

Christian Kehrt, Peter Schüßler, Marc-Denis Weitze (Hg.)
Neue Technologien in der Gesellschaft

CHRISTIAN KEHRT, PETER SCHÜSSLER,
MARC-DENIS WEITZE (Hg.)

Neue Technologien in der Gesellschaft

Akteure, Erwartungen, Kontroversen und Konjunkturen

[transcript]

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2011 transcript Verlag, Bielefeld

Die Verwertung der Texte und Bilder ist ohne Zustimmung des Verlages urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt auch für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und für die Verarbeitung mit elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: Kordula Röckenhaus, Bielefeld

Umschlagabbildung: Covermotiv Created by Michael Ströck (mstroeck) (Quelle: Wikipedia), Detail

Lektorat: Birgit Heilbronner, Andrea Lucas, Dorothee Messerschmid

Satz: Steven Wakat

Druck: Majuskel Medienproduktion GmbH, Wetzlar

ISBN 978-3-8376-1573-9

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier mit chlorfrei gebleichtem Zellstoff.

Besuchen Sie uns im Internet: <http://www.transcript-verlag.de>

Bitte fordern Sie unser Gesamtverzeichnis und andere Broschüren an unter: info@transcript-verlag.de

Inhalt

Grußwort

Wolfgang M. Heckl | 9

Einleitung: Neue Technologien in der Gesellschaft

Christian Kehrt, Peter Schüßler, Marc-Denis Weitze | 11

I. ZUM BEGRIFF DER NEUEN TECHNOLOGIEN

Was ist neu an der Neuen Technologie?

Klaus Kornwachs | 27

Das Neue in historischer Perspektive

Joachim Radkau | 49

Neue Technologien, neue Technikfolgen: Ambivalenz, Komplexität und Unsicherheit als Herausforderungen der Technikfolgenabschätzung

Ortwin Renn | 63

Neue Wissenstechnologien

Alfred Nordmann | 77

II. HANDLUNGSLEITENDE VISIONEN DER ENERGIEVERSORUNG

Verfügbarkeit – eine zentrale Kategorie der Energietechnik

Frank Dittmann | 91

Das Neue aufrechterhalten:

Die „neue Kerntechnik“ in historischer Perspektive

Per Högselius | 101

Die Kernfusion als eine Energie für die Zukunft

Sibylle Günter, Isabella Milch | 117

Von Netzen und Inseln:

Neue Energieversorgungssysteme für die Welt

Frank Behrendt, Kristina Bognar | 127

Ist die Windenergienutzung eine Neue Technologie?

Matthias Heymann | 141

**Brennstoffzellen zwischen Euphorie und Ernüchterung:
Versprechen Neuer Technologien und ihre Bedeutung für
Akteursstrategien**

Kornelia Konrad | 155

III. DENKENDE MASCHINEN.

**DIE GESELLSCHAFTLICHE ANEIGNUNG
DER INFORMATIONS- UND
KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE**

**Computer als Neue Technologie –
Vom Rechner zu integrierten IuK-Systemen**

Klaus Mainzer | 177

**Ubiquitous Computing:
Intelligente Objekte in Beruf und Alltag**

Otthein Herzog | 191

**Software Engineering: Potenziale einer
immateriellen Technologie**

Manfred Broy | 199

**Die Automatisierung des Denkens, Sehens und Hörens.
Kybernetik und Bionik als alte Neue Technologien**

Philipp Aumann | 207

IV. BIOTECHNOLOGIE: EINE NEUE TECHNOLOGIE IM WANDEL

Visionen und Dämonen der Biotechnologie

Bernhard Gill | 223

Synthetische Biologie – auf dem Weg zu einer Neuen Technologie

Bernd Müller-Röber, Marc-Denis Weitze | 237

Neue Technik auf alten Pfaden. Biotechnologieförderung in der Bundesrepublik Deutschland

Thomas Wieland | 249

Was ist „neu“ an Neuen Technologien? Zur vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Zukunft der Biotechnologie

Daniel Barben | 265

V. IST DIE NANOTECHNOLOGIE EINE NEUE TECHNOLOGIE?

Nanotechnologie: Die Konstruktion Neuer Technologien als selbsterfüllende Prophezeiung

Joachim Schummer | 279

Dynamiken förderpolitischen Wandels in der Nanotechnologie

Clemens Blümel | 287

Von der Mikroelektronik zur Nanoelektronik

Doris Schmitt-Landsiedel, Christoph Friederich | 303

„Mit Molekülen spielen“. Die Nanotechnologie als forschungspolitische Strategie der universitären Grundlagenforschung

Christian Kehrt | 317

**„Tools to Increase Mass Engagement for
Nanotechnology“ – Instrumente der Öffentlichkeitsarbeit
staatlicher Nanotechnologie-Initiativen**

Peter Schüßler | 335

VI. FAZIT

Neuer Wein in alten Schläuchen?

Klaus Kornwachs, Helmuth Trischler | 349

Autorenverzeichnis | 357

Grußwort

WOLFGANG M. HECKL

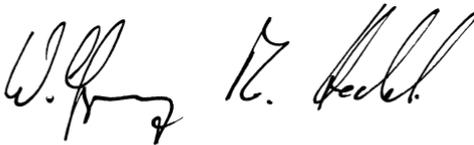
Ohne Verständnis der Geschichte gibt es keine Zukunft. Dies gilt, wie in vielen anderen Bereichen, auch für Entwicklungen in Naturwissenschaft und Technik. Schon Oskar von Millers Ansatz, das jeweils Neueste und Aktuellste aus Naturwissenschaft und Technik auszustellen, lässt sich als Versuch verstehen, die Gegenwart als zukünftige Geschichte zu bewahren und verstehbar zu machen. So ist der erste Dieselmotor – eine revolutionäre Erfindung, die seinerzeit dem Museum von Rudolf Diesel persönlich gestiftet wurde – ein gutes Beispiel dafür, wie Technik die Gesellschaft verändert: Mehr als die Hälfte aller Güter werden gegenwärtig mit Dieselmotoren transportiert.

Heute stehen Nano- und Biotechnologie für einen Paradigmenwechsel: Wir können aus kleinsten Materiebausteinen Dinge „bottom up“ aufbauen. Molekulare Motoren mögen beispielsweise für Nanofabriken der Zukunft eine ähnlich zentrale Rolle spielen wie heute der Dieselmotor für die Logistik. Das Zentrum Neue Technologien (ZNT) im Deutschen Museum möchte einen Überblick zu diesem Feld geben, zu den komplexen naturwissenschaftlichen Grundlagen ebenso wie zu den damit verbundenen gesellschaftspolitischen Fragen.

Die Chancen und Risiken neuer Entwicklungen in den Technikwissenschaften auszuloten, ist eine Aufgabe, derer sich das Deutsche Museum annimmt. Nicht nur ist es das meistbesuchte Museum Deutschlands, sondern es gehört zu den international führenden Standorten der Erforschung unserer modernen, von Wissenschaft und Technik geprägten Kultur.

acatech, die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, verfolgt ganz ähnliche Ziele, wenn auch mit anderen Methoden. acatech berät Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus unterstützt sie den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft und fördert den technikwissenschaftlichen Nachwuchs.

Als Generaldirektor des Deutschen Museums und als Mitglied (sowie Sprecher des Themennetzwerks Nanotechnologie) von acatech freue ich mich besonders, wenn beide Institutionen die Diskussion und Gestaltung von Technologie gemeinsam befördern. So im Rahmen der Tagung „Neue Technologien im Spannungsfeld von Wissenschaft, Politik, Öffentlichkeit und Wirtschaft“, die im Juli 2009 im Deutschen Museum stattfand und deren Beiträge in diesem Band dokumentiert werden. Bei der kontroversen und fächerübergreifenden Diskussion des Begriffs der Neuen Technologien kamen auch unbequeme Meinungen zu Wort: Ist „Nano“ nicht mehr als ein förderpolitischer Begriff? Sollen Bürgerdialoge zu Neuen Technologien nachträglich ein Legitimationsdefizit überwinden und dabei allein der Akzeptanzbeschaffung dienen? Ist der Begriff „Neue Technologien“ am Ende selbst bloß ein Konstrukt? Es sind Tagungen wie diese, mit denen wir den Beweis antreten, dass das ZNT nicht nur zum Staunen, sondern zur kritischen Auseinandersetzung mit Neuen Technologien anregt – in diesem Fall im interdisziplinären Austausch.



Wolfgang M. Heckl

Generaldirektor des Deutschen Museums, Inhaber des Oskar-von-Miller-Lehrstuhls für Wissenschaftskommunikation an der TUM School of Education und Sprecher des acatech Themennetzwerks Nanotechnologie

Einleitung:

Neue Technologien in der Gesellschaft

CHRISTIAN KEHRT, PETER SCHÜSSLER, MARC-DENIS WEITZE

Von der Kernenergie über die Mikroelektronik bis hin zur Bio- und Nanotechnologie scheinen radikale technische Neuerungen die Möglichkeitshorizonte moderner Gesellschaften zu definieren. Die starke symbolische Aufladung und die hohen, teilweise ambivalenten Erwartungen erklären sich dadurch, dass Neuen Technologien eine gesellschaftsverändernde Kraft und eine allgemein große Bedeutung für die Zukunft von technik- und innovationsabhängigen Industrienationen bzw. postindustriellen Gesellschaften zugesprochen wird. Demnach gehen sowohl Befürworter als auch Kritiker Neuer Technologien davon aus, dass technische Innovationen einen entscheidenden oder gar revolutionären Einfluss auf gesellschaftliche Entwicklungen haben.¹ Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass die Wahrnehmung einer Neuen Technologie ein durchaus vielschichtiger und konfliktreicher sozialer Prozess ist, bei dem verschiedene Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Öffentlichkeit miteinander interagieren.

1 Diese Sichtweise ist unter dem Begriff des Technikdeterminismus in die techniksoziologische Diskussion eingegangen. Vgl. MacKenzie/Wajcman 1999, S. 3-6; Smith 1994.

WAS IST EINE NEUE TECHNOLOGIE?

Die Debatten um Neue Technologien geben Einblick in zentrale gesellschaftliche Interessenlagen, Konfliktlinien und Entwicklungsdynamiken. Was jedoch genauer als Neue Technologie verstanden werden kann und worin ihre Bedeutung liegt, bleibt gerade wegen der großen symbolischen Aufladung und alltagssprachlichen Verwendung des Begriffes unklar. Er bringt lediglich zum Ausdruck, dass diese sich von älteren Technologien unterscheiden sowie auf Innovationen und neue Handlungsmöglichkeiten ausgerichtet sind. Ferner zeigt sich, dass viele der als „neu“ bezeichnete Technologien und Innovationsfelder keineswegs radikale Neuerungen oder „Revolutionen“ als vielmehr kontinuierliche technische Weiterentwicklungen bereits lange vorhandener Innovationen und Technologiepfade darstellen. So mag man dem Hype um das Neue die Erkenntnis entgegensetzen, dass die heutigen Gesellschaften auf Basistechnologien wie Auto, Flugzeug oder chemischer Synthese beruhen, die mittlerweile mehr als 100 Jahre alt sind.²

Trotz oder vielleicht gerade wegen der begrifflichen Unbestimmtheit und Deutungsoffenheit ist die Redeweise von den Neuen Technologien weit verbreitet und findet sich im Titel zahlreicher Forschungsabteilungen, Institutionen und Förderprogramme. So verbindet beispielsweise das Bundesministerium für Bildung und Forschung seine Hightech Strategie mit dem Begriff der Neuen Technologien³ ebenso wie das Deutsche Museum mit dem Ende 2009 eröffneten Zentrum Neue Technologien.⁴ Das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik- und Innovationsforschung ISI verfügt über ein Competence Center Neue Technologien,⁵ und das VDI Technologiezentrum unterhält ein Zukünftige Technologien Consulting.⁶ Auch geistes- und sozialwissenschaftliche Begleitforscher sind an der Gestaltung Neuer Technologien aktiv beteiligt, wenn sie im Vorfeld politischer Entscheidungsprozesse mögliche Technikfolgen mit ihren ethischen, rechtlichen und sozialen

2 Edgerton 2008, S. ix-xviii; Radkau 2008, S. 348.

3 <http://www.hightech-strategie.de/de/77.php> [Stand: 26.9.2010].

4 Breitsameter u. a. 2009.

5 <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/t/index.php> [Stand: 26.9.2010].

6 <http://www.zukuenftigetechnologien.de/> [Stand: 26.9.2010].

Implikationen ausloten.⁷ Letztlich ist es gerade die Unterbestimmtheit des Begriffes der Neuen Technologien, der eine flexible Verwendung und starke symbolische Aufladung in unterschiedlichen Kontexten ermöglicht und damit an sich sehr heterogene Akteure aus Wirtschaft, Politik, Wissenschaft und Medien miteinander ins Spiel bringt.

NEUE TECHNOLOGIEN: WAHRNEHMUNGEN UND KONJUNKTUREN

Das forschungspolitische Thema „Neue Technologien“ ist seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges präsent. So hatte die kriegsbedingte, intensive Förderung der Radarforschung eine große Bedeutung für die Entwicklung der Mikroelektronik in der Nachkriegszeit.⁸ In den 1950er und 1960er Jahren waren es vor allem die Kerntechnik und Kybernetik, die Luft- und Weltraumfahrt sowie die Computertechnik und in den 1970er Jahren schließlich die Biotechnologie, die weitreichende Zukunftshoffnungen und radikale neue Gesellschafts- und Menschenbilder hervorriefen. Spätestens seit den 1980er Jahren schien es aber, als ob technikzentrierte Zukunftsvorstellungen aus der Mode seien und zunehmend kritischere und pessimistischere Einstellungen die öffentliche Wahrnehmung Neuer Technologien bestimmten.⁹ Zu vielschichtig und ambivalent waren die Erfahrungen mit „älteren“ Neuen Technologien wie etwa der Kerntechnik oder auch der in Deutschland kontrovers debattierten Grünen Gentechnik, als dass ein ungebrochener Fortschrittsoptimismus und eine jugendliche Technikbegeisterung noch für möglich gehalten wurden.¹⁰ Freilich stellt sich aus Sicht der Wissenschaftsforschung heraus, dass Kontroversen ein

7 Vgl. die Debatte zur Rolle der science and technology studies zwischen Andrew Jamison und Alfred Nordmann in NMT 16 (2008), S. 119-132.

8 In der historisch-sozialwissenschaftlichen Forschung spricht man vom militärisch-industriellen bzw. militärisch-industriellen-wissenschaftlichen Komplex, der charakteristisch für das amerikanische Innovationssystem ist und sicherlich einen Schlüssel zum Verständnis Neuer Technologien darstellt. Vgl. Mendelsohn/Smith/Weingart 1988; Leslie 1993; van de Kerkhof 1999.

9 Beck 1988.

10 Abele/Barkleit/Hänsleroth 2001, S. 12.

unverzichtbarer Bestandteil der öffentlichen Wahrnehmung von Wissenschaft und Technik sind.¹¹

In den 1990er Jahren befand sich das deutsche Innovationssystem in einer strukturellen Krise.¹² Vor dem Hintergrund rückläufiger Patentstatistiken, eines allgemein diagnostizierten „Reformstaus“ und eines scheinbar uneinholbaren Rückstands im Bereich Neuer Technologien im Vergleich mit anderen Nationen wuchs das Bedürfnis nach einer neuen, weitreichenden Zukunftsvision. Zugleich waren gerade die 1990er Jahre eine Zeit, in der eine Welle völlig neuer technischer und durchaus utopisch anmutender Entwicklungen im Bereich der Robotik, Bionik, künstlichen Intelligenz, virtuellen Realität, der Materialwissenschaft, Mikrobiologie, Neurophysiologie, Kognitionswissenschaften und Computertechnologie sich anbahnte und neue Zukunftshoffnungen weckte.¹³ Delphi-Studien wurden in Auftrag gegeben und zahlreiche Roadmaps zukünftiger Schlüsseltechnologien erstellt, so dass das Thema der Neuen Technologien um die Jahrtausendwende ganz oben auf der forschungspolitischen Agenda stand und sich eine neue, technikbasierte Fortschrittsidee artikuliert, deren Wurzeln weit zurück in die Geschichte des langen 20. Jahrhunderts reichen.

DIE ZUKUNFT ALS HANDLUNGSRAUM UND PROJEKTIONSFLÄCHE WIEDERKEHRENDER HOFFNUNGEN

Diskurse um Neue Technologien sind auf die Zukunft ausgerichtet und beruhen – so zeigen viele Fallstudien auch in diesem Band – stark auf forschungspolitischen Motiven und Zielen. Allerdings wäre es zu einfach, die Bedeutung Neuer Technologien allein als forschungspolitische Rhetorik und überzogene Futurologie abzutun. Die Zukunftsorientierung des Neuen und damit die Betonung des Virtuellen, Imaginären und Möglichen sollte angesichts der tatsächlich meist recht unspektakulären, inkrementell und kaum vorhersehbar verlaufenden Innovationsprozesse nicht zu dem Schluss führen, dass dem Phänomen der Neuen Technologien lediglich eine untergeordnete Bedeutung zukäme. Vielmehr basieren das gesamtgesellschaftliche Phänomen der

11 Z. B. Liebert/Weitze 2006.

12 Caspar 2007, S. 76.

13 Schirmmacher 2001.

Neuen Technologien und die damit einhergehenden Wahrnehmungsprozesse auf grundlegenden gesellschaftlichen Interessen, Machtkonstellationen sowie durchaus längerfristigen Entwicklungslinien und Lernprozessen. Zukunftsvisionen wecken Begehrlichkeiten geweckt, aktivieren Politiker und mobilisieren Ressourcen.¹⁴ Die Zukunft stellt sich damit als ein Möglichkeitsraum dar, der von den beteiligten Akteuren imaginiert und sozial konstruiert wird und unmittelbare Rückwirkungen auf ihre Handlungschancen und Strategien hat.¹⁵

Die im Frühstadium Neuer Technologien stark ausgeprägten Zukunftshoffnungen weisen Muster auf, die sich bei mehreren Schlüsseltechnologien des 20. Jahrhunderts wiederfinden und auf grundlegende Erwartungsstrukturen einer technisierten Gesellschaft schließen lassen. So evoziert die Nanotechnologie verheißungsvolle Bilder von Wohlstand, Gesundheit, Nachhaltigkeit, Mobilität und grenzenloser Energieversorgung, die ähnliche Inhalte und stereotype Muster aufweisen, wie sie bereits von der Atomkraft, der Luft- und Raumfahrt oder der Biotechnologie bekannt sind.¹⁶ Eine historische Perspektive auf die vergangene Zukunft älterer Neuer Technologien ist deshalb besonders aufschlussreich, um längerfristige Pfade, Lernprozesse und allgemeine Muster zu identifizieren. Allerdings zeigt sich im historischen Rückblick, dass deutlich zwischen den technologie- und forschungspolitischen Zukunftsstrategien einerseits und den tatsächlichen Trajektorien dieser Innovationen andererseits zu unterscheiden ist.¹⁷

NEUE TECHNOLOGIEN ALS SOZIO-TECHNISCHES KONSTRUKT

Nicht jede technische Neuerung wird als Neue Technologie identifiziert. Entscheidend sind vielmehr soziale Prozesse, in deren Verlauf ein Technikfeld als neu wahrgenommen wird. Damit geht dieser Sammelband von der sozialen Konstruiertheit von Technik aus. Neue

14 Vgl. zur Bedeutung der Zukunft als Handlungsdimension siehe Konrad 2004; van Lente/Rip 1998, S. 225.

15 Hessenbruch 2004, S. 143.

16 Besonders augenfällig zeigt sich dies am Beispiel der Kernenergie, die ebenfalls eine neue Epoche im Sinne einer neuen industriellen Revolution verhiß. Vgl. Radkau 2008, S. 78-95.

17 Radkau 2008, S. 348.

Technologien sind demnach ein gesellschaftliches Phänomen, das sich komplexen und durchaus konfliktreichen Interaktionen verdankt. Wenn Neue Technologien im Spannungsfeld von Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Öffentlichkeit wahrgenommen, gefördert und ausgehandelt werden, ist es notwendig, die jeweiligen Akteure, ihre Motive und Strategien genauer in den Blick zu nehmen.¹⁸ So reicht es nicht aus, in wirtschaftswissenschaftlicher oder forschungspolitischer Perspektive nach Innovationsprozessen zu fragen, ohne die verschiedenen Formen der Wissensproduktion und die damit einhergehenden konkreten Kontexte technikwissenschaftlicher Forschung zu thematisieren.¹⁹

Mit der Prämisse der sozialen Konstruiertheit Neuer Technologien wird hier die Materialität Neuer Technologien jedoch keineswegs ausgeblendet oder das Phänomen auf bloße Imaginationen und diskursive Zusammenhänge reduziert. Ohne den Blick in die Forschungslaboratorien zu werfen, lässt sich die Dynamik des stark wissenschaftsbasierten Phänomens Neuer Technologien nicht verstehen. Die Frage allein nach der Rolle der Laborkontexte, wie sie im Rahmen der *science and technology studies* betont wurden, greift jedoch ebenfalls zu kurz, wenn nicht die damit verbundenen forschungspolitischen und medialen Strategien sowie die historischen Dimensionen und Erfahrungsräume analysiert werden. So stellen sich Neue Technologien wie die Bio-, Informations- oder Nanotechnologie als ein vielschichtiges, komplexes und aktuelles Phänomen an der Schnittstelle von Wissenschaft, Wirtschaft, Medien und Politik dar, das als ein Ergebnis kontroverser sozialer Aushandlungsprozesse zu betrachten ist.²⁰

KONTEXT UND AUFBAU DIESES BANDES

Ausgangspunkt dieses Sammelbandes war ein von der Volkswagen-Stiftung gefördertes Forschungsprojekt, das sich mit Innovationsprozessen der Nanotechnologie in historischer und soziologischer Perspektive am Fallbeispiel Münchens befasste.²¹ Die Studie wurde am

18 Disco/van der Meulen 1998, S. 10.

19 Vgl. Mayntz u. a. 2008.

20 Geels/Schott 2007; Wieland 2009; Barben 2007.

21 Christian Kehrt und Peter Schüßler führten von 2006 bis 2009 eine interdisziplinäre Studie „Knowledge-Production and Innovation at the Nanoscale. Instruments, Images and Visions in the Practice of Nanotech-

Deutschen Museum durchgeführt und stand in einem unmittelbaren Bezug zu dem zeitgleich im Entstehen begriffenen Zentrum Neue Technologien des Deutschen Museums. Die Einsicht, dass der Begriff der Neuen Technologien trotz seiner weiten Verbreitung zahlreiche Fragen aufwirft, war Anlass, das Phänomen im Rahmen einer interdisziplinären, gemeinsam von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften – und dem Deutschen Museum durchgeführten Tagung zur Debatte zu stellen. Leitgedanke war, die verschiedenen historischen, philosophischen, soziologischen und technikwissenschaftlichen Dimensionen gleichberechtigt zu berücksichtigen und das Phänomen Neuer Technologien anhand konkreter Fallbeispiele zu betrachten. Der Band versammelt deshalb nicht nur Beiträge der geistes- und sozialwissenschaftlichen Begleitforschung zu neuen Energietechniken, der Informations-, Bio- und Nanotechnologie, sondern er bindet Naturwissenschaftler und Ingenieure als Akteure dieser Neuen Technologien selbst mit ein, um die Motive, Erfahrungen und Interessen der Technikwissenschaften besser verstehen zu können. Diese haben die Notwendigkeit einer stärkeren Kommunikation mit der Öffentlichkeit erkannt und sehen sich angesichts der gegenseitigen Abhängigkeit und engen Wechselwirkung von Technik und Gesellschaft dazu aufgefordert, zu kontroversen Fragen Neuer Technologien Stellung zu nehmen.

Durch die enge Kooperation mit acatech konnten für die Tagung und den vorliegenden Band führende Vertreter einzelner Technologiefelder als Referenten und Autoren gewonnen werden, die ihr jeweiliges Forschungsfeld aus erster Hand darstellen und so einem interdisziplinären Dialog zugänglich machen. Die notwendigen Vergleichsmöglichkeiten ergeben sich insbesondere durch die Darstellung verschiedener Technologiefelder sowie die Eröffnung unterschiedlicher Perspektiven von Seiten der Geistes-, Sozial- und Technikwissenschaftler auf das jeweilige Technologiefeld. Dabei wird jedoch nicht der Anspruch erhoben, den Begriff der Neuen Technologien systematisch und allumfassend zu behandeln oder eine abschließende Definition vorzulegen. Vielmehr wird auf der Basis konkreter Fallbeispiele der schillernde Begriff der Neuen Technologien zur Debatte gestellt und auf seine Tragfähigkeit hin untersucht.

nology“ zum Münchner Nanotechnologie-Netzwerk durch, die sich vor allem mit den wissenschaftlichen Akteuren befasste. Vgl. Kehrt/Schüßler 2009.

Die folgenden Leitfragen standen für die Autoren im Vordergrund:

- Welche Technikfelder und Innovationen werden von der Gesellschaft als Neue Technologien wahrgenommen?
- Welche Strategien verfolgen die verschiedenen sozialen Akteure Neuer Technologien im Spannungsfeld von Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Öffentlichkeit, und wie lassen sich die damit einhergehenden Motive und Konfliktlinien aus sozialwissenschaftlicher und historischer Perspektive analysieren?
- Welche Gesellschaftsvorstellungen verbinden sich mit den Zukunftsvisionen Neuer Technologien, und in welchem Verhältnis stehen die teilweise überbordenden Erwartungen zu den tatsächlichen Innovationsprozessen und Entwicklungen?
- Was ist „neu“ an Neuen Technologien, und welche historischen Pfade, Erfahrungsräume und Innovationsmuster lassen sich insbesondere seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges feststellen?

Teil I dieses Bandes versammelt Betrachtungen zum Begriff der Neuen Technologien. *Klaus Kornwachs* erläutert in seinem Beitrag, dass Neue Technologien nie ganz neu sind, sondern vielmehr durch den Druck entstehen, die Funktionen älterer Technologien zu erweitern. Neue Technologien basieren meist auf älteren Bestandteilen, die miteinander korrespondieren und gemeinsam eine kohärente Technik bilden.

Joachim Radkau nimmt in seinem Beitrag, ausgehend von dem Bibelwort „An ihren Früchten sollt ihr sie erkennen“, den Begriff der Neuen Technologien mit all seinen wie selbstverständlich enthaltenen Suggestionen kritisch unter die Lupe. Er stellt insbesondere mit Blick auf die bereits ältere Neue Technologie der Kernenergie die Frage, was das Konzept bislang geleistet hat, ob es prognostischen Wert besitzt und inwieweit es politische Entscheidungsprozesse befördert.

Ortwin Renn erörtert die Aussagekraft von evidenzbasierter Technikfolgenabschätzung und zeigt deren methodische Grenzen auf. Seine These ist, dass sich aus der Beschäftigung mit Neuen Technologien zentrale Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit der Technikfolgenforschung im Allgemeinen ergeben, die dazu dienen können, ihre Potenziale möglichst genau zu bestimmen und darauf aufbauend ihre Entwicklung im Sinne eines humanen Wandels von Technik und Gesellschaft zu beeinflussen.

Ausgehend von der Technologisierung der Wissensproduktion schlüsselt *Alfred Nordmann* das Phänomen der so genannten Neuen Technologien auf. Bei Neuen Technologien handelt es sich demnach gar nicht um Technologien, sondern um eine Vereinnahmung wissenschaftlicher Forschung.

In seinem einführenden Beitrag zum II. Teil (Handlungsleitende Visionen der Energieversorgung) beschreibt *Frank Dittmann* den Wandel der Energieregimes im Verlauf der Menschheitsgeschichte. Er führt aus, dass die Verfügbarkeit von Energie schon immer die entscheidende Kategorie ihrer Nutzung darstellte. Der von Dittmann vorgeschlagene Begriff der Verfügbarkeit vereint verschiedene Faktoren: die physische Existenz von Ressourcen, den technischen und wirtschaftlichen Aufwand zu Förderung, Transport und zur Beseitigung der Abbauprodukte am Ende der Nutzungskette sowie die Akzeptanz der notwendigen Eingriffe in die Natur und die Lebenswelt der Bürger.

Die Geschichte der jüngeren Kerntechnik wird von *Per Högselius* als Beispiel für die Entwicklung radikaler, kontroverser und wissensintensiver Energietechnik beschrieben. Er legt dabei den Fokus auf die Wechselwirkung von Zukunftsvisionen der Kerntechnik mit ihren tatsächlichen praktischen Erfahrungen und Entwicklungstendenzen und zeigt, wie sich die Visionen infolge von Fehlschlägen oder Unfällen immer wieder der realen Praxis anpassen.

Sibylle Günter und *Isabella Milch* beschreiben aus Sicht der Fusionsforschung, wie sich das Feld in den vergangenen Jahrzehnten entwickelte und vor welchen Herausforderungen die Forscher heute stehen. Die Autorinnen vergleichen verschiedene Typen von Fusionsanlagen und die mit ihnen verbundenen Visionen einer globalen Energieversorgung in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts.

Für die in Zukunft stärker zu diversifizierenden Technologien erneuerbarer Energien müssen verlustarme Netzkonzepte entwickelt werden, mit denen auf Schwankungen oder auf Störungen flexibel reagiert werden kann. *Frank Behrendt* und *Kristina Bognar* erörtern in ihrem Beitrag zudem, welche Herausforderungen der Übergang von wenigen zentralen Kraftwerken (nuklear oder fossil) hin zu einem Energiemix (mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien) für eine neue Generation von Energiespeichern und Übertragungsnetzen der Zukunft mit sich bringt.

