

## 12. Converging Technologies

---

Christopher Coenen

### 12.1 EINLEITUNG

Die Debatte über ›Converging Technologies‹ (CT) hat sich seit Ende der 1990er Jahre hauptsächlich aus dem politischen Diskurs über Nanotechnologie entwickelt, wobei der Ausgangspunkt in den USA lag, seit Mitte der 2000er Jahre aber auch verstärkte Aktivitäten in Europa und anderswo festzustellen waren. Zum Teil äußerst kontrovers wird in dieser Debatte diskutiert, inwieweit verschiedene Technologien und Wissenschaften derzeit ›konvergieren‹ oder synergetisch zusammenwirken und welche Folgen solche Konvergenzprozesse kurz-, mittel- und langfristig haben könnten. Im Mittelpunkt stehen dabei die Nano-, Bio-, Informationstechnologien und -wissenschaften sowie die Kognitionswissenschaft, die zusammen oft als NBIC (nano, bio, info, cogno) abgekürzt werden, wobei die sogenannte NBIC-Initiative in den USA eine zentrale Rolle spielte.<sup>1</sup> Hirnforschung

---

**1** | Auslöser der Debatte war der erste Workshop dieser Initiative, der im Oktober 2001, unterstützt von der National Science Foundation und dem US-Handelsministerium, durchgeführt wurde. Vgl. Mihail C. Roco, William S. Bainbridge (Hg.): *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science*, Arlington: National Science Foundation 2002. Bis Mitte der 2000er Jahre legten die Initiatoren eine Reihe von weiteren Konferenzbänden vor und warben auch anderweitig für die Initiative, die aber nicht, wie geplant, eine offizielle forschungspolitische Initiative wurde. Vgl. dazu Christopher Coenen: *Deliberating visions: The case of human enhancement in the discourse on nanotechnology and convergence*, in: Mario Kaiser, M. Kurath, S. Maasen, C. Rehmann-Sutter (Hg.): *Governing future technologies. Nanotechnology and the rise of an assessment regime*, (Sociology of the Sciences Yearbook 27), Dordrecht u.a.: Springer 2010, 73-87. Sie inspirierte aber Initiativen in anderen Ländern und löste u.a. einen politisch-akademischen Diskurs über denkbare zukünftige Möglichkeiten eines ›Human Enhancement‹ und die Rolle des Transhumanismus in der Forschungspolitik und anderen Bereichen aus. Seit 2012 haben, nach einer längeren Pause mit nur geringen Folgeaktivitäten, einige der Initiatoren neue Aktivitäten zur NBIC-Thematik gestartet.

und Neurotechnologien und die Forschung zu ›Künstlicher Intelligenz‹ (KI) spielen in der Debatte eine besondere Rolle, aber auch andere Disziplinen (z.B. Sozialwissenschaften) und Technologiefelder (z.B. die Robotik) finden häufig Berücksichtigung.

Zur unmittelbaren Vorgeschichte dieser Konvergenzdebatte zählt der Diskurs über informationstechnologische und Medienkonvergenzen, wobei bereits von Manuel Castells, der die US-amerikanischen Initiatoren inspirierte, eine Ausweitung auf andere NBIC-Felder vorgenommen wurde.<sup>2</sup> Castells führt die Konvergenz zwischen den NBIC-Feldern und anderen Technologie- und Forschungsbereichen – vor allem Robotik und KI-Forschung – auf eine ihnen gemeinsame ›Logik der Informationserzeugung‹ zurück. Aufgrund dieser befruchteten sich Erkenntnisse über biologische Prozesse (insbesondere auch hinsichtlich des menschlichen Gehirns) und Fortschritte im informationstheoretischen Bereich (sowie insbesondere auch die KI-Forschung) gegenseitig. Konvergenzen zwischen den NBIC-Feldern fänden daher – in Bereichen wie der materiellen Integration von Biologie und Elektronik (z.B. Einsatz biologischer Materialien in der Mikroelektronik) und den Gehirn-Maschine-Schnittstellen – innerhalb des ›Informationsparadigmas‹ statt. Konvergenzen zwischen den NBIC-Feldern innerhalb des Informationsparadigmas durchdringen demnach den Kern menschlichen Lebens und Verstandes, was zu weitreichenden Visionen und starken Thesen (insbesondere in der Genetik und Hirnforschung) geführt habe. Die Entwicklung konvergierender Technologien und die »komplexe Matrix der Interaktion zwischen den technologischen Mächten, die unsere Spezies entfesselt hat, und der Spezies selber« seien aber Gegenstände der Forschung und »bewussten sozialen Handelns« – und nicht als schicksalhaft aufzufassen.<sup>3</sup> Die alte Medienkonvergenzdebatte diene in der Folgezeit als Inspiration für einige Schlüsselfiguren des neuen NBIC-Konvergenzdiskurses.<sup>4</sup>

**2** | Vgl. Manuel Castells: *Die Informationsgesellschaft* (1996), Bd. 1, Opladen: Leske + Budrich 2001.

**3** | Castells, *Die Informationsgesellschaft*, Bd. 1, 2001, S. 82.

**4** | Der renommierte – aber mit seinen weitreichenden Thesen zu einer Synthese von Sozial- und Biowissenschaften (›Soziobiologie‹) und einer neuen ›Einheit des Wissens‹ auch umstrittene – Biologe Edward O. Wilson zählt ebenfalls zu den wichtigsten akademischen Bezugspunkten der US-amerikanischen NBIC-Initiative. Die Vision einer neuen Einheit des Wissens hat aber nicht nur in der politisch-wissenschaftlichen Konvergenzdebatte im engeren Sinn Beachtung und Kritik erfahren. So wurde z.B. von Mario Bunge (2003), Philosoph und Physiker, der Versuch unternommen, einen nichtreduktionistischen Konvergenzansatz zu entwickeln, bei dem auch das Wechselspiel zwischen der Konvergenz und Ausdifferenzierung von Forschungsbereichen analysiert wird. Er kritisiert Wilsons Ansatz als reduktionistisch, weil dieser die Sozialwissenschaften zu einseitig im Rückgriff auf die Biologie zu reformieren trachte. Die Einheit der Wissenschaften sei zwar das Ziel, aber vor allem im Sinn konzeptioneller Einheit – ohne vorschnelle Einebnung von unterschiedli-

Als einigendes Charakteristikum der angesprochenen Technologie- und Wissenschaftsfelder werden oft Tendenzen der Miniaturisierung und die zunehmende Bedeutung der Mikro- und Nanoebene in Forschung und Entwicklung (FuE) genannt. Darüber hinaus wird argumentiert, dass es zahlreiche Beispiele für die gegenseitige Befruchtung der infrage stehenden Forschungsbereiche und für ihre Abhängigkeit voneinander gäbe. Deren Zusammenhang wurde von der NBIC-Initiative z.B. auf folgende Formel gebracht: »If the cognitive scientists can think it, the nano people can build it, the bio people can implement it, and the IT people can monitor and control it.«<sup>5</sup> Neben solch eher plakativen Äußerungen wird oft auf konkrete aktuelle oder kurz- bis mittelfristig zu erwartende Beispiele für die gegenseitige theoretische und methodische Befruchtung und einander ermöglichende (»enabling«) Funktionen von Technologien und Wissenschaften hingewiesen.<sup>6</sup>

Der Konvergenzbegriff mutet allerdings hypertroph und wenig trennscharf an, und es gibt recht zahlreiche konkurrierende Konzeptionen. So uneinheitlich sich die Definitionen des Gegenstandes CT darstellen, so heterogen muten auch die Zielbestimmungen von Konvergenzprozessen an. Das Spektrum reicht hier von allgemeinen Leitbildern – z.B. die Verbesserung und Ausweitung menschlicher Fähigkeiten (»Human Enhancement«) oder die Weiterentwicklung der »Wissensgesellschaft« – über die Nutzbarmachung der CT für ganze gesellschaftliche und politische Handlungsfelder – z.B. Umwelt, Gesundheit oder Sicherheit – bis hin zu mehr oder weniger kleinteiligen einzelnen Anwendungsbereichen wie z.B. intelligentes Wohnen, besser ausgerüstete und physisch modifizierte Soldaten,

chen Erkenntnisansätzen und im Bewusstsein des dynamischen, nichtlinearen Charakters wissenschaftlicher Emergenz-, Konvergenz- und Ausdifferenzierungsprozesse. Vgl. Mario Bunge: *Emergence and Convergence: Qualitative Novelty and the Unity of Knowledge*, Toronto u.a.: University of Toronto Press 2003. Wie so oft in der NBIC-Debatte und dem durch sie maßgeblich geprägten neueren Diskurs über Human Enhancement und Transhumanismus, wird man auch hier wieder auf John Desmond Bernal zurückverwiesen. Dieser schrieb im Jahr 1965, dass im 20. Jahrhundert eine »general convergence of all sciences« festzustellen sei und dass dadurch die »connexion between microcosm and macrocosm has been transferred from the mystic imaginations of astrology to experimental, controllable facts«. John Desmond Bernal: *Science in History, Volume 1: The Emergence of Science*, (Preface to the Third Edition), London: C.A. Watts & Co. Ltd 1965 (revised third edition; orig. 1954), S. 14. Eine sehr ähnliche Einbettung der Konvergenzthese in eine Vision eines umfassenden wissenschaftlichen Weltverständnisses von der Mikro- bis zur kosmischen Ebene findet sich auch im ersten Bericht der NBIC-Initiative.

