garcia-Rill, Arkansas Center for Neuroscience, University of Arkansas for Medical Sciences
- (11) Reginald G. Golledge, University of California, Santa Barbara, Dept. of Geography
- (12) Michael E. Gorman, University of Virginia
- (13) Michael Heller, Nanogen, UCSD Dept. of Bioengineering
- (14) Robert E. Horn, Stanford University, Program on People, Computers and Design, Center for the Study of Language and Information
- (15) Kyung A. Kang, University of Louisville, Chemical Engineering Department
- (16) Judith Klein-Seetharaman, Carnegie-Mellon University, School of Computer Science
- (17) Josef Kokini, Rutgers University, Department of Food Science and CAFT, Cook College
- (18) Martha Krebs, University of California, Los Angeles, California Nanosystems Institute
- (19) Abraham Lee, University of California at Irvine, Biomedical Engineering Dept.

- (20) Rodolfo R. Llinás, New York University, School of Medicine, Dept. of Physiology & Neuroscience
- (21) Jack M. Loomis, University of California, Santa Barbara, Department of Psychology
- (22) Miguel A. L. Nicolelis, Dept. of Neurobiology and Biomedical Engineering, Duke University
- (23) Perry Andrew Penz, University of Texas at Dallas
- (24) Jordan B. Pollack, Brandeis University, Volen Center for Complex Systems
- (25) Sherry R. Turkle, MIT
- (26) William A. Wallace, Rensselaer Polytechnic Institute DSES
- (27) Gregor Wolbring, University of Calgary, Dept. of Medical Biochemistry

**HLEG (Europäische Kommission, 2004)**

- (28) Professor Kristine Bruland, Economic History, University of Oslo
- (29) Professor Alfred Nordmann, Institut für Philosophie, Technische Universität, Darmstadt, Germany; Adjunct Professor of Philosophy, University of South Carolina, USA
- (30) Dr. Jürgen Altmann, Physicist and Peace Researcher, Universität Dortmund
- (31) Professor Daniel Andler, Philosophy, Université de Paris-Sorbonne (Paris IV); Director of Cognitive Studies, Ecole Normale Supérieure
- (32) Dr. Thomas Bernold, Communication and Policy Consultant, Visiting Research Professor at the School of Public Policy, George Mason University
- (33) Professor Wolfgang Bibel, Intellektik, Darmstadt, University of Technology and University of British Columbia
- (34) Professor Jean-Pierre Dupuy, Philosopher, Ecole Polytechnique, Paris, and Stanford University, California, France, USA
- (35) Professor Donald Fitzmaurice, Head of the Nanochemistry Group - UCD; Chief Technology, Officer Ntera Group, Board/Advisor Draper Fisher Jurvetson
- (36) Professor Emilio Fontela, Universidad Autónoma of Madrid, Hon Prof of Economics, University of Geneva; Visiting Prof. University of Seville
- (37) Eng. Thierry Gaudin, Président de Prospective 2100, Ingénieur général des mines, Membre du Conseil Général des Mines, Author, Futurist
- (38) Professor Raoul Kneucker, Ret. Director General Research & International Affairs, Austrian Federal Ministry of Education, Science and Culture; Director of the "Gallery of Research" of the Austrian Academy of Sciences

- (39) Dr. Günter Küppers, Physicist and Social Scientist, Inst. for Science & Technology Studies (IWT), University of Bielefeld
- (40) Professor E.Barbieri Masini, Sociologist and Futurist, Professor Emeritus, Faculty of Social Sciences, Gregorian University, Rome
- (41) Dr Ana Morato, Technical Director of the Spanish Observatory of Industrial Technology Foresight, OPTI
- (42) Dr Michael J. Morgan, Chief Executive (Retired), The Wellcome Trust Genome Campus, Cambridge.
- (43) Dr. Nebojsa Nakicenovic; Head of the Transitions to New Technologies Project, IIASA; Professor of Energy Economics at the Technical University of Vienna
- (44) Ian Pearson, Futurologist, BT, Author
- (45) Professor Darko Polsek, School of Law, Univ of Zagreb. Former Deputy Minister of Science and Technology
- (46) Dr. Gill Ringland, CEO and Fellow, SAMI Consulting
- (47) Prof. Dr. Arie Rip, Scientific Director: Graduate School of Science, Technology and Modern Culture; Head of Philosophy of Science and Technology, University of Twente
- (48) Dr. Francoise Roure, Inspector General, Ministry of Economy, Finance and Industry, MINEFI, Conseil General des Technologies de l'Information
- (49) Ottilia Saxl, Chief Executive, Institute of Nanotechnology
- (50) Dr. Jan Staman; Directeur, Rathenau Instituut of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
- (51) Dr Jean-Pol Tassin, Neurobiologist, Director of Research INSERM, Collège de France
- (52) Prof. Walter van der Velde (to April 2004), former Director of Research at Starlab; Co-Director, AILab VUB; Contributor, EC's Vision Book Project; Scientific Director, DISC.