Matthias Heymann beschreibt, wie in den vergangenen drei Jahrzehnten aus der vermeintlich „alten“ Windenergie eine Neue Technologie entstanden ist. Gleichzeitig verweist das Beispiel der Windenergienutzung auf die Schwächen des Begriffs der Neuen Technologie. Während der Begriff die Bedeutung technischer Durchbrüche und Innovationen betont, vernachlässigt er die Akteure mit ihren Interessen und Visionen sowie die kulturellen Kontexte, die entscheidend für die Akzeptanz von Innovationen sind.

Kornelia Konrad zeigt mit ihrem Beitrag auf, ob und wie die steigenden bzw. zurückgenommenen kollektiven Erwartungen an Brennstoffzellen die Strategien und Aktivitäten der verschiedenen an der Entwicklung und Einführung stationärer Brennstoffzellen beteiligten Akteure beeinflusst haben. Sie trägt damit zu einem differenzierten Verständnis der Bedeutung von kollektiven Erwartungen und Hypezyklen für die Entwicklung und Einführung neuer Technologien bei.

In einem einführenden Beitrag zum III. Teil (Denkende Maschinen – Die gesellschaftliche Aneignung der Informations- und Kommunikationstechnologie) beschreibt *Klaus Mainzer* die Computertechnik als ein Netzwerk, in dem sich die Innovationsdynamik von Wissenschaft, Technik und Gesellschaft vollzieht. Prognostizierten die Experten zunächst die Entwicklung einiger weniger Großrechner, wurden in den vergangenen sechs Jahrzehnten immer kleinere, schnellere und preiswertere Mikroprozessoren in immer weiteren Bereichen unserer Arbeits- und Lebenswelt vernetzt. Mainzer beschreibt, wie sich Rechner zu Hochleistungscomputern, zu Robotern und zu Cyber Physical Systems entwickelten, und er stellt die Frage nach den Zukunftsperspektiven dieser Entwicklungen.

Otthein Herzog beschreibt aus der Perspektive des Ubiquitous Computing, wie in den letzten zwei Jahrzehnten intelligente Objekte in unseren Alltag und unser Berufsleben Einzug gefunden haben, wie aus Gegenständen mit einer neuen Qualität intelligente Objekte und darüber hinaus sogar zu Assistenten werden können.

Manfred Broy geht der Frage nach, wie sich die Erstellung von Software vom Handwerk zu einem Forschungsfeld mit wissenschaftlichen Grundlagen und ingenieurwissenschaftlicher Systematik wandelte, in deren Folge sich immer weitere Anwendungsgebiete des Software Engineering auszubilden begannen.

Die Karrieren der Kybernetik, der Bionik und der Künstliche-Intelligenz-Forschung und damit die Utopie der Denkmaschinen stellen sich *Philipp Aumann* zufolge als die Geschichte der Interaktion von Wissenschaft und Gesellschaft, der öffentlichen und politischen Erwartungen sowie der Reaktion von Wissenschaftlern auf diese Erwartungen dar. Aumann zeichnet ein Bild des Scheiterns ehemals Neuer Technologien, die im Verlauf dieser Interaktion aufgegeben wurden, weil sie den unterschiedlichen Ansprüchen von Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit nicht gleichermaßen gerecht werden konnten.

Bernhard Gill führt in den IV. Teil zur Biotechnologie ein und liefert einen Überblick über die wissenschaftlich-technische Entwicklung des Feldes und die damit verbundenen gesellschaftlichen Kontroversen. Er beschreibt, wie sich Befürworter und Gegner dieser Neuen Technologie seit mittlerweile 40 Jahren unversöhnlich gegenüberstehen, obwohl die einfachen Erklärungen des Molekularbiologischen Dogmas relativiert wurden, die zur Frontstellung von Allmachtsphantasien und Kontrollversprechen einerseits und Ohnmachtsphantasien sowie übertriebener – Risikoszenarien andererseits geführt haben.

Bernd Müller-Röber und *Marc-Denis Weitze* liefern eine kurze Geschichte der Synthetischen Biologie in Abgrenzung zu den mit ihr eng verwandten Feldern der Gentechnologie und der Systembiologie. Sie zeigen auf, wie sich das Feld heute im Spannungsfeld von Wissenschaft, Politik, Öffentlichkeit und Wirtschaft positioniert und erörtern, welchen Möglichkeiten und Herausforderungen es sich gegenübergestellt sieht.

Am Beispiel der Biotechnologie beschreibt *Thomas Wieland*, wie die staatliche Förderung einer Neuen Technologie den tatsächlichen Entwicklungen des Feldes hoffnungslos hinterherlaufen kann. Wieland stellt dar, wie die Biotechnologie seit dem Beginn der bundesdeutschen Förderpolitik einen erstaunlichen Wandel vollzogen hat. Aus einer empiriebasierten Nischentechnologie wurde eine wissenschaftsbasierte Zukunftstechnologie, aus der Grünen Technologie eine Risikotechnologie.

Daniel Barben lenkt am Beispiel der Biotechnologie die Aufmerksamkeit auf die verschiedenen Bestimmungen des Neuen an den Neuen Technologien und auf dessen gesellschaftlichen Stellenwert. Er verdeutlicht, wie die Frage nach der neuen Qualität Neuer Techno-

logien von verschiedenen Akteuren, in verschiedenen Kontexten und zu verschiedenen Zeiten ganz unterschiedlich beantwortet werden kann.

Im einführenden Beitrag zum V. Teil und zur Frage, ob die Nanotechnologie eine Neue Technologie ist, stellt *Joachim Schummer* dar, wie jeder Versuch, die Nanotechnologie auf wissenschaftlich-technischer Ebene als ein neues und einheitliches Feld darzustellen, vielmehr ihre vielfältigen Vergangenheiten offenbart. Letztendlich gewinnt Nanotechnologie den Nimbus der Neuheit und damit die ausgeprägte Zukunftsorientierung erst, wenn man sie nicht als Technik, sondern als programmatische Idee und Verheißung zukünftiger sozio-technischer Neuheit begreift.

Clemens Blümel diskutiert anhand des Beispiels der Nanotechnologie, wie sich in den vergangenen Jahrzehnten förderpolitische Strategien bei der Entwicklung Neuer Technologien verändert haben und zieht Vergleiche zum förderpolitischen Umgang mit früheren Neuen Technologien. Er beschreibt die Nanotechnologie als Profiteur eines neuen technologie- und förderpolitischen Umfelds, innerhalb dessen wissenschaftsbasierte Technologien gezielter vermarktet werden.

Doris Schmitt-Landsiedel und *Christoph Friederich* werfen einen Blick zurück auf die Geschichte der Mikroelektronik. Vor dem Hintergrund, dass diese schon immer durch die beständige Verkleinerung von Bauelementen und der damit einhergehenden Kostenreduktion geprägt war, stellen sie die Frage, was den Übergang von der Mikroelektronik zur Nanoelektronik ausmacht. Sie zeigen, dass es trotz neuer Anwendungsgebiete für die Nanoelektronik als Neuer Technologie weiterhin zahlreiche Anwendungen für die Mikroelektronik gibt und diese neben der Neuen Technologie bestehen wird.

In seinem Beitrag zeigt auch *Christian Kehrt*, dass der Ursprung der Nanotechnologie in der vergangenen Zukunft der Mikroelektronik zu finden ist. Wenn es darum ging, zukünftige Leistungsgrenzen der Technologie zu antizipieren und hinauszuschieben, gehörten alternative Entwicklungsszenarien jenseits des Siliziumpfades stets zur Begleitmusik der Halbleitertechnologie. Kehrt erörtert die forschungspolitische Motivation zu Beginn des so genannten Nanohypes Ende der 1990er Jahre und zeigt am Beispiel der Münchner Wissenschaftslandschaft, inwiefern die Nanotechnologie eine förderpolitische Strategie der universitären Grundlagenforschung darstellt.

Mit welchen Maßnahmen die Forschungspolitik seit dieser Zeit versucht, das öffentliche Bewusstsein und das Wissen hinsichtlich Nanowissenschaft und -technologie zu fördern und die Bevölkerung dazu zu bringen, sich verstärkt mit dem Thema auseinanderzusetzen, wird von *Peter Schüßler* in seinem Beitrag herausgearbeitet. Der Autor stellt dar, wie die Forschungspolitik insbesondere über Wissenschafts- und Technikmuseen sowie Science Centers versucht, eine möglichst große Anzahl von Menschen über standardisierte Programme der Wissenschaftskommunikation frühzeitig in die Prozesse der Entwicklung Neuer Technologien einzubeziehen.

Klaus Kornwachs und *Helmuth Trischler* ziehen schließlich als Sprecher des acatech Themennetzwerks „Grundfragen der Technikwissenschaften“ bzw. als Forschungsdirektor des Deutschen Museums ein Fazit zu den in diesem Band versammelte Beiträgen.

LITERATUR

- Abele, J./Barkleit, G./Hänsleroth, T. (Hrsg.): *Innovationskulturen und Fortschrittserwartungen im geteilten Deutschland*, Köln/Weimar/Wien: Böhlau, 2001.
- Barben, D.: *Politische Ökonomie der Biotechnologie. Innovation und gesellschaftlicher Wandel im internationalen Vergleich*, Frankfurt am Main/New York: Campus, 2007.
- Beck, U.: *Gegengifte. Die organisierte Unverantwortlichkeit*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1988.
- Breitsameter, F. u. a. (Hrsg.): *Nano- und Biotechnologie im Zentrum Neue Technologien*, München: Deutsches Museum, 2009.
- Caspar, S.: *Creating Silicon Valley in Europe. Public policy towards new technology industries*, Oxford: Oxford University Press 2007.
- Disco, C./van der Meulen, B. (Hrsg.): *Getting new technologies together. Studies in making sociotechnical order*, Berlin: de Gruyter, 1998 (de Gruyter studies in organization, Band. 82: Innovation, Technology and Organisation).
- Edgerton, D.: *The shock of the old. Technology and global history since 1900*, London 2008.
- Geels, F.W./Schott, J.: „Typology of sociotechnical transition pathways“. In: *Research Policy* 36 (2007), S. 399-417.

- Hessenbruch, A.: „Nanotechnology and the negotiation of novelty“. In: Baird, D./Nordmann, A./Schummer, J. (Hrsg.): *Discovering the nanoscale*, Amsterdam: IOS, 2004, S. 135-144.
- Jamison, A.: „To foster a hybrid imagination. Science and the humanities in a commercial age“. In: *NTM* 16 (2008), S. 119-125.
- Kehrt, C./Schübler, P.: „Nanoscience is 100 years old.“ The defensive appropriation of the nanotechnology discourse within the disciplinary boundaries of crystallography. In: Kaiser, M. u. a. (Hrsg.): *Governing future technologies. Nanotechnology and the rise of an assessment regime*, Dordrecht: Kluwer, 2010 (sociology of the sciences yearbook, Band. 27).
- Konrad, K.: *Prägende Erwartungen. Szenarien als Schrittmacher der Technikentwicklung*, Berlin: edition sigma 2004.
- Leslie, S. W.: *The cold war and american science: The military-industrial-academic complex at MIT and Stanford*, New York/NY: Columbia University Press, 1993.
- Liebert, W.-A./Weitze, M.-D. (Hrsg.): *Kontroversen als Schlüssel zur Wissenschaft. Wissenskulturen in sprachlicher Interaktion*, Bielefeld: transcript 2006.
- Mayntz, R. u. a. (Hrsg.): *Wissensproduktion und Wissenstransfer. Wissen im Spannungsfeld von Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit*, Bielefeld: transcript, 2009.
- MacKenzie, D./Wajcman, J. (Hrsg.): *The social shaping of technology* (2. Aufl.) Buckingham/Philadelphia/PA: Open University Press, 1999.
- Mendelsohn, E./Smith, M. R./Weingart, P. (Hrsg.): *Science, technology, and the military*, Dordrecht: Kluwer, 1988.
- Nordmann, A.: „Trennungsarbeit. Die Geistes- und Technowissenschaften im Zeitalter der Begleitforschung“. In: *NTM* 16 (2008), S. 127-132.
- Radkau, J.: *Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis heute*, Frankfurt am Main: Campus, 2008.
- Smith, M.R. (Hrsg.): *Does technology drive history? The dilemma of technological determinism*, Cambridge/MA: MIT Press, 1994.
- Schirmmacher, F. (Hrsg.): *Die Darwin AG. Wie Nanotechnologie, Biotechnologie und Computer den neuen Menschen träumen*, Köln: Kiepenheuer & Witsch, 2001.

- van de Kerkhof, S.: „Der „Military-Industrial complex“ in den Vereinigten Staaten von Amerika. In: *Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte* 1 (1999), S. 103-134.
- van Lente, H./Rip, A.: „Expectations in technological developments. An example of prospective structures to be filled in by agency“. In: Disco, C./van der Meulen, B. (Hrsg.): *Getting new technologies together. Studies in making sociotechnical order*, Berlin: de Gruyter, 1998 (de Gruyter studies in organization, Band. 82: Innovation, Technology and Organisation), S. 195–220.
- Wieland, T.: *Neue Technik auf alten Pfaden? Forschungs- und Technologiepolitik in der Bonner Republik. Eine Studie zur Pfadabhängigkeit des technischen Fortschritts*, Bielefeld: transcript 2010.

Was ist neu an der Neuen Technologie?

KLAUS KORNWACHS

Was denn neu und bereits veraltet sei, darüber kann man trefflich streiten. Gilt immer das als Neue Technologie, was die anderen schon haben, man selbst aber noch nicht? Ist das Neue heute vielleicht immer das Miniaturisierte? Doch mittlerweile werden die Oberflächen von Handys und dergleichen wieder größer, weil sich die Verteilung der Kaufkraft für solche Produkte in einer alternden Gesellschaft nach oben verschiebt. Aber die Idee zielt schon in die richtige Richtung, und es scheint, dass das Neue durch die Verkleinerung der Maßstäbe für Herstellung und Eingriffsmöglichkeiten gekennzeichnet sei – das Wort „Nano“ tritt auf. Man sieht dann, dass man nichts mehr sieht – die Neue Technologie verschwindet aus der alltäglichen Wahrnehmung als Technik. Augenfällig wiederum ist bei dem, was man wahrnimmt, die hohe Komplexität und die Erfahrung, dass alles mit allem zusammenhängt, was mit dem Wissen korreliert, dass moderne Technik alles vernetzt und selbst hoch vernetzt ist.

DÉJÀ-VU – DIE 1980ER JAHRE

Schon bei der Einführung der Computer in die Betriebe in den 1980er Jahren sprach man von der Entsinnlichung: Zwischen Arbeiter und Arbeitsgegenstand schiebt sich eine immer dicker werdende technische Schicht, und man wird gewahr, dass selbst einfache Geräte nicht ihre technischen Funktionalität zu entfalten vermögen, wenn die Organisation ihres Gebrauchs nicht klappt. Dazu ist offenkundig eine Reihe

weiterer, z. T. großer organisatorisch-technischer Systeme nötig. Die organisatorische Hülle der Technik wird Gegenstand der Diskussion. Schließlich taucht das Zauberwort Konvergenz auf: Bisherige Teildesigns wie Nachrichtentechnik und Computertechnik wachsen zusammen, konvergieren, und viele technologische Entwicklungen können nun als Konvergenzprozesse aus bisherigen „Teil-Technologien“ verstanden werden.

Der Autor dieses Beitrags hat die Einführung der Computer in die Betriebe selbst aktiv miterlebt und kann sich gewisser *déjà-vu*-Erfahrungen nicht erwehren. Auch damals sprach man von Neuen Technologien; als „neu“ bezeichnete man die Computer am Arbeitsplatz, die neuen Werkstoffe, die ersten Versuche zur Teleheimarbeit, die Chip-Technologie und – genauer – die Herstellung dezidierter Chips, bei denen uns Japan voraus war (und immer noch ist). Generell wurden die Informatisierung,¹ speziell die der Arbeit,² die Lasertechnologien und ihre vielfachen Anwendungen thematisiert; die Datenautobahn, die computerintegrierte Fabrik mit den nachfolgenden CIM Havarien, Lean Production – und die inkrementelle Verbesserung, japanisch Kaizen geheißen, waren in aller Munde. Visionen wie die der menschenleeren Fabrik oder des papierlosen Büros wurden entworfen und geglaubt und scheiterten in den 1990er Jahren ebenso wie die überzogenen Ansprüche der so genannten Expertensysteme.

Lassen wir diese Zeit Revue passieren, dann erschien uns damals alles als neu an der Neuen Technologie, was möglicherweise unsere Lebenswelt (Alltag, Arbeit, Gewohnheiten) ändern könnte, was technisch als faszinierend erschien und wovon behauptet wurde, dass es auf wissenschaftlichen Entdeckungen und deren Anwendungen beruhe. Der nicht ganz unbegründete Verdacht besteht, dass wir uns heute an ganz ähnliche Muster der Wahrnehmungsorientierung halten.

VON DER MASCHINISIERUNG ZUR BIOLOGISIERUNG DER TECHNIK

Fallen wir gleich mit der These ins Haus: Das Neue kommt nicht durch Zerstörung des Alten zustande, im Gegensatz zu Schumpeters

1 Siehe: Nora/Minc 1979.

2 Vgl. Bullinger/Kornwachs 1986 a, b.

Behauptung der schöpferischen Zerstörung,³ sondern durch Ersetzung. Bestimmte Funktionen, Prozesse oder Teile werden durch neue Funktionen, Prozesse oder Teile unter Bewahrung der Anschlussfähigkeit an die alten Funktionen, Prozesse oder Teile ersetzt. Dieser Ersetzungsprozess kann auch zu einer Klassifikation von Epochen der Technikentwicklung genutzt werden.⁴

Die Maschinisierung setzte schon einfache geometrische Maschinen voraus. Darunter sind Einrichtungen wie Werkzeuge zu verstehen, die in der Lage sind, die menschliche Kraftwirkung geometrisch anders zu organisieren, d. h. vektoriell anders zu zerlegen (spalten, schneiden) bzw. die Zusammensetzung des konstant bleibenden Produkts der physikalischen Arbeit = Kraft mal Weg zu verändern, z. B. durch Hebel, Rad oder Flaschenzug (Abbildung 1).

Unter Mechanisierung versteht man die Verwendung und Transformation extern verfügbarer Energie (vom Wind, dem fallenden Wasser, dem ziehenden Esel bis hin zur chemischen und nuklearen Energie in Kernkraftwerken), um die menschliche Kraft zu ersetzen. Die so verfügbare wirkende Kraft (Zug, Druck) wird wiederum durch Maschinen im vorherigen Sinne strukturiert – aus der linearen Bewegung wird eine Rotationsbewegung oder umgekehrt.⁵

Der Schritt der Automatisierung, das heißt die Selbststeuerung von Prozessen aufgrund der aus ihnen entstehenden informationshaltigen Signale bedeutet die Entkopplung von Maschinen- und Motorenlaufzeit von der Bedienzeit, d. h. der Zeit, in der die Maschine vom Menschen bedient, überwacht und beschickt werden muss. Die Automatisierung hat nicht nur die Arbeitszeit zu Beginn des 20. Jahrhunderts um etwa die Hälfte reduziert, sondern auch die Produktivität um Zehnerpotenzen vervielfacht. Umgekehrt war nicht nur der Wunsch nach weniger Arbeitszeit, sondern auch die Ersetzung des Menschen – als unzuverlässigstes und teures Mitglied in einem komplizierten Prozess – durch eine solche Selbststeuerung ein entscheidender Antrieb für

3 Vgl. Schumpeter 1912.

4 Epochen sind Deutungsmuster für in sich abgerundet erscheinende Abschnitte von geschichtlichen Entwicklungen. Sie sind vom Beschreiber post hoc eingeführt und durch ihn begründungspflichtig, und sie sind damit keineswegs Ausdruck geschichtlicher Gesetzmäßigkeiten, sondern Deutung und Interpretation von Überlieferungen. Gewisse Diskussionsbeiträge schienen mir diese Epochen eher geschichtsontologisch zu sehen. Nichts liegt mir ferner.

5 Paulinyi/Troitzsch 1991.

eine solche Entwicklung. Die Rückführung der Wirkung einer Maschine auf sie selbst, zu steuernden Zwecken, wird zwar James Watt und seinem Fliehkraftregler zugeschrieben, aber es gab bereits vorher selbstregulierende Einrichtungen in zahlreichen Mühlen.

Die Informatisierung ist ein Schritt, der die steuernden Signale eines Prozesses nicht mehr aus den bedienenden Handlungen des Menschen und den Signalen aus der Maschine selbst gewinnt, sondern durch Berechnungen erzeugt. Wir könnten die Informatisierung als einen Transformationsprozess definieren, der bisher materiell, elektrisch, mechanisch oder wie auch immer realisierte technische Funktionen durch wirkende Informationsströme ersetzt. Daraus resultiert zunächst eine Reduktion von Stoff- und von Materialströmen. Die Fabrik nach der zweiten industriellen Revolution war der natürliche Ort der Arbeit – zumindest so, wie sie im 19. Jahrhundert dann auch philosophisch konzipiert worden ist durch Fichte, Hegel und Marx –, und sie war der Ort der Disziplinierung der Arbeit, aber auch der Ort der Solidarisierung. Ohne Fabriken hätte sich die Arbeiterbewegung in der dann entstandenen Form wohl nicht herausgebildet. Man könnte sagen, dass durch die Kommunikations- und Informationstechniken fast alle Voraussetzungen, sowohl organisatorisch wie technisch, die zur Bildung der Fabrik bei der zweiten industriellen Revolution geführt haben, bis auf den Materialtransport weggefallen sind. Der nächste Schritt – die Biologisierung – ist gegenwärtig beobachtbar. Auch hier spielt nicht nur eine Anschlussfähigkeit an die bisherige Technologie eine Rolle – man denke an das berühmte Bild der neuronalen Zelle, die auf einem Chip liegt –, sondern auch die weitere Ersetzung informations- und kommunikationstechnischer wie mechanischer, chemischer oder elektrischer durch biologisch realisierte Prozesse. Salopp und weit in die Zukunft greifend, könnte man sagen: Wir bauen nicht mehr, wir lassen die Produkte wachsen.

Abbildung 1: Erster Versuch zu einer Identifizierung schrittweiser Ersetzungsprozesse in der Technikentwicklung. Vgl. Kornwachs, Bullinger 1986.

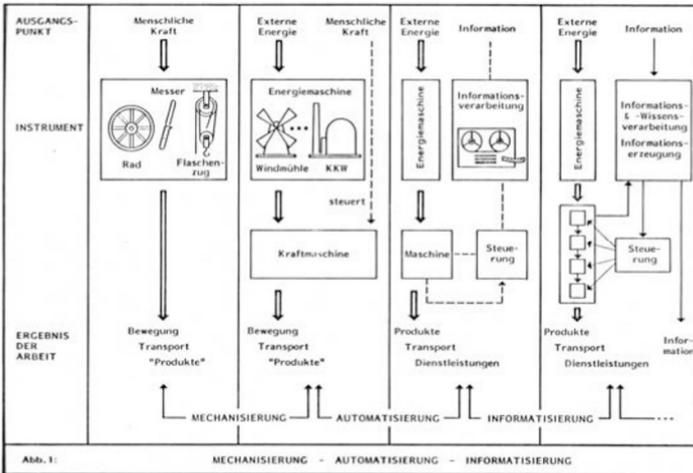


Tabelle 1: Zweiter Versuch der Identifizierung schrittweiser Ersetzungsprozesse in der Technikentwicklung.

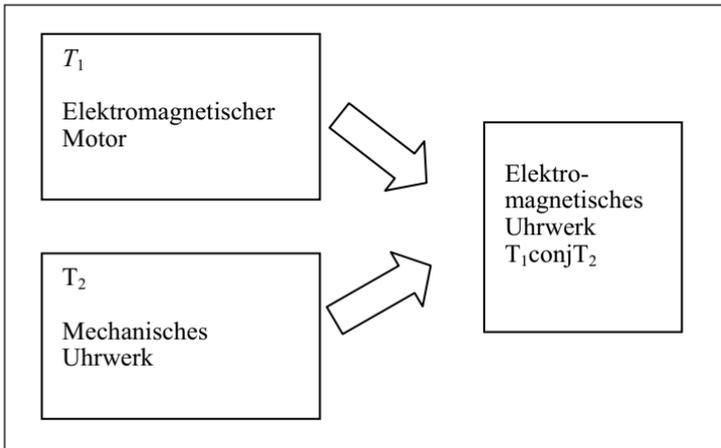
	Funktion	Grund	Neue Technologie
Maschinerisierung	Kraftzerlegung	Menschliche Schwäche	Rad, Hebel
Mechanisierung	Ersatz durch externe Energie	Mangelnde Leistung / Ausdauer	Tiere, Motoren, Kraftwerke
Automatisierung	Steuerung Regelung	Fehlbarkeit Entkopplung Anwesenheit	Rückführung von Wirkung
Informatisierung	Wahrnehmung Verarbeitung Erzeugung	Kognitive Defizite	Substitution von Wirkung durch Information
Biologisierung	Organisation	Massiv parallele Adaptivität	Substitution durch Organi- sches

Tabelle 1 nimmt als Ausgangspunkt für diese Entwicklungsschritte die jeweils neu gewonnene Funktionalität – von der Kraftzerlegung über die Ersetzung der menschlichen Arbeitskraft und die Steuerung der Maschinen durch sich selbst, hin zur Verbesserung und auch Ersetzung von menschlicher Wahrnehmung, Erzeugung und Verarbeitung von Information bis schließlich zur Ersetzung von konstruktiven Vorstellungen durch biologisch wachsende Organisationsformen. Auf diese Weise möchte man die menschlichen Schwächen in Bezug auf Kraft, Leistung, Ausdauer, Zuverlässigkeit, Wahrnehmung, Verarbeitungsgeschwindigkeit, Präzision, Gedächtnis und Parallelität kompensieren. Diese Schritte, die jeweils zu als neu empfundenen Technologien führen, sind in der Regel durch Ersetzungen gekennzeichnet: Der Hebel ersetzt den Arm, der Motor die Kraft, die Automatisierung die Präsenz, die Informatisierung die räumliche und zeitliche Nähe sowie Teile der materiellen Wirkung in Prozessen, die Biologisierung wird materiell gebaute Strukturen durch organisch gewachsene ersetzen.

KORRESPONDENZ UND KONVERGENZ

Es war schon immer als große Ingenieurskunst angesehen worden, Techniken, die aus unterschiedlichen Gebieten stammen, zu einer funktionierenden Technik zu vereinigen. Der elektrische Wecker mag als Beispiel dienen (Abbildung 2): Er besteht aus elektronischen und mechanischen, gegebenenfalls auch aus Softwarekomponenten. Damit sie zusammenspielen können, müssen sie kohärent sein, das bedeutet, dass sie eine gemeinsame Technologie bilden. Alle Teilbereiche müssen untereinander anschlussfähig sein: Die Energie stammt statt aus der aufgezogenen Feder aus einer Batterie, der elektrische Antrieb treibt das mechanische Uhrwerk an, die Einstellfunktion wird durch einen programmierbaren Mikroprozessor bewerkstelligt. Die technische Gesamtfunktion – Zeigen der Uhrzeit, Wecksignal – bleibt dieselbe wie bei dem rein mechanischen Wecker.

Abbildung 2: Zwei Techniksparten in einem Gerät: *conjoint technology*.



Korrespondenz

Man kann auch so etwas wie Korrespondenz definieren, wie sie in der Wissenschaftsgeschichte wohlbekannt ist: Alle bisherigen Theorien, wie beispielsweise die Newtonsche Mechanik, erweisen sich als Spezialfall von neueren, umfangreicheren Theorien, in unserem Beispiel wären dies die Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie oder die Quantenmechanik.⁶

Das Korrespondenzprinzip in der Technologie bezieht sich in Anlehnung an den Korrespondenzbegriff in der Wissenschaftstheorie darauf, dass die Funktionen einer alten Technologie durch die neue Technologie ersetzbar und darstellbar sein müssen. Neue Technologie ist demnach nie ganz neu, sondern entsteht durch einen gewissen Substitutionsdruck: Die Realisierung der gleichen Funktion muss durch die neue, substituierende Technologie günstiger erfolgen. Diese

6 Man kann einen Korrespondenzparameter angeben: Die Spezielle Relativitätstheorie geht in die Newtonsche Mechanik über, wenn die Lichtgeschwindigkeit als unendlich angenommen wird. Die Allgemeine Relativitätstheorie geht in die Spezielle über, wenn man die Raumkrümmung verschwinden lässt, und die Quantentheorie wird zur Newtonschen Mechanik, wenn man das Wirkungsquantum zu Null setzt. Siehe: Kornwachs 2011, Kap. C.

Eigenschaft wird meist monetär, durch den Vergleich der Kosten-Nutzen-Relation zu quantifizieren versucht. Dies wiederum führt meistens zu einer Erweiterung der technischen Funktionalität: Jede substituierende Technologie muss aus Kostengründen den Funktionsreichtum der alten Technologie übersteigen. Darin liegt die Triebfeder der Miniaturisierung, der Leistungsverdichtung, aber auch des berühmten „Overengineering“.⁷

Korrespondierende Techniken können eine kohärente Technik bilden, wenn bestimmte Voraussetzungen gegeben sind: In jedem inkrementellen Schritt einer Verbesserung muss zumindest die vorausgehende Technologie mit der neuen aufwärtskompatibel sein, aber nicht umgekehrt. Zwei korrespondierende Technologien können eine gemeinsame Technologie bilden, wenn Teile der neuen Technologie durch Teile der alten Technologie ersetzt werden.