**5** | Roco, Bainbridge, *Converging Technologies for Improving Human Performance*, 2002, S. 11.

**6** | Vgl. Alfred Nordmann (als Rapporteur für die EU High Level Expert Group Foresighting the New Technology Wave): *Converging Technologies: Shaping the Future of European Societies*, Luxemburg: European Communities 2004.

Verbesserung der Trinkwasserqualität oder die Herstellung neuartiger Implantate.

Hinzu kommen, insbesondere unter dem Einfluss der NBIC-Initiative und der mit ihr z.T. kooperierenden transhumanistischen Bewegung, weitreichende Erwartungen an die technowissenschaftliche Entwicklung, die wie (quasi)religiöse Heilserwartungen, utopische Hoffnungen oder Ideen aus der Sciencefiction anmuten und in technikethischen Debatten der letzten Jahre einige Aufmerksamkeit erfahren haben (z.B. Vorstellungen eines paradiesischen Überflusses, von Mensch-Maschine-Mischwesen oder einer perfektionierten, »sozialtechnologischen« Steuerung gesellschaftlich-kultureller und politischer Prozesse). Neben den weniger spektakulären Visionen bzw. Möglichkeiten des »Human Enhancement« (z.B. durch Drogen) werden gerade auch diese futuristischen Ideen in letzter Zeit vermehrt kritisiert u.a. von religiöser Seite. Solch weitreichende Visionen sind technik(ideen)geschichtlich keineswegs neu, sie haben aber in den letzten Jahren eine andere Qualität gewonnen u.a. durch die neue Art und Weise, wie Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und gesellschaftliche Interessensgruppen (seit dem Ende des Ost-West-Gegensatzes) mit visionären Erwartungen an die wissenschaftlich-technologische Entwicklung umgehen, sowie durch die Entstehung soziokultureller Bewegungen, die stark umstrittene, optimistische oder pessimistische Extrempositionen zu diesen Erwartungen einnehmen. Der Disziplinen und Technologien übergreifende Anspruch des CT-Konzepts befördert offensichtlich das Zusammenwachsen verschiedener futuristischer Diskussionsstränge, gleichsam eine Konvergenz von Visionen zu Computernetzwerken, Künstlicher Intelligenz, Genetik, Nanotechnologie, Robotik, Weltraumtechnologien und anderen FuE-Feldern und -Bereichen.<sup>7</sup> Vor dem Hintergrund unterschiedlicher, zum Teil gegensätzlicher Menschen- und Gesellschaftsbilder werden in diesem technikvisionären Diskurs aktuelle politische, gesellschaftliche, wissenschaftliche und ethische Probleme mit fantastisch anmutenden Zukunftsbildern vermengt.<sup>8</sup>

Die Diskussionen über CT erscheinen so insgesamt gesehen als eine schillernde Debatte mit u.a. folgenden Merkmalen:

- Sie besitzt potenziell eine hohe Relevanz für zahlreiche neuere Wissenschafts- und Technologiebereiche und für andere forschungspolitische oder akademische Diskussionen (z.B. über Multi-, Inter- und Transdisziplinarität,

**7** | Vgl. Herbert Paschen, C. Coenen, R. Grünwald, et al.: *Nanotechnologie. Forschung, Entwicklung, Anwendung*, Berlin u.a.: Springer 2004; Christopher Coenen: Extreme Technikvisionen als Verantwortungsproblem, in: Ulrich Bartosch, G. Litfin, R. Braun, G. Neun-eck, G. (Hg.): *Verantwortung von Wissenschaft und Forschung in einer globalisierten Welt. Forschen – Erkennen – Handeln*, (Weltinnenpolitische Colloquien 4), Berlin u.a.: LIT, 2011, 231-255.

**8** | Vgl. Jürgen Habermas: *Die Zukunft der menschlichen Natur*, Frankfurt a.M.: Suhrkamp 2001, 75f.

Innovationssysteme oder das Verhältnis zwischen Sozial- und Geisteswissenschaften und der Philosophie einerseits und Natur- und Ingenieurwissenschaften andererseits).

- Sie weist eine Vielfalt von Berührungspunkten mit ethischen sowie geistes-, kultur- und sozialwissenschaftlichen Debatten auf (z.B. über das Auflösen von Grenzen zwischen Mensch und Maschine sowie Natur und Technik, die Steigerung oder Ausweitung menschlicher Fähigkeiten bzw. »Human Enhancement« sowie Grundsatzfragen des Verhältnisses von gesellschaftlicher Entwicklung und technowissenschaftlichem Fortschritt).
- Sie hat Affinitäten zu populärkulturellen und literarischen Traditionen (z.B. Science Fiction und Technikutopien) sowie zum Technofuturismus, also zu jenen intellektuellen Strömungen, die weitreichende und radikal technikfokussierte Zukunftsvisionen propagieren.<sup>9</sup> Der Technofuturismus hat in den letzten 10 bis 20 Jahren in Wissenschaft und Politik wieder an Bedeutung gewonnen, ist soziokulturell stärker verankert und wurde inhaltlich modernisiert. Er hat eine breitgefächerte Kritik auf sich gezogen, bei der es u.a. um das öffentliche Ansehen der infrage stehenden Forschungsbereiche, um Standards natur-, geistes- und sozialwissenschaftlicher Seriosität, um eine nachhaltige, sozial inklusive Technikentwicklung und rationale Forschungspolitik sowie um die Verteidigung säkular humanistischer oder religiöser Menschen- und Weltbilder geht.
- Sie hat einen Fokus auf den NBIC-Konvergenzen, wobei neue und denkbare »Human-Enhancement«-Technologien besondere Aufmerksamkeit erfahren. Eher in den Hintergrund getreten sind die Zukunftsvorstellungen des Nanotechnologievisionärs und -promotors Eric Drexler, der den frühen Diskurs über Nanotechnologie stark geprägt hatte, seit der politisch-wissenschaftlichen Etablierung des Forschungsfelds aber vor allem als Beispiel für eine extreme visionäre Position zitiert wird.<sup>10</sup>

Es lässt sich feststellen, dass die Konvergenzthematik auch in wissenschaftlichen Zeitschriften und auf wissenschaftlichen Konferenzen bereits in der Mitte der 2000er Jahre einige Beachtung gefunden hat, wobei sich – der ethischen und gesellschaftlichen Brisanz einiger Visionen und dem Technologiefelder übergrei-

**9** | Vgl. z.B. Christopher Coenen: Utopian Aspects of the Debate on Converging Technologies, in: Gerhard Banse, A. Grunwald, I. Hronszky, G. Nelson (Hg.): *Assessing Societal Implications of Converging Technological Development*, Berlin/Karlsruhe: edition sigma 2007, 141-172.

**10** | Vgl. Christopher Coenen: Nanofuturismus: Anmerkungen zu seiner Relevanz, Analyse und Bewertung, in: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, 13(2), 2004, 78-85; Paschen, et al., *Nanotechnologie*, 2004.

fenden Charakter der CT entsprechend – unterschiedliche Disziplinen an der Diskussion beteiligt haben.<sup>11</sup>

## 12.2 KONVERGENZDEBATTE

Auch wenn eine Vielzahl von wissenschaftlich-technologischen Feldern in der CT-Debatte thematisiert worden ist, so ist doch die ursprünglich von der NBIC-Initiative in den USA vorgenommene Fokussierung auf vier Felder weiterhin vorherrschend. Bei diesen Feldern handelt es sich um die Nano-, Bio- und Informationstechnologien (samt der zugehörigen Wissenschaften) sowie die Kognitionswissenschaft (>cognitive science<), einschließlich der angewandten Hirnforschung und der Neurotechnologien. Obwohl in der Konvergenzdebatte regelmäßig betont wird, dass es auch um Konvergenzprozesse zwischen Wissen-