#### **Key Technologies Expert Group (Key Technologies Expert Group, 2005)**

- (1) Liam Downey
- (2) Paolo Saviotti
- (3) Petros Kavassalis
- (4) Corrado Priami
- (5) Birte Holst-Joergensen

- (6) Matthias Weber
- (7) Anette Braun
- (8) José Sá-da-Costa
- (9) Alois Sieber
- (10) Walter Ganz
- (11) George Gaskell
- (12) Jacques Theys

**UK (The Institute of Nanotechnology, 2005)<sup>26</sup>**

- (13) Prof. Richard Jones, Sheffield University
- (14) Dr. Elie Faroult

**Spanien (Converging Technologies Institute, 2005, [www.nbic.org.es](http://www.nbic.org.es))<sup>27</sup>**

- (15) Alvaro Pascual-Leone, Director de investigación at the Behavioral Neurology Unit of Beth Israel Deaconess Medical Center y Profesor de Neurología en Harvard Medical School
- (16) Emilio Fontela, Decano Universidad Antonio de Nebrija y Presidente del grupo de expertos de la EU sobre 'Developing Foresight on Research/Higher Education Relation'
- (17) Eduardo Fernández, Instituto de Bioingeniería. Alicante, Spain
- (18) Francesco Serra, Centro Nacional de Microelectrónica, Spain
- (19) Rosa Villa, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Spain
- (20) Salvador Barbera, Secretario General de Política Científica y Tecnológica, Ministerio de Educación y Ciencia, Spain
- (21) Joan Trullen, Secretario General de Industria, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Spain

---

<sup>26</sup> The Institute of Nanotechnology (2005): 'Converging Technologies – a Vision for Europe' - Recommendations for Strategic Actions in FP 6 and FP7, Online: [www.nano.org.uk/conferences/convtech/convtech.pdf](http://www.nano.org.uk/conferences/convtech/convtech.pdf).

<sup>27</sup> Converging Technologies Institute (2005): Converging Technologies Forum 2005, Online: <http://nbic.org.es/forumnew/gb-f-programme.html>.

- (22) Carles Solà, Conseller de Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya

**Mikrosystemtechnik-Kongress in Freiburg im Oktober 2005**

- (23) Dipl.-Phys. Torsten Fleischer, ITAS
- (24) PD Dr. Steffen Rosahl – Universitätsklinikum Freiburg – Abt. Allgemeine Neurochirurgie



## **Perfecting the Human**

**JOEL GARREAU / Fortune May 30, 2005**

*Picture a future in which your children won't need sleep or food and will be able to stop pain at will. That future is in the works.*

Look at your second-grade daughter. Now flash forward a decade and a half from today. She is just home for the holidays. You were so proud of her when she not only put herself through Ohio State but also graduated summa cum laude. Now she has taken on her most formidable challenge yet: competing with her generation's elite in her fancy new law school. Of course you want to hear all about it. It is her first time home in months.

"What are your classmates like?" you ask innocently.

"They're all really, really smart," she says. Then she thinks of some of the students in contracts class. And she stops.

How does she explain to you what these classmates are like? She knows her dear old parents have read in newsmagazines about cutting-edge ways of enhancing human capability. But actually dealing with people who have the desire and wherewithal to get themselves augmented is decidedly strange.

Her classmates have amazing thinking abilities. They're not just faster and more creative than anybody your daughter has ever met but faster and more creative than anybody she has ever imagined. They have photographic memories and total recall. They can devour books in minutes. They're physically beautiful. Although they don't put much of a premium on exercise, their bodies are remarkably ripped. They talk casually about living a very long time, perhaps being immortal. They're always discussing their "next lives." One fellow mentions how, after he makes his pile as a lawyer, he plans to be a glass-blower, after which he wants to become a nanosurgeon.

One of her new friends fell while jogging, opening a nasty gash on her knee. Your daughter freaked, ready to rush her to the hospital. But her friend just stared at the wound, focusing her mind on it. Within minutes, the bleeding simply stopped. This same friend also has been vaccinated against pain. She never feels acute pain for long.

These new friends are always connected to one another, sharing thoughts no matter how far apart, without phones or handheld devices. They call it "silent messaging." It seems almost like telepathy. And they have this odd habit of cocking their head in a certain way whenever they want to access information—as if waiting for a delivery to arrive wirelessly. Which it does.

For a week or more at a time, they don't sleep. They joke about getting rid of the beds in their cramped dorm rooms, since they use them so rarely. Her new friends are polite to your daughter when she can't keep up with their conversations, as if she were handicapped. They can't help but condescend, however, when she protests that imbedded technology is not natural for humans.

That's what they call her—"Natural." In fact, that's what they call all those who could be like them but choose not to, the way vegetarians choose to abstain from meat. They call themselves "Enhanced." What about people who have neither the education nor the money even to consider keeping up with enhancement technology? Those they dismiss as simply "the Rest." They just keep falling further and further behind.

Your daughter and her classmates all take it as a matter of course that the law they are studying is changing to match the new realities. It will be upgraded, the Enhanced believe, just as they have new physical and mental upgrades installed every time they go home. The technology is moving that fast.

In fact, the paper your daughter is working on over the holidays concerns whether a Natural can really enter into an informed-consent relationship with an Enhanced—even for something as simple as a date. How would a Natural understand what makes an Enhanced tick if she doesn't understand how he is augmented? Our law is based on the

Enlightenment principle that we hold a human nature in common. Increasingly, the question is whether this still exists.

I have no crystal ball, alas. But this scenario isn't as far-fetched as you may think. It is factually grounded in technologies being developed today in labs, hospitals, and universities worldwide and is a faithful rendition of what life will be like if some of that engineering turns out to work.

Dateiname: ConvergingTech-Neurowiss.doc  
Verzeichnis: N:\publ\downloads\isi07b06  
Vorlage: V:\vorlagen\OfficeXP\Bericht-autoNr.dot  
Titel: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung  
Thema:  
Autor: Bernd Beckert  
Stichwörter:  
Kommentar:  
Erstelldatum: 11.04.2007 11:57  
Änderung Nummer: 2  
Letztes Speicherdatum: 11.04.2007 11:57  
Zuletzt gespeichert von: gh  
Letztes Druckdatum: 11.04.2007 12:27  
Nach letztem vollständigen Druck  
Anzahl Seiten: 91  
Anzahl Wörter: 24.809 (ca.)  
Anzahl Zeichen: 156.303 (ca.)