Konvergenz

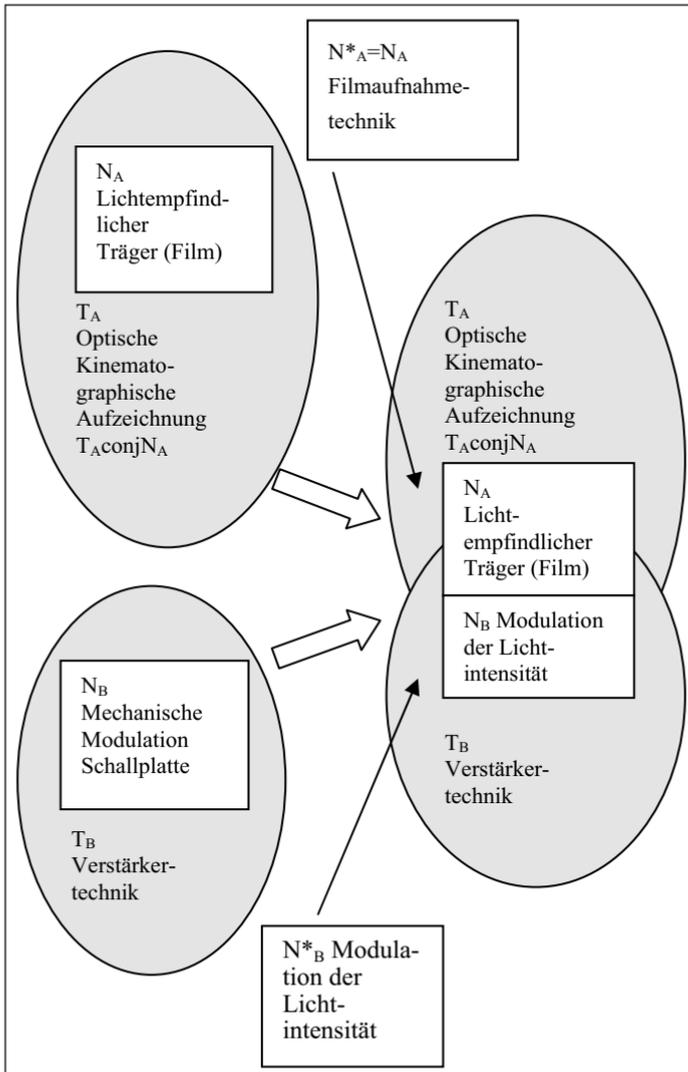
Beim Konvergenzprozess⁸ wird der Kern N_A der einen Technologie T_A durch einen neuen Kern N^*_A ersetzt, um die Technologie T_A mit der anderen Technologie T_B kompatibel zu machen. Abbildung 3 zeigt dies am Beispiel der Entwicklung des Lichttons in der Kinematographie: Entscheidend war die Ersetzung der mechanischen Aufzeichnung auf Schallplatte durch die Aufzeichnung photoelektrisch erzeugter Intensitätsschwankungen von Licht auf den lichtempfindlichen Film. Die mechanische Modulation wurde durch eine optische Modulation ersetzt, wobei die Peripherie (Mikrophon, Verstärker, Lautsprecher) unverändert blieb. Somit wurde eine synchrone Aufnahme und Wiedergabe von Licht und Ton auf ein und demselben Träger möglich.⁹

7 Dieser Abschnitt ist aus Kornwachs 2011, Kap. C entnommen. Vgl. auch Kornwachs 2002.

8 Vgl. die vage gehaltene Definition bei Rocco/Bainbridge 2002.

9 Für die Geschichte dieser Entwicklung vgl. den Artikel von einem der Erfinder, Vogt 1964; vgl. auch Völz 2005, S. 626-631, Polzer 2001, Jossé 1984.

Abbildung 3: Entwicklung des Lichttons als Konvergenzprozess.



lichkeiten. So erwartet man, dass die Informations- und Kommunikationsdichte steigen wird und der epochale Vorgang der Informatisierung und Dematerialisierung technischer Prozesse weiter voranschreitet. Ebenso wird die schon oben angedeutete Biologisierung zu einer weiteren Hybridisierung der Technologie führen. Schließlich kommen im Bereich der Kognitionstechnologien noch die erweiterten Möglichkeiten der Simulation und Virtualisierung hinzu, die nicht nur darauf angelegt sind, die menschliche Kreativität zu verbessern und zu unterstützen, sondern auch in bestimmten technologischen Bereichen, z. B. dem Entwurf und der Konstruktion, womöglich zu ersetzen – was wir hier die Kognitivierung der Technik nennen wollen.

Es ist nicht weit hergeholt, dass viele Fachartikel und Konferenzen über NBIC-Konvergenz gleichzeitig normativ wie deskriptiv daherkommen, NBIC somit eher ein Programm als die Beschreibung technologischer Möglichkeiten darstellt.

Außerdem wird meist ein Zusammenhang nicht betrachtet, der sich aus der Ausdehnung des Technikbegriffs auf die organisatorische Hülle von Technologie ergibt. Auch diese entwickelt sich weiter, es gibt eine Konvergenz auf der organisatorischen Ebene. Man könnte daher in Fortschreibung der bisherigen Entwicklung neben der Biologisierung und Kognitivierung auch eine Prozessualisierung ins Auge fassen. Sie wäre in der Ersetzung rein technischer Lösungen (Geräte, Systeme, Programm) durch kluge technisch-organisatorische Lösungen gekennzeichnet. Hier sind neue organisatorische Konzepte im Pflegebereich, bei Ubiquitous-Computing Dienstleistungen, der e-Governance und dem Knowledge Management denkbar. Man müsste also statt von NBIC- von NBIC-O Konvergenz (mit dem „O“ für Organisation) sprechen.

Konvergenz auf der technologischen Ebene stimuliert zweifelsohne die Debatte, die von technischen Interessen getrieben wird. Wir könnten dies auch eine horizontale Konvergenz nennen, da sie auf derselben Ebene verbleibt (vgl. die jeweils gleichen Zeilen in Tabelle 2).

Eine vertikale Konvergenz und damit eine Konvergenz, die starke organisatorische Bezüge hat, beschreibt dann die Integration einer Technologie entlang einer Wertschöpfungskette.¹¹ Man kann über die Konvergenz von Terminals, Netzwerken und Diensten sprechen, oder verallgemeinert, über Geräte, operative Prozeduren, Dienste und Inhal-

11 Vgl. Sallai 2007.

te. Diese Art von vertikaler Konvergenz verbleibt jedoch bei ein und derselben Technologie.¹² Schaut man auf die Nanotechnologie, so haben wir noch kein scharfes Bild von der Integration der technischen Möglichkeiten mit der Anwendung, der Software und angebotenen Diensten. All dies ist noch eher prospektiv und spekulativ. Innerhalb der Informations- und Kommunikationstechnik ist die vertikale Konvergenz demgegenüber wohl bekannt und ausführlich diskutiert worden¹³ dank der schnellen Entwicklung der digitalen Technologie. Im Bereich der Kognitionswissenschaften wiederum ist die vertikale Konvergenz noch nicht ernsthaft ins Auge gefasst worden, während in der Biotechnologie die öffentliche Debatte klar zeigt, dass Einrichtungen, ihr Gebrauch und ihre Inhalte (implizit auch mit Gütern und Zielen) in einen integrierten Rahmen konvergieren.

Tabelle 2: Schema für horizontale, vertikale und hybride Konvergenz (Kornwachs 2011, Kap. C).

Ebene	Technologie			
	Nanotechnologie N	Ubiquitous Computing I _{UC}	Kognitions- Technologie C	Bio- technologie B
Dienste Inhalte	Software / Organisatorisch- technische „Lösungen“	(Mehrwert-) Dienste, Inhalte	Programme und Dienste	Prothetik, Künstliche Organe und Zellen
Operative Prozeduren	Nano-, Software	Netzwerke	Knowledge Management	Produktion, Anwendung, Schutz, Entsorgung
Systeme Geräte Basis- Technolo- gie	Hardware, d. h. extreme miniaturisierte Prozessoren	Einrichtun- gen Termi- nals, Modems, Geräte	AI Systems, Experten- systeme, Neuro- Computing	Zell- Technologie, „Makro- molekulare Technologie“

12 Was dabei ersetzt wird, sind die operativen Kerne der organisatorischen Hülle.

13 Vgl. Sallai 2007.

Wir können also klar zwischen vertikaler und horizontaler Konvergenz wie in Tabelle 1 auf jeder Ebene unterscheiden (technologisch, organisatorisch und kontextuell) und die horizontale Konvergenz als Konvergenz zwischen Technologien auf derselben Ebene betrachten.

Im Bereich der horizontalen Konvergenz können wir experimentell bereits realisierte Schnittstellen zwischen mikroelektronischen Einrichtungen und Nervenzellen mit elektrochemischem Signaltransfer beobachten ($I_{UC} \leftrightarrow B$). Eine eher hypothetische Konvergenz ist denkbar mit miniaturisierten RFID Chips und parallel dazu organisiertem rechnendem neuronalem Netz (als Netz, delokalisiert und dezentralisiert) ($I_{UC} \leftrightarrow C$), die dieses Netz stimulieren. Eine weitere Verbindung wurde diskutiert, bei der Nanopartikel als „Geräte“ innerhalb biologischer Organe für medizinische Zwecke fungieren ($N \leftrightarrow B$). Als eine fast selbstverständliche Voraussetzung für eine tatsächlich unsichtbare Technologie, die überall verteilt sein soll, ist wohl ein weiterer Fortschritt in der Nanotechnologie unumgänglich ($N \leftrightarrow I_{UC}$). In der Hirnforschung wie auch in den Kognitionswissenschaften ist eine Konvergenz hinsichtlich des Begriffs der Berechenbarkeit und der Informationsverarbeitung denkbar – eine biologische Zelle kann dann als ein hochkomplexer chemischer Hochgeschwindigkeitsrechner angesehen werden, der mit Computern in silico kommuniziert, entsprechend ($I_{UC} \leftrightarrow B \leftrightarrow C, I_{UC} \leftrightarrow C$).¹⁴

Auf der Ebene der organisatorischen Hülle der entsprechend entwickelten Technologien gibt es allerdings weit mehr Spekulationen als auf der Ebene darunter. Ein Netzwerk aus nanobasierten Mikroprozessoren könnte, so die Vermutung, als eine kognitiv-intelligente Umgebung für einen Organismus oder für eine biologische Herstellung dienen, z. B. für neue Gewebe, künstliche Organe oder neu entworfene Mikroben.

Auf der Ebene der Dienste, Inhalte und Kontexte ist als Konvergenzprozess der Gebrauch einer integrierten NBIC Technologie angenommen worden, und zwar zur Entwicklung Neuer Technologien für neue medizinische Gesundheitsfürsorge (als verallgemeinerte Prothetik und organische Robotik), für Verkehr, Wissensmanagement, möglicherweise auch für die Überwachung und soziale Kontrolle. All dies

14 Alle diese Möglichkeiten werden in einem breiten Feld der Literatur diskutiert. Ohne einen Bezug auf speziellere Quellen zu geben, sei auf einen generellen Überblick verwiesen, wie er von Bushan 2004; Roco/Bainbridge 2002 und Nordmann/Schummer/Schwarz 2006 dargestellt wird.

öffnet den Blick zu Szenarien, die akzeptabel sein mögen oder nicht, aber es ist hier wichtig, dass auf dieser Ebene noch nichts gesagt werden kann, solange die entsprechenden Technologien und die organisatorische Hülle noch nicht entwickelt sind.

Es müsste auch möglich sein, vertikale Konvergenzen innerhalb der Technologien zu definieren; dies ist teilweise auch durchgeführt worden.¹⁵

Wesentlich interessanter, aber auch spekulativer als vertikale Konvergenzen scheinen die so genannten Hochgeschwindigkeitskonvergenzen zu sein. Hierzu betrachten wir nur drei Beispiele:

- AI Systeme (Künstliche Intelligenz) können dazu dienen, neue organisatorische Dienste zu entwerfen, zu formulieren und zu organisieren, deren Funktionalität aus Situationen, Verpflichtungen und sozialen Regeln extrahiert werden könnten, die wiederum von ubiquitären Umgebungen beobachtet werden könnten (hybride Aufwärtskonvergenz).
- Die Möglichkeiten der Technik des verteilten Rechnens (Ubiquitous Computing) könnten zu vollständig neuen Ideen über Prothetik und künstliche Organe führen, die möglicherweise nicht vollständig lokalisiert, sondern innerhalb des biologischen Körpers verteilt sind (hybride Abwärtskonvergenz). Sie könnten aber auch zu neuen Organisationsformen führen, deren Demokratieverträglichkeit und Verträglichkeit mit individuellen Rechtsansprüchen erst noch diskutiert werden müssten.
- Neue Dienste und Inhalte in ubiquitären Umgebungen könnten dazu benutzt werden, um Herstellungs- und Handhabungsprozesse wie auch Umweltschutz und biologisch orientierte Entsorgung anders als bisher zu managen und durchzuführen (hybride Abwärtskonvergenz).

Tabelle 2 mag als guter Rahmen dienen, um sowohl spekulative als auch realisierbare Möglichkeiten zu klassifizieren und zu diskutieren. Es ist auch möglich, neue Kombinationen von Funktionen und Funktionsvermutungen, die bisher noch nicht beachtet wurden, zu finden.¹⁶

15 Vgl. Sallai 2007.

16 Einen Überblick, um diese Überlegungen zu testen, geben synoptische Darstellungen von neuesten technologischen Entwicklungen, z. B. Bullinger 2004, 2006, 2007, 2008.

INNOVATION ALS PRODUKT AUS ÜBERRASCHUNG UND BESTÄTIGUNG

Das Problem der Bestimmung, was wirklich neu sei, hat eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Problem, Gehalt oder Bedeutung von Information zu bestimmen. Die mathematische Theorie der Kommunikation, wie sie von Shannon und Weaver (1946) vorgeschlagen wurde, verhalf einem Konzept von Information zum Durchbruch, das die Menge von Information, unabhängig von deren Inhalt, angibt.¹⁷ In einem vorliegenden Signal (oder einfacher in der Dynamik einer zeitveränderlichen Variablen) ist demnach eine Information enthalten, wenn bestimmte statistische Eigenschaften des Signals erfüllt sind. Für die Abschätzung, wie eine Information verstanden wird oder wie sie sich auf den Empfänger auswirkt, war das Modell, trotz großer Erwartungen, ungeeignet. In einem streng operationalen Sinne lässt sich nur feststellen, ob eine Information verstanden worden ist, wenn sie eine Wirkung ausübt, d. h. der Empfänger muss wieder zum Sender werden.

Als notwendige Bedingungen für diese Wirkung einer solchen pragmatischen Information sind die beiden Grundgrößen Erstmaligkeit oder Überraschung und Bestätigung (Redundanz) genannt worden.¹⁸ Beide Größen scheinen sich nicht reziprok, sondern komplementär zu verhalten: In den Grenzfällen vollkommener Bestätigung liegt ebenso wenig Information vor wie im Fall der vollständigen Erstmaligkeit: Der Rezipient kennt alles schon, dann ist es nichts Neues, oder es ist alles neu, dann kann es der Rezipient nicht einordnen und verstehen. Die potenzielle Information kann sich dann nicht aktualisieren und kann nicht in Wissen transformiert werden.

Die Einschätzung, was als Innovation gelten mag, ist ähnlich gelagert: Was als neu angesehen wird, hängt vom Vorwissen und damit vom Anteil der Bestätigung durch den Rezipienten ab. Eine Innovation in dem Grenzfall, dass alles völlig neu ist (z. B. für den Nutzer) erscheint dann ebenso unbrauchbar wie in dem Grenzfall, in dem nur das Bekannte, aber vielleicht nur anders verpackt dargeboten wird. Der Innovationsgrad wird in dem Maße ein Maximum haben (zwischen den beiden Nullpunkten der Grenzfälle), in dem die richtige Mischung aus Erstmaligkeit, Neuigkeitsgrad, Überraschung einerseits und der

¹⁷ Vgl. Shannon/Weaver 1976.

¹⁸ Vgl. Weizsäcker 1974, weitere Entwicklungen der Theorien siehe Kornwachs 1991, 1998.

Bestätigung im Sinne einer Anschlussfähigkeit an bisherige Erfahrungen, Gewohnheiten und bewährte technische Funktionen andererseits gefunden werden kann (siehe Abbildung 5). Technische Gewohnheiten sind genauso hartnäckig wie Alltagsgewohnheiten – letztere sind größtenteils eben technische Gewohnheiten. Das Neue muss sich als übersetzbar in den Begriffen des Gewohnten darstellen lassen – das völlig Neue wird daher den Nutzer überfordern.

Diese Sichtweise erlaubt es, die Frage, was neu an einer Neuen Technologie ist, im Hinblick darauf zu beantworten, was man als neu anzusehen pflegt. Thesenartig kann man vermuten, dass eine zu große Veränderungsgeschwindigkeit die Wahrnehmung der Innovation und damit vermutlich auch die Akzeptabilität schwächt. Zu viel Überraschung und Neuigkeit überfordert den normalen Konsumenten und erzeugt Abwehrhaltungen. Umgekehrt werden inkrementelle Verbesserungen fast gar nicht mehr wahrgenommen, nicht als Innovation eingeschätzt und daher auch nicht als Innovation propagiert. Zu viel, nur geringfügig verbessertes, Bekanntes wird unbeachtet gelassen.

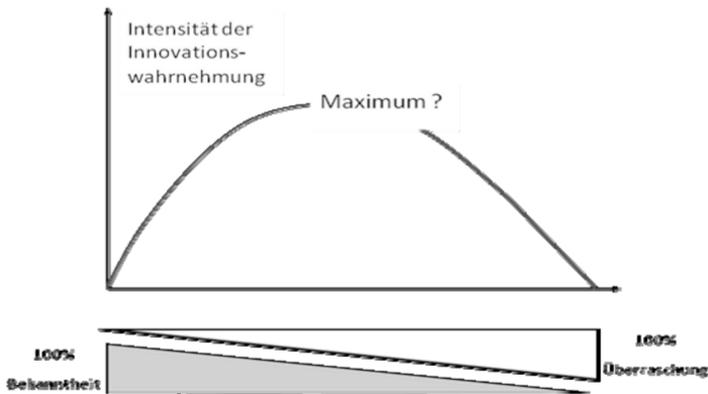
Auf diese Weise entsteht eine Wahrnehmungslücke gegenüber dem technischen Fortschritt, die lange nicht bemerkt wird und dann umso überraschender ist, wenn eine Reihe von kleinen Veränderungen nun in der Summe der Zeiten zu plötzlichen Veränderungen in den Lebenswelten der Menschen führt.

Noch in den 1950er Jahren galt es als Faustregel, dass man mit „größer, schneller und höher vom Gleichen“ auch teurer werden konnte. Seit dem Einsetzen der Informatisierung und damit auch der Miniaturisierung (die ja wirtschaftliche Gründe hatte)¹⁹ gilt diese Regel nicht mehr. Der Druck geht in Richtung kleiner, schneller, billiger. Diese Entwicklung kam nicht über Nacht, aber es gab beim Konsumenten trotzdem den Eindruck einer explosionsartigen Veränderung.

Der Technikentwickler wird den Nutzer nicht verstehen, wenn dieser überrascht auf eine Entwicklung reagiert, die schon lange im Gange ist, und der Nutzer wird den Technikentwickler nicht verstehen, weil er sich mit einer drastischen Änderung seiner Lebenswelt konfrontiert sieht und hierfür den Entwickler verantwortlich machen möchte.

19 Hilberg 1986.

Abbildung 5: Bekanntheit und Überraschung als Bestimmungsgrößen für die Intensität der Innovationswahrnehmung.



AM WIDERSTAND ZEIGT SICH DAS NEUE

Technische Veränderungen finden permanent statt. Neue Technologien sind jedoch wegen der Kohärenz und Konvergenz nie gänzlich neu. Denn sie sind nur erfolgreich, wenn sie mit der vorherigen Technik korrespondieren und anschlussfähig sind. Das gilt auch für die organisatorische Hülle.

Es ist ferner ein Zeichen des Neuen, wenn sich Widerstand regt. Die falschen Einschätzungen der Gefährlichkeit Neuer Technologien sind in der Technikgeschichte Legion, aber erst seit dem Schock von Hiroshima und Nagasaki begann sich auch ein Widerstand rationaler und moralischer Art gegen Wissenschaft und Technik (die man damals in eins setzte) zu entwickeln. Zwar wollte man von der Romantik zu Beginn des 19. Jahrhunderts bis hin zu den jugendbewegten Wandervögeln der 1920er Jahre die Erfahrung des Natürlichen bewahren und wehrte sich gegen eine zu rapide Industrialisierung, die neben der Entwurzelung im Bereich des ländlichen Lebens und dem Aufkommen des anonymen Industrieproletariats auch eine Technisierung des Alltags bedeutete.²⁰ Es war dies jedoch keine Ablehnung der Technik als solcher, denn die Kontinuität der technischen Entwicklung war er-

²⁰ Vgl. Guardini 1965.

kennbar. Es ging um das Tempo der Veränderungen, die man bei moderaterer Geschwindigkeit hinzunehmen bereit gewesen wäre. Erst die Auseinandersetzung um die Kernenergie, sowohl der militärischen wie der friedlichen Nutzung, brachte Technik als solche – und in Folge auch die Kommunikationsformen ihrer Protagonisten – in Misskredit. Großtechnische Katastrophen wie Three Mile Island, Bhopal, Tschernobyl, Golf von Mexiko etc. erwiesen sich nach gründlichen Analysen als Katastrophen der organisatorischen Hülle der Großen Technischen Systeme, da ihre gefährdenden Komponenten sich als zu eng gekoppelt erwiesen.²¹ Gleichwohl taten die Entwicklung der Biotechnologie, der Genforschung, die Diskussion um ein angebliches Waldsterben und die zweifelsohne bevorstehenden Klimaveränderungen das ihrige, um Technik und einzelne Technologien fundamentaler Kritik auszusetzen. Diese stellte sich jedoch, wenn man genauer hinschaute, eher als Kritik an einer technisierten Zivilisation heraus – bestimmte kulturell unliebsame Entwicklungen wurden mit Hilfe der sie erst ermöglichenden Technik desavouiert.

Allerdings währte der fundamentale Widerstand nicht lange – auch die ökologische Bewegung hat mit Technologie und Innovationszyklen in gewisser Weise ihren Frieden geschlossen, und in der Tat ergibt eine Querschnittsanalyse von Befragungen, dass etwa seit Mitte der 1980er Jahre in Deutschland von Technikfeindlichkeit nicht die Rede sein kann.²² Eher hat das Konstruktionsinteresse an der Technik dem Nutzungsinteresse²³ und die Kritik an der Technik der – allerdings scharfzüngigen – Produktkritik Platz gemacht. Tages- und Wochenzeitungen haben seit einigen Jahren eigene Rubriken für die Technikberichterstattung eingeführt, und hier zeigt sich der Widerstand tatsächlich als Indikator des Neuen: Die kritische Berichterstattung wird zum Antrieb, das Neue zu verbessern. In der Informatik und bei Softwareherstellern ist die Rede von „Bananenlösungen“: man gibt ein Produkt auf den Markt, die Kunden üben Kritik, der Entwickler nimmt diese Kritik auf und verbessert das Produkt – die Ware „reift“ beim Kunden. Widerstand und Akzeptanzprobleme machen sich trotz mancher Marketingstrategien im Absatz bemerkbar und zwingen zu Revisionen ursprünglicher Konzepte. Solche Modifikationen mögen zum Großteil nur inkrementell sein, sie scheinen jedoch einen wesentlichen Antrieb

21 Vgl. Perrow 1992.

22 Vgl. Kistler 2007.

23 Vgl. Köcher 2004.

zur Verbesserung des Neuen und damit zu seiner Durchsetzungsfähigkeit darzustellen.²⁴

In gewisser Weise kann man den Widerstand als eine Art Schmerz in einem System interpretieren – er hat eine Anzeigefunktion, man muss die Ursache herausfinden und kann dann etwas dagegen tun. Dieser Schmerz bei manchen Innovationswahrnehmungen ist vielleicht eine intensive Reaktion auf eine falsch eingestellte Balance zwischen zu viel Neuerung und zu wenig Bestätigung. „Manchmal kommt die Zukunft zu schnell“, wie Alwin Toffler sagt, „und dann auch noch in der falschen Reihenfolge“. Aber das ist weder ein Argument gegen die Zukunft noch gegen das Neue.

LITERATUR

- Bauer, M.: Resistance to new technologies and its effect on nuclear power, information technology and biotechnology. In: Bauer, M. (Hrsg.): *Resistance to new technology*, Cambridge/MA: Cambridge University Press, 1995, S. 1-44.
- Bullinger, H.-J./Kornwachs, K. 1986a: Arbeit und Information. In: Hackstein, R./Heeg, F.-J./von Below, F. (Hrsg.): *Arbeitsorganisation und neue Technologien*, Heidelberg: Springer, 1986, S. 24 ff.
- Bullinger, H.-J./Kornwachs, K. 1986b: Zur Informatisierung der Arbeit. In: *FhG Berichte 1* (1986), S. 7-12.
- Bullinger, H.-J. (Hrsg.): *Fokus Innovationen. Kräfte bündeln – Prozesse beschleunigen*, München: Hanser, 2006.
- Bullinger, H.-J. (Hrsg.): *Fokus Technologie – Chancen erkennen, Leistung entwickeln*, München: Hanser, 2008.
- Bullinger, H.-J. (Hrsg.): *Technologieführer – Grundlagen, Anwendungen, Trend*, Berlin/Heidelberg: Springer, 2007.
- Bullinger, H.-J. (Hrsg.): *Trendbarometer Technik – visionäre Produkte, neue Werkstoffe, Fabriken der Zukunft*, München: Hanser, 2004.
- Bushan, B.: Introduction to nanotechnology. In: *Springer Handbook of nanotechnology*, Berlin: Springer, 2004, S. 1-5.
- Guardini, R.: *Die Technik und der Mensch. Briefe vom Comer See (1927)*, Mainz: Matthias-Grünewald, 1981.

24 Vgl. Bauer 1995.

- Hilberg, W.: Mikroelektronik – tiefere Einsichten in ihre Dynamik durch einfache Modelle. In: *Physik in unserer Zeit* 17 (1986), S. 18-28.
- Jossé, H.: *Die Entstehung des Tonfilms*. Freiburg/München: Alber, 1984.
- Kistler, E.: Die Legende von der Technikfeindlichkeit – Kehrt der Popanz der „Technikfeindlichkeit“ zurück?. In: Kornwachs, K. (Hrsg.): *Bedingungen und Triebkräfte technologischer Innovationen*. (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB, 2007, S. 71-82.
- Köcher, R.: Technikfeindlich und innovationsmüde? In: Hüttl, R. (Hrsg.): *Innovationsfähigkeit* (acatech Tagungsband), Berlin/München 2004, S. 25-37.
- Kornwachs, K./Bullinger, H.-J.: Die neuen Technologien. Strukturen und Anwendungen. In: *Marchtaler Pädagogische Beiträge* 9 (1986), S. 7-19.
- Kornwachs, K.: Information und der Begriff der Wirkung. In: Krönig, D./Lang, R. (Hrsg.): *Physik und Informatik – Informatik und Physik. Informatik Fachberichte*, Nr. 306, Berlin/Heidelberg: Springer, 1991, S. 46-56.
- Kornwachs, K.: Pragmatic information and the emergence of meaning. In: Van de Vijver, G./Salthe, S./Delpos, M. (Hrsg.): *Evolutionary systems*, Boston/MA: Kluwer, 1998, S. 181-196.
- Kornwachs, K.: Kohärenz und Korrespondenz bei technologischen Theorien. In: Banse, G./Kiepas, A. (Hrsg.): *Rationalität heute – Vorstellungen, Wandlungen, Herausforderungen*, Münster: Lit, 2002, S. 235-265.
- Kornwachs, K.: *Strukturen technologischen Wissens. Beiträge zur analytischen Wissenschaftstheorie der Technikwissenschaften*, Berlin: edition sigma, [im Erscheinen].
- Nora, S./Minc, A.: *Die Informatisierung der Gesellschaft*, Frankfurt am Main: Campus, 1979.
- Nordmann A./Schummer J./Schwarz, A. (Hrsg.): *Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven*, Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft, 2006.
- Paulinyi, A./Troitzsch, U.: Mechanisierung und Maschinisierung (1600-1840). In: König, W. (Hrsg.): *Propyläen Technikgeschichte*. Band 5., Frankfurt am Main: Propyläen, 1991.