**11** | Vgl. William S. Bainbridge: Converging Technologies and Human Destiny, in: *Journal of Medicine and Philosophy*, 32(3), 2007, 197-216; Bernd Beckert, C. Blümel, M. Friedewald: Visions and Realities in Converging Technologies, in: *Innovation*, 20(4), 2007, 375-394; Jean-Pierre Dupuy: Some Pitfalls in the Philosophical Foundations of Nanoethics, in: *Journal of Medicine and Philosophy*, 32(3), 2007, 237-261; Liana Giorgi, J. Luce: Converging Science and Technologies, in: *Innovation*, 20(4), 2007, 307-311; Armin Grunwald: Orientierungsbedarf, Zukunftswissen und Naturalismus. Das Beispiel der ›technischen Verbesserung‹ des Menschen, in: *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 55(6), 2007, 949-965; Karen Kastenhofer: Converging Epistemic Cultures?, in: *Innovation*, 20(4), 2007, 359-373; George Khushf: The Ethics of NBIC Convergence, in: *Journal of Medicine and Philosophy*, 32(3), 2007a, 185-196; Brice Laurent: Diverging Convergences. Competing meanings of nanotechnology and converging technologies in a local context, in: *Innovation*, 20(4), 2007, 343-357; Ramon Malanowski, R. Compano: Combining ICT and cognitive science: opportunities and risks, in: *Foresight*, 9(3), 2007, 18-29; Alfred Nordmann: If and Then: A Critique of Speculative NanoEthics, in: *NanoEthics*, 1(1), 2007a, 31-46; Ingrid Ott, C. Papilloud: Converging Institutions: Shaping Relationships Between Nanotechnologies, Economy, and Society, in: *Bulletin of Science, Technology and Society*, 27(6), 2007, 455-466; Richard Saage: Politik und Konvergenztechnologien in den USA, in: *Leviathan*, 35(4), 2007, 540-559; Greg Tegart: Converging technologies and their implications for technology transfer: the cases of European networks (N EuroNet) and NBIC (nano-bio-info-cogno) technologies as drivers of convergence, in: *Innovation: Management, Policy & Practice*, 7(4), 2005, 468-476; Jim Whitman: The Challenge to Deliberative Systems of Technological Systems Convergence, in: *Innovation*, 20(4), 2007, 329-342. Auch in jüngster Zeit besteht noch, insbesondere im Bereich der Technik- und Bioethik, einiges Interesse an der NBIC-Konvergenz, wobei jedoch das Thema, vor allem für wenig visionär ausgerichtete Forschungen, sperrig bleibt. Vgl. z.B. Sonia Desmoulin-Canselier: What Exactly Is It All About? Puzzled Comments from a French Legal Scholar on the NBIC Convergence, in: *NanoEthics*, 6(3), 2012, 243-255.

schaften gehe, werden diese vier sogenannten ›NBIC‹-Felder zumeist unter dem Begriff ›CT‹ angesprochen.

Der Fokus auf die NBIC-Felder ist allerdings nicht überall akzeptiert worden. Auch die NBIC-Initiative selbst hat ihn immer wieder ausgeweitet. Zudem wird oft nur ein NBI-Konvergenzkonzept genutzt, also der Kognitionswissenschaft und Hirnforschung keine besondere oder gar herausragende Bedeutung beigemessen. Vor allem in der öffentlichen Diskussion, jedoch auch in politischen oder akademischen Initiativen oder Einzelbeiträgen, werden aber oft zudem die Robotik, die KI-Forschung und diverse sozial- und umweltwissenschaftliche Disziplinen zu den einander beeinflussenden Schlüsselfeldern gezählt. Je nachdem in welchem forschungs- und technologiepolitischen Zusammenhang auf Konvergenzprozesse Bezug genommen wird, finden sich überdies unterschiedliche Schwerpunktsetzungen hinsichtlich der FuE-Felder oder der Anwendungsbereiche. Und selbst bei der US-amerikanischen National Science Foundation (NSF), aus der die NBIC-Initiative hervorgegangen ist, finden sich vom NBIC-Konzept abweichende Konzeptionen.

Sowohl in Bezug auf die Konvergenzperspektive als auch hinsichtlich der stark visionären Perspektiven brachten die Initiativen zur Nanotechnologie eine neue Qualität des forschungs- und technologiepolitischen Diskurses hervor: Zum einen wurden die Konvergenzen zwischen der Physik, Chemie und Biologie noch einmal verstärkt betont, insbesondere auch in Bezug auf technologische Anwendungen und die Materialwissenschaft.<sup>12</sup> Zum anderen ist in den Diskussionen über Nanotechnologie um den Jahrhundertwechsel bereits die eigentümliche Doppelung der Konvergenzperspektive festzustellen, der die CT-Debatte bis heute stark prägt: Die Nanotechnologie wird sowohl als ein zentraler Bereich des Zusammenwachsens der drei klassischen Disziplinen sowie von Bio- und Informationstechnologien angesehen als auch als eines von drei, vier oder mehr konvergierenden Feldern, wobei neben den NBIC-Feldern z.B. die Mikrosystemtechnik oder auch Sozialwissenschaften genannt werden. Bedeutende Innovationen werden nun nicht mehr in den klassischen Disziplinen bzw. ›Kernwissenschaften‹ erwartet, sondern in den Verschmelzungs- und ›Grenzbereichen‹, die durch »solche Disziplinen wie Biotechnologie, Nanotechnologie, IuK-Technologien und auch Kognitionswissenschaften« markiert werden.<sup>13</sup> Zugleich verbreitete sich, ausgehend vor allem von den USA, eine Rhetorik, die das Zusammenfließen zentraler Wissenschaften und Technologien auf der Nanoebene mit starken Visionen verbindet, bis hin zur Voraussage eines neuen, ›hierarchischen‹ Verständnisses der Wirklichkeit ›von der Nanoebene bis zur kosmischen Ebene‹. Dabei erlangen

**12** | Vgl. European Commission (Research Directorate-General): *Joint EC/NSF Workshop on Nanotechnologies*, Luxemburg: European Commission 2001, S. 3; Paschen, et al., *Nanotechnologie. Forschung, Entwicklung, Anwendung*, 2004.

**13** | BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Mikrosystem. Rahmenprogramm zur Förderung 2006-2009*, Bonn: BMBF 2006, S. 33.

die Visionen des Nanofuturismus und Posthumanismus stärkere Beachtung. Sie reichen von Bildern eines paradiesischen Zustands globalen Wohlstands und des Weltfriedens bis hin zur Idee einer Ergänzung, Ersetzung oder Abschaffung der Menschheit durch posthumane Wesen.

Selbst wenn – wie z. B. in einer Definition des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) – zur Nanotechnologie vor allem »Forschungsgebiete aus der belebten und unbelebten Natur« gezählt werden,<sup>14</sup> die zu Anwendungen in der Energie-, Umwelt- und Informationstechnik führen (also unter Ausblendung der medizinischen Nanobiotechnologie, der Hirnforschung und stark visionärer Aspekte), handelt es sich bei »Nanotechnologie« um einen größenbezogenen Oberbegriff, in diesem Fall für unterschiedlichste Arten der Analyse und Bearbeitung von Materialien. Der Charakter als Oberbegriff hat konsequenterweise auch dazu geführt, dass mittlerweile oft von »Nanotechnologien und -wissenschaften« (also im Plural) die Rede ist. In der CT-Debatte erscheint nun aber nicht nur, in eigentümlicher Dopplung, die Nanotechnologie als ein konvergierendes Feld, sondern überdies noch die »Kognitionswissenschaft«, wobei es sich ebenfalls um einen Oberbegriff für ein stark multidisziplinäres Feld handelt.<sup>15</sup> »Konvergierende Technologien« fungieren somit als ein Sammelbegriff für den weitreichenden Oberbegriff »Nanotechnologie« und drei andere Begriffe, von denen zumindest einer, die »Cognitive Science«, ebenfalls ein weitreichender Oberbegriff ist. Diese Konzeption hat zu einer gewissen Unübersichtlichkeit der Konvergenzdebatte beigetragen, die durch weitere Spezifika des kognitionswissenschaftlichen Feldes noch verstärkt wurde. Man mag die daraus oftmals resultierende Verwirrung als produktiv begrüßen, da gerade durch sie international eine vielfältige politisch-akademische Diskussion über gesellschaftliche und ethische Aspekte aktueller wissenschaftlich-technologischer Entwicklungen in Gang gesetzt wurde. Es stellt sich aber dennoch zumindest die Aufgabe, die Rolle der »Kognitionswissenschaft« in der NBIC-Konvergenz näher zu bestimmen, unter Berücksichtigung der Vielfalt des Feldes. Diese Aufgabe wird weithin als Schlüsselproblem der Konvergenzthematik angesehen.<sup>16</sup> Von besonderer Bedeutung erscheinen in dieser Hinsicht

**14** | BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Nanotechnologie. Eine Zukunftstechnologie mit Visionen*, Bonn: BMBF o.J.

**15** | Vgl. Daniel Andler, V. Pagarde: *Cognitive science within Convergence: A first attempt at delineating the field in Europe*, (Deliverable D1.1 – Part B. Bericht des CONTECS-Konsortium an die Europäische Kommission gemäß Vertrag 028837), Brüssel: Europäische Kommission 2006.

**16** | Vgl. Paradiso Coskina, Y. Kaminorz: *Converging Technologies – Potentiale für Deutschland*, in: GMM/VDE/VDI(Hg.): *Mikrosystemtechnik Kongress 2005*, (10.-12. Oktober 2005, Freiburg), Berlin: VDE Verlag 2005, 313-316; Nordmann, *Converging Technologies*, 2004; Lars Heinze: *Converging Technologies for Smart Systems Integration. The Reinvention of the Engineering Sciences*, in: *MST News*, 2, 2007, 38-40.

die für Kognition relevanten Technologien, vor allem die Neurotechnologien, da sie gleichsam ein Bindeglied zwischen allen vier NBIC-Feldern sind.<sup>17</sup>

Auf jeden Fall wurde durch die in den USA erfolgte Aufnahme der ›Cognitive Science‹ in die NBIC-Quadrige zweierlei ausgelöst: Zum einen rückten bestimmte Bereiche der Hirnforschung und Neurotechnologien in den Mittelpunkt der Diskussion, z.B. neue Hirn-Computer-Schnittstellen (Brain-Computer Interfaces, BCI).<sup>18</sup> Zum anderen kamen – in Zurückweisung dieser Schwerpunktsetzung oder in Anknüpfung an sozial- und geisteswissenschaftliche Elemente der Kognitionswissenschaft – die Sozial- und Geisteswissenschaften sowie die Philosophie ins Spiel. Die dadurch erfolgte Betonung gesellschaftlicher und ethischer Aspekte naturwissenschaftlich-technologischer Konvergenzen und die Konzentration der CT-Debatte auf Anwendungen am Menschen kennzeichnen die wichtigsten Initiativen diesseits wie jenseits des Atlantiks.

Ein umfassendes Konzept konvergierender Technologien und Wissenschaften (bzw. ›Wissenssysteme‹) wurde von der hochrangigen Expertengruppe vorgelegt, die sich als erste Forschergruppe im Auftrag der EU mit der CT-Thematik befasst hat: Dabei stehen zwar immer noch die NBIC-Felder im Mittelpunkt des Interesses, aber deren Konvergenzen werden in einem Rahmen analysiert, der die ganze Vielfalt gegenseitig ›ermöglichender‹ (›enabling‹) Qualitäten und Funktionen moderner Wissenschaften und Technologien berücksichtigen will.

## 12.3 KONVERGENZBEREICHE

Im Folgenden wird – in enger Anlehnung an die Arbeit der erwähnten EU-Expertengruppe<sup>19</sup> – ein Überblick über angenommene Wechselwirkungen und einander ermöglichende (›enabling‹) Qualitäten konvergierender Wissenschaften und Technologien geboten. Überdies wird bereits kurz dargelegt, welche Beziehungen zwischen politischen Prioritäten der CT-Promotoren in den USA, dem Ursprungsland der Debatte, und der Annahme bestimmter Konvergenzen bestehen könnten.

**17** | Vgl. Torsten Fleischer, Michael Decker: Converging Technologies. Verbesserung menschlicher Fähigkeiten durch emergente Techniken?, in: Alfons Bora, Michael Decker, Armin Grunwald, et al. (Hg.): *Technik in einer fragilen Welt. Die Rolle der Technikfolgenabschätzung*, Berlin: edition sigma 2005, 121-132.

**18** | Vgl. Reinhard Merkel, G. Boer, J. Fegert, et al.: *Intervening in the Brain. Changing Psyche and Society*, Berlin u.a.: Springer 2007; Thomas Stieglitz, Stefan Rosahl: *Neuroelektrische Schnittstellen zum zentralen Nervensystem des Menschen*, Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages, Freiburg, 2005; Leonhard Hennen, R. Grünwald, C. Revermann, A. Sauter: *Einsichten und Eingriffe in das Gehirn. Die Herausforderung der Gesellschaft durch die Neurowissenschaften*, Berlin: edition sigma, 2008.

**19** | Vgl. Nordmann, *Converging Technologies*, 2004.

## Nanotechnologie

Die Nanotechnologie macht sich charakteristische Effekte und Phänomene zunutze, die im Übergangsbereich zwischen atomarer und mesoskopischer Ebene auftreten.<sup>20</sup> Auf der einen Seite gibt es den sog. ›Top-down‹-Ansatz, der vor allem in der Physik und physikalischen Technik dominiert: »Hier werden von der Mikrosystemtechnik ausgehend Strukturen und Komponenten immer weiter miniaturisiert. Dementsprechend wird die Mikrosystemtechnik von der Bundesregierung und anderen Akteuren als eine entscheidende ›ermöglichende‹ (›enabling‹) Technologie im Zusammenhang mit der NBIC-Konvergenz aufgefasst. Auf der anderen Seite steht der ›Bottom-up‹-Ansatz,

»bei dem immer komplexere Strukturen gezielt aus atomaren bzw. molekularen Bausteinen aufgebaut werden. Dieser Ansatz wird bislang eher durch die Chemie und Biologie repräsentiert, in denen der Umgang mit Objekten in der Nanometerdimension seit Langem vertraut ist. Charakteristisch ist beim Übergang auf die Nanometerskala, neben der zunehmenden Dominanz quantenphysikalischer Effekte, dass Oberflächen- bzw. Grenzflächeneigenschaften gegenüber den Volumeneigenschaften des Materials eine immer größere Rolle spielen.«<sup>21</sup>

Die Nanotechnologie erfordert somit einen hohen Grad an inter- und transdisziplinärer Kooperation und Kommunikation, da Konzepte aus der Physik, Chemie und Biologie ineinander greifen sowie die Methoden einer einzelnen Disziplin durch Verfahren und Fachkenntnisse aus den anderen Fachrichtungen ergänzt werden müssen.<sup>22</sup> Von ihrem Konzept her befruchtet die Nanotechnologie andere Technologien,

»weil sie einen gemeinsamen Rahmen für alle Konstruktionsprobleme bietet: Alles, was aus Molekülen besteht, kann grundsätzlich integriert werden. [...] Die Nanotechnologie befruchtet die Biotechnologie durch Entwicklung neuer Bildgebungsverfahren, Sonden und Sensoren. Sie erfüllt auch die Miniaturisierungsanforderungen der Informationstechnologie. Nanochips und Nanosensoren werden auch zu weiteren Fortschritten in der Bioinformatik führen.«<sup>23</sup>

## Informations- und Kommunikationstechnologien

Die Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) mit den zugehörigen Wissenschaften und Forschungsbereichen sind zusammen sowohl in theoretischen

---

**20** | Vgl. dazu und zum Folgenden: Paschen, et al., *Nanotechnologie*, 2004, S. 1ff.

**21** | Vgl. Paschen, et al., *Nanotechnologie*, 2004, S. 1f.

**22** | Paschen, et al., *Nanotechnologie*, 2004, S. 2.

**23** | Nordmann, *Converging Technologies*, 2004, S. 16.

scher als auch in praktischer Hinsicht für die anderen konvergierenden Felder relevant. Die Befruchtungen und ›Enabling‹-Funktionen zwischen den Info- und Biofeldern sind zahlreich. Ohne Zweifel basieren z.B. viele Fortschritte in der Biotechnologie und Hirnforschung auf den Möglichkeiten computertechnologischer Modellierung, Simulation und Visualisierung.<sup>24</sup> Oft konstatiert wird auch der disziplinenübergreifende Einfluss von Informationsbegriffen aus dem Bereich der Nachrichtentechnik, Kybernetik und Informatik, der Voraussetzung für viele dieser Einflüsse ist. Diese Begriffe haben z.B. maßgeblich die Entwicklung der Genetik mitbestimmt und spielen auch in den Neurowissenschaften sowie in der ›Synthetischen Biologie‹ noch eine wichtige Rolle, obwohl sie in der Biologie allgemein schon seit Längerem oft als rein metaphorisch eingestuft werden. Insbesondere hinsichtlich ihrer Nutzung in sozial- und geisteswissenschaftlichen Feldern werden auch grundsätzliche Einwände erhoben. Diese Einwände klingen in der CT-Debatte vielfach an,<sup>25</sup> z.B. was eine visionär aufgeladene Reduktion aller biologischen und sozialen Prozesse auf Information betrifft oder mit Blick auf die in den extremen Visionen aufscheinenden Selbstwidersprüche.<sup>26</sup>

## Biotechnologien und -wissenschaften

Die Biotechnologien und -wissenschaften befruchten in vielfältiger Weise andere FuE-Bereiche, insbesondere durch die Identifikation von chemischen und physikalischen Prozessen sowie algorithmischen Strukturen in lebenden Systemen, die auf ihre materielle Basis in Zellen und Genen zurückgeführt werden.<sup>27</sup> Es wird damit gerechnet, dass sie die IKT, z.B. durch Entwicklung der Grundlagen für DNA-gestützte Computersysteme befruchten. Die Nanobiotechnologie hat sich als disziplinenübergreifendes Teilgebiet der Nanotechnologie etabliert und dabei auch in der FuE-Förderung Relevanz erlangt.<sup>28</sup> Als ›Bionik‹ werden die vielfältigen Aktivitäten zur Übertragung von biologischen Lösungen auf technische Probleme bezeichnet, ein Feld, in dem sozusagen ›naturgemäß‹ eine Vielzahl von NBIC-Konvergenzprozessen feststellbar ist.<sup>29</sup> Im selbst stark visionären Diskurs

**24** | Vgl. Nordmann, *Converging Technologies*, 2004, S. 16.

**25** | Vgl. Nordmann, *Converging Technologies*, 2004, S. 16.

**26** | Vgl. Jaron Lanier: One-Half of a Manifesto. Why stupid software will save the future from neo-Darwinian machines, in: *Wired*, 8(12), 2000. URL: [www.wired.com/wired/archive/8.12/lanier\\_pr.html](http://www.wired.com/wired/archive/8.12/lanier_pr.html); Jean-Pierre Dupuy: *The Mechanization of Mind*, Princeton/Oxford: Princeton University Press 2000; Dupuy, Some Pitfalls in the Philosophical Foundations of Nanoethics, 2007.

**27** | Vgl. Nordmann, *Converging Technologies*, 2004.

**28** | Vgl. Paschen, et al., *Nanotechnologie*, 2004.

**29** | Vgl. Dagmar Oertel, A. Grunwald: *Potenziale und Anwendungsperspektiven der Bionik*, TAB-Arbeitsbericht Nr. 108, Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag 2006.