- Perrow, C.: *Normale Katastrophen*, Frankfurt am Main: Campus, 1992.
- Polzer, J. (Hrsg.): *Aufstieg und Untergang des Tonfilms*. (Weltwunder der Kinematographie, Band 6), Potsdam: Polzer, 2001.
- Roco, M. C./Bainbridge, S. (Hrsg.): *Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*. (National Science Foundation (NSF/DOC) sponsored Report), Dordrecht: Kluwer, 2002.
- Ropohl, G.: *Eine Systemtheorie der Technik*, München: Hanser 1979.
- Sallai, G.: Converging researches in ICT. In: Banse, G./Grunwald, A./Hronszky, I. u. a. (Hrsg.): *Assessing societal implications of converging technological development*. (Proceedings zum 3. Workshop des Forums „Converging Technologies“. Budapest, Ungarn, 08.–10.12.2005), Berlin: edition sigma, 2007.
- Schumpeter, J., A.: *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, München: Duncker und Humblot, 1912.
- Shannon, C. E./Weaver, W.: *The mathematical theory of communication*. London 1949/1969 Deutsch: *Mathematische Grundlagen der Informationstheorie*, München: Oldenbourg, 1976.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure): *Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen*, Berlin: Beuth, 1991.
- Vogt, H.: *Die Erfindung des Lichttonfilms*. (Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte 32) München: Oldenbourg, 1964.
- Völz, H.: *Handbuch der Speichertechnik*, Band. 2: Mittelbar wahrnehmbare Technik. Berlin: Shaker, 2005.
- Weizsäcker, E. U. von: Erstmaligkeit und Bestätigung als Komponenten der Pragmatischen Information. In: Weizsäcker, E. U. von (Hrsg.): *Offene Systeme I*, Stuttgart: Klett, 1974, S. 82-113.

Das Neue in historischer Perspektive

JOACHIM RADKAU

Wer modern und auf der Höhe der Zeit sein möchte, pflegt seit langem von den „Neuen Technologien“ mit bedeutungs- und respektvollem Unterton zu sprechen. Wie es scheint, ist es ausgemachte Sache: Bei den „Neuen Technologien“ ist die Zukunft; nur durch sie bleiben wir konkurrenzfähig in einer globalisierten Welt; es versteht sich, dass sie vom Staat kräftig gefördert werden müssen, und gerade für den Technikwissenschaftler ist es Ehrenpflicht, die Politiker dafür zu kritisieren, dass sie die Neuen Technologien noch längst nicht genug fördern. Umso angebrachter ist die Bitte, mich nicht als Spielverderber zu verstehen, wenn ich bei diesem Thema einmal den *advocatus diaboli* spiele: Auch der ist nötig, damit ein intellektuelles Spiel überhaupt zustande kommt – und bei dem Thema „Neue Technologien“ ist er, wie mir scheint, zu einem klaren und kritischen Blick ganz besonders vonnöten.¹

Wissenschaft hat ja früher einmal im Zeichen Immanuel Kants bedeutet, jene Begriffe und Kategorien, die das eigene Denken organisieren, kritisch unter die Lupe zu nehmen. Die „Kritische Theorie“ der Frankfurter Schule hat dann den Begriff „kritisch“ etwas abgenutzt – mitunter bekam er selbst einen dogmatischen Beigeschmack –, und bei den Konstruktivisten, die die kantianische Erkenntniskritik wiederentdeckten, weiß man manchmal nicht, ob sie mehr dekonstruieren – und mit welchem Erkenntnisinteresse eigentlich? – oder selber munter drauflos konstruieren. Wie dem auch sei, das Konzept der kritischen Wissenschaft hat nach wie vor seinen guten Sinn.

1 Vgl. Radkau 2008, S. 347 ff.

ZUM BEGRIFF DER „NEUEN TECHNOLOGIEN“

Beginnen wir mit dem Begriff „neu“, der immerhin den Vorzug der Kürze und Einfachheit besitzt. Jeder Altphilologe weiß, dass er nicht immer einen guten Klang gehabt hat. Der „Homo novus“ ist bei Cicero der Emporkömmling; die „*novarum rerum cupidi*“ sind die ewig Unzufriedenen, die die stoische Weisheit der Selbstgenügsamkeit nicht begriffen haben. Nun, das mag man als Ausdruck von aristokratischem Elitarismus abtun. Das Wort „neu“ hat bekanntlich in der Neuzeit, seit dem „*Novum organum*“ Francis Bacons, eine Umwertung ins Positive erfahren; oft avancierte es in der Neuesten Zeit schon fast zu einem Synonym von „gut“, am allermeisten in der Reklame.

In der Geschichtsdidaktik der Grundschule ist ein erstes Ziel erreicht, wenn die Kleinen zwischen „früher“ und „heute“, „alt“ und „neu“ unterscheiden lernen. Aber schon von intelligenten Zehnjährigen wird man ein differenzierteres Zeitbewusstsein erwarten. „Alt“ sind die Dinosaurier, und „alt“ ist auch Adenauer; aber der Fortschritt hin zum Geschichtsbewusstsein führt doch so rasch wie möglich davon fort, den ersten Bundeskanzler mit dem Ichthyosaurus in einen Topf zu werfen. Und ähnlich ergeht es dem anderen Part des Begriffspaares, dem Wörtchen „neu“. Spontan empfindet das Kind seine Welt als statisch; in der Geschichte soll es dagegen lernen, dass die Dinge im Fluss sind und Neues fortwährend altert. Und niemand wird bei dem Rückblick auf die Geschichte auf die Idee kommen, dass das zu einer bestimmten Zeit Neue auch automatisch etwas Gutes war. Nach den Erfahrungen des 20. Jahrhunderts ist ein Fortschrittsglaube von solcher Naivität etwas für große Kinder geworden. Nur innerhalb der Technik hat sich das Fortschrittsparadigma noch gehalten – zumindest in der vom Menschen abstrahierten Technik.

Und nun neben dem simplen „neu“ das präventöse „Technologie“! Der Begriff tauchte anscheinend zum ersten Mal 1777 in Johann Beckmanns „Anleitung zur Technologie oder zur Kenntniß der Handwerke, Fabriken und Manufakturen“ auf; aber da bedeutete er noch, korrekt dem griechischen Wortsinne gemäß, die Lehre von der Technik: zu einer Zeit, als die Bedeutung von „Technik“ noch im Schwimmen war und an erster Stelle, wie man am zweiten Teil des Titels sieht, das Handwerk umfasste. Das war noch nicht die „Technologie“ im heutigen Sinne: Diese scheint erst seit den 1970er Jahren als Amerikanismus („*technology*“) in den allgemeinen Gebrauch gekommen

zu sein. Oft fungiert sie als bloßes Synonym dessen, was zuvor einfach „Technik“ hieß. In Wikipedia heißt es ganz treffend: „Häufig wird schönfärberisch von Technologie statt von Technik geredet. Spricht jemand z. B. im Zusammenhang mit Fahrzeugen von ‚neuester eingesetzter Technologie‘, ist eigentlich die Fahrzeugtechnik gemeint. Technologie ist dabei meistens eine falsche Übersetzung aus englischen Vorlagen und soll das Wort Technik nur aufblasen, um den Wert eines Produktes größer erscheinen zu lassen.“ In der Tat, das trifft den Nagel auf den Kopf.

Wer schon in den 1970er Jahren an VDI-Tagungen zur Technikgeschichte teilgenommen hat, wo noch eine ältere Generation von Ingenieuren präsent war, die bei dem neuen Begriff von Technologie ins Stolpern geriet, wird sich noch daran erinnern, dass auf solchen Konferenzen in der Regel irgendwann ein Disput aufkam, was dieser Begriff eigentlich solle, und warum man nicht wie bisher, sofern er sich nicht um eine Lehre von technischen Prozessen handele, schlicht und einfach von „der Technik“ rede. Die Jüngeren suchten darauf den alten Hasen üblicherweise beizubringen, dass die neueste Technik immer mehr zur Wissenschaft werde und sich durch einen Systemcharakter auszeichne, der seine eigene Logik habe. Sehr logisch war das alles nicht, und aus der Rückschau verstehe ich recht gut, dass viele Angehörige der älteren Generation „Technologie“ in der heutigen Bedeutung als einen der vielen unnötigen, oft gedankenlosen Amerikanismen empfanden, die seit langem zum Zeitstil gehören.

Die an Hochschulen ausgebildeten Ingenieure hatten schon seit dem späten 19. Jahrhundert im eigenen Standesinteresse dafür gekämpft, dass technische Neuerungen als eine Sache der Wissenschaft und nicht bloßer praktischer Empirie begriffen würden. Das hatte damals jedoch wenig daran geändert, dass in der industriellen Technik die Erfahrung alles war und junge Ingenieure, die frisch von der Hochschule kamen, in der Fabrik erst einmal bei den Meistern in die Lehre gehen mussten. Es war vor allem die Elektrifizierung, die seit der Zeit um 1900 – als das „elektrische Säkulum“ proklamiert wurde – die Vorstellung begründete, dass nunmehr nicht nur diese und jene neue Erfindung, sondern ein neuer Typus von Technik seinen Siegeszug antrete und dabei sei, alle Bereiche der Technik zu durchdringen: ein Techniktyp mit unanschaulichem, gleichsam vergeistigtem Innenleben, mit dem man die bisherige handwerkliche Erfahrungsbasis verlasse. Überhaupt kam erst zu jener Zeit das Abstraktum „die Technik“ in

den allgemeinen Sprachgebrauch; in „die Technik“ konnte man sehr viel mehr hineinprojizieren, als dies zuvor bei ganz konkreten technischen Neuerungen möglich gewesen war. Dennoch blieb die praktische Erfahrung weiterhin der Trumpf des Ingenieurs gegenüber dem theoretischen Physiker.

LEWIS MUMFORDS „NEOTECHNIK“

In der „Neotechnik“ von Lewis Mumford (1895-1990), zuerst 1934 in „technics and civilization“, das zu einem Gründeropus der amerikanischen Technikgeschichte wurde, haben wir dann bereits einen eindrucksvollen, mit einer Heilsbotschaft verknüpften Vorläufer der späteren „neuen Technologien“. Am Ursprung der „Neotechnik“ steht die Elektrizität, diese „saubere“ Energie, die – zumal wenn sie durch Wasserkraft gewonnen wird – die rauchenden Schloten der finsternen „paläotechnischen“ Phase verdrängt. Mumford, damals noch Kulturoptimist, stellt seine Aufeinanderfolge von Paläotechnik und Neotechnik dem kulturpessimistischen Geschichtsmodell Werner Sombarts mit seiner Aufeinanderfolge von „organischem“ und „anorganischem“ Zeitalter gegenüber. Zwar spricht Mumford an anderer Stelle mit spürbarer Nostalgie von der einstigen „polytechnischen“ Vielseitigkeit der Menschen in jener Vergangenheit, in der Wasser und Holz die charakteristischen Rohstoffe und Energien gewesen waren, doch diese, von ihm „Eotechnik“ genannte alte Zeit war passé. 1934 gehörte Mumford zu den typischen New Dealern, die an den Fortschritt glaubten und optimistisch in die Zukunft schauten, zumal diese eine Wiederversöhnung von Mensch und Natur verhieß: „Das paläotechnische Leichentuch von Qualm reißt auf: Mit der Elektrizität kehren der klare Himmel und das reine Wasser der eotechnischen Phase zurück; das Wasser, das durch die unbefleckten Turbinenschaufeln strömt, kommt in lauterem Zustand heraus.“²

Das Mysterium der unbefleckten Empfängnis: in den Wasserkraftwerken geht es in Erfüllung! Beim Thema „Neotechnik“ – so sein Biograf Donald L. Miller – gleitet Mumfords analytische Schärfe oftmals in Wunschdenken über. Die schöne neue Zeit der Neotechnik ist nicht nur eine Ära der Elektrizität, sondern auch eine der Wissen-

2 Mumford 1964, S. 255.

schaft: Endlich gelangt der „scientific engineer“ zur Herrschaft; mit ihm kommt Ordnung in das bisherige Chaos, triumphiert die Vernunft über die Unvernunft.³ Im Grunde findet man in Mumfords „technics and civilization“ bereits das künftige Konzept der großgeschriebenen „Neuen Technologien“, ja sogar in einer später kaum je wieder erreichten klassischen Form, damals noch mit einer durch keine Atomwaffen getrübbten Begeisterung. Mumford ist dort jedoch nicht stehen geblieben: Sein pauschaler Kulturoptimismus schlug später, in der Zeit des atomaren Wettrüstens, in einen nicht weniger pauschalen Kulturpessimismus, ja einen förmlichen Hass auf die neue Technik um – auf die mörderische „Megamaschine“ der Moderne. Auf diese Weise wurde er, wenn nicht zu einem Vater, so doch zu einem Großvater der amerikanischen Umweltbewegung.

NEUE TECHNOLOGIEN IM ATOMZEITALTER

Gerade mit den Verheißungen des „friedlichen Atoms“, vor allem seit der Genfer Atomkonferenz von 1955, begann nach der düsteren Ära der Weltkriege jene große Zeit des neuen Technikoptimismus, der das Konzept der „neuen Technologien“ entsprang.⁴ Das „friedliche Atom“ wurde in den 1950er und 1960er Jahren gerne in einem Atemzug mit der Automation genannt. „Atom und Automation“: die Assonanz wirkte bedeutungsvoll; sie wurde sogar Titel einer bundesdeutschen Schriftenreihe. Solange beides mehr oder weniger Zukunftsmusik war, konnte man ungehemmt Wunschträume diverser Art in das eine wie das andere hineinprojizieren. Unter diesen war der Antrieb von Kraftwerken fast schon das trivialste Projekt; animierender noch für jene Zeit atomarer Euphorie waren die Revolutionierung von Chemie und Medizin mit der Zauberkraft der Radioaktivität oder die Wüstenbewässerung durch entsalztes Meerwasser und Ergrünung arktischer Regionen mittels der vermeintlich unerschöpflichen atomaren Energie, bei der Standort und Transportkosten keine Rolle spielten. All dies verkündeten nicht nur phantasievolle Publizisten, sondern dies versicherte auch Leo Brandt, der Gründervater der Kernforschungsanlage Jülich und damalige technologiepolitische Vordenker der Sozialdemo-

3 Miller 1989, S. 327.

4 Vgl. Radkau 1983.

kratie, auf dem SPD-Parteitag von 1956 im Brustton der Überzeugung, der keinen Widerspruch zuließ – und in der Tat ist kein Widerspruch im Protokoll vermerkt. Uran sei als Brennstoff „drei Millionen mal besser als Kohle“; auch Schiffe und Flugzeuge würden künftig damit betrieben werden; mit einem halben Kilo Uran werde ein Flugzeug achtmal die Erde umkreisen können.

In Verbindung mit der Automation verhiess die Kernenergie unendlichen Wohlstand für alle Länder der Welt, Freizeit in Hülle und Fülle und zugleich eine Vergeistigung der Arbeit durch die Abschaffung stumpfsinniger Plackerei. Sozialisten glaubten obendrein, diese neuen Technologien verlangten nach staatlicher Planwirtschaft und würden ganz von selber den Privatkapitalismus überwinden. Werner Matthöfer, von 1974 bis 1978 Bundesminister für Forschung und Technologie, bekannte kurz vor seinem Tode (2009), der größte Irrtum seines Lebens sei der Glaube gewesen, die Automation werde dereinst die soziale Revolution beschleunigen. In der DDR der 1960er Jahre wurde die Kybernetik zum Zauberwort, wobei ähnlich wie auch bei vielen westlichen Diskussionen über „Automation“ merkwürdig verschwommen blieb, was man sich konkret darunter vorstellte. Auf die Kybernetik baute die DDR-Führung die Zuversicht, dass der technische Fortschritt am Ende für die zentrale Planwirtschaft arbeite; erst nach dem Prager Frühling wurde ihr das in der Kybernetik enthaltene Konzept der Selbststeuerung suspekt.

Spätere Hoffnungen, die auf die jeweils neuen „neuen Technologien“ gesetzt wurden, wirken aus historischer Sicht fast schon wie eine Schwundstufe jener Euphorie, die in den 1950er und 1960er Jahren in Politik und Medien grassierte. Sicherheitsrisiken der Kernkraftwerke? Kein Problem: Mit Automation und Kybernetik lässt sich auch die komplizierteste neue Technik perfekt steuern. Beruhte nicht schon die Kerntechnik auf amerikanischen „Rechenmaschinen“? Wolf Häfele, in den 1960er Jahren Leiter des Karlsruher Brüterprojekts, bemerkte allerdings mir gegenüber, die Rechnungen für den Brüter habe man mit dem Rechenschieber hinbekommen. In Wirklichkeit waren die diversen „neuen Technologien“ eben doch nicht jenes Kontinuum, das der Technikrausch vorspiegelte, wo alle Technik-Zukünfte irgendwie zusammenliefen, als ob eine geheime Vorsehung am Werke sei – was natürlich in unserer säkularisierten Zeit selbst in evangelischen Akademien kaum jemand offen ausgesprochen hätte. Aber auch in unsere Zeit wirken säkularisierte religiöse Vorstellungen hinein. Auf dem

tiefsten Grunde der Hoffnungen auf die Neuen Technologien erkennt man sogar den alten vorchristlichen Glauben an Zauberkräfte.

ZUR KRITIK DES BEGRIFFES „NEUE TECHNOLOGIEN“

Da ist es angebracht, an das Bibelwort zu erinnern: „An ihren Früchten sollt ihr sie erkennen.“ Die Frage ist berechtigt: Was hat das Konzept der „Neuen Technologien“ geleistet? Hat es prognostischen Wert besessen; hat es bei politischen Entscheidungsprozessen geholfen; hat es Fördermittel in die richtige Richtung gelenkt; hat es zu einem besseren Verständnis aktueller Technikrends geführt? Ich bilde mir nicht ein, auf all diese Fragen eine definitive Antwort geben zu können. Vorerst möchte ich die in diesem Konzept wie selbstverständlich enthaltenen Suggestionen identifizieren und kritisch unter die Lupe nehmen. Dabei erscheinen mir vor allem die folgenden drei Punkte von Bedeutung:

(1) Die Wortkombination „Neue Technologien“ transportiert zunächst einmal ein allzu simples, dichotomisches Bild der Technikgeschichte: ein Gegenüber von „alt“ und „neu“. Demgegenüber bestand eines meiner Aha-Erlebnisse bei der Erforschung der Geschichte der Kerntechnik in der Entdeckung, wie sehr die Ingenieure gerade bei einer riskanten neuen Technik darauf angewiesen sind, soweit wie nur möglich auf gründlich erprobte Komponenten zurückzugreifen, um nicht mehrere Risiken miteinander zu kombinieren. Vor allem deshalb setzten sich – zur Enttäuschung vieler Theoretiker der Atomphysik und entgegen ursprünglichen Planungen – in der ganzen Welt bis heute die Leichtwasserreaktoren durch, die den alten Dampfkraftwerken am ähnlichsten sind.

In typischen Fällen ist jedoch bei „Neuen Technologien“ auch eine teleologische Triade in der Technikgeschichte mitgedacht: die erste industrielle Revolution auf der Grundlage der Dampfkraft, die zweite auf der Basis der Elektrizität, und nunmehr die dritte – von der Jahrhundertmitte bis in die 1960er und 1970er Jahre auf der Basis von „Atom und Automation“, in den 1980er Jahren auf der Basis der Gentechnik, in den 1990er Jahren auf digital-elektronischer Basis und in allerjüngster Zeit auf der Grundlage der Nanotechnik. Die teleologi-

sche Triade gerät am Ende – kein Wunder! – im Fluss der Zeit ins Schwimmen.

Aber die noch vor wenigen Jahrzehnten gedachten Zukünfte geraten rasch in Vergessenheit. Stattdessen wird immer wieder suggeriert, die „Neuen Technologien“ kämen mit Gesetzmäßigkeit, einzelne neue Techniken seien integrale Elemente eines logisch in sich zusammenhängenden „Technologie“-Komplexes: einer neuen Technik-„Generation“ – der Generationsbegriff in neueren Technikdiskursen verdiente ähnlich wie der Begriff der „Entwicklung“ eine eigene Studie! –, die quasi-organisch aus der bisherigen technischen Entwicklung herauswuchs.⁵ Für die Propheten dieser großgeschriebenen „Neuen Technologien“ ist derjenige, der nach dem Bedarf und nach dem Verhältnis von Kosten und Nutzen fragt, ein bornierter Ewig-Gestriger, der unsere heutige Moderne nicht begriffen hat. Insofern besitzt das Konzept der „Neuen Technologien“ einen hermetischen Zug und spottet den Rationalitätskriterien des kritischen Rationalismus.

Bereits innerhalb der Geschichte der Kerntechnik ist das Denken in teleologischen Triaden wohlbekannt: die Vorstellung, auf die konventionellen Leichtwasserreaktoren würden mit innerer Logik die „fortgeschrittenen Konverter“ und am Ende die Schnellen Brüter folgen, mit denen der alte Traum des Perpetuum Mobile in Erfüllung gehe. Eben diese Brüter waren die Strahlungsquelle der atomaren Erleuchtung der 1950er Jahre – wenn nicht gar die Fusionsreaktoren, deren Realisierung 1955 binnen zwanzig Jahren prophezeit wurde, und die sich seither immer wieder um weitere zwanzig Jahre in die Zukunft verschoben hat.⁶

Heute wissen wir, dass diese nuklearen Zukunftsentwürfe Seifenblasen waren; aber die Projektionsmuster haben diese Ernüchterung überdauert und zugleich die fixe Idee, die technische Innovation sei der Schlüssel zum Erfolg schlechthin. Demgegenüber würden viele, die häufig die Bahn benutzen, liebend gerne auf die eine oder andere sündhaft teure ICE-Strecke verzichten, wenn dafür die Züge pünktlicher und auch auf Nebenstrecken alle Türen und Toiletten benutzbar wären. Gerade in der Krise der jüngsten Zeit haben viele die Zuverlässigkeit als besonders rare und wertvolle Ressource – und nicht zuletzt auch als spezifisch deutschen Erfolgspfad in der Technikgeschichte – wiederentdeckt und oft nicht ohne Wehmut vermisst. Auch Robustheit

5 Vgl. Beitrag von Högselius in diesem Band.

6 Vgl. Beitrag von Günter und Milch in diesem Band.

und Reparaturfreundlichkeit – für den Benutzer schlechthin zentrale Qualitäten – sind bei Innovationen oftmals wunde Punkte.

Reinhold Bauer ist in letzter Zeit als Pionier einer „historischen Flopologie“⁷ hervorgetreten; man kann sogar darüber hinausgehend die These vertreten: Die meisten Innovationen sind Flops – nur bleibt das verborgen, solange die Technikhistoriker lediglich die erfolgreichen Innovationen in Erinnerung halten. Gewiss sind Innovationen nötig, um die Technik umweltfreundlicher zu machen; aber auch hier können ambitiöse futuristische Projekte davon ablenken, dass die zuverlässigsten Wege, um Energie zu sparen und Emissionen und Landschaftsverbrauch zu senken, oft recht trivial sind.

(2) Bei dem – wie wir sahen – heute längst nicht mehr neuen Konzept der „Neuen Technologien“ war von Anfang an eine gesetzmäßig zunehmende Verwissenschaftlichung mitgedacht, bis hin zu der Vorstellung, Technik und Wissenschaft würden immer mehr miteinander identisch. Die Vorstellung, dass es sich dabei um einen gesetzmäßigen Prozess handle, ist gerade in jüngster Zeit durch den Modebegriff der „Wissenschaftsgesellschaft“ reaktiviert und mit neuem Nachdruck verbreitet worden. Aber bereits die Kerntechnik galt speziell in ihrer Frühzeit als Prototyp der „wissenschaftlichen“ Technik. War nicht das Manhattan Projekt, der Bau der ersten amerikanischen Atombomben, von Atomphysikern inspiriert worden? In den 1950er Jahren war die Vorstellung verbreitet, theoretische Atomphysiker wie Werner Heisenberg seien dazu prädestiniert, auch den Aufbau ziviler Kernkraftwerke zu leiten; Heisenberg scheint sich dies eine Zeitlang sogar selber eingebildet und damit selbst Adenauer beeindruckt zu haben.

Die nachfolgende Geschichte hat jedoch diesen Glauben so gründlich wie nur möglich widerlegt. Wolf Häfele, der aus dem Heisenberg-Kreis kam, bekannte 1977 in einem Brüter-Hearing des Bundesforschungsministeriums, dass Physiker – ihn selbst eingeschlossen – „im allgemeinen unterschätzen, wie schwer es ingenieurmäßig ist, auch nur einen einzigen Reaktortyp auf die Beine zu bringen“. Nur „unter Qualen“ sei man zur Entscheidung für den natriumgekühlten Brüter und zum Abbruch alternativer Konzepte gelangt. „Und dann war es am Ende nicht irgendein logisches Argument, sondern die Fülle der technischen Evidenz, die sich gegenseitig trägt.“ Es komme darauf an, wo das „größte Vertrauensniveau“ bestehe. Eine bemerkenswerte, selbst-

7 Bauer 2006.

kritische Einsicht eines ursprünglichen Theoretikers, die gewiss nicht nur für den Natriumbrüter, sondern auch für andere „Neue Technologien“ gilt!

Die im Zeichen der „Wissenschaftsgesellschaft“ als altmodisch geltende Auffassung, dass Technik durchaus nicht einfach angewandte Wissenschaft sei und die Technikgeschichte anderen Gesetzen folge als die Wissenschaftsgeschichte, ist keineswegs überholt, wenn auch Technikhistoriker gerne Anschluss an die Wissenschaftsgeschichte wegen der dort besseren Fördermöglichkeiten suchen. Gerade wenn man bedenkt, dass Erfolg und Misserfolg in der Produkttechnik am Konsumenten hängen, gelangt man zu der Folgerung, dass in der Technik nach wie vor die Erfahrung regiert und diese keineswegs durch „Forschung und Entwicklung“ ersetzt werden kann.

Manches spricht sogar für die These, dass die Bedeutung der Erfahrung noch im Wachsen ist. Die gesamte Geschichte der Computertechnik ist weit mehr von Fehlprognosen begleitet als einst die Geschichte von Eisenbahn und Automobil. Gerade bei hochkomplexen neuen Techniken ist am allerwenigsten theoretisch zu prognostizieren, wie sie sich in der Praxis bewähren. Die vergleichsweise größte Rolle konnten dagegen Theoretiker bei der Konstruktion atomarer Waffen spielen; denn da kam es nicht auf die Akzeptanz bei denen an, auf die diese Waffen zielten – ganz im Gegenteil.

(3) Der Begriff „Neue Technologien“ taucht typischerweise in Verbindung mit dem Ruf nach vermehrten staatlichen Fördergeldern auf; und es gibt Grund zu dem Verdacht, dass seine Leistungsfähigkeit mehr im Wissenschaftslobbyismus als in der Wissenschaft zu suchen ist. Wenn einer eine „Neue Technologie“ kreiert oder eine bestimmte Technik zum Element einer „Neuen Technologie“ deklariert, dann üblicherweise mit dem Postulat, diese müsse mit Steuergeldern gefördert werden. Aber eben dies macht das Konstrukt „Neue Technologien“ am allermeisten suspekt. Wieweit Fördergelder für die Wissenschaft am besten in Großprojekten der „Forschung und Entwicklung“ platziert sind, ist fraglich: Sowohl grundsätzlich wie auch in nicht wenigen Einzelfällen sind Zweifel angebracht, ob und wieweit es sinnvoll ist, bestimmte neue Techniken von Staats wegen voranzupushen.

Im Großen und Ganzen hat sich der Staat in Industriesachen eher als Kontrolleur und als Instanz, die Rahmenbedingungen setzt, bewährt – weit weniger als erfolgreicher Promotor von Innovationen.

Falls es auf diesem Gebiet „Lehren der Geschichte“ gibt, so weisen diese durchaus nicht eindeutig in Richtung staatlich geförderter Großprojekte; wo die Geschichte als Argument für eine solche Förderung bemüht wird – zeitweise war der Hinweis auf das japanische Industrieministerium MITI beliebt –, besteht Verdacht auf Geschichtsmythen. Klaus Traube hat aus eigener Insider-Erfahrung als technischer Leiter des Brüterbaus von Kalkar in treffender Weise die Tücken staatlich geförderter Großprojekte im Bereich neuer Technik geschildert: wie diese ein irrationales, kaum mehr zu steuerndes und zu kontrollierendes Eigenleben entwickeln.⁸ Am ärgsten ist es mit supranationalen Projekten, wo Ansätze zur Umsteuerung diplomatische Verwicklungen nach sich zu ziehen drohen. Das von der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) geförderte Projekt eines „organisch moderierten Reaktors“ (ORGEL), das sich ohne jede Chance auf industriellen Erfolg durch die 1960er Jahre schleppte, war das sinnloseste und absurdeste aller Reaktorprojekte.

Diejenigen, die sich die Kerntechnik als Inbegriff verwissenschaftlichter Technik dachten, haben sich früher die großen vom Staat finanzierten Kernforschungszentren als Superhirne der nuklearen „Entwicklung“ vorgestellt, und diese selbst haben dieses Image natürlich im Eigeninteresse gefördert. In Wirklichkeit hat von all den Projekten der drei Kernforschungszentren Karlsruhe, Jülich und Geesthacht – all den Brüter-, Wiederaufarbeitungs-, Hochtemperatur- und Schiffsreaktorprojekten – nicht auch nur ein einziges zum Erfolg geführt. Stattdessen bescherten manche dieser einstigen Zukunftsprojekte, die heute längst Vergangenheit sind, der Atomwirtschaft heftige Kontroversen, die ihr andernfalls erspart geblieben wären: Brüter und Wiederaufarbeitung waren jahrelang die Hauptzielscheiben des Protests, und gerade hier hatte er die stärkste und nachhaltigste Wirkung.