über die Genetik und Biotechnologie spielen Ideen zu einer weitreichenden Konvergenz mit den anderen NBIC-Feldern schon seit Längerem eine Rolle.<sup>30</sup>

Über diese Aspekte hinaus ist hier noch eine übergreifende Perspektive von Belang, die das Verhältnis zwischen den physikalischen und biologischen Wissenschaften betrifft: War lange Zeit die Physik Leitwissenschaft, sozusagen das ›Maß der Naturwissenschaft‹, wird seit geraumer Zeit häufig die Biologie,<sup>31</sup> wenn nicht als ›Leitwissenschaft‹ des 21. Jahrhunderts,<sup>32</sup> so doch wenigstens als die konzeptionell relevanteste Naturwissenschaft angesehen und entsprechend gefördert. Die Neurowissenschaften wiederum werden oft – zusammen mit der Molekularbiologie – als ein entscheidender Faktor in diesem Bedeutungszuwachs der Biologie betrachtet. Hieran knüpfen sich zum Teil mehr oder minder reduktionistische Vorstellungen an, dass die Analyse kognitiver wie auch soziokultureller Prozesse (also die »Erforschung des Menschen« im umfassenden Sinn) verstärkt auf biologisch-neurologischer Basis erfolgen kann.<sup>33</sup> Zumindest ein stark reduktionistischer Biologismus, wie er in der CT-Debatte von einem Hauptakteur der NBIC-Initiative in den USA vertreten wird,<sup>34</sup> stößt in großen Teilen der Sozial- und Geisteswissenschaften und Philosophie allerdings auf noch schärfere Kritik als der kybernetisch-informationstheoretische Reduktionismus.<sup>35</sup> Die NBIC-Initiative in den USA verband diese Reduktionismen mit den Visionen einer ›sozial-technologisch‹ einsetzbaren, sich der Hirnforschung und neuer IKT bedienenden empirischen Sozial- und Kulturwissenschaft sowie einer Art ›global brain‹ zusammenwachsenden Menschheit.

## Neurowissenschaften und -technologien

Neben diesen außerhalb der NBIC-Initiative wissenschaftlich eher randständigen Visionen werden mit den Neurowissenschaften und -technologien aber zudem Visionen verbunden, die durchaus auch im Mainstream des wissenschaftlichen

**30** | Vgl. z.B. Ernst & Young: *Convergence – The Biotechnology Industry Report (Millennium Edition)*, 2000.

**31** | Ernst Mayr: *Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt. Vielfalt, Evolution und Vererbung*, Berlin u.a.: Springer 1984, S. 35.

**32** | Vgl. BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Rahmenprogramm Biotechnologie – Chancen nutzen und gestalten*, Bonn: BMBF 2001.

**33** | Mayr, *Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt*, 1984, S. 35.

**34** | Vgl. William S. Bainbridge: *Converging Technologies*, (Präsentation auf dem Workshop ›Nanotechnology, Biotechnology, and Information Technology: Implications for Future Science at EPA‹ des U.S. Environmental Protection Agency Science Advisory Board, 01./02.12.2004), Washington 2004. URL: [www.epa.gov/sab/pdf/sab\\_workshop\\_bainbridge.pdf](http://www.epa.gov/sab/pdf/sab_workshop_bainbridge.pdf).

**35** | Vgl. z.B. Bunge, *Emergence and Convergence*, 2003.

und politischen Diskurses verbreitet sind.<sup>36</sup> Die Erforschung des menschlichen Gehirns, als des angeblich komplexesten bisher bekannten Systems, wird hier gleichsam zum Modell für FuE in den konvergierenden Wissenschaften und Technologien insgesamt. Dabei an Bereiche wie die KI-Forschung, Neuroinformatik und -robotik sowie Neurobionik kann angeknüpft werden, die selbst schon aus NBIC-Konvergenzprozessen hervorgegangen sind. Problematisch erscheint mit Blick auf die forschungspraktische und politische Relevanz des NBIC-Konzepts, dass durch die ›Herauslösung‹ des Neurobereichs aus dem Feld der Biowissenschaften und -technologien eine neue Konvergenz proklamiert wird, die nicht nur quer zu den meisten politischen Strukturierungen der FuE-Felder steht, sondern inhaltlich auch nur gerechtfertigt wäre, wenn man mit der Einbettung der Hirnforschung und Neurotechnologien in ein weites Konzept der Kognitionswissenschaften ernst machte.

### Kognitionswissenschaft

Die Kognitionswissenschaft in einem umfassenden Sinn verstanden, also unter Einbeziehung von Sozialwissenschaften, Psychologie und geisteswissenschaftlichen Disziplinen, wurde in der CT-Debatte zwar tatsächlich von verschiedenen Seiten als Schlüsselement wissenschaftlich-technologischer Konvergenzprozesse ins Spiel gebracht. Mit der Aufwertung der Kognitionswissenschaft zu einem von vier konvergierenden FuE-Schlüsselfeldern handelt man sich aber zum einen das Problem ein, dass ein Großteil der angestrebten sozial- und geisteswissenschaftlichen Forschung zu naturwissenschaftlich-technischen Konvergenzprozessen in Anknüpfung an die kognitionswissenschaftliche Tradition erfolgen müsste, die zwar in sich sehr vielfältig ist, gleichwohl methodisch, thematisch und hinsichtlich ihrer theoretischen Ressourcen keineswegs die Sozial- und Geisteswissenschaften in ihrer Breite abbildet.<sup>37</sup> Zum anderen ist zu beachten, dass das Konzept der ›cognitive science‹, das die US-amerikanische NBIC-Initiative vertritt, nicht nur die Neurotechnologien sehr stark betont, sondern überdies von dieser dazu genutzt wurde, fragwürdige Ideen zu einer sozialtechnologischen Steuerung gesellschaftlicher und kultureller Prozesse in ihr visionäres Programm zu integrieren.

### Sozial- und Geisteswissenschaften sowie Philosophie

Auf jeden Fall wird, nicht nur bezogen auf die Kognitionswissenschaften, in der Konvergenzdebatte den Sozial- und Geisteswissenschaften und der Philosophie eine konzeptionell hohe Bedeutung beigemessen. Dies war bei verschiedenen

**36** | Vgl. Merkel, et al., *Intervening in the Brain*, 2007; Hennen, et al., *Hirnforschung*, 2007.

**37** | Vgl. Andler, Pagarde, *Cognitive science within Convergence*, 2006.

internationalen Akteuren der Fall – z.T. (wie in den USA) unter besonderer Betonung der Systemanalyse und Komplexitätsforschung –, insbesondere aber auf EU-Ebene. So wurde in der für die EU-Aktivitäten zentralen CTEKS-Agenda<sup>38</sup> die Liste von sich gegenseitig befruchtenden Schlüsseltechnologien und Wissenssystemen, um die Kognitionswissenschaft, die Umweltwissenschaft, die Systemtheorie und die Sozial- und Geisteswissenschaften einschließlich Philosophie, Wirtschaft und Recht erweitert.<sup>39</sup> Von ihrem Konzept her könnten die Geistes-, Sozial- und Humanwissenschaften auf verschiedene Weise befruchtend wirken: Bekannte Beispiele seien die Spieltheorie, Strategien zur Maximierung von Gewinnen und zur Minimierung von Kosten, Modelle zu wirtschaftlichen Formen des Austauschs, Mustererkennung durch den Menschen oder durch Maschinenintelligenz sowie die Semiotik als allgemeine Zeichentheorie der vom Menschen und durch die Natur produzierten Zeichen. Diese Wissenschaften böten Verfahren zum probabilistischen Schließen und zu statistischen Schlussfolgerungen, Methodologien für qualitative Forschung und ein Verständnis der Gesellschaftsdynamik bei der Schaffung und Verbreitung von technologischen Innovationen. Wirtschaft und Recht befruchteten Forschung und Entwicklung, indem sie die Anreize für die Unterstützung und Verbreitung definieren. Und Philosophie, Kulturwissenschaften und Ethik böten Orientierung, wenn neue Technologien traditionelle Lebensweisen zerstören. Überlegungen dieser Art führen zu einer Konzeption wissenschaftlich-technologischer Konvergenz, in der die Sozial-, Geistes- und Kognitionswissenschaften gleichsam den Rahmen für NBIC-Konvergenzen und deren gesellschaftliche Anwendungen bilden.

## 12.4 KONVERGENZANWENDUNGEN

### Biomedizinischer Bereich

Seit Beginn der 2000er Jahre wurden auch in Bezug auf den biomedizinischen Bereich neue Konvergenzkonzepte thematisiert, insbesondere in kanadischen Aktivitäten.<sup>40</sup> In diesem Bereich werden oft besonders große sozioökonomi-

**38** | Nordmann, *Converging Technologies*, 2004; Alfred Nordmann: European Experiments, in: *Osiris* 24(1), 2009, 278-302.

**39** | Vgl. Nordmann, *Converging Technologies*, 2004, S. 16f.

**40** | Vgl. z.B. Michael Mason, S. Fantechi, R. Tomellini: *EuroNanoForum 2005. Nanotechnology and the Health of the EU Citizen in 2020*, (European and International Forum on Nanotechnology), Edinburgh 2006. URL: [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/euronanoforum2005\\_proceedings.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/euronanoforum2005_proceedings.pdf); Ascher Shmulewitz, R. Langer, J. Patton: Convergence in Biomedical Technology, in: *Nanobiotechnology*, 24(3), 2006, 277-281.

sche Potenziale gesehen, z.B. mit Blick auf die sog. ›alternden Gesellschaften‹.<sup>41</sup> Unter dem Label ›Convergent Medical Technologies‹ (CMT) – mit Bezügen zu den Labels ›Kombinationsprodukte‹ und ›Biodevices‹ – wurden z.B. von einigen privatwirtschaftlichen und universitären Akteuren in Kanada und in rein angelsächsischen Ländern die Implikationen von Konvergenzprozessen der Biowissenschaften und -technologien mit der Nanotechnologie, den IKT, der Robotik, der Materialwissenschaft und anderen Bereichen diskutiert. Sie sind insofern hinsichtlich der Strukturierung von technologischen Konvergenzbereichen von Interesse, weil sie im Gegensatz zu zentralen Akteuren der CT-Debatte auf EU-Ebene und in den USA den Fokus auf das biotechnologische und -wissenschaftliche Feld legen. Die CMT werden z.B. definiert als Resultate von Synergien von zwei oder mehr Technologien, durch die neue, hybride Geräte, Prozesse oder Produkte entstehen, die in den Bereichen Gesundheitsvorsorge und -überwachung, Diagnose, Therapie, oder ›funktionelles Enhancement‹ eingesetzt werden können.<sup>42</sup> Dabei gehe es nicht um einfache Kombinationsprodukte, sondern tendenziell um ›disruptive‹, also schnell massive Veränderungen auslösende Technologien. In diesen Aktivitäten wie auch in Foresight-Aktivitäten der kanadischen Regierung stellt man eine Distanz bzw. ein partielles Abrücken vom NBIC-Konvergenzkonzept fest, zugunsten einer Strukturierung technologischer Felder nach NBI-Konvergenzen, in die neurotechnologische Anwendungen und Visionen integriert werden. Genau dieses Konzept wurde auch von dem Ingenieur und Raketenexperten Abdul Kalam im Jahr 2006, also während seiner Amtszeit (2002-2007) als Staatsoberhaupt Indiens, propagiert. Dabei wird der Ansatz, sich kognitionswissenschaftlicher Erkenntnisse für die medizintechnische Entwicklung zu bedienen nicht ausgeschlossen, findet aber in der Systematik keinen Platz.<sup>43</sup> Kritisch wird in Bezug auf die Nutzung des Konvergenzkonzepts im biomedizinischen Bereich u.a. angemerkt, dass technologische Konvergenzprozesse in den Life Sciences und der Medizin schon immer entscheidend für Innovationen gewesen seien, dass durch ein Schüren von Erwartungen an Konvergenz womöglich ein übertrieben optimistisches Bild der Zukunft entstehe (für einen stark visionären

**41** | Vgl. EC IPTS European Commission Directorate-General Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies: *Foresight on Information Society Technologies for The European Research Area (FISTERA). Key Findings*, IPTS Technical Report EUR 22319 EN, Brüssel: Europäische Kommission 2006.

**42** | Vgl. John Soloninka: *Convergent Medical Technologies. Local Impacts, Global Opportunities*, (Präsentation auf dem YORKBiotech Inaugural Meeting, York University, Toronto), 2005. URL: [www.htx.ca/downloadfile.aspx?id=7bfe1aa8-b3a9-4cc6-9c55-50832f5fffe2](http://www.htx.ca/downloadfile.aspx?id=7bfe1aa8-b3a9-4cc6-9c55-50832f5fffe2).

**43** | Vgl. Klaus-Peter Hoffmann, M. Schweigmann: The Convergence of Nano, Bio, Information Technologies and Cognitive Sciences in Biomedical Engineering, in: *MST News*, 2, 2007, 40-43.

Optimismus)<sup>44</sup> und dass dadurch wiederum die Komplexität menschlicher Biologie und konkrete Anwendungsmöglichkeiten aus dem Blick geraten könnten.<sup>45</sup>

## Bionik

Wenn man Bionik als die Gesamtheit der Versuche begreift, »mit wissenschaftlichen Mitteln ›von der Natur‹ für technische Problemlösungen zu lernen« so kann mit den neuen NBIC-Konvergenzen auch die Entstehung einer ›neuen Bionik‹ konstatiert werden.<sup>46</sup> (Durch ihr besonderes Interesse an Mensch-Maschine-Schnittstellen, Robotik und Prothetik ist zudem die FuE, die im englischen Sprachraum unter den Begriffen ›bionics‹ bekannt ist, auf das Engste mit NBIC-Konvergenzen verbunden.) Bionische Prinzipien sollen nun zu verschiedensten Zwecken auf der Nanoskala erneut zur Anwendung kommen. Die neue Bionik umfasst dabei u.a. Nanobionik, Neurobionik und Prothetik sowie das Natural Computing. Auch hier lässt sich der Trend feststellen, dass durch Fortschritte in der NBIC-Konvergenz und insbesondere durch die Etablierung der Nanotechnologie als ein zentrales FuE-Feld interne Umgruppierungen oder ›Neuerfindungen‹ älterer FuE-Bereiche stattfinden (wie z.B. auch im Fall der Toxikologie).<sup>47</sup>

Die Nanobionik, bei der Abgrenzungsschwierigkeiten nicht nur hinsichtlich der (noch weitgehend aus Grundlagenforschung bestehenden) Nanobiotechnologie, sondern auch hinsichtlich der Gentechnik existieren, ist vor allem für den sog. ›Nano2Bio‹-Bereich relevant, der u.a. das ›Natural Computing‹ und die Konstruktion technisch-biologischer Schnittstellen, z.B. auch für Neuroimplantate und Prothesen, voranbringen soll. Zwar ist die Prothetik für die deutsche Bionik mehrheitlich immer noch ein Grenzbereich, tatsächlich bedienen sich aber zahlreiche Forschungsprojekte in diesem Anwendungsbereich der bionischen Prinzipien, auch einige in der CT-Debatte im Zentrum Stehenden. Auch in der öffentlichen Wahrnehmung und bei Firmen, die entsprechende Produkte anbieten, werden Prothesen häufig mit der Bionik assoziiert. Die Neurobionik ist ebenfalls ein unklar definiertes Konzept. Es bezieht sich in der Forschung zumeist auf die inspirierende Funktion der Neurobiologie und biologischen Kybernetik für die

**44** | Vgl. z.B. Ernst & Young, *Convergence – The Biotechnology Industry Report (Millennium Edition)*, 2000.

**45** | Shmulewitz, Langer, Patton, *Convergence in Biomedical Technology*, 2006, S. 280f.

**46** | Vgl. Oertel, Grunwald, *Potenziale und Anwendungsperspektiven der Bionik*, 2006, 5; vgl. dazu und zum Folgenden Rüdiger Haum, O. Levina, U. Petschow, et al.: *Potenziale und Anwendungsperspektiven der Bionik, Themenfeld 2: Die Nähe zur Natur als Chance und als Risiko*, (Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages Berlin), IÖW, GL Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH, Universität Bremen, Technikgestaltung und Technologieentwicklung, 2005.

**47** | Vgl. Monika Kurath, S. Maasen: *Toxicology as a nanoscience? – Disciplinary identities reconsidered*, in: *Particle and Fibre Toxicology*, 3:6, 2006.

Robotik, also auf die mögliche Vorbildfunktion natürlicher Informationsverarbeitung für technische Systeme. Schließlich erlebt die Bionik auch durch das ›Natural Computing‹ einen starken Schub, da dort auf verschiedene Weise bionische Prinzipien zur Verbesserung von IKT eingesetzt werden. Neben zwei älteren FuE-Bereichen – dem ›evolutionary computing‹, das seine Algorithmen an Evolutionsmechanismen orientiert, und dem ›neural computing‹, bei dem neuronale Netze imitiert werden – erscheint aus der Konvergenzperspektive auch das relativ neue ›DNA computing‹ relevant. Bei diesem werden DNA-Moleküle als Hardwarebestandteile genutzt. Aus Sicht der Bionik, so wie sie im deutschen Sprachraum begriffen wird, lässt sich also durch NBIC-Konvergenzprozesse sowohl eine Zunahme der Nutzung bionischer Prinzipien feststellen als auch ein Hinausgehen über diese: Mit dem Aufkommen der ›neuen Bionik‹ im Kontext von NBIC-Konvergenzen und anderen Entwicklungen (wie der ›Synthetischen Biologie‹) wird aus dem Lernen von der Natur und ihrer Imitation für die Herstellung unbelebter Artefakte zunehmend ein Bauen neuer Brücken zwischen Belebtem und Unbelebtem oder eine Modifikation natürlicher Prozesse und Strukturen für Designzwecke bis hin zur Vision einer technischen Erschaffung biologischer Entitäten gleichsam ›von Grund auf‹.