FAZIT

Seit dem 19. Jahrhundert ist es ein stehender Topos der deutschen Technikliteratur, der deutsche Weg zum Erfolg habe in der Technik auf der wissenschaftlichen Grundlage beruht. Das mag man mit einigen Abstrichen gelten lassen; aber „Wissenschaft“ ist ein mehrdeutiger

8 Traube 1978.

Begriff, und man muss jeweils klarstellen, was man in bestimmten Zusammenhängen damit meint. Am ehesten waren und sind die stark praktisch ausgerichteten Fachhochschulen ein spezifisch deutscher Weg. Staatlich finanzierte Großprojekte der „Forschung und Entwicklung“ sind im deutschen Fall gewiss kein typischer Erfolgspfad gewesen; eher überwiegen die abschreckenden Beispiele. Gewiss ist es Sache des Staates, eine breite Basis allgemeiner und spezieller technischer Bildung bereitzustellen; aber sobald es in die konkreten Projekte geht, regiert nach wie vor jenes Know-how, das sich nur durch die Praxis gewinnen lässt, und ist die wirksamste Kontrolle der Wirtschaftlichkeit dann gewährleistet, wenn diejenigen, die die Projekte entscheiden, auch das finanzielle Risiko tragen müssen.

Es sieht nicht so aus, als beschränkten sich Erfahrungen solcher Art nur auf die Kerntechnik. Manche betonen die Rolle der amerikanischen Militärforschung in der Genese der Computertechnik und des Internet; aber wenn man die gesamte Geschichte sieht, ist gerade das Wechselspiel zwischen Technikproduzenten und Techniknutzern hier das Phänomenale, nicht zuletzt auch vor dem Hintergrund der älteren Technikgeschichte. Über die allerneueste „Neue Technologie“, die Nanotechnik, lässt sich noch nichts Abschließendes sagen, aber es erscheint doch recht deutlich, dass diesem Reizwort kein konsistentes Gebilde an technologischer Kompetenz entspricht, sondern dass es sich um eine vorrangig zum Einwerben von Fördermitteln erfundene Begriffskreation handelt, die nicht ganz so brandneue Bereiche der Molekularphysik und Molekularchemie umfasst – Forschungssektoren, die bis dahin unter umständlichen und unattraktiven Bezeichnungen liefen, die sich der Laie nicht merken konnte.

Jürgen Kocka hat einst bei aller Theoriebeflissenheit der von ihm mitbegründeten „Bielefelder Schule“ das „konkrete Denken“ als einen Konkurrenzvorteil des Historikers im Streit der Fakultäten hervorgehoben. Mir scheint, dieses konkrete Denken ist heutzutage ganz besonders dort gefragt, wo von „Neuen Technologien“ die Rede ist: Dort könnte es nicht nur theoretischen, sondern auch praktischen Nutzen bringen. Nicht umsonst grassiert seit geraumer Zeit das Modewort „Hype“. Es würde sich lohnen, die Euphorieschübe in der Technikgeschichte seit der frühen Eisenbahnbegeisterung über die Fahrrad-, Auto- und Elektromanie bis in die neueste Zeit zu verfolgen: Da wird man feststellen, dass die konkrete Substanz abnimmt und die Euphorie

immer mehr zum „Hype“ wird. Es ist Sache der Technikhistoriker, an einem kräftigen Schub an konkretem Denken aktiv mitzuwirken.

LITERATUR

- Bauer, R.: *Gescheiterte Innovationen – Fehlschläge und technologischer Wandel*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2006.
- Mumford, L.: *Technics and civilization*, New York: Mariner, 1964 (1. Aufl. 1934).
- Miller, D. L.: *Lewis Mumford. A life*, Pittsburgh/PA: Grove, 1989.
- Radkau, J.: *Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft, 1945-1975. Verdrängte Alternativen in der Kerntechnik und der Ursprung der nuklearen Kontroverse*, Reinbek: Rowohlt, 1983.
- Radkau, J.: *Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis heute*, Frankfurt am Main: Campus, 2008 (umfass. überarbeitete und aktualisierte Neuauflage, 1. Aufl. 1989).
- Traube, K.: *Müssen wir umschalten? Von den politischen Grenzen der Technik*, Reinbek: Rowohlt, 1978.

Neue Technologien, neue Technikfolgen: Ambivalenz, Komplexität und Unsicherheit als Herausforderungen der Technikfolgenabschätzung

ORTWIN RENN

Im Berufs- wie im Alltagsleben sind Menschen auf Technik angewiesen. Ohne Eingriffe in die Natur auf der Basis von Arbeitsteilung, Organisationsbildung und Technikeinsatz wäre es der Menschheit unmöglich, die bis heute erzielte Siedlungsdichte sowie den ethischen Anspruch auf individuellen Lebenserhalt in menschenwürdigen Umständen aufrechtzuerhalten. Gleichzeitig schafft die Nutzung von Technik aber auch neue Risiken. Inwieweit die entstehenden Risiken durch den erwünschten Nutzen ausgeglichen werden, lässt sich oft im Voraus nicht bestimmen, vor allem bei Neuen Technologien, für die noch kaum Erfahrungswerte vorliegen. Für diese Neuen Technologien sind viele Folgen unsicher, die Wissensgrundlage ist aufgrund der komplexen Ursache-Wirkungsketten umstritten, und die Bewertung der Technikfolgen durch die betroffenen Menschen variiert erheblich. Aus diesem Grunde hoffen viele Menschen auf die Leistungen der Wissenschaft, Orientierungshilfe im Sinne von Prognosen und Zukunftsszenarien zu gewähren. Prognosen können aber nur wahrscheinliche oder mögliche Entwicklungen voraussagen. Sie können die genuine Ungewissheit der Zukunft nicht außer Kraft setzen. Daher kann eine Abschätzung der Folgen von Neuen Technologien auch nicht eine Vorwegnahme aller negativer Auswirkungen, ja nicht einmal die Sicherheit einer positiven Kosten-Nutzen-Bilanz versprechen. Vielmehr

ist es die Aufgabe der Technikfolgenabschätzung, in Kenntnis der potenziellen Folgen positiver wie negativer Art, wie sie nach methodisch bestem Wissen erschlossen worden sind, die Möglichkeiten von Modifikationen und Einführungsbedingungen mit den Technikentwicklern und Techniknutzern abzustimmen.

Die Geschwindigkeit des technischen Wandels hat inzwischen schwindelnde Ausmaße erreicht. Kommt das Designer-Baby, kann die Maschine intelligente Entscheidungen treffen, wird die Biotechnologie unsere Ernährung revolutionieren, werden wir in Zukunft von Biochips in unserem Gehirn gesteuert, können wir mit Hilfe der Medizintechnik unser Leben weiter verlängern? Fragen über Fragen, die nicht nur die technische Entwicklung, sondern alle Dimensionen des sozialen, politischen und psychischen Lebens berühren. Gleichzeitig dringen immer mehr Katastrophenmeldungen über technisches Versagen an unser Ohr. Flugzeugabstürze, Futtermittel-Skandale, Terroranschläge und nicht zuletzt die drohende Klimakatastrophe schrecken die Öffentlichkeit auf. Höhere Siedlungsdichte, die wachsende Technisierung der Umwelt, die zunehmende Eingriffstiefe der Menschen in biogeochemische Kreisläufe und die verstärkte Verwundbarkeit sozialer Systeme sind wesentliche Gründe dafür, dass immer mehr Menschen hohen Risikopotenzialen ausgesetzt sind. So nimmt es auch nicht Wunder, dass die Gesellschaft ein Wechselbad von Schreckensnachrichten, Katastrophenmeldungen, Entwarnungen, Dramatisierungen und Verharmlosungen erfährt. Die Folge dieses heillosen Durcheinanders ist schlichtweg Verunsicherung. Ist es nicht möglich, die Folgen Neuer Technologien im Voraus besser zu bestimmen, als wir es bis jetzt getan haben? Wie sollte eine Technik aussehen, die wirtschaftlich vorteilhaft, risikoarm und ökologisch verträglich ist? Gibt es so etwas überhaupt? Auf all diese Fragen versucht die evidenzbasierte Technikfolgenabschätzung eine Antwort zu geben.

Hinter dem Wortungetüm „Technikfolgenabschätzung“ verbirgt sich eine einfache Aufgabe: Technikfolgenabschätzung, kurz TA, dient dem Ziel, durch wissenschaftliche, auf Evidenz aufgebaute Analysen die Konsequenzen, die mit dem Einsatz von Technik für die Gesellschaft verbunden sind, zu identifizieren und zu bewerten. TA beruht auf dem Versuch einer systematischen Identifizierung und Bewertung von technischen, umweltbezogenen, ökonomischen, sozia-

len, kulturellen und psychischen Wirkungen, die mit der Entwicklung, Produktion, Nutzung und Verwertung von Techniken einhergehen.¹

Das Versprechen der TA besteht darin, im Voraus die Konsequenzen technischer Handlungen prognostizieren zu können und dadurch den dornenreichen Weg von Versuch und Irrtum zumindest weniger schmerzhaft zu gestalten, wenn nicht sogar vollständig zu vermeiden. Ist eine solche Erwartung realistisch? Können wir von Versuch und Irrtum auf Simulation und Vermeidung umschalten? Ein Blick in die Geschichte der TA nährt die Skepsis, ob dieser hohe Anspruch eingelöst werden kann. Dies gilt vor allem für die in diesem Band im Vordergrund stehenden Neuen Technologien. Damit sind solche technischen Anwendungen gemeint, deren Potenzial noch nicht oder nur zum Teil ausgeschöpft und bei denen das Wissen um mögliche Folgewirkungen noch unvollständig ist.

In diesem Beitrag geht es darum, die Aussagekraft von evidenzbasierter Technikfolgenabschätzung für Neue Technologien zu verdeutlichen und dabei die methodischen Grenzen aufzuzeigen, die damit verbunden sind. Bei den Neuen Technologien ergeben sich zentrale Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit der Folgenforschung, die dazu dienen können, TA und deren Potenziale möglichst „zielgenau“ zu bestimmen und – wo möglich – die Entwicklung im Sinne eines humanen Wandels von Technik und Gesellschaft zu beeinflussen.

AMBIVALENZ, KOMPLEXITÄT UND UNSICHERHEIT: BEGLEITUMSTÄNDE DER TECHNIKFOLGENFORSCHUNG

In unserem Bestreben, die möglichen Wirkungen und Nebenwirkungen von Neuen Technologien aufzuzeigen, werden wir durch drei zentrale Probleme der Zukunftsgestaltung erheblich gebremst. Die Probleme heißen: Ambivalenz, Komplexität und Unsicherheit.² Beginnen wir mit dem ersten Stichwort: Ambivalenz. Die Hoffnung auf Vermeidung von negativen Technikfolgen ist trügerisch, weil es keine Technik gibt, nicht einmal geben kann, bei der nur positive Auswir-

1 Renn 2005; Grunwald 2000; Bullinger 1994.

2 Renn 2008, S. 74ff.

kungen zu erwarten wären. Dies klingt trivial. Ist es nicht offensichtlich, dass jede Technik ihre guten und schlechten Seiten hat? Die Anerkennung der Ambivalenz besagt aber mehr, als dass wir uns mit Technik weder das Paradies noch die Hölle erkaufen. Es ist eine Absage an alle kategorischen Imperative und Handlungsvorschriften, die darauf abzielen, Techniken in moralisch gerechtfertigte und moralisch ungerechtfertigte aufzuteilen.³ Es gibt keine Technik mit lauter positiven oder lauter negativen Technikfolgen, gleichgültig welche Technik wir im Einzelnen betrachten. Bei jeder neuen technischen Entscheidung sind wir angehalten, immer wieder von neuem die positiven und negativen Folgepotenziale, also die Chancen und Risiken, gegeneinander abzuwägen. Auch die Solarenergie hat ihre Umweltrisiken, wie auch die Kernenergie ihre unbestreitbaren Vorteile aufweist. Ambivalenz ist das Wesensmerkmal jeder Technik. Folgt man dieser Gedankenkette weiter, dann bedeutet institutioneller Umgang mit Ambivalenz, dass Techniken weder ungefragt entwickelt und eingesetzt werden dürfen, noch dass wir jede Technik verbannen müssen, bei der negative Auswirkungen möglich sind.

Gefragt ist also eine Kultur der Abwägung. Zur Abwägung gehören immer zwei Elemente: Wissen und Bewertung.⁴ Wissen sammelt man durch die systematische, methodisch gesicherte Erfassung der zu erwartenden Folgen eines Technikeinsatzes (*Technikfolgenforschung*). Bewertung erfolgt durch eine umfassende Beurteilung von Handlungsoptionen aufgrund der Wünschbarkeit der mit jeder Option verbundenen Folgen, einschließlich der Folgen des Nichtstuns, der so genannten Nulloption (*Technikfolgenbewertung*). Eine Entscheidung über Technikeinsatz kann nicht allein aus den Ergebnissen der Folgenforschung abgeleitet werden, sondern ist auf eine verantwortliche Abwägung der zu erwartenden Vor- und Nachteile auf der Basis nachvollziehbarer und politisch legitimer Kriterien angewiesen.⁵ Für das erste Element, die Technikfolgenforschung, brauchen wir ein wissenschaftliches Instrumentarium, das uns erlaubt, so vollständig, exakt und objektiv wie möglich Prognosen über die zu erwartenden Auswirkungen zu erstellen. Für das zweite Element benötigen wir Kriterien, nach denen wir diese Folgen intersubjektiv verbindlich beurteilen können. Solche Kriterien sind nicht aus der Wissenschaft abzuleiten:

3 Grunwald 2008, S. 339 ff.

4 Renn 2005.

5 Dierkes 1991.

sie müssen in einem politischen Prozess durch die Gesellschaft identifiziert und entwickelt werden.

Beide Aufgaben wären weniger schwierig, gäbe es nicht die beiden weiteren Probleme: Komplexität und Unsicherheit.⁶ „Komplex“ bedeutet, dass zwischen Ursache und Wirkung viele intervenierende Größen wirksam sind, die diese Beziehung entweder verstärken oder abschwächen, so dass man aus der beobachteten Wirkung nicht ohne weiteres rückschließen kann, welche Ursachen dafür verantwortlich sind.⁷ Komplexität verweist auf Kausalzusammenhänge, die nur schwer zu identifizieren und zu quantifizieren sind. Grund hierfür können interaktive Effekte zwischen einer Vielzahl von ursächlichen Faktoren sein, z. B. mehrfache Synergien oder lange Verzögerungszeiten zwischen Ursachen und Wirkungen. Diese komplexen Zusammenhänge erfordern besonders anspruchsvolle wissenschaftliche Untersuchungen, da die Ursache-Wirkungs-Beziehungen weder evident noch direkt beobachtbar sind. Im Fall von nicht-linearen Beziehungen, die auch durch probabilistische Techniken nicht mehr adäquat erfasst werden können, entsteht aus Komplexität Unbestimmtheit. Die psychologische Forschung hat eindringlich gezeigt, wie schwer es Menschen in Entscheidungssituationen fällt, mit komplexen Sachverhalten adäquat umzugehen.⁸

Das andere wesentliche Element jeder wissenschaftlichen TA betrifft den Grad der Unsicherheit. Die meisten TA-Studien beruhen darauf, dass es nur selten deterministische, d. h. festgelegte Ursache-Wirkungs-Ketten in Folge des Einsatzes von Technologien gibt. Gleiche oder ähnliche Folgewirkungen können bei unterschiedlichen Individuen, Gruppen oder Gesellschaften zu einer Vielzahl von höchst unterschiedlichen Reaktionen führen.⁹ Die Unsicherheit umfasst zum einen Messfehler (z. B. durch die Extrapolation von Daten von Stichproben auf die Allgemeinheit) und die Variation von Kontextfaktoren, die eine eindeutige Zuordnung von Folgen zu Ursachen erschweren. Zum anderen bezieht sie sich auf Unbestimmtheit und Nicht-Wissen, das daraus resultieren kann, dass Messungen nicht möglich sind oder Wirkungen gezielt nur in bestimmten Systemgrenzen analysiert und

6 Funtowicz/Ravetz 2001.

7 WBGU 2000, S. 195 ff.

8 Dörner/Schaub/Stohschneider 1999.

9 Van Asselt 2000.

damit systemübergreifende, externe Einflüsse und Wirkungen außer Acht gelassen werden.¹⁰

Technikfolgenabschätzung kann aufgrund der drei hier skizzierten Problembereiche helfen, die Dimensionen und die Tragweite unseres Handelns wie unseres Unterlassens zu verdeutlichen. Sie kann aber weder die Ambivalenz der Technik auflösen noch die zwingende Unsicherheit und Komplexität außer Kraft setzen. Sie kann bestenfalls dazu beitragen, Modifikationen des technischen Handelns vorzuschlagen, die bessere Entscheidungen – nach Maßgabe des verfügbaren Wissens und unter Reflexion des erwünschten Zweckes – wahrscheinlicher machen.

VON DER FOLGENFORSCHUNG ZUR FOLGENBEWERTUNG: NOTWENDIGKEIT DES BEWERTENS

Technikfolgenforschung ist der erste Schritt zur Verbesserung von Entscheidungen, die den Einsatz Neuer Technologien bestimmen. Die Ergebnisse der Technikfolgenforschung bilden die faktische Grundlage, d. h. die wissensgesteuerte Unterfütterung zur Folgenbewertung, dienen also dazu, anstehende Entscheidungen zu überdenken, negativ erkannte Folgen zu mindern und mögliche Modifikationen der untersuchten Technik vorzunehmen. Die Einbindung faktischen Wissens in Entscheidungen wie auch die möglichst wertadäquate Auswahl der Optionen können im Prozess der Technikbewertung (Abwägung) nach rationalen und nachvollziehbaren Kriterien gestaltet werden, so wie es in den einschlägigen Arbeiten zur Entscheidungslogik dargelegt wird.¹¹ Sowohl die wissensgesteuerte Eingabe von wissenschaftlich belastbaren Ergebnissen als auch die Bewertung nach rationalen Kriterien gehören zu den essenziellen Bestandteilen einer evidenzbasierten Folgenabschätzung.

Evidenzbasiert bedeutet aber nicht eindeutig: Ambivalenz, Unsicherheit und Komplexität lassen eindeutige Erklärungen und Prognosen nur in wenigen Ausnahmefällen zu. Dies kann man am Prinzip der rationalen Entscheidungslogik gut dokumentieren. Die rationale Ent-

10 Japp 1999.

11 Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1992, S. 345 ff.

scheidungsregel ist einfach: Kennt man die möglichen Folgen und die Wahrscheinlichkeiten ihres Eintreffens (oder besser gesagt: glaubt man sie zu kennen), dann beurteilt man die Wünschbarkeit der jeweiligen Folgen auf der Basis der eigenen Wertorientierungen. Man wählt diejenige Variante aus der Vielzahl der Entscheidungsoptionen aus, von der man erwartet, dass sie das höchste Maß an Wünschbarkeit für den jeweiligen Entscheider verspricht. Die Entscheidung erfolgt auf der Basis von Erwartungswerten, wohl wissend, dass diese erwarteten Folgen aller Voraussicht nach so nicht eintreffen werden.

So intuitiv einsichtig das Verfahren der Entscheidungslogik ist, eindeutige Ergebnisse sind auch bei rigoroser Anwendung der TA nicht zu erwarten. Das liegt zum Ersten daran, dass wir selber unsicher sind über die Wünschbarkeit von einzelnen Folgen, zum Zweiten daran, dass diese Folgen auch andere betreffen, die von uns verschiedene Wertorientierungen haben und deshalb zu anderen Entscheidungen kommen würden, und schließlich daran, dass sich Menschen in unterschiedlichem Maße risikoaversiv verhalten.¹² Aus diesem Grunde hat sich eine Reihe von psychologisch orientierten Entscheidungstheoretikern mit suboptimalen (aber in der Realität häufig vorfindbaren) Verfahren der Auswahl von Optionen beschäftigt. Diese reichen von so genannten „satisficing“ Strategien, bei denen man nur für alle Bewertungen ein noch gerade zufriedenstellendes Abschneiden akzeptiert, über lexikografische Verfahren, bei denen die wichtigsten Kriterien vorab die Auswahl bestimmen, bis hin zu speziellen Formen der „bounded rationality“, bei der die relativen Gewichte der Kriterien oder die Wahrscheinlichkeiten des Eintreffens von erwartbaren Folgen unbeachtet bleiben.¹³

Festzuhalten bleibt deshalb: Technikfolgenforschung bleibt auch bei der Anwendung der bestmöglichen Methodik ein unvollständiges Instrument der Zukunftsvorsorge, denn Komplexität, Ambivalenz und Ungewissheit lassen sich nicht durch Wissen auflösen. Technikfolgenbewertung lässt sich ebenso wenig nach intersubjektiv gültigen und verbindlichen Kriterien und Vorgehensweisen durchführen, weil auch hier Ambivalenz und Ungewissheit einer eindeutigen Selektionsregel den Riegel vorschieben. Was also können wir tun?

12 Erdmann/Wiedemann 1995, S. 136 ff.

13 Dawes 1988; Jungerman/Pfister/Fischer 1998, S. 124 ff.; Gigerenzer 2007.

DISKURSIVE TA: EIN LÖSUNGSVORSCHLAG FÜR DEN UMGANG MIT AMBIVALENZ, KOMPLEXITÄT UND UNSICHERHEIT

Auch die evidenzbasierte Technikfolgenabschätzung ist bei allem Streben nach wissenschaftlicher Intersubjektivität bei der Erfassung und Bewertung von Technikfolgen auf einen diskursiven Prozess angewiesen.¹⁴ Um adäquat mit den Problemen der Komplexität, Unsicherheit und Ambivalenz umzugehen, erscheint ein diskursiver oder partizipativer Ansatz besonders erfolgversprechend.¹⁵ Auch das in den Niederlanden entwickelte Konzept einer konstruktiven TA kommt dem Leitbild einer diskursiven TA nahe.¹⁶

Als Diskurs soll hier eine Form von Kommunikation verstanden werden, bei der Sprechakte im gegenseitigen Austausch von Argumenten nach festgelegten Regeln der Gültigkeit auf ihre Geltungsansprüche hin ohne Ansehen der Person und ihres Status untersucht werden.¹⁷ Dabei beziehen sich die im Diskurs vorgebrachten Geltungsansprüche nicht nur auf kognitive Aussagen, sondern sie umfassen normative Äußerungen ebenso wie expressive (Affekte und Versprechungen). Letztendlich soll der Diskurs in der Vielfalt der Sprachakte die Vielfalt der erlebten Welt und ihre Begrenzungen widerspiegeln.¹⁸

Die Tatsache, dass sich Konfliktparteien um einen runden Tisch versammeln und miteinander sprechen, hat für sich allein genommen kaum dazu beigetragen, einen Sachverhalt zu klären, zu neuen Einsichten zu gelangen oder einen Konflikt zu lösen. Vielmehr ist es wesentlich, dass in einem solchen diskursiven Verfahren die Sachfragen auf der Basis einer nachvollziehbaren Methodik geklärt, die Bewertungsfragen erörtert und die Handlungsfolgerungen konsistent abgeleitet werden.¹⁹ Häufig enden diese Diskurse nicht mit einem Konsens, sondern mit einem Konsens über den Dissens. In diesem Falle wissen alle Teilnehmer, warum die eine Seite für eine Maßnahme und die andere dagegen ist. Die jeweiligen Argumente sind dann aber im Gespräch überprüft und auf Schwächen und Stärken hin aus-

14 Renn 1999, S. 85 ff.; Ders. 2008, S. 284 ff.

15 Renn 2008, S. 273 ff.

16 Grunwald 2002, S. 145 ff.; Rip/Misa/Schot 1995.

17 Habermas 1971, S. 104 ff.

18 Hubig 1999, S. 201.

19 Giegel 1992, S. 16.

gelotet worden. Die verbleibenden Unterschiede beruhen nicht mehr auf Scheinkonflikten oder auf Fehlurteilen, sondern auf klar definierbaren Differenzen in der Bewertung von Entscheidungsfolgen.²⁰ Das Ergebnis eines Diskurses ist mehr Klarheit, nicht unbedingt Einigkeit.

Es gibt eine Vielzahl von Verfahren und Möglichkeiten, solche Diskurse zu führen.²¹ Geht es mehr um gemeinsame Selbstverpflichtung oder Selbstbindung, haben sich Runde Tische und spezielle Techniken wie Zukunftswerkstatt oder Open Space Forum bewährt. Für die Behandlung wissenschaftlicher Streitfragen sind Instrumente wie Delphi, Gruppen-Delphi, meta-analytische Werkstätten oder Konsensuskonferenzen geeignet. Stehen dagegen Interessen- oder Wertkonflikte im Raum, die behandelt und wenn möglich aufgelöst werden sollen, lassen sich Mediations- und Schlichtungsverfahren einsetzen. Für eine Beteiligung der nicht organisierten Bürger sind Planungszellen, Konsensuskonferenzen oder Bürgerkomitees bzw. Bürgerforen die richtigen Instrumente. Diese unterschiedlichen Diskursverfahren lassen sich auch kombinieren: Zur Bewertung von Handlungsoptionen für einen umfangreichen Abfallmanagementplan der Region Nord-schwarzwald hat die inzwischen aufgelöste Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg verschiedene Instrumente zur Einbeziehung unterschiedlicher Interessengruppen miteinander kombiniert wie Runde Tische, ein Gruppen-Delphi zur Analyse der wissenschaftlichen Grundlagen und mehrere Bürgerforen²².

KLASSIFIKATION VON DISKURSEN

In der Literatur finden sich viele verschiedene Klassifikationssysteme für Diskurse.²³ Man kann sich beispielsweise über Sachverhalte, über Bewertungen, über Handlungsforderungen oder über ästhetische Urteile streiten. Für die praktische Arbeit in der Technikfolgenabschätzung erscheint eine Klassifikation in drei Diskurskategorien hilfreich:²⁴

Der *epistemische Diskurs* umfasst Kommunikationsprozesse, bei denen Experten (nicht unbedingt Wissenschaftler) um die Klärung

20 Grunwald 2002, S. 128 f.

21 Überblick und Erläuterung in Renn 2008, S. 332 ff.

22 Renn u. a. 1999.

23 Rowe/Frewer 2002; Webler 1995.

24 Wachlin/Renn 1999.

eines Sachverhaltes ringen. Ziel eines solchen Diskurses ist eine möglichst wirklichkeitsgetreue Abbildung und Erklärung eines Phänomens. Je vielschichtiger, disziplinenübergreifender und unsicherer dieses Phänomen ist, desto eher ist ein kommunikativer Austausch unter den Experten notwendig, um zu einer einheitlichen Beschreibung und Erklärung des Phänomens zu kommen. Häufig können diese Diskurse nur die Bandbreite des noch methodisch rechtfertigbaren Wissens aufzeigen, also den Rahmen abstecken, in dem Dissens noch unter methodischen oder empirischen Gesichtspunkten begründet werden kann.

Der *Reflexionsdiskurs* umfasst Kommunikationsprozesse, bei denen es um die Interpretation von Sachverhalten zur Klärung von Präferenzen und Werten sowie zur normativen Beurteilung von Problemlagen und Vorschlägen geht. Reflexionsdiskurse eignen sich vor allem als Stimmungsbarometer für technische Entwicklungen, als Hilfsmittel zur Entscheidungsvorbereitung und als Instrument zur antizipativen Konfliktvermeidung. Sie vermitteln einen Eindruck von Stimmungen, Wünschen und Unbehagen, ohne aber konkrete Entscheidungsoptionen im Einzelnen zu bewerten.

Der *Gestaltungsdiskurs* umfasst Kommunikationsprozesse, die auf die Bewertung von Handlungsoptionen und/oder die Lösung konkreter Probleme abzielen. Verfahren der Mediation oder direkten Bürgerbeteiligung sind ebenso in diese Kategorie einzuordnen wie Zukunftswerkstätten zur Gestaltung der eigenen Lebenswelt oder politische bzw. wirtschaftliche Beratungsgremien, die konkrete Politikoptionen vorschlagen oder evaluieren sollen.

Alle drei Diskursformen bilden das Gerüst für die Gesellschaftsberatung, denn die Ergebnisse der Diskurse müssen in legitime Formen der Beschlussfindung eingebunden werden.²⁵ Zwar können die Akteure auf der Basis von Selbstverpflichtungen und eigenen Versprechungen konsensfähige Lösungen umsetzen und damit die offizielle Politik entlasten, vielfach besteht aber darüber hinaus Bedarf an der Setzung oder Modifizierung von rechtlichen oder institutionellen Rahmenbedingungen. Dazu sind politische Maßnahmen notwendig, die um so eher greifen werden, je mehr sie auf diskursiven Formen der Zusammenarbeit mit ausgewählten Vertretern aus den drei Diskursebenen beruhen.

25 Weingart/Lentsch 2008.

Selbst wenn es gelingt, alle diese Diskurse ergebnisorientiert und effizient zu führen, so werden sie dennoch keine akzeptablen Lösungen hervorbringen, wenn die Probleme von Ambivalenz und Unsicherheit nicht selbst zum Thema gemacht werden. Technikanwendern wie Technikbetroffenen muss deutlich werden, dass mit jeder Technikanwendung Risiken verbunden und Schäden auch bei bester Absicht und größter Vorsorge nicht auszuschließen sind. Erst die Bewusstmachung der verbleibenden Risiken eröffnet neue Strategien, kreativ und vorsorgend mit Ambivalenz und Ungewissheit umzugehen.