## Neurotechnologien

Die Visionen und neuen Möglichkeiten im Bereich der Neurotechnologien haben sich im Wesentlichen außerhalb des Bionikkontexts (im Sinn des deutschen Begriffs der Bionik) entwickelt<sup>48</sup> – auch wenn das ›Lernen von der Natur‹ in verschiedenen Traditionen und neuen Entwicklungen der Info-Neuro-Konvergenz eine zentrale Rolle spielt. Im neurotechnologischen Feld stehen z.T. bereits seit Langem eingeführte neuroprothetische Hilfsmittel für Personen mit Behinderungen neben Neuentwicklungen (insbesondere für den Ersatz sensorischer Leistungen) sowie Ansätzen und Visionen zur Realisierung komplexer Mensch-Maschine-Schnittstellen, die sozusagen das biologische System Gehirn direkt mit informationstechnischen Systemen koppeln sollen. Neue Hirn-Maschine-Schnittstellen, Prothesen zur Kompensation sensorischer Einschränkungen und Verbesserung motorischer Fähigkeiten sowie Visionen zu kognitiv leistungssteigernden Implantaten gehören zugleich – insbesondere vor dem Hintergrund der ›Human-Enhancement‹-Thematik – zu den zentralen Themen der CT-Debatte (Schaper-Rinkel 2008). Die weitreichenden Visionen überschatten dabei hinsichtlich der ethisch-gesellschaftlichen Implikationen oft die aktuellen oder weniger futuris-

**48** | Vgl. zum Folgenden z.B. Thomas Stieglitz, Stefan Rosahl: *Neuro-elektrische Schnittstellen zum zentralen Nervensystem des Menschen*, (Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages), Freiburg 2005.

tischen Eingriffsmöglichkeiten.<sup>49</sup> Neuroelektrische Schnittstellen sind im Konvergenzzusammenhang relevant, weil mit ihnen eine vor allem informationstechnische Unterstützung oder der technische Ersatz motorischer, sensorischer und kognitiver menschlicher Funktionen angestrebt werden kann. Invasive Brain-Machine Interfaces (BMI), bei denen Elektroden in das Gehirn implantiert werden, ermöglichen zumindest derzeit noch eine wesentlich höhere Flexibilität und Präzision von Bewegungen als beim Einsatz von Oberflächen Elektroden. Es wird sogar vermutet, dass besonders effektive, zukünftige Technologien zur Verbesserung kognitiver Fähigkeiten Neuroimplantate (trotz ihrer Risiken) auch für sensorisch oder psychisch unbeeinträchtigte Menschen attraktiv machen könnten.

Insbesondere auch in der NBIC-Initiative wurde die Erwartung geäußert, dass die neuro-technologische FuE von Fortschritten der Nanotechnologie profitieren werde.<sup>50</sup> Miguel Nicolelis, ein frühzeitig an der NBIC-Initiative beteiligter Wissenschaftler, hat z.B. Pionierforschung mit dem Ziel betrieben, Gelähmten oder Amputierten für ihre Prothesen ein vollständig implantierbares Aufzeichnungssystem zur Verfügung zu stellen, das drahtlos multiple Ströme elektrischer Signale von Tausenden Neuronen zu einer avancierten Brain-Computer-Schnittstelle (brain-computer interface, BCI) überträgt.<sup>51</sup> Fraglich ist allerdings noch, ob größere ökonomische Potenziale im BCI-Bereich und anderen Neurotechnologien bestehen,<sup>52</sup> selbst wenn man die umstrittene visionäre Möglichkeit eines Marktes für nichttherapeutische Zwecke (»Human Enhancement«) berücksichtigte. Aus NBIC-Konvergenzperspektive erscheinen verschiedene Neurotechnologien als avancierte Formen der BIC-Konvergenz, bei denen eine Integration nanotechnologischer und -wissenschaftlicher Elemente für möglich gehalten wird. Die Neurotechnologien können so als ein Schlüssel zum Verständnis der CT-Debatte begriffen werden, insbesondere wenn man sie innerhalb eines weit gefassten Konzepts der Kognitionswissenschaften situiert.

**49** | Vgl. z.B. Martha J. Farah, J. Illes, R. Cook-Degan, et al.: Neurocognitive enhancement: what can we do and what should we do?, in: *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 2004, 421-425.

**50** | Vgl. z.B. Rodolfo Llinás, K. Walton, M. Nakao, et al.: Neuro-vascular central nervous recording/stimulating system: Using nanotechnology probes, in: *Journal of Nanoparticle Research*, 7(2-3), 2005, 111-127.

**51** | Vgl. Mikhail A. Lebedev, M.A.L. Nicolelis: Brain-machine interfaces: past, present and future, in: *Trends in Neurosciences*, 29(9), 2006, 536-546.

**52** | Vgl. Norbert Malanowski: Converging Applications, in: *MST News*, 2, 2007, 43-45; Leonhard Hennen, C. Coenen: *ITA-Monitoring »Nichtmedizinische Anwendungen der Neurowissenschaften«*, (Pre-Print) Karlsruhe: ITAS 2011; [www.itas.fzk.de/deu/lit/epp/2011/heco11-pre01.pdf](http://www.itas.fzk.de/deu/lit/epp/2011/heco11-pre01.pdf).

## 12.5 AKTUELLE ENTWICKLUNGEN UND AUSBLICK

Zum Teil im direkten Anschluss an die frühe Konvergenzdiskussion der ersten Hälfte und Mitte der 2000er haben – neben verschiedenen Forschungsprojekten (auf EU- und nationaler Ebene) und wissenschaftlichen Konferenzen (insbesondere in der Philosophie und in der Technikfolgenabschätzung) – verschiedene Initiativen das NBIC-Konzept oder ähnliche Konvergenzkonzepte in jüngerer Zeit genutzt.<sup>53</sup> Zudem hat die Konvergenzdebatte zur Entstehung eines selbstreflexiven Diskurses in der politikberatungsnahen Forschung zu stark visionär aufgelaadenen neuen und emergierenden Technologiefeldern beigetragen.<sup>54</sup>

Mit Blick auf die in den letzten Jahren verstärkt untersuchte Rolle von Zukunftsvisionen in Diskursen über Naturwissenschaft und Technik ist das Beispiel der Synthetischen Biologie von besonderem Interesse. Bereits im Jahr 2007 hatten sich zu den Communities der Synthetischen Biologie oder der Nanotechnologie zählende Wissenschaftler unter dem Titel *The Merging of Bio and Nano: Toward Cyborg Cells* mit den möglichen Implikationen einer Konvergenz von Nanotechnologie und Synthetischer Biologie auseinandergesetzt, u.a. unter Beteiligung von Steven Chu, Nobelpreisträger für Physik und seit 2009 US-Energieminister, Phillip Ball, einem einflussreichen Wissenschaftsjournalisten, sowie des renommierten, auch als Politikberater tätigen Physikers Freeman Dyson, der als eine Schlüsselfigur des modernen technikvisionären Denkens gelten kann. Ergebnis des Symposiums war das Ilulissat Statement, dessen Untertitel wiederum *Synthesizing the Future. A vision for the convergence of synthetic biology and nanotechnology* lautet.<sup>55</sup> Die Unterzeichner betonten, dass wir derzeit eine Konvergenz erleben, in der die Molekularbiologie die Nanotechnologie inspiriere und ihr Komponenten bereitstelle, während durch die Nanotechnologie der Zellbiologie neue Werkzeuge und Techniken zur Verfügung ständen. Hierbei handele es sich nicht um bloß akademische Themen: Für globale Probleme wie den Klimawandel und für die Herausforderungen in zentralen Bereichen wie Energie, Gesundheit

**53** | Besonders bemerkenswert war hier die erstaunlich unreflektierte Übernahme der US-amerikanischen und anderer, auch transhumanistischer Visionen in der 2009 durchgeführten, bedeutenden deutschen Wissenschaftskommunikationsinitiative »Expedition Zukunft«. Vgl. dazu Christopher Coenen: Zauberwort Konvergenz, in: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, 18(2), 2009, 44-50.

**54** | Vgl. z.B. Armin Grunwald: Converging technologies: visions, increased contingencies of the condition humana, and search for orientation, in: *Futures* 39(4), 2007, 380-392; Karen Kastenhofer: Do we need a specific kind of technoscience assessment? Taking the convergence of science and technology seriously, in: *Poiesis & Praxis* 7, 2010, 37-54; Alfred Nordmann: European Experiments, in: *Osiris*, 24, 2009, 278-302.

**55** | Vgl. zu Informationen über das Treffen: [www.kavlifoundation.org/kavli-futures-symposium-report-2007](http://www.kavlifoundation.org/kavli-futures-symposium-report-2007).

und Wasser biete die Synthetische Biologie Lösungen, dabei von der Nano-Bio-Konvergenz profitierend.