SCHLUSSBETRACHTUNG

Technikfolgenabschätzung umfasst die wissenschaftliche Abschätzung möglicher Folgepotenziale sowie die nach den Präferenzen der Betroffenen ausgerichtete Bewertung dieser Folgen, wobei beide Aufgaben, die Folgenforschung und -bewertung aufgrund der unvermeidbaren Ambivalenz, Komplexität und Ungewissheit unscharf in den Ergebnissen bleiben werden. Prognosen über die technische Zukunft sind Teil von Technikfolgenabschätzungen und zugleich unverzichtbare Bestandteile für gegenwärtige Entscheidungen, sie dürfen aber nicht die Sicherheit vortäuschen, man könnte alle gefährlichen Ereignisse und Entwicklungen vorhersagen und damit auch durch präventives Handeln ausschließen. Vor allem kann TA eine Hilfestellung bieten, um auch in Zukunft Handlungsfreiheit zu erhalten und bei einer möglichen Fehlentwicklung, also der Erfahrung überwiegend negativer Auswirkungen, flexibel genug zu sein, auf andere Optionen ausweichen zu können. Diese Überlegung führt zu der Forderung, nicht alles auf eine Karte zu setzen.

In meinen Augen ist die Bewältigung der Dynamik in der technischen Entwicklung auf einen diskursiven Prozess der Erfassung, Orientierung und Optionenbewertung angewiesen. Um adäquat mit den Problemen der Entwicklungsdynamik umzugehen, sind epistemische Reflektions- sowie Gestaltungsdiskurse auf der lokalen, regionalen, nationalen und globalen Ebene erforderlich. Diese Diskurse müssen geprägt sein von der Erkenntnis der Ko-Evolution von Technik, Umwelt und Kultur. Erst im Gleichklang dieser drei Entwicklungen kann so etwas wie Zuversicht in den technischen Wandel entstehen. Zudem

brauchen wir mehr Transparenz, Nachvollzug und Mitwirkungsmöglichkeiten bei der Gestaltung des technischen und sozialen Wandels. Dabei geht es nicht um Verbot oder Technikfeindlichkeit, im Gegenteil: der angestrebte Diskurs soll die Teilnehmer zu mehr „Technikmündigkeit“ befähigen, d. h. sie aufgeschlossen machen gegenüber den Möglichkeiten des technischen Wandels und sie gleichzeitig sensibel machen gegenüber den Risiken, die mit diesem verbunden sind. Technikmündigkeit ist ein integraler Bestandteil einer veränderten Konfliktkultur, in der die Nutzer und die von Technikfolgen betroffenen Menschen gemeinsam mit den Entwicklern und den Regulierungsbehörden die Bedingungen und Auswirkungen des technischen Wandels reflektieren und mitgestalten.

LITERATUR

- Akademie der Wissenschaften zu Berlin: *Umweltstandards. Fakten und Bewertungsprobleme am Beispiel des Strahlenrisikos*, Berlin: de Gruyter, 1992, S. 345-428.
- Bullinger, H.-J.: „Was ist Technikfolgenabschätzung? Einführung und Überblick“. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): *Technikfolgenabschätzung*, Stuttgart: Teubner, 1994, S. 3-31.
- Dawes, R. M.: *Rational choice in an uncertain world*, San Diego/CA: Hartcourt Brace Jovanovich, 1988.
- Dierkes, M.: „Was ist und wozu betreibt man Technikfolgen-Abschätzung?“ In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): *Handbuch des Informationsmanagements im Unternehmen: Technik, Organisation, Recht, Perspektiven*. Band II, München: C. H. Beck, 1991, S. 1495-1522.
- Dörner, D./Schaub, H./Stoßschneider, S.: „Komplexes Problemlösen – Königsweg der Theoretischen Psychologie?“ In: *Psychologische Rundschau* 50 (1999), Nr. 4, S. 198-205.
- Erdmann, G./Wiedemann, R.: „Risikobewertung in der Ökonomik“. In: Berg, M. u. a. (Hrsg.): *Risikobewertung im Energiebereich*, Zürich: VDF Hochschulverlag, 1995, S. 135-190.
- Funtowicz, S./Ravetz, J.: “Post-normal science. Science and governance under conditions of complexity”. In: Decker, M. (Hrsg.): *Interdisciplinarity in technology assessment. Implementation and its chances and limits*, Heidelberg: Springer, 2001, S. 15-24.

- Gigerenzer, G.: *Short cuts: The intelligence of the unconscious*, London: Penguin, 2007.
- Giegel, H.-J.: „Kommunikation und Konsens in modernen Gesellschaften“. In: Giegel, H.-J. (Hrsg.), *Kommunikation und Konsens in modernen Gesellschaften*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1992, S. 7-17.
- Grunwald, A.: *Technik für die Gesellschaft von morgen. Möglichkeiten und Grenzen gesellschaftlicher Technikgestaltung*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2000.
- Grunwald, A.: *Technikfolgenabschätzung – eine Einführung*, Berlin: edition sigma, 2002.
- Grunwald, A.: *Technik und Politikberatung*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2008.
- Habermas, J.: „Vorbereitende Bemerkungen zu einer Theorie der kommunikativen Kompetenz“. In: Habermas, J./Luhmann, N. (Hrsg.): *Theorie der Gesellschaft oder Sozialtechnologie. Was leistet die Systemforschung?*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1971, S. 101-141.
- Hubig, Ch.: „Pragmatische Entscheidungslegitimation angesichts von Expertendilemmata“. In: Grunwald, A./Saupe, S. (Hrsg.): *Ethik in der Technikgestaltung. Praktische Relevanz und Legitimation*, Heidelberg: Springer, 1999, S. 197-209.
- Japp, K.: „Die Unterscheidung von Nicht-Wissen“. In: *TA-Datenbank-Nachrichten*, Vol. 3/4, Heft 8 (1999), S. 25-32.
- Jungermann, H./Pfister, H.-R./Fischer, K.: *Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung*, Heidelberg: Spektrum, 1998.
- Renn, O.: „Ethische Anforderungen an den Diskurs“. In: Grunwald, A./Saupe, S. (Hrsg.): *Ethik in der Technikgestaltung. Praktische Relevanz und Legitimation*, Heidelberg: Springer, 1999, S. 63-94.
- Renn, O./Schrimpf, M./Büttner, Th. u. a.: *Abfallwirtschaft 2005. Bürger planen ein regionales Abfallkonzept*, Baden-Baden: Nomos, 1999.
- Renn, O.: „Technikfolgenabschätzung“. In: Frey, D./von Rosenstiel, L./Hoyos, Graf C. (Hrsg.): *Wirtschaftspsychologie*, Weinheim/Basel: Beltz, 2005, S. 339-344.
- Renn, O.: *Risk governance. Coping with uncertainty in a complex world*, London: Earthscan, 2008.
- Rip, A./Misa, T./Schot, J.: *Managing technology in society*, London: Butterworth, 1995.

- Rowe, G./Frewer L. J.: "Public participation methods: A framework for evaluation". In: *Science, Technology & Human Values*, Vol. 225 Heft 1 (2002), S. 3-29.
- Van Asselt, M. B. A.: *Perspectives on uncertainty and risk*, Dordrecht: Kluwer, 2000.
- Wachlin, K. D./Renn, O.: „Diskurse an der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg: Verständigung, Abwägung, Gestaltung, Vermittlung“. In: Bröchler, S./Simonis, G./Sundermann, K. (Hrsg.): *Handbuch Technikfolgenabschätzung*. Band 2, Berlin: edition sigma, 1999, S. 713-722.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen): *World in transition: Strategies for managing global environmental risks. Annual Report*, Heidelberg: Springer, 2000.
- Webler, Th.: „„Right“ discourse in citizen participation. An evaluative Yardstick“. In: Renn, O./Webler, Th./Wiedemann/P. (Hrsg.): *Fairness and competence in citizen participation*, Dordrecht: Kluwer, 1995, S. 35-86.
- Weingart, P./Lentsch, J. unter Mitarbeit von Ash, M. u. a.: *Wissen – Beraten – Entscheiden. Form und Funktion wissenschaftlicher Politikberatung in Deutschland*. Göttingen: Velbrück, 2008.

Neue Wissenstechnologien

ALFRED NORDMANN

Das Neue an den Neuen Technologien ist, dass es sich bei ihnen gar nicht um Technologien handelt, sondern um eine Vereinnahmung wissenschaftlicher Forschung, die vor allem als Ergebnis und als Betreiber von Technikentwicklung gesehen wird. Der kratzfestere Autolack ist ein durch Nanostrukturierung verbesserter Autolack, aber keine neue Technologie. Das Neue am Lack sind die Fertigkeiten der gezielten Strukturierung im Nanobereich, die gerade im Mittelpunkt des Forschungsinteresses steht und sich ihrerseits vor allem technischen Entwicklungen verdankt. Die Konservierung von Nabelschnurblut in einer Biobank ist technisch unspektakulär. In den Zusammenhang der Neuen Technologien tritt sie in Hinblick auf erwartete biomedizinische Durchbrüche. Wenn wir Werkstoffe nach dem Vorbild der Proteinsynthese wachsen lassen könnten, wenn wir eine gezielte Reparatur von Krebszellen vornehmen könnten, wenn Computer und Gehirne in neue Einheiten funktional integriert werden könnten, dann handelte es sich hierbei gewiss um Neue Technologien, die derzeit aber nur in Forschungsprogrammen angedacht sind und inzwischen auch nur diese Forschungsprogrammatik meinen. Das Verständnis der so genannten Neuen Technologien muss also ansetzen beim Verhältnis von Wissenschaft und Technik und bei der Technologisierung der Wissensproduktion.

Nun stellt sich für alle Technologien die Frage nach Art und Weise ihrer Wissensbasierung.¹ Allgemein lässt sich dazu vor allem negativ sagen, dass die Idee von Technik als angewandter Wissenschaft immer zu kurz greift, dass vorgängiges Lehrbuchwissen keineswegs in jede Technikentwicklung einfließt und allemal durch ein spezifisches Ingenieurwissen ergänzt werden muss, genauso wie durch das implizite Wissen, das sich individuelle Handwerker, Bastler, Erfinder, Ingenieure und Nutzer körperlich angeeignet haben. Dies gilt gleichermaßen für die nano- und biotechnologische Entwicklung spezifischer Verfahren oder Produkte. Und doch nehmen diese Neuen Technologien eine Sonderstellung in der Wissenschafts- und Technikgeschichte ein: Was in den avanciertesten Forschungslaboren auch der Grundlagenforschung stattfindet, ist eine technologische Wissensproduktion, die die Grundlagen zur Phänomenbeherrschung schafft. Hier deutet sich also eine schon von Martin Heidegger benannte Umkehrung der gängigen Vorstellung an: Wissenschaft ist angewandte Technik.² Im Folgenden soll ein wesentlicher Aspekt dieser Umkehrung näher betrachtet werden. Wo die Neuen Technologien dazu dienen, wissenschaftliches und technisches Wissen zu produzieren, stellt sich die Frage, um was für ein Wissen handelt es sich, das so produziert wird, und um was für eine Wissenschaft?

WISSENSCHAFT UND TECHNOWISSENSCHAFT

Wenn von „Nanowissenschaft und Nanotechnologien“ in einem Atemzug die Rede ist, unterstreicht dies gerade die Ununterscheidbarkeit des wissenschaftlichen und des technologischen Anteils und bringt dabei zum Ausdruck, dass der Fortschritt wissenschaftlicher Erkenntnis heute weitgehend gleichgesetzt wird mit der Erzeugung von Wissen im und für den technologischen Zusammenhang. So ist bei der Manipulation einzelner Atome und Moleküle im Labor auch schon

1 Dieser Beitrag basiert über weite Strecken wörtlich auf „Was wissen die Technowissenschaften?“ Während diese deutlich ausführlichere Darstellung den Wissensbegriff der Technowissenschaften zwischen naturwissenschaftlichem Theoriewissen und technischem Dingwissen verortet, dient die Frage nach der Wissensproduktion hier vor allem einer Charakterisierung der Neuen Technologien.

2 Heidegger 1953, S. 15, 22-23.

Nanotechnologie im Einsatz, und so mag das Raster-Tunnelmikroskop (STM) als das derzeit immer noch beste Beispiel für eine folgenreiche Nanotechnik gelten.

Insofern die Neuen Technologien nicht nur als Wissensproduzenten auftreten, sondern dabei viel von dem einbeziehen, was Physik und Chemie und Biologie, was Materialwissenschaft und Informatik oder Toxikologie heißt, sollen sie hier als „Technowissenschaften“ charakterisiert werden.³ Die Bedeutung der Neuen Technologien besteht hiernach vielleicht gar nicht vornehmlich in den neuen technischen Möglichkeiten, die sie versprechen, sondern vor allem darin, dass sie technowissenschaftliches Wissen hervorbringen – und dass der kulturelle Stellenwert dieses Wissens es zum Inbegriff allen Forschungsinteresses zu machen droht.

Wenn nun technowissenschaftliches Wissen näher bestimmt werden soll, so ist damit kein neuer Wissenstyp gemeint, sondern ein schon lange bestehender, der durch seine Assoziation mit den Neuen Technologien tonangebend geworden ist und darum unsere Aufmerksamkeit beansprucht. Dabei geht es nicht um das Wissen einzelner Forscher, sondern um das entpersönlichte objektive Wissen, das in einer Fachzeitschrift publiziert wurde und von einer Forschungsgemeinschaft zumindest implizit und zeitweilig anerkannt wird. Es bietet sich also an, zunächst ganz schematisch darzustellen, wie geläufige Vorstellungen von Wissenserwerb in Konventionen des Aufbaus wissenschaftlicher Texte umgemünzt wurden, um dann zu zeigen, dass sich das objektive Wissen der Technowissenschaften ganz anders präsentiert.

Was für ein objektives Wissen kommt in technowissenschaftlichen Forschungsbeiträgen zum Ausdruck? Hier geht es um die typische wissenschaftliche Publikation, wie sie sich insbesondere Wissenschaftstheoretiker vorgestellt haben. Dieser stereotypen Genrekonvention zufolge steht am Anfang des Artikels eine Frage, ein Problem oder ein Puzzle, eine Anomalie oder Wissenslücke. Mehr oder weniger explizit werden hiernach eine oder mehrere Hypothesen angeboten, die die Frage beantworten könnten oder wenigstens einen Beitrag zu ihrer

3 An dieser Stelle kann keine gründliche Unterscheidung von „Wissenschaft“ und „Technowissenschaft“ erarbeitet werden, ein umfassenderer Ansatz dazu findet sich in A. Nordmann, „Technowissenschaft“. Für die Zwecke dieses Beitrags bedarf es jedoch keiner vorgängigen Unterscheidung.

Beantwortung leisten. Nach einem Methodenteil wird dann beschrieben, wie durch Laborexperiment oder Feldbeobachtung neue Evidenz gewonnen wurde, die die Hypothesen widerlegen, bestätigen, gewichten kann. Entsprechend schließt der Artikel mit einer einschätzenden Bewertung der betrachteten Hypothesen.⁴

Dagegen fängt ein technowissenschaftlicher Forschungsbeitrag nicht mit einer Problemstellung und einer Hypothese an. So beginnt beispielsweise ein *Letter to Nature* aus dem Jahr 2004, also ein Text in der Zeitschrift *Nature*, dessen Auszeichnung als „Brief“ auf ein klassisches Forschungsberichtsformat anspielt:

„Nanoelectromechanical systems (NEMS) hold promise for a number of scientific and technological applications. In particular, NEMS oscillators have been proposed for use in ultrasensitive mass detection, radio-frequency signal processing, and as a model system for exploring quantum phenomena in macroscopic systems. Perhaps the ultimate material for these applications is a carbon nanotube. They are the stiffest material known, have low density, ultrasmall cross-sections and can be defect-free. Equally important, a nanotube can act as a transistor and thus may be able to sense its own motion. In spite of this great promise, a room-temperature, self-detecting nanotube oscillator has not been realized, although some progress has been made. Here we report the electrical actuation and detection of the guitar-string-like oscillation modes of doubly clamped nanotube oscillators. We show that the resonance frequency can be widely tuned and that the devices can be used to transduce very small forces.“⁵

Am Anfang dieses Textes steht die Herausforderung, gewissen Erwartungen daran gerecht zu werden, was in der schönen neuen Nanowelt alles möglich sein soll. Die Forscher treten in diesen Möglichkeitsraum ein, wählen sich dort die geeigneten Materialien und experimentellen Verfahren, um etwas herzustellen, was sie selbst und was dann

4 Dass diese Präsentationsform dem tatsächlichen Verlauf der Wissensproduktion nicht entspricht, ist schon lange bekannt, siehe etwa Medawar 1991 oder Knorr-Cetina 1984. Für den gegenwärtigen Zusammenhang ist nur wichtig, dass diese Präsentationsform einer für den Rechtfertigungszusammenhang angemessenen Forschungslogik entspricht: Wenn es das (auch nur: vorgebliche) Ziel der Forschung ist, Hypothesen zu bestätigen, zu widerlegen oder zu modifizieren, bedarf es einer klaren Auszeichnung neuer Evidenz und ihrer Relevanz für die Beurteilung von Hypothesen.

5 Sazonova 2004, S. 284.

insbesondere die Herausgeber von *Nature* als eine Gitarre bezeichnen.⁶ Ein Kohlenstoff-Nanoröhrchen wird wie eine Saite aufgespannt, lässt sich in Schwingungen versetzen und kann sogar gestimmt werden. Dieser Text sagt nicht „hier ist eine Hypothese und hier ist Evidenz zu ihrer Bestätigung oder Widerlegung“, er sagt auch nicht „hier ist ein Apparat, schau mal, wie er funktioniert“, sondern sagt „hier ist ein Zeichen oder Beweis dafür, was wir in unserem Labor leisten können.“ In diesem Fall wurde eine Nanogitarre gebaut, manchmal wird bei Raumtemperatur das gemacht, was anderen nur unter speziellen Temperaturbedingungen gelingt, manchmal wird auch etwas präziser gemessen oder besser modelliert, als es bisher möglich war. Der Text erzählt dann, wie die mehr oder weniger erstaunliche Tat vollbracht wurde. Ohne den Lesern die Nachahmung beizubringen, gibt er genügend Anhaltspunkte, um sie wenigstens dazu herauszufordern, die beschriebene Fertigkeit selbst zu erwerben und sogar weiter zu entwickeln. Oft, aber keineswegs immer, wird dann noch gezeigt, dass das erstaunliche Phänomen mit bestehendem Theoriewissen kompatibel ist, dass es also mit vorhandenen Mitteln modelliert bzw. simuliert werden kann, was dann manchmal als Erklärung des Phänomens bezeichnet wird. Der Text endet ungefähr so, wie er angefangen hat: „The combination of high sensitivity, tunability, and high-frequency operation make nanotube oscillators promising for a variety of scientific and technological applications“.⁷ Die technowissenschaftliche Errungenschaft besteht also weder in der theoretischen Bedeutung einer Hypothese noch im technischen Funktionieren einer Apparatur, sondern in dem Nachweis der erworbenen viel versprechenden Fertigkeit, nämlich dem glaubwürdigen Bericht oder einem auf den Internetseiten von *Nature* hinterlegten Datensatz oder Film.

Das Erkenntnisinteresse der Technowissenschaften zielt hiernach auf Aneignung und Nachweis grundlegender Fertigkeiten. Grundlegend sind diese Fertigkeiten, weil es zumindest in universitärer technowissenschaftlicher Forschung trotz aller technischen Versprechen und trotz großen Anwendungsdrucks keineswegs um die Erfindung und Entwicklung von Geräten oder gar Produkten geht – eine wichtige Ausnahme stellen hier allein die wissenschaftlichen Instrumente selbst dar. Vielmehr handelt es sich um eine technologische Grundlagenforschung, in der es zum Beispiel um Fertigkeiten der Visualisierung, der

6 Cleland 2004.

7 Sazonova 2004, S. 287.

Charakterisierung von Stoffen, des Messens, des Modellierens und Simulierens geht, aber natürlich auch des Eingriffs und der Phänomenbeherrschung. Eine gern gesehene Fertigkeit in bio- und nanotechnologischer Forschung besteht etwa darin, Kohlenstoff-Nanoröhrchen gezielt zu platzieren und kontrolliert wachsen zu lassen oder mit einer ganz neuen Technik den Namen des eigenen Labors zu schreiben.⁸

THEORIEWISSEN, DINGWISSEN, FERTIGKEITSWISSEN

Was für ein Wissen ist nun aber das grundlegende Fertigkeitwissen, dessen Aneignung und Nachweis in technowissenschaftlichen Publikationen kommuniziert wird? Ein weiteres, etwas komplizierteres Textbeispiel ermöglicht eine nähere Betrachtung des Verhältnisses von klassisch wissenschaftlichem Theoriewissen und technowissenschaftlichem Fertigkeitwissen. Hier handelt es sich um einen ebenfalls 2004 erschienenen und in der Zeitschrift *Nanotechnology* publizierten Text. Es geht darin um temperaturabhängige Effekte im Übergang von einer Elektrode aus Gold in einen aus einem organischen Molekül bestehenden Draht. Die ersten drei Sätze dieses Texts bringen recht unterschiedliche Vorstellungen ins Spiel, die zwischen theoretischen Wissensansprüchen und Fertigkeitwissen zu oszillieren scheinen, aber letztlich ganz im technowissenschaftlichen Idiom aufgehen:

„The recent surge of activity in molecular electronics is driven by expectations of scientific inroads into the realm of the molecular state and by the anticipation of a high technological payoff. Continued progress in this area depends critically on developing a thorough understanding of the fundamental processes of charge conduction through individual or small assemblies of molecules connected between two reservoirs of charge carriers, usually metallic leads. This understanding relies on concepts and theoretical methodologies that have been developed and applied to study molecular charge transfer in donor-bridge-acceptor systems.“⁹

8 Nordmann 2008.

9 Selzer 2004, S. 483.

Dem obligatorischen Hinweis auf das technologische Potenzial folgt hier zunächst die Forderung nach einem grundlegenden Verständnis gewisser Prozesse. Es wird dann betont, dass dieses Verständnis auf bereits entwickelten Begriffen und theoretischen Methoden beruht. Bedeutet dies nun, dass der Erwerb technowissenschaftlichen Fertigkeitenswissens kein eigenständiges Forschungsprogramm konstituiert und nur im Kontext theoriegeleiteten Wissenserwerbs bestehen kann? Auf den ersten Blick möchte es so scheinen, aber bei näherer Betrachtung dessen, was hier mit dem gründlichen Verständnis eines fundamentalen Prozesses gemeint ist, zeigt sich, dass dieses Verständnis ganz in der Sphäre des Fertigkeitenswissens bleibt und eben nicht zu theoretischer Erkenntnis „aufsteigt“. Dabei spielt theoretisches Wissen durchaus eine große Rolle. Es geht nämlich als Wissens- und Methodenbestand in die Konstruktion von Fertigkeitenswissen ein – aber nicht wie ein Kuhnsches Paradigma, das notwendige Voraussetzungen für die Identifizierung und Lösung von Problemen schafft und geradezu notgedrungen weiterentwickelt oder artikuliert wird. Stattdessen stellt das in den letzten dreihundert Jahren erarbeitete Wissen so etwas wie einen Werkzeugkasten dar, auf dessen durchaus heterogene, sogar inkommensurable Begriffe, Darstellungstechniken, Algorithmen und Modelle opportunistisch zugegriffen werden kann, um Phänomene und Effekte mit theoretischen Mitteln darzustellen, ohne dass diese Darstellung theoretisch motiviert wäre oder etwa auf die Theoriebildung zurückwirkt.¹⁰ Das akkumulierte theoretische Wissen geht in den Erwerb von Fertigkeiten ein, geht aber nicht aus ihm hervor. Dies deutet sich zumindest an, wenn im weiteren Verlauf der Darstellung gezeigt wird, wie die hier zitierten Forscher ihre Suche nach gründlichem Verständnis verfolgen.

„Recently, we began to investigate the role of thermally activated conduction in conjugated molecules that span a gold electrode gap. We observed a temperature-induced transition between coherent tunnelling and thermally activated incoherent hopping conduction in single molecule junctions, which is in good agreement with theoretical predictions. Here, we extend the analysis of these two transport mechanisms as they pertain to our experimental system, and present experimental data that suggests local heating due to dissipation in the molecule might also contribute to the transition from one to the other. More

10 Siehe hierzu und zum Folgenden auch die systematischere Darstellung in Nordmann 2008.

specifically, these data suggest that it is the vibrational temperature of the molecule rather than the temperature of the overall system (i.e. bath temperature) that determines the dominant conduction mechanism.¹¹

Entscheidend für den beobachteten Effekt sei die Vibrationstemperatur des einzelnen Moleküls und nicht die Temperatur des Gesamtsystems, stellen die Forscher hier also fest – und tun dies nicht im Modus einer Hypothesenprüfung. Stattdessen wird ein Faktor identifiziert, der bei der praktischen Systembeherrschung, nämlich der Konstruktion eines verlässlichen Mechanismus, für den Elektronentransport eine Rolle spielt. Dass dieser Befund mit nachträglich in einem Simulationsmodell konstruierten theoretischen Voraussagen gut übereinstimmt, heißt nur, dass es eine qualitative Ähnlichkeit zwischen dem beobachteten Experimentalsystem und dem in der Simulation aus Theoriebausteinen konstruierten Modellsystem gibt, dass hier also zwei Fertigkeiten zusammenkommen, die sich gegenseitig validieren – die Fertigkeit der Experimentatoren und die Fertigkeit der Modellierer. Dem entspricht die Zusammenfassung der Ergebnisse, die auf eine weitere Differenz zwischen wissenschaftlichem und technowissenschaftlichem Wissen hinweist:

„The effect of temperature on conduction through a molecular junction [...] has been studied. Qualitative and semi-quantitative agreement with theory has been observed. Open issues regarding the observed activation energy of the thermal conduction process, as well as the difference between the effective temperatures of the junction and of the surrounding system have been discussed. These results further suggest that the exact temperature dependent conduction behaviour of a given molecular junction will depend critically on the specific molecular structure, in particular the rotational barriers between adjacent rings and conduction units. Such structural correlation studies are now underway in our laboratories and should elucidate further important details of the fundamental conduction mechanisms.“¹²

Was hier weiter untersucht werden soll, sind grundlegende Mechanismen, die von spezifischen molekularen Strukturen abhängen, wobei, wie immer in der Nanoforschung, davon auszugehen ist, dass es in diesem Größenbereich keine naturgesetzlichen Struktur-Eigenschafts-

11 Selzer 2004, S. 484.

12 Selzer 2004, S. 487 ff.

beziehungen gibt, dass die hier angestregten Forschungen also nicht theoretisch verallgemeinerbar sind und es so viele dieser Mechanismen geben könnte, wie es Moleküle gibt. Der wesentliche Beitrag besteht also darin, die Fertigkeit zu entwickeln, mit der diese Mechanismen im je besonderen Fall identifiziert, modelliert und kontrolliert werden können.

TECHNOWISSENSCHAFTLICHES FERTIGKEITSWISSEN

Weder um Theoriewissen und die Festlegung einer wahren und gerechtfertigten Überzeugung geht es in dieser Forschung noch um Dingwissen oder das verlässliche Funktionieren eines Geräts. Wie stark sich technowissenschaftliches Fertigkeitwissen gleichermaßen von wissenschaftlichem Wissen und handwerklichem Können unterscheidet, lässt sich vielleicht verdeutlichen, indem die Aneignung und der Nachweis grundlegender Fertigkeiten als ein Typ objektiven Wissens charakterisiert wird, das sich nicht nur in technowissenschaftlichen Publikationen, sondern beispielsweise auch in Einspielungen klassischer Musik nachweisen lässt. Was für die Konstrukteure der Nanogitarre gilt, das lässt sich auch für eine Schallplattenveröffentlichung des Pianisten Alfred Brendel sagen, der damit den Nachweis seines Klavierspiels einer Schubert-Sonate produziert: Auch er demonstriert nicht nur eine Fertigkeit, sondern eröffnet auch einen Erfahrungsraum und etabliert ein neues Phänomen, das objektiv gegeben, kommunizierbar und lehrbar ist, das Hör-, Handlungs- und Erwartungsmuster erzeugt.

Diese Analogie soll nun ein Stück weit verfolgt und fünf Attribute technowissenschaftlichen Fertigkeitwissens dargestellt werden. Dieses Fertigkeitwissen ist nämlich erstens objektiv und öffentlich, indem es ausgestellt und dokumentiert wird. Es ist zweitens nicht allgemein wie das auch Laien verfügbare Dingwissen, sondern setzt eine je spezifische Wissenskultur voraus. Drittens ist es kommunizierbar, auch ohne dass damit die Fertigkeit selbst oder ein bestimmtes Verstehen schon kommuniziert oder gelehrt wäre. Das Fertigkeitwissen beinhaltet viertens eine Kenntnis von Kausalbeziehungen und sedimentiert sich fünftens als Verhaltensgewohnheit im Sinne von Charles Sanders Peirce. Diese fünf Attribute sind keine Kriterien für grundle-

gendes, beispielgebendes Fertigkeitwissen, an denen sich Behauptungen dieses Wissens bewähren müssten. Vielmehr ergeben sie sich mit der Aneignung und dem Nachweis dieses Wissens von selbst: es kann überhaupt nur beansprucht werden, wenn die Kriterien bereits erfüllt sind.

Zunächst ist das Fertigkeitwissen also objektiv und öffentlich. Es wird aber nicht etwa in der Form von Rezepten veröffentlicht, also nicht als Konglomerat von Theorien, Methoden und Ableitungen, wobei sich seine Objektivität aus seiner Prüfbarkeit, Wiederholbarkeit und Übereinstimmung mit einer Vorgabe herleiten würde. Es ist nicht die Strenge des Verfahrens, das die Objektivität der Nanogitarre ausmacht, und nicht die Umsetzung der Partitur beim Einspielen der Klaviersonate. Die Fertigkeiten werden auch nicht in der Form von hergestellten Artefakten veröffentlicht, also als buchstäblich objektiver, bzw. dinglicher Schaltkreis, als Modell oder Experimentalaufbau, als Schallplatte oder CD. Stattdessen wird ein Zeichen oder Beweis des Gelingens veröffentlicht. Im Gegensatz zur rein individuellen und bloß subjektiven Errungenschaft beruht das objektive Fertigkeitwissen auf seiner Verbreitung, dem kollektiven Plausibilitäts- oder Angemessenheitsurteil und einer internationalen Vernetzung der individuellen Fertigkeiten. Dies ist es auch, was das Fertigkeitwissen des Pianisten Brendel objektiviert und von dem eines beliebigen anonymen Klavierspielers unterscheidet.

Zweitens gehört das Fertigkeitwissen einer spezifischen Wissenskultur an, auf der es beruht und in die es gehört, auch ohne den Bestand dieser Wissenskultur zielgerichtet fortzuentwickeln. Technowissenschaftliches Fertigkeitwissen wird durch einen Überfluss traditioneller wissenschaftlicher Wissensbestände ermöglicht. Diese fließen in Form von experimentellen und rechnerischen Verfahren, erkannten Gesetzmäßigkeiten, Kausalbeziehungen, bewährten Algorithmen in das Fertigkeitwissen ein, auf sie kann opportunistisch zu Zwecken theoretischer Modellierung und somit „Erklärung“ zurückgegriffen werden. Ähnlich ist das Fertigkeitwissen Alfred Brendels in spezifische, musikwissenschaftliche und klaviertechnische Zusammenhänge eingebettet, ohne dass er durch seine Einspielung einer Sonate zum musikologischen Wissen beitragen will oder Annahmen zur Klavierakustik prüft. Die Überzeugungen, die dem Fertigkeitwissen zugrunde liegen und es ermöglichen, spielen dabei keine Rolle, – sie werden durch Aneignung und Demonstration einer grundlegenden Fertigkeit

nicht eigens thematisiert oder problematisiert, kritisiert oder verbessert.

Das Fertigkeitwissen ist drittens kommunizierbar, aber nicht als in Aussageform publizierbarer Gehalt, der von allen Mitgliedern einer Sprachgemeinschaft erfasst werden kann. Anders als technisches Dingwissen wird das Fertigkeitwissen auch nicht dadurch kommuniziert, dass es in Form eines Geräts oder kodifizierten Verfahrens von Labor zu Labor weitergereicht wird. Es ist schließlich auch kein stillschweigendes oder implizites Wissen, das durch eine Lehre oder Sozialisation in gemeinsamen Praktiken mitgeteilt würde, denn das hier gemeinte Fertigkeitwissen ist wesentlich neu und schafft neue Handlungs- oder Verhaltensgrundlagen. Schließlich wird es im Rahmen einer Veröffentlichung auch nicht gelehrt, so wenig wie Alfred Brendels Einspielung uns das Klavierspiel oder die Auffassung einer Schubert-Sonate lehren kann. Kommuniziert wird gar nicht das Fertigkeitwissen selbst, sondern nur, dass es von jemandem angeeignet und nachgewiesen wurde. Sinnvoll ist diese Kommunikation nur unter der Voraussetzung einer institutionellen Struktur, die einen nachvollziehenden und dabei unabhängigen Erwerb der Fertigkeiten auch denen ermöglicht, die nur eine Nachricht von ihrer Existenz erhalten haben. Eine solche institutionelle Struktur wird einerseits durch Laborarchitekturen und Experimentalkulturen geboten, andererseits etwa durch Orchester und Musikakademien.

Viertens umfasst das Fertigkeitwissen eine intime, gewissermaßen atheoretische Kenntnis von Kausalbeziehungen. Systemeigenschaften werden physisch artikuliert und in ihrer Abhängigkeit voneinander spürbar – so wie Simulationsmodelle ein Gefühl für eine quasi-organismische Dynamik, für Parameterabhängigkeiten und Systemgrenzen vermitteln.¹³ Durch systematische Parametervariationen können so genannte INUS-Bedingungen ermittelt und eine technisch-praktische Kausalanalyse vollzogen werden.¹⁴ Und gerade dieser Aspekt ist es, der eine Kontinuität von wissenschaftlichen und technowissenschaftlichen Ansätzen suggeriert, zumal er unsere Aufmerksamkeit auf die technisch-praktische Seite auch theoriegeleiteter Wissensproduktion lenkt. Hinsichtlich impliziter und expliziter Verfahren der Kausalanalyse scheint der Unterschied zwischen den Technowissenschaften und der Wissenschaft nur noch in ihren Zielsetzungen zu

13 Lenhard 2006, S. 163.

14 Mackie 1974.

bestehen, dass es der theoretisch orientierten Wissenschaft nämlich um das richtige Verstehen und die Systematisierung von Kausalzusammenhängen geht und nicht um ihre Nützlichkeit in Fragen der Messung, Visualisierung, Modellierung, Phänomenbeherrschung.¹⁵ Dass dies aber nur eine scheinbare Kontinuität ist, verdeutlicht an dieser Stelle der Vergleich mit dem Fertigkeitwissen des Pianisten, der eine intime und gewissermaßen experimentelle Kenntnis ästhetischer Wirkungszusammenhänge entwickelt. Auch ein Pianist kann Effekte erzeugen und bleibt dabei weit entfernt von den Anstrengungen jeglicher Wahrnehmungspsychologie, die verstehen will, welche Kausalzusammenhänge bei der Erzeugung ästhetischer Wirkungen zum Tragen kommen.

Schließlich sedimentiert sich das Fertigkeitwissen als Verhaltensgewohnheit im Sinne von Peirce.¹⁶ Wie die Technowissenschaften nach den Wissenschaften kommen, indem sie die über Jahrhunderte angesammelten Theorien und Techniken zu nutzen wissen, ohne darum angewandte Wissenschaft zu sein, so entsteht die Peircesche Verhaltensgewohnheit mit dem Verschwinden der geistigen Tätigkeit. Wo wir uns gefühlsmäßig auf intersubjektiv verlässliche Wirkungszusammenhänge auch in komplexen Situationen einlassen können und statt zugrunde liegender Gesetzeswahrheiten vor allem diese Verlässlichkeit oder Robustheit selbst erkennen, entsteht die Gewohnheit als höchster Ausdruck eines gar nicht mehr artikulierbaren Wissens. Die kollektive, verlässliche, öffentlich ausgestellte und intersubjektiv zugängliche Aneignung und Kontrolle eines Systemverhaltens, somit auch eine Anpassungsleistung an die Gegebenheiten einer spezifischen, hochkomplexen Welt, bedeuten vor allem und ganz einfach, dass wir uns zurechtfinden – Alfred Brendel in der Partitur Schuberts, technowissenschaftliche Forscher in einer durch das Rastersondenmikroskop erschlossenen Nanowelt. In diese elementare Phänomen- oder Systembeherrschung fließt das Theoriewissen der klassisch disziplinären Wissenschaften ein und verschwindet in der Herausbildung von Gewohnheiten, die sich auf die intime Vertrautheit mit dem Verhalten eines Systems oder komplexen Zusammenhangs gründen. Die gerechtfertigten Überzeugungen oder Wissensbestände aus klassischer Physik und Quantenchemie, aus Hydrodynamik und Komplexitätstheorie erscheinen gar nicht mehr als theoretische Aussagen oder Überzeu-

15 Carrier 2004.

16 Peirce 1967.

gungen, sondern informieren stillschweigend technowissenschaftliches Handeln. Ontologisch indifferent¹⁷ leisten es sich die Technowissenschaften, ohne angestrenzte Reflexion auf Methoden und Begriffe, an das für sie wesentliche Geschäft zu gehen, sich nämlich eine schöne neue Welt zu bauen.¹⁸

TECHNOWISSENSGESELLSCHAFT

Wer sich die Technikgeschichte vor Augen führt, wird jeglichem Anspruch auf Neuheit mit Skepsis begegnen. Ähnlich geht es dem Begriff der Wissensgesellschaft, der nahezulegen scheint, dass frühere Gesellschaften nicht wissenschaftsbasiert waren und kein Wissen produzierten. Trotzdem verdient es ernst genommen zu werden, wie sich unsere Gesellschaft in der heutigen Zeit selbst beschreibt. Und in diesem Zusammenhang ist wesentlich, dass im Namen der Neuen Technologien von Innovationen geträumt wird, die nicht aus den Entwicklungsabteilungen der Industrie kommen, sondern sich auch anwendungsfern in akademischer Grundlagenforschung ankündigen. So wie die mikroskopischen Forschungstechnologien STM und AFM das Versprechen einer wirklich innovativen Nanotechnologie immer noch am besten verkörpern, so dient das technowissenschaftliche Fertigkeitwissen als Indiz für Wirklichkeit und Wirkmächtigkeit der Neuen Technologien.

LITERATUR

- Carrier, M.: „Knowledge gain and practical use: models in pure and applied research“. In: Gillies, D. B. (Hrsg.): *Laws and models in science*, London: College Publications, 2004, S. 1-17.
- Cleland, A. N.: „Carbon nanotubes tune up“. In: *Nature* 431 (2004), S. 251-252.
- Galison, P.: *The Pyramid and the ring*. Tagungsbeitrag, Gesellschaft für analytische Philosophie (GAP), Berlin 2006.

17 Galison 2006.

18 Ich danke Daniel Quanz für die umsichtige Lektüre dieses Textes und einer Reihe von Diskutanten in Essen, München und Paderborn.

- Heidegger, M.: „Die Frage nach der Technik“. In: Heidegger, M.: *Vorträge und Aufsätze*, Frankfurt am Main: Klostermann, 1976, S. 5-36.
- Knorr-Cetina, K.: *Die Fabrikation von Erkenntnis*. Zur Anthropologie der Naturwissenschaft, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1984.
- Lenhard, J.: „Mit dem Unerwarteten rechnen? Computersimulation und Nanowissenschaft“. In: Nordmann, A./Schummer, J./Schwarz, A. E. (Hrsg.): *Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven*. Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft, 2006, S. 151-168.
- Mackie, J. L.: *The Cement of the universe. A study of causation*, Oxford: Clarendon, 1974.
- Medawar, P. B.: „Is the scientific paper a fraud?“ In: Ders.: *The threat and the glory. Reflections on science and scientists*, Oxford: Harpercollins, 1991, S. 228-233.
- Nordmann, A.: „Was ist Technowissenschaft? – Zum Wandel der Wissenschaftskultur am Beispiel von Nanoforschung und Bionik“. In: Rossmann, T./Tropea, C. (Hrsg.): *Bionik. Aktuelle Forschungsergebnisse in Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaften*, Berlin: Springer, 2004, S. 209-218.
- Nordmann, A.: „Vor-Schrift – Signaturen der Visualisierungskunst“. In: Krohn, W. (Hrsg.): *Ästhetik in der Wissenschaft. Interdisziplinärer Diskurs über das Gestalten und Darstellen von Wissen*, Hamburg: Felix Meiner, 2006, S. 117-129.
- Nordmann, A.: „Philosophy of nanotechnoscience“. In: Schmid, G. u. a. (Hrsg.): *Nanotechnology, principles and fundamentals*, Band 1, Weinheim: Wiley, 2008, S. 217-244.
- Nordmann, A.: „Was wissen die Technowissenschaften?“ In: Gethmann, F. (Hrsg.): *Lebenswelt und Wissenschaft: Kolloquiumsband des XXI. Deutschen Kongresses für Philosophie*, Hamburg: Felix Meiner, 2010.
- Peirce, C. S.: „Die Festlegung einer Überzeugung“. In: Peirce, C. S./Apel, K.-O. (Hrsg.): *Schriften I. Zur Entstehung des Pragmatismus*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1967, S. 293-325.
- Sazonova, V. u. a.: „A tunable carbon nanotube electromechanical oscillator“. In: *Nature* 431 (2004), S. 284-287.
- Selzer, Y. u. a.: „Temperature effects on conduction through a molecular junction“. In: *Nanotechnology* 15 (2004), S. 483-488.

Verfügbarkeit – eine zentrale Kategorie der Energietechnik

FRANK DITTMANN

Der Begriff Energie geht auf das griechische Wort „Energiea“ zurück, das „Tätigkeit“ beziehungsweise „Wirksamkeit“ bedeutet. Energie im physikalischen Sinne ist eine grundlegende, aber auch relativ abstrakte Größe. Sie beschreibt die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten. Der physikalische Energiebegriff entstand erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts. In den 1840er Jahren wurde dann mit dem Energieerhaltungssatz (Erster Hauptsatz der Thermodynamik) eine der grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Physik formuliert. Danach kann Energie nicht erzeugt oder vernichtet, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden.

In der Energiewirtschaft wird Energie dagegen als Ressource betrachtet, die es zu erschließen und effektiv zu nutzen gilt. Entgegen den physikalischen Sachverhalten spricht man hier von Energieerzeugung und -verbrauch, von Energieverlust und -gewinn. Letztlich reflektiert dies die Richtung energetischer Prozesse, die der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt: thermische Energie ist nicht in beliebigem Maße in andere Energiearten umwandelbar. So ist Energie zwar nach menschlichen Maßstäben unbegrenzt vorhanden, aber nicht jede ihrer Formen kann gleichermaßen gut genutzt werden. Aus einer technischen und gesellschaftlichen Perspektive ist sie deshalb eine begehrte und zugleich begrenzte Ressource.¹

1 Die körperliche Leistungsfähigkeit des Menschen ist eher gering, denn der menschliche Körper benötigt 90 Prozent der ihm zur Verfügung stehenden

Die Menschheitsgeschichte ist von Versuchen geprägt, die physische Begrenztheit der nutzbaren Energie zu überwinden, sei es durch Kriege, um Zugriff auf neue Energiequellen zu erhalten, oder sei es durch die Entwicklung neuer Technologien. Ziel bei letzterem Vorgehen war und ist einerseits die Erschließung neuer, bisher nicht genutzter Energiequellen und andererseits die effektivere Verwertung vorhandener Ressourcen. In dem Maße, in dem der Energiebedarf stieg und zur Deckung Großtechnologien eingesetzt wurden, zeigte sich aber auch immer deutlicher die Wirkungsmächtigkeit von sozialen Grenzen in Form mangelnder Akzeptanz.

ZUM WANDEL DER ENERGIEREGIMES

Nach Rolf Peter Sieferle waren epochale Entwicklungsschübe mit grundsätzlichen Änderungen im Energieregime verbunden.² Frühen Jäger- und Sammlergesellschaften stand lediglich die Sonnenenergie zur Verfügung, einerseits direkt und andererseits in Biomasse gebunden als Nahrung. Ein bedeutender Schritt in der Nutzung von Biomasse war zweifellos die Zähmung des Feuers – Feuerstellen kennt man aus der Zeit vor 600.000 Jahren.

Mit der neolithischen Revolution³ erhöhte sich der Energiebedarf durch die Entwicklung einer einfachen Landwirtschaft auf das Fünf- undzwanzigfache der in Nahrung gespeicherten Energie. Mit der weiteren Technisierung der Agrarkulturen bis zum ausgehenden Mittelalter verzehnfachte sich die erforderliche Energie erneut. Aber die Energieressourcen waren begrenzt, denn bis weit in die Neuzeit hinein war

Energie dazu, seine Temperatur konstant zu halten. So liegt die Dauerleistung eines Schwerarbeiters bei etwa 50 Watt. Schon früh wurden sich die Menschen ihrer körperlichen Schwäche im Vergleich zur Natur bewusst und suchten nach geeigneten „Verstärkern“. Die Betrachtung des Menschen als „Mängelwesen“, das als handelndes Wesen auf die Veränderung der Natur zu seinem Zweck abzielt, geht auf Arnold Gehlen zurück, siehe: Gehlen 1940.

2 Sieferle 1982; Ders. 1997, siehe auch Smil 1994; Ders. 1999.

3 Der Begriff wurde Mitte der 1930er Jahre von Vere Gordon Childe in Analogie zur industriellen Revolution geprägt und bezeichnet den Übergang vom nomadischen Leben als Jäger und Sammler zur sesshaften, produzierenden Lebensweise als Ackerbauer und Viehzüchter im Neolithikum (Jungsteinzeit).

Holz nicht nur der am weitesten verbreitete Energierohstoff, sondern auch der wichtigste Konstruktionswerkstoff. Die meisten technischen Prozesse, wie das Verhütten, Schmelzen und Schmieden von Eisen, die Herstellung von Glas und Keramik oder das Brennen von Kalk erforderten enorme Mengen Holzkohle. Im ausgehenden 18. Jahrhundert, als die „Holznot“ immer größer wurde und der Preis stieg, musste Holz über immer weitere Entfernungen herangeschafft werden. In diesem Zusammenhang entstand in der Forstwirtschaft das heute allgemein bekannte Konzept der Nachhaltigkeit, d. h. Wälder wurden wieder aufgeforstet, und es durfte nicht mehr Holz eingeschlagen werden als nachwachsen konnte.⁴ Weiterhin ging man auf die Suche nach neuen Energiequellen und fand sie in der Kohle; später kamen Erdöl und Erdgas hinzu.

In der industriellen Revolution änderte sich das Energieregime grundlegend. Kennzeichen ist der Übergang zur breiten Nutzung fossiler Energieträger sowie der Einsatz maschineller Energieerzeugungsanlagen. Damit sprengt die Hochenergiegesellschaft das modifizierte solare Energieregime und mobilisiert fotosynthetisch gebundene Sonnenenergie, die über Jahrtausende im Erdinneren gelagert war. Die Dampfmaschine führte aber nicht nur zu einer Erhöhung der verfügbaren Energie, sondern auch zur Unabhängigkeit der Verarbeitungsprozesse vom z. B. jahreszeitlich unterschiedlichen Energieangebot der Flüsse. Hinzu kam, dass Produktionsstandorte nicht mehr an den geografisch vorgegebenen Ort von nutzbarer mechanischer Energie – vorzugsweise Wasserkraft – gebunden waren. Über Jahrhunderte hinweg hatte man Rohstoffe und Halbprodukte dorthin transportiert, wo (Bewegungs-)Energie bereitstand. Im Zuge der industriellen Revolution wurde Energie in konzentrierter Form als Kohle mobil; Dampfmaschinen konnten die damit erzeugte Wärme an jedem beliebigen Standort in Bewegungsenergie umsetzen und Maschinen antreiben. Mit der Nutzung der Elektroenergie seit den 1880er Jahren setzte sich dieser Trend potenziert fort. Elektrizität ist eine universelle Energieform, die fast überall verfügbar ist und sich relativ einfach in die verschiedenen Energieformen umwandeln lässt. Strom übernimmt heute den bequemen Transport von Energie, die hauptsächlich aus der Verbrennung fossiler Energieträger gewonnen wird.

Als Otto Hahn und Lise Meitner 1938 die Kernspaltung entdeckten, trat mit der Kernenergie eine neue, von der Sonne unabhängige

4 Radkau 2007.

Energieform auf den Plan. Die erste Nutzung 1945 erfolgte zu militärischen und politischen Zwecken, wobei ihr enormes Potenzial deutlich wurde. So setzten die Atombomben auf die japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki im August 1945 Explosionsenergien frei, die der von mehr als zehntausend Tonnen konventionellen Sprengstoffs entsprachen. Sie zerstörten damit beide Städte und töteten Hunderttausende von Menschen. Mitte der 1950er Jahre gingen dann die ersten Kernkraftwerke in Betrieb. Da Natur-Uran selten ist und nur ein geringer Teil davon direkt zur Energieproduktion genutzt werden kann, wurde die Kernspaltung zunächst lediglich als kurzzeitige Brückentechnologie betrachtet, bis technisch ausgereifte Fusionskraftwerke zur Verfügung stünden.⁵ Allerdings hatte man die enormen Schwierigkeiten auf dem Weg zur Beherrschung der Verschmelzung von Wasserstoff zu Helium unterschätzt.⁶

DIE GRENZEN DES WACHSTUMS

Schaut man in die Geschichte der Energienutzung zurück, waren es auf dem Höhepunkt der Hochenergiegesellschaft zwei Ereignisse, die ein Umdenken signalisierten. Zunächst war es der Bericht des Club of Rome *Die Grenzen des Wachstums* aus dem Jahre 1972, in dem die Zweifel an einem fortgesetzten Wachstum in Wirtschaft und Gesellschaft artikuliert wurden.⁷ Der Bericht entfaltete eine große politische Wirkung, nicht so sehr, weil er völlig neue Erkenntnisse verbreitete, sondern weil die Thesen von Mitgliedern des wirtschaftlichen und politischen Establishments vertreten wurden.

5 Vgl. den Beitrag von Högselius in diesem Band.

6 Vgl. den Beitrag von Günter/Milch in diesem Band.

7 Der Club of Rome war 1968 auf Initiative des italienischen Industriellen Aurelio Peccei, einem Mitglied der Firmenleitung von Fiat und Olivetti, sowie dem Schotten Alexander King, Direktor für Wissenschaft, Technologie und Erziehung bei der OECD in Paris, gegründet worden. Mit kybernetischen Methoden sowie unter Nutzung von Computermodellen wurden Prognosen erstellt, wonach bis 2100 ernste Rohstoffkrisen und Hungersnöte drohten, wenn die Umwelt weiterhin so verschmutzt würde, die Weltbevölkerung weiterhin so expandierte und die Industrie weiter so wüchse. Die Hauptthese des Berichts war, dass das Wachstumsparadigma vor allem in der Wirtschaft und der Weltbevölkerung seine Grenzen erreicht habe. Vgl. Meadows 1972.

Fast zeitgleich mit dem Bericht des Club of Rome unterstrichen die Ölpreiskrisen der 1970er Jahre die im Bericht formulierte Vernetzung der Weltwirtschaft.⁸ Die Krisen demonstrierten deutlich die Störanfälligkeit moderner Industriestaaten gegenüber einer Vielzahl von Einflussfaktoren sowie deren Abhängigkeit von fossilen Energieträgern. Aber die Ölpreiskrisen stießen auch eine Fülle technischer Entwicklungen an, die eine größere Unabhängigkeit vom Öl zum Ziel hatten. So rückten etwa alternative Treibstoffe wie Pflanzenöl und Biodiesel ins öffentliche Interesse. Es wurde vermehrt in Kernenergie, regenerative Energiequellen, die Wärmedämmung von Gebäuden und in die Effizienzsteigerung von Motoren und Heizgeräten investiert. Auch nach dem Abklingen der Ölpreiskrise blieb bei der Bevölkerung der Bundesrepublik das gestiegene Bewusstsein für energiesparende Verhaltensweisen erhalten. Zudem wurde der Anteil des aus OPEC-Staaten bezogenen Öls durch die Erschließung unterseeischer Ölfelder in der Nordsee sowie eine Diversifikation der Handelspartner gesenkt. Durch solche Maßnahmen kam es zur Entkopplung von Bruttosozialprodukt und Energiewachstum, so dass alle nachfolgenden Ölpreissteigerungen bis heute geringere Auswirkungen hatten als jene in den 1970er Jahren.

VERFÜGBARKEIT ALS ZENTRALE KATEGORIE

Der Blick auf die Geschichte der Energienutzung zeigt einen stetigen Anstieg der eingesetzten Energiemengen. Ziel von Neuen Technologien war es stets, entweder die vorhandenen Energieressourcen besser

8 Im Herbst 1973 hatte die OPEC (Organisation der Erdöl exportierenden Länder) beschlossen, die Fördermengen um 5 Prozent zu drosseln, um so die Industriestaaten unter Druck zu setzen, ihre zögerliche Haltung gegenüber den Jom-Kippur-Krieg zwischen Israel und Ägypten aufzugeben. Als Ergebnis stieg der Ölpreis Mitte Oktober 1973 von rund drei Dollar pro Barrel auf über fünf Dollar, also um ca. 70 Prozent. Im Verlauf des nächsten Jahres stieg der Ölpreis weiter auf über zwölf Dollar. Der Grund lag also nicht im Mangel an Ölreserven, sondern die Drosselung der Fördermengen war ein politisches Druckmittel der OPEC-Staaten gegenüber den westlichen Industrieländern. 1979 erlebten die Industriestaaten eine zweite Ölkrise. Ausgelöst wurde diese erneute Preissteigerung durch Förderungsausfälle und die Verunsicherung nach der Revolution im Iran und dem Ersten Golfkrieg zwischen Irak und Iran. Der damalige Preisanstieg fand bei ca. 38 Dollar sein vorläufiges Ende. Seither hat es auch Zeiten gegeben, in denen der Ölpreis die 100-Dollar-Marke weit überstieg.

auszunutzen und damit die nutzbare Energiemenge zu steigern oder aber neue, möglichst stärkere Energiequellen zu erschließen. In beiden Fällen vermehrte sich die verfügbare Energie. „Verfügbarkeit“ scheint also eine entscheidende Kategorie der Energienutzung in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft zu sein. Verfügbarkeit darf dabei aber nicht lediglich als physische Existenz und Kenntnis von Primärenergieträgern verstanden werden, sondern schließt auch die technischen Lösungen ihrer Exploration ein. Neue Technologien eröffnen dabei erweiterte Möglichkeiten, um Lagerstätten zu erkunden und diese zu erschließen. Derzeit wird aber auch die Einsicht immer drängender, dass die schadlose Beseitigung der im Verwertungsprozess entstehenden Endprodukte als entscheidender begrenzender Faktor zu betrachten ist. Der seit einigen Jahren intensiv diskutierte Klimawandel macht dies deutlich. Zu einem beträchtlichen Teil wird dieser durch den Eintrag von anthropogenen Treibhausgasen in die Atmosphäre verursacht, die im großen Umfang auch bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen.

Beide Seiten der Energieverwertungskette, die Ausbeutung vorhandener Energieressourcen sowie die schadlose Entsorgung von Endprodukten, finden jedoch nicht nur an natürlichen und technischen Beschränkungen ihre Grenzen, sondern zugleich an der gesellschaftlichen Akzeptanz. Wenn z. B. die Erschließung von Braunkohletagebauen gesellschaftlich nicht genügend akzeptiert ist, können Lagerstätten nicht ausgebeutet werden, obwohl sie vorhanden sind und auch die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten zu ihrer Exploration bestünden. Hier sei auch an die Diskussionen um sauren Regen und Waldsterben in den 1970er und 1980er Jahren erinnert. Das wohl bekannteste Beispiel von mangelnder Akzeptanz einer Energietechnologie in Deutschland ist die Ablehnung von Kernkraftwerken. Aber auch beim Bau von Wasserkraftwerken, Windparks, Freileitungen und anderen dominanten energietechnischen Infrastruktureinrichtungen artikulieren betroffene Bürger zunehmend Diskussionsbedarf. Wird diese Betroffenheit nicht genügend ernst genommen, kann sie rasch in Ablehnung umschlagen.

Der hier vorgeschlagene Begriff der *Verfügbarkeit* vereint alle diese Faktoren in sich, die physische Existenz von Ressourcen, den technischen und wirtschaftlichen Aufwand zur Förderung und Transport⁹ sowie die Beseitigung der Abbauprodukte am Ende der

9 Vgl. den Beitrag von Behrendt/Bognar in diesem Band.

Nutzungskette sowie – in meinem Verständnis – nicht zuletzt auch die Akzeptanz der notwendigen Eingriffe in die Natur und die Lebenswelt der Bürger.

FAZIT

Aus universalgeschichtlicher Perspektive unterscheidet Rolf Peter Sieferle drei Energieregimes: das unmodifizierte Solarenergieregime der frühen Jäger und Sammler, das modifizierte Solarenergieregime der vorindustriellen Agrargesellschaften, wie es in der Neolithischen Revolution entstand, sowie die Hochenergiegesellschaft seit der Industriellen Revolution.¹⁰ Kennzeichnend ist hier der Zugriff auf fotosynthetisch akkumulierte Sonnenenergie in Form von fossilen Brennstoffen. Diese temporär verfügbaren großen Energiemengen waren und sind ein wesentlicher Antrieb für die rasante Dynamik des Industriesystems, das für immer mehr Menschen Rohstoffe in nützliche Güter transformiert. Dies ermöglicht es, dass eine immer größere Zahl von Menschen nicht nur (über-)lebte, sondern auch an der modernen Lebensweise teilhaben kann. Während sich die Weltbevölkerung beispielsweise in den letzten 100 Jahren vervierfachte und von 1,6 auf fast 7 Milliarden Menschen wuchs, stieg der Primärenergieverbrauch fast auf das Dreißigfache. Dem weiteren Anstieg dürften enge Grenzen gesetzt sein. Immer mehr greift die Erkenntnis Platz, dass Energieresourcen endlich sind, aber auch die Aufnahmefähigkeit der Natur für Endprodukte der Energieverwertungskette begrenzt ist. Auf dem Höhepunkt der Hochenergiegesellschaft gilt es nun, den gesellschaftlichen Entwicklungsstand zu nutzen und auf den Pfad eines solaren Energieregimes einzuschwenken.¹¹ Langfristig nachhaltige Energieversorgung muss darauf abzielen, unseren Energiebedarf wieder vollständig aus der Sonne zu decken. Die ultimative Lösung könnte darin bestehen, den grundlegenden Prozess der solaren Energiegewinnung in

10 Sieferle 1982; Ders. 1997.

11 Die gegenwärtige Debatte zur Energie- und Klimapolitik wird von einer Fülle einschlägiger Publikationen aus der Feder von Wissenschaftlern, Ingenieuren, Wirtschaftsfachleuten, Journalisten und Politikern begleitet. Beispielhaft sei hier lediglich verwiesen auf: Morris 2005; Petermann 2006; Wagner 2007; Gruss 2008; Sinn 2009.