Auch im Bereich der Protozellen-Forschung, einem nicht unumstrittenen Bereich der Synthetischen Biologie, spielt das Konvergenzkonzept eine gewisse Rolle. Dies hat wiederum dazu beigetragen, dass im Feld der Technikfolgenabschätzung Versuche unternommen wurden, das NBIC-Konzept zur Analyse umfassender Entwicklungen im naturwissenschaftlich-technischen Bereich einzusetzen.<sup>56</sup> Hierbei lag der Fokus auf Tendenzen, die eine zunehmende Annäherung bis hin zu einer Verschmelzung von Leben und Technik signalisieren könnten. Die NBIC-Konvergenz wurde als ein Schlüsselfaktor in der Entwicklung und Organisation der Naturwissenschaften gedeutet, da sie eine zunehmende Interaktion der physikalischen und biologischen Wissenschaften signalisiere. Dieser Prozess lasse sich mit Blick auf zwei Megatrends im ›bio-engineering‹ analysieren,<sup>57</sup> die zusammengenommen eine neuartige ingenieurswissenschaftliche Herangehensweise an das Leben darstellten: Biologie werde Technologie, und Technologie werde Biologie. Der erstgenannte Trend impliziere oder verspreche neue Eingriffsarten, mit denen die Manipulierbarkeit lebender Organismen, einschließlich des menschlichen Körpers und speziell des Gehirns, noch weiter zunehme. Der Trend ›technology becoming biology‹ signalisiere hingegen einen aktuellen sowie zukünftig zu erwartenden Zuwachs an lebensartigen oder -ähnlichen Artefakten, einschließlich neuartiger Implantate. Beide Trends trügen dazu bei, dass vertraute Grenzen zwischen Wissenschaft und Ingenieurwesen, Lebendem und Leblosem, Therapie und Enhancement, Technik und Natur sowie Mensch und Maschine verwischen. Weil die NBIC-Konvergenz eine Herausforderung für grundlegende Kategorien des Weltverständnisses und des menschlichen Selbstverständnisses darstelle, verursache sie in Teilen der Gesellschaft Unbehagen und die Diskussion über sie berühre zentrale Wertvorstellungen. Die These einer Konvergenz von Biologie und Technologie stellt indes eine weitere Verallgemeinerung dar, die, obwohl in mancherlei Hinsicht nützlich, nicht den Blick auf den Umstand verstellen sollte, dass in vielen der angesprochenen Entwicklungen, z.B. der Robotik, nicht Leben technisch erzeugt wird, sondern Leben höchstens imitiert wird, und dass mehrere Ansätze, deren Existenz die These stützen, z.B. das Verständnis der Biologie als künftiger Ingenieurswissenschaft, in den jeweils betroffenen Disziplinen keineswegs unumstritten sind.

Es bleiben zudem bereits Schwierigkeiten bei der Konzeption der NBIC-Felder als konvergierenden Technologien und Wissenschaften bestehen: Zum einen ist

**56** | Rinie Van Est, D. Stermerding (Hg.): *Making Perfect Life. European Governance Challenges in 21st Century Bio-engineering*, Brüssel: Europäische Union 2012; [www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2012/471574/IPOL-JOIN\\_ET%282012%29471574\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2012/471574/IPOL-JOIN_ET%282012%29471574_EN.pdf).

**57** | Hierbei beziehen sich Van Est und Stermerding auf: W. Brian Arthur: *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves*, London: Allen Lane 2009.

die Abgrenzung der Nanotechnologie von den CT schwierig, da die Nanotechnologiediskussion Pate für die Konvergenzdebatte stand und insofern vieles, was die CT auszeichnen soll, bereits für »die Nanotechnologie« behauptet wurde. Zum anderen bringt die Aufnahme der Kognitionswissenschaft unter die vier konvergierenden FuE-Schlüsselfelder, unter starker Betonung der Hirnforschung und Neurotechnologien, eine Reihe konzeptioneller Probleme mit sich. Insgesamt gesehen stellt sich hier die Frage, was das NBIC-Konzept für Vorteile gegenüber einem Verständnis des Zusammenspiels der vier Felder aufweist, bei dem die B-I-Konvergenz im Mittelpunkt steht, die Tendenzen zunehmender Miniaturisierung und des Bedeutungszuwachses der Mikro- und Nanoebene berücksichtigt werden und die nicht auf das Biologische reduzierbare Besonderheit menschlicher Hirntätigkeit anerkannt bleibt. Überdies sollte nicht aus dem Blickfeld geraten, dass sich Konvergenzen mit hochinnovativen Resultaten auch weitgehend innerhalb eines NBIC-Feldes oder unter maßgeblicher Beteiligung anderer Felder (wie z.B. der Materialwissenschaft) vollziehen können.<sup>58</sup>

Ebenfalls oft unklar bleibt, was eigentlich Konvergenzen ausmacht. Kritisch wurde z.B. angemerkt, dass schon allein die im Diskurs über Nanotechnologie verwendeten Konzepte von Inter- und Transdisziplinarität vage blieben, weshalb die NBIC-Vision der US-Initiative gänzlich naiv sei.<sup>59</sup> Spekulative Interdisziplinarität wurde als eine spezifische Schwäche der NBIC-Debatte und ähnlicher Diskussionen kritisiert.<sup>60</sup>

Die Unschärfe vieler Konvergenzkonzepte dürfte zum Teil gewollt oder zumindest billigend in Kauf genommen worden sein, um erst einmal eine politisch relevante Breite des Diskurses zu erreichen. Zugleich dienen auch die mehr oder weniger diffusen Hoffnungen, Ängste oder Bedenken hinsichtlich der anthropologischen und gesellschaftlichen Implikationen der NBIC-Technologie (einschließlich der weitreichenden transhumanistischen Visionen) zur Erzeugung von Aufmerksamkeit, in einer Art von technikvisionärem Marketing.<sup>61</sup>

Vor diesem Hintergrund könnte es sinnvoll sein, eine Hierarchisierung vorzunehmen, bei der zum einen zwischen klassischen Disziplinen (z.B. Chemie), etablierten interdisziplinären FuE-Feldern (z.B. Biotechnologie) sowie neueren

**58** | Vgl. z.B. Maurits Doorn (Hg.): *Converging Technologies*, (STT 71), Den Haag: Study Centre for Technology Trends 2006.

**59** | Vgl. Joachim Schummer: Interdisciplinary Issues in Nanoscale Research, in: Davis Baird, A. Nordmann, J. Schummer (Hg.): *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam: IOS Press 2004, 9-20.

**60** | Michael Rader: The jobs of others: »speculative interdisciplinarity« as a pitfall for impact analysis, in: *Journal of Information, Communication and Ethics in Society* 10(1), 2012, 4-18.

**61** | Vgl. Christopher Coenen: Extreme Technikvisionen als Verantwortungsproblem, in: Bartosch, Litfin, Braun, et al., *Verantwortung von Wissenschaft und Forschung in einer globalisierten Welt*, 2011, 231-255.

konvergenten FuE-Bereichen (z.B. Neuroinformatik) unterschieden wird, zum anderen zwischen ›starken‹ und ›schwachen‹ Konvergenzen. Zu Letzteren könnte z.B. der Einsatz von IKT als bloßen Hilfsmitteln in anderen Feldern gezählt werden, während die Nutzung von Informationstechnik für neuroelektrische Schnittstellen ein Beispiel für starke Konvergenz wäre. Daneben ließe sich eine Konvergenz per Inspiration berücksichtigen, bei der z.B. Konzepte aus einem Feld Bedeutung in einem anderen Feld erlangen. Besonderes Interesse verdient auch die Dialektik von Konvergenzen und Divergenzen, also die Dynamik von Synergien, Fusionen und Ausdifferenzierungen in und zwischen FuE-Bereichen.<sup>62</sup>

Schließlich stellt sich die Frage, ob nicht – insbesondere eingedenk des weithin angestrebten Ziels der Förderung innovativer inter- und transdisziplinärer bzw. felderübergreifender FuE – ein allgemeines Konvergenzkonzept politisch nützlicher wäre als ein auf bestimmte Felder beschränktes (wie das NBIC-Konzept). So böte ein gleichsam technologieneutrales und disziplinenunabhängiges Konzept – z.B. auf Basis des auf gegenseitig ›ermöglichende‹ (›enabling‹) Funktionen und Qualitäten abstellenden CTEKS-Konzepts – womöglich den Vorteil, dass ein von partikularen Interessen an Förderung und von ›Hypes‹ wenig tangiertes Instrument eingesetzt würde. Die Gefahr wäre dann geringer, dass Innovationen in bestimmten Bereichen in ihrer Bedeutung überschätzt und in anderen unterschätzt oder ignoriert werden. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der US-amerikanischen NBIC-Initiative, die anscheinend weniger ein Vorstoß zur Analyse und Beförderung wissenschaftlich-technischer Innovationen und ihrer gesellschaftlichen Nutzbarmachung war als vielmehr ein Vehikel zur Akzeptanzbeschaffung für eine spezifische technofuturistische Weltanschauung. Im Rahmen eines problemorientierten Interdisziplinaritätskonzepts, wie es auch der CTEKS-Agenda zugrundeliegt,<sup>63</sup> könnte ein Konvergenzparadigma – befreit von weltanschaulich grundierten Einheitswissenschaftsvisionen – eine nützliche Rolle spielen. Konkretion würde dann nicht durch den in vielerlei Hinsicht fragwürdigen Fokus auf die NBIC-Felder erreicht, sondern durch eine sorgfältige, anwendungsorientierte Relevanzprüfung der vielfältigen Konvergenzprozesse.

**62** | Vgl. z.B. Bunge, *Emergence and Convergence*, 2003.

**63** | Vgl. Nordmann, *Converging Technologies*, 2004; Jan C. Schmidt: Knowledge Politics of Interdisciplinarity, in: *Innovation*, 20(4), 2007, 313-328.