Form der Kernfusion auf die Erde zu holen.¹² Bis zum Erreichen einer Hochtechnologie-Solargesellschaft gilt es, die vorhandenen Energieressourcen möglichst effektiv einzusetzen. Innovation und die Entwicklung Neuer Energietechnologien sind sicherlich nicht die einzige, wohl aber eine wichtige Strategie auf diesem Wege. Funktionsfähigkeit im technischen Sinne ist dabei nur ein Kriterium. Soziale Faktoren wie Akzeptanz werden in demokratischen Gesellschaften mehr und mehr über die Einführung Neuer Technologien entscheiden. Wer heute Neue Technologien in innovative Produkte umsetzen und am Markt bestehen will, sollte bei der Produktentwicklung nicht nur technisch-technologisch neue Wege gehen, sondern auch mögliche Technikfolgen in den Blick nehmen.

LITERATUR

- Gehlen, A.: *Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt*. Berlin: Junker und Dünnhaupt, 1940.
- Gruss, P./Schüth, F.: *Die Zukunft der Energie. Die Antwort der Wissenschaft*, München: C. H. Beck, 2008.
- Meadows, De. u. a.: *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*, Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1972 (amerikan. Original: *The limits to growth*, New York, 1972).
- Morris, C.: *Zukunftsenergien. Die Wende zum nachhaltigen Energiesystem*, Hannover: Heise, 2005.
- Petermann, J. (Hrsg.): *Sichere Energie im 21. Jahrhundert*, Hamburg: Hoffmann & Campe, 2006.
- Radkau, J.: *Holz. Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt*, München: Oekom, 2007.
- Sieferle, R. P.: *Der unterirdische Wald. Energiekrise und Industrielle Revolution*, München: C. H. Beck, 1982.
- Sieferle, R. P.: *Rückblick auf die Natur. Eine Geschichte des Menschen und seiner Umwelt*, München: Luchterhand, 1997.
- Sinn, H.-W.: *Das grüne Paradoxon. Plädoyer für eine illusionsfreie Klimapolitik*, Berlin: Econ, 2009.
- Smil, V.: *Energy in history*, Boulder/CO: Westview, 1994.

12 Vgl. Beitrag von Günter/Milch in diesem Band.

Smil, V.: *Energies. An illustrated guide to the biosphere and civilization*, Cambridge/MA: MIT Press, 1999.

Wagner, H.-J.: *Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts? Der Wettlauf um die Lagerstätten*, Frankfurt am Main: Fischer, 2007.

Das Neue aufrechterhalten: Die „neue Kerntechnik“ in historischer Perspektive

PER HÖGSELIUS

EINLEITUNG: ZUR DIALEKTIK VON VISIONEN UND PRAXIS

Empirisch gesehen ist die Kerntechnik eines der besten Beispiele, die Entwicklung radikaler, kontroverser und wissensintensiver Energietechnologien über längere Zeiträume zu verfolgen. Die gut 70 Jahre, die jetzt seit der ersten nachgewiesenen Kernspaltung im Jahr 1938 vergangen sind, erlauben, die dynamische und wechselhafte Natur des „Neuen“ der Kerntechnik ideen- und technikhistorisch zu analysieren, uns den dramatischen Schicksalen der vielfältigen kerntechnischen Visionen zu nähern und die wechselreichen Strategien zu untersuchen, die eine Vielfalt von Menschen und Organisationen im Laufe dieser relativ langen Zeitperiode verfolgt hat.

Ich möchte mich hier insbesondere mit der Frage auseinandersetzen, in welcher Wechselwirkung die Zukunftsvisionen der Kerntechnik mit den tatsächlichen praktischen Erfahrungen und Entwicklungstendenzen dieser Technik standen. Die Interaktion zwischen den Visionen und der technischen Entwicklung der Kerntechnik wird viel zu oft, vor allem von Techniksoziologen und Innovationsforschern, als *linearer Prozess* dargestellt: Es wird beobachtet, wie Visionen dazu beitragen, eine neue technische oder unternehmerische Entwicklung in

Gang zu setzen.¹ Diese Sichtweise scheint natürlich, wenn man analytisch mit relativ kurzen Zeiträumen arbeitet. Bei längeren Zeiterperspektiven wird aber deutlich, wie viele der ursprünglichen Zukunftsvisionen sich der realen Praxis – mit allen ihren Fehlschlägen, Unfällen und anderen (positiven und negativen) Überraschungen – anpassen und sich in *evolutionären Prozessen* neue Wege suchen, die sich am Ausgangspunkt nicht vorhersagen ließen. Die eigentlichen, tieferen Grundzüge dieser Entwicklung zeichnen sich oft erst sehr langsam – nach Jahrzehnten oder sogar Jahrhunderten – ab. Die Visionen passen sich also der technischen Entwicklung an, und so können wir genau verfolgen, wie das Neue der Neuen Technologien sozusagen aufrechterhalten wird.²

URVISIONEN DER KERntechnik

Die „Urvisionen“ der Kerntechnik sind im Großen und Ganzen bereits bekannt. Sie wurden in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts geboren, um dann in den 1940er und 1950er Jahren voll aufzublühen. Die Kerntechnik wurde damals als Schlüsseltechnologie und auch als „generische“ Technologie verstanden; sie sollte nicht nur in neuen Waffen und Kraftwerken Verwendung finden, sondern sollte die moderne Gesellschaft als Ganzes durchdringen und sie vorwärts treiben. Die Kerntechnik sollte das Leben bequemer machen, praktisch alle Transportprobleme lösen, die verschmutzte Umwelt heilen, neue Medikamente hervorbringen, die Landwirtschaft und die Lebensmittelindustrie revolutionieren usw.³

Wenn wir uns auf die frühen Visionen der Kernenergie als *Energietechnologie* beschränken, so sprach man gerne von der Kernenergie als einer praktisch unerschöpflichen und auf Dauer nahezu kostenlosen Energiequelle. Die Kernenergie ordnete sich dabei in den allgemeinen

1 Vgl. Högselius 2005a, S. 18; Tidd/Bessant/Pavitt 2005, S. 191; Fjæstad 2010.

2 Eine quantitative Variante dieser Sichtweise findet man z. B. im Zusammenhang mit Energieprognosen, wo man beobachten kann, wie sich frühe, historische Prognosen fast immer als völlig falsch erwiesen, sich aber allmählich der tatsächlichen Entwicklung angepasst haben (vgl. Smil 2003, S. 147). In diesem Kapitel verfolge ich eine qualitative Analyse der Interaktion zwischen Visionen und realer Entwicklung.

3 Siehe z. B. Del Sesto 1987.

Gesellschaftsdiskurs der Nachkriegszeit ein, in dem die Angst vor (nationaler) Energieknappheit ein wichtiges Thema war.

Die Befürworter der Kernenergie taten ihr Bestes, um die erwartete Knappheit an und den Zugang zu Kohle und Öl als risikoreich darzustellen. Der Zugang zu Uran war aber ebenfalls bei weitem nicht sichergestellt. Niemand wusste, wie viel Uran es eigentlich gab und wo. Der Kernbrennstoff wurde somit zu einem potenziell knappen Rohstoff. Kernforscher und Ingenieure fanden es besonders störend, dass im natürlichen Uran nur das Isotop U-235 spaltbar und damit nur 0,7 Prozent des natürlich vorkommenden Urans direkt nutzbar war. Aus der Kernphysik und der militärischen Kerntechnik wussten sie aber, dass es theoretisch möglich war, das nicht spaltbare Uranisotop U-238 – das 99 Prozent des natürlich vorkommenden Urans ausmacht – durch Bestrahlung in einem Reaktor in spaltbares Plutonium (Pu-239) umzuwandeln. Ließe sich eine entsprechende Technik entwickeln, könnte man also sehr viel mehr Energie aus dem Uran herausholen. Diese Vorstellung wurde zu einem wichtigen Leitbild der frühen kerntechnischen Entwicklung.

Das Argument, dass es eine ungeheure Verschwendung wäre, nur 0,7 Prozent des Urans energetisch auszunutzen, führte zu einer interessanten Perspektive hinsichtlich der ersten zu bauenden Kernreaktoren, die „nur“ die Fissionsenergie des spaltbaren Uranisotops U-235 ausnutzen konnten. Schon in den 1950er Jahren sprach man mit Gering-schätzung von jenen noch zu bauenden Reaktoren und bezeichnete sie als „primitiv“. Sie wären nur als erster grober Schritt der kernenergetischen Entwicklung zu verstehen, während in Zukunft so genannte Schnelle-Brüter-Reaktoren, die mit Plutonium arbeiten könnten und somit sehr viel energieeffizienter wären, die Kernenergie völlig dominieren würden. Diese Sichtweise drängte auch tief in die Politik, die nicht zögerte, der zivilen Plutonium- und Brüterforschung große Summen zu erteilen, weil diese eben als zentral für die Zukunft der Kernenergie gesehen wurde.⁴

Die Schnellen Brüter wurden damals als „zweite Reaktorgeneration“ betrachtet. Es gab aber zugleich die Idee von einer „dritten Generation“ der Kerntechnik, was so viel wie die Vision einer friedlichen

4 Radkau 1983; Fjæstad 2010; Högselius 2009. Das einzige Beispiel eines großen Landes, das sich nicht für Brüter interessierte, war Kanada, was damit zusammenhängt, dass Kanada über fast unerschöpfliche Uranvorkommen verfügt und sich somit nicht um Uranknappheit kümmern musste.

Kernfusion bedeutete. Besonders in der Periode von 1952, als die erste Wasserstoffbombe entzündet wurde, bis 1958, als auf der zweiten Genfer Atomkonferenz enttäuschende Forschungsergebnisse veröffentlicht wurden, hat man die Kernfusion als „Endziel“ der kerntechnischen Entwicklung vor Augen gehabt.⁵

Ein weiteres wichtiges Leitbild, neben den drei „Reaktorgenerationen“, war die Vorstellung vom „geschlossenen Kernbrennstoffkreislauf“. Diese Vision ist militärischen Ursprungs, und das entscheidende Stichwort hieß „Wiederaufarbeitung“, oder, wie es manchmal genannt wurde, „plutonium recycling“. Die Aufarbeitung des abgebrannten Kernbrennstoffes, dessen wichtigstes Endprodukt reines Plutonium war, bildete die (chemische) Grundlage zur Waffenherstellung, aber sie war auch eine zentrale Voraussetzung für den Betrieb von Schnellen Brütern, da diese hauptsächlich mit Plutonium als Brennstoff zu arbeiten hatten. In Schnellen Brütern, so dachte man, würde außerdem wiedergewonnenes Uran Verwendung finden. Militärische und zivile Interessen kamen hier zusammen, da beide die Plutoniumerzeugung in Wiederaufarbeitungsanlagen als Schlüsseltechnologie deuteten. Bis in die 1980er Jahre sahen es die führenden Akteure in vielen Ländern als fast selbstverständlich an, dass die Kernenergie nur mit einem geschlossenen Kernbrennstoffzyklus auf Dauer aufrechtzuerhalten war, da sonst enorme Mengen an Restprodukten sich anhäufen und die (in- und ausländischen) Uranvorräte sich schnell leeren würden.⁶

DIE ANPASSUNG DER VISIONEN AN DIE REALE TECHNISCHE ENTWICKLUNG

Wenn wir uns nun mit der realen technischen Entwicklung der Kernenergie und ihrer Rolle in unseren heutigen Gesellschaften befassen und sie mit den oben skizzierten „Urvisionen“ vergleichen, stellen wir

5 Radkau 1983, S. 64-71.

6 Ab den 1980er Jahren wurde jedoch deutlich, dass sich enorme Mengen an radioaktiven Restprodukten auch durch die Wiederaufarbeitung anhäuferten, so dass immer fraglicher wurde, inwieweit die Wiederaufarbeitung wirklich zu einer Reduzierung der Abfallmengen führte. Zugleich wurden neue Uranvorräte entdeckt, die es ermöglichten, die Wiederaufarbeitung von abgebranntem Kernbrennstoff aus wirtschaftlichen Gründen als unnötig zu betrachten.

schnell fest, dass die Kerntechnik am ehesten als eine „gescheiterte“ Neue Technologie angesehen werden müsste:

Erstens haben sich die Schnellen Brüter, die früher zentral in den Zukunftsvisionen figurierten, nicht verwirklicht. Der französische – und letzte europäische – Schnelle Brüter, der „Superphénix“, wurde 1997 endgültig abgeschaltet, während der deutsche Schnelle Brüter in Kalkar 1991 stillgelegt und danach in einen Vergnügungspark (!) umgewandelt wurde. In keinem Land befinden sich heute Schnelle Brüter im kommerziellen Dauerbetrieb. Wegen der verfehlten Brüterentwicklung sind praktisch alle heute im Betrieb befindlichen Reaktoren – das sind ungefähr 440 weltweit – von jenem Typ, der bereits in den 1950er Jahren als „primitiv“ beschrieben wurde (thermische Reaktoren; „erste Reaktorgeneration“).

Zweitens ist der Kernbrennstoffkreislauf zu etwa 80 Prozent nicht geschlossen worden. Sehr wenig abgebrannter Brennstoff wird also aufgearbeitet. Zugleich hat sich die Endlagertechnik noch nicht durchgesetzt, so dass sich nunmehr fast alle abgebrannten Brennelemente, die im letzten halben Jahrhundert in Kraftwerken Kernenergie erzeugt haben, in so genannten Zwischenlagern befinden.

Drittens hat die Kerntechnik enorme Niederlagen in Form von nuklearen Katastrophen erlitten. Die Katastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986 ist das ultimative Symbol der „Risikogesellschaft“ geworden (Ulrich Becks Buch mit demselben Titel erschien praktisch am selben Tag), während unzählige weitere Unfälle stattgefunden haben – in Nordamerika wie auch in Westeuropa und Japan. Gerade wenn man von den einst „visionären“ Technologien spricht – wie den Schnellen Brüttern und den Brennstofftechnologien – stellt man fest, dass es sich um eine Geschichte voller Fehlschläge, Unfälle und traumatischer Erfahrungen handelt: Mitte der 1960er Jahre traten bereits eine Reihe von Unfällen in Schnellen Brüttern auf,⁷ ihnen folgten Anfang der 1970er Jahre mehrere Havarien in Wiederaufarbeitungsanlagen⁸ und in den Jahren 1979 und 1986 schließlich die großen Unfälle in Harrisburg bzw. Tschernobyl. Außerdem gibt es eine Reihe einst sehr hoffnungsvoller Zukunftsprojekte, deren Stilllegung stillschweigend hingenommen werden musste – und dies nicht primär etwa wegen öffentlicher Proteste oder Aktionen der Antiatomkraftbewegung, sondern deswegen, weil die technischen Schwierigkeiten sich einfach als viel zu groß

7 Fjæstad 2010.

8 Varchmin/Radkau 1981.

und viel zu viele erwiesen. Wären die Ölkrisen in den 1970er Jahre nicht gewesen, wäre die Kernenergie in gesellschaftlich-sozialem Sinne vermutlich noch früher veraltet und ihre Industrialisierung wahrscheinlich völlig ins Stocken gekommen.⁹

Die Katastrophe von Tschernobyl kann gewissermaßen als Schlusspunkt der Verbreitung der friedlichen Kernenergie – zumindest in den „alten“ Kernenergieländern – betrachtet werden. Seit dem Desaster in der Ukraine hat die bis dahin rasch steigende Zahl der in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke zu sinken begonnen. Heute werden also deutlich mehr Reaktoren stillgelegt als neue gebaut. In Asien nimmt die Zahl der Kernkraftwerke noch zu, aber dieser Zuwachs kann sich bei weitem nicht mit dem rasanten Anstieg in den 1970er und den frühen 1980er Jahren in den „alten“ Kernkraftländern messen (Abbildung 1).

Andererseits kann man Tschernobyl als *neuen Anfangspunkt* für eine Weiterentwicklung und eine, vielleicht paradoxe, „Erneuerung“ der Kerntechnik verstehen. Zum einen hat Tschernobyl Forschern und Ingenieuren einen erheblichen Schub zu neuen Innovationen im Bereich der Sicherheitstechnik gegeben. Dank Tschernobyl verstehen wir jetzt viel besser, was bei einem Super-GAU eigentlich passiert.

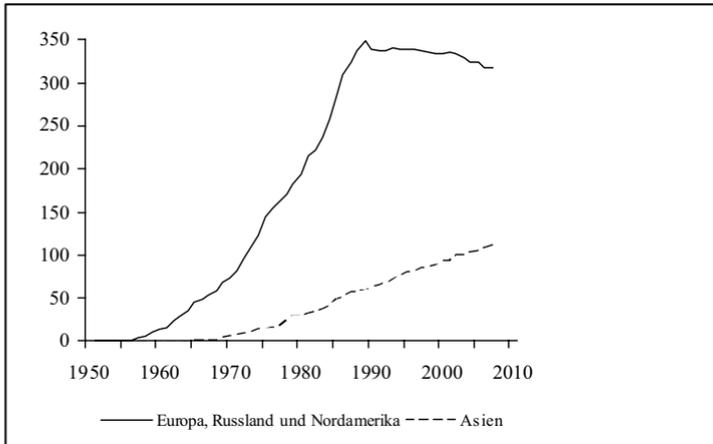
Zum anderen, und dass ist noch interessanter, hat Tschernobyl westlichen KKW-Betreibern und Kernenergiebefürwortern gute Möglichkeiten gegeben, die sowjetische Kerntechnik als „veraltet“ zu deuten, um dadurch die westliche Kerntechnik als „neu“ hervorheben zu können. Die Distinktion zwischen „unserer“ Kerntechnik und die der „anderen“ hat es also erlaubt, die westliche Kerntechnik als „jünger“ darzustellen.

In Deutschland gibt es ein faszinierendes Beispiel für Letzteres in Greifswald in Vorpommern, wo in der DDR-Zeit das „größte Kernkraftwerk der Welt“ gebaut wurde. Im Zusammenhang mit der deutschen Wiedervereinigung wurde es schnell abgeschaltet und stillgelegt. Da keine technischen Untersuchungen vorgelegt wurden, die eine Stilllegung empfahlen, scheint das DDR-Kernkraftwerk im Nachhinein als politisches Opfer, das die pronukleare Bundesregierung – unter dem Druck westlicher Kernkraftwerkbetreiber – hinnahm, um die westliche Atomindustrie in besseres und vor allem *neueres* Licht zu rücken.¹⁰

9 Vgl. Damian 1992.

10 Vgl. Högselius 2005b.

Abbildung 1: Anzahl der im kommerziellen Betrieb befindlichen Kernreaktoren in Europa, Russland und Nordamerika bzw. in Asien, 1954-2007. Eigene Berechnungen auf Basis von IAEA 2008.



In Greifswald verstand man nicht, warum das Kernkraftwerk stillgelegt werden musste, obwohl kein anderes osteuropäisches Kernkraftwerk stillgelegt wurde. Später hat sich aber die Geschichte in einer etwas anderen Form und an anderer Stelle wiederholt, und zwar in Tschechien, Litauen und Bulgarien, deren Regierungen im Zusammenhang mit ihrem EU-Beitritt in den Jahren 2004 bzw. 2007 versprechen mussten, ihre sowjetischen Kernkraftwerke frühzeitig abzuschalten. Wie im Fall Greifswald basieren diese Beschlüsse kaum auf technischen Untersuchungen. Wenn man in die technischen Reports hineinschaut, erfährt man eher einen Respekt und eine Würdigung der sowjetischen Technologie. Nichtsdestotrotz wurde beschlossen, die Anlagen stillzulegen.

DIE NEUEN VISIONEN DER KERntechnik

Die Nuklearindustrie hat sich auch anderer Strategien bedient, um „das Neue“ der Kernenergie aufrechtzuerhalten und weiterzuentwickeln. Und sie tut es bisher recht erfolgreich. Ein erstes Zeichen hierfür ist die Tatsache, dass wir, wenn wir die heutige Situation im Bereich der Kernenergie betrachten, schnell feststellen können, dass die Kernener-

gie heute gar nicht bei allen Beobachtern als „verfehlte Technologie“ gilt, so wie ich es oben mit dem Scheitern der Urvisionen der Kerntechnik dargelegt habe. Weder Politiker noch andere Akteure arbeiten mit den langen historischen Perspektiven, die der Technikhistoriker für nötig hält.

Die Kernenergie wird somit heute in vielen Ländern nicht nur von einer Mehrheit der Bevölkerung und der politischen Parteien als umweltfreundliche und sichere Energietechnologie angesehen, sondern wir finden die Kernenergie auch häufig unter der Rubrik „Neue Energietechnologien“. „Neue Kerntechnik“ ist in der post-Tschernobyl-Zeit ein Begriff geworden, vor allem im Lobbying von Seiten industrieller Interessenorganisationen und Verbände,¹¹ wobei es eine nicht ausgesprochene, implizite Referenz zur „alten“ Kerntechnik gibt – eine Referenz, die es bis 1986 kaum gab. Man könnte sogar behaupten, dass der Tschernobyl-Unfall es erst ermöglicht hat, eine neue Welle kernenergetischer Visionen hervorzurufen bzw. heraufzubeschwören. Diesem Umdeutungsprozess scheint eine komplexe Dialektik zu Grunde zu liegen.

Zweifelsohne haben sich neue kernenergetische Zukunftsvisionen formiert, die eine neue Anpassung an die technischen Erfahrungen ermöglichen – oder vielleicht richtiger, eine *Synthese* der Urvisionen mit der realen technischen Entwicklung darstellen. Diese Entwicklung hat in den Jahren um 1990 begonnen, hat aber ihren Durchbruch erst im neuen Jahrtausend erlebt, und zwar vor dem Hintergrund der Klimadebatte, der steigenden fossilen Brennstoffpreise, der zunehmenden politischen Unruhe in Öl und Gas exportierenden Ländern und auch der sehr pronuklearen Haltung des ehemaligen US-Präsidenten George W. Bush, seines russischen Kollegen Wladimir Putin und einer Reihe führender politischer Akteure in einigen wirtschaftlich sehr dynamischen asiatischen Ländern. Im Zentrum stehen, in diesen heutigen Visionen, die *Reaktorsicherheit* und die *nukleare Entsorgung*. Die Vision vom „inhärent sicheren“ Reaktor fällt besonders ins Auge. Im Kernforschungszentrum Jülich spricht man auch von so etwas wie einer „katastrophenfreien Reaktor- und Entsorgungstechnik“.¹² So hätte man sich in den 1950er Jahren nie ausgedrückt, und es spiegelt die Tatsache wider, dass alle heutigen kerntechnischen Visionen sich auf die eine oder andere Weise zu Tschernobyl verhalten müssen.

11 Siehe z. B. Bohnenschäfer u. a. 2005, S. 93.

12 Forschungszentrum Jülich 2001.

Auch die Visionen vom *Kernbrennstoffzyklus* finden heute neue Varianten, die sich der schwierigen praktisch-technischen Entwicklung in diesem Bereich angepasst haben. Eine der Hauptgründe, weshalb die Wiederaufarbeitung gesellschaftlich versagte, ist, dass sie mit der Verbreitung von Plutonium verknüpft wurde. Jetzt ist die neue Vision, „plutoniumfreie“ Wiederaufarbeitungstechnologien zu entwickeln, die nicht reines Plutonium als Endprodukt haben, sondern nur eine Mischung von Plutonium mit anderen Substanzen, und somit die Gefahr einer internationalen Verbreitung von Waffenplutonium ausschließt. Im Englischen spricht man von „proliferation-resistant technology“.¹³

Die neuen Visionen enthalten auch das Ziel, die Mengen an radioaktiven Abfällen, die durch die Wiederaufarbeitung entstehen, mehr oder weniger zu eliminieren. Der utopische Traum unter nuklearen Ingenieuren ist heute, alle schädlichen radioaktiven Isotopen mittels hochentwickelter kernphysikalischer Methoden zu „transmutieren“, also in nicht-schädliche Substanzen umzuwandeln.¹⁴

Es gibt auch eine visionäre Diskussion, die vor allem von Forschern und Ingenieuren vorangetrieben wird, in der man sich mit *neuen Reaktorgenerationen* auseinandersetzt. Der Schlüsselbegriff ist hier nunmehr die so genannte Generation IV. Der Begriff hat seinen politischen Durchbruch in den ersten Jahren des neuen Jahrhunderts erlebt, als das Energieministerium der Vereinigten Staaten die Initiative zur Formierung eines internationalen „Generation IV Forum“ ergriffen hat. Der etwa 50 Jahre alte Begriff „Reaktorgeneration“ hat also überlebt, hat aber zugleich einen neuen Sinn bekommen, wie im Folgenden dargestellt.¹⁵

Um die Schlussfolgerung zu vermeiden, dass wir jetzt immer noch nur die erste Generation von Kernkraftwerken betreiben – wie man aus den alten Generationsvorstellungen schließen würde – hat man also rückwirkend eine neue erste Generation eingeführt: die Prototypen, also funktionierende Reaktoren, die aber kaum kommerziell betrieben wurden.

13 Vgl. Evans/Kawaguchi 2009.

14 Die Möglichkeiten, besonders schädliche radioaktive Substanzen zu transmutieren, ist ein beliebtes Thema in führenden wissenschaftlichen Zeitschriften im Bereich Kernenergie und Kernphysik, wie etwa in der Zeitschrift *Progress in Nuclear Energy*. Es ist aber bisher weniger ein Thema der Policy-Forschung geworden.

15 Generation IV International Forum 2009, S. 1.

Alte Vorstellung:

- Erste Generation: thermische Reaktoren
- Zweite Generation: Schnelle Brüter, Hochtemperaturreaktoren
- Dritte Generation: Fusionsreaktoren

Neue Vorstellung:

- „Erste Generation“: Prototypen, erste thermische Reaktoren (~1950-1970)
- Zweite Generation: Heute im Betrieb befindliche thermische Reaktoren (~1970-2030)
- Dritte Generation: Verbesserungen zu heutigen Reaktoren (ab ~2000).
- Vierte Generation: Schnelle Brüter, Hochtemperaturreaktoren und andere fortgeschrittene und neue Reaktorsysteme (ab 2030)

Und um im ähnlichen Sinne den Eindruck zu vermeiden, dass die „neue Kerntechnik“ (also die vierte Generation) weit entfernt in der Zukunft liegt, hat man eine dritte Generation eingeschoben zwischen der heutigen und der künftigen Reaktortechnik, obwohl man aus technikhistorischer Sicht wohl eher schließen würde, dass diese dritte Generation sich nicht wesentlich von den jetzigen Kernkraftwerken unterscheidet, um als distinkte Reaktorgeneration beschrieben zu werden.

Wenn man genauer in die neuen Reaktortypen hineinschaut, stellt sich heraus, dass die vierte Generation in der neuen Vorstellung eigentlich eine etwas angepasste Version der früheren zweiten Generation darstellt: Hier finden wir sowohl Schnelle Brüter wie auch so genannte Hochtemperaturreaktoren. Die meisten von ihnen sind eng mit einem geschlossenen Kernbrennstoffkreislauf verbunden. Die „Generation IV“-Reaktoren werden – heute wie damals – als „revolutionär“ dargestellt; ihr kommerzieller Durchbruch ist aber immer noch etwa 20 Jahre entfernt.¹⁶

Eine interessante Neuentwicklung ist, dass viele Akteure bestrebt sind, mit den visionären Reaktortechnologien neue Ziele zu erreichen. Es geht z. B. um die Produktion von Wasserstoff und synthetischen

16 Zwölf Länder plus Euratom sind heute Mitglieder des Generation IV Forums. Diese sind Argentinien, Brasilien, China, Frankreich, Großbritannien, Japan, Kanada, Russland, die Schweiz, Südafrika, Südkorea und die Vereinigten Staaten.

Kohlenwasserstoffen (also Öl und dergleichen), Trinkwasserherstellung mittels Entsalzung, die Erzeugung von Prozesswärme usw.¹⁷

Diese neuen Funktionen sind aber kaum der hauptsächliche Grund dafür, dass es der Nuklearindustrie gelungen ist, positive Aufmerksamkeit für ihre Visionen einer „neuen Kerntechnik“ zu erhalten. Es hat eher mit zwei „weichen“ Erklärungen zu tun.

Erstens gibt es hier ein „Neusprech“ bzw. ein Vermeiden von sensiblen, historisch aufgeladenen Termini: Das Wort „Schneller Brüter“ wird z. B. kaum mehr benutzt, er ist zum „natrium-gekühlten Reaktor“ geworden. Man spricht auch nicht gerne von „Wiederaufarbeitung“, sondern lieber von künftiger „Transmutation“ (obwohl diese eng mit den neuen Wiederaufarbeitungsvisionen verbunden ist). Andererseits spricht man noch heute gerne vom „geschlossenen Kreislauf“, was sich wahrscheinlich dadurch erklärt, dass „Kreislauf“ bzw. „Recycling“ positive Begriffe geblieben sind und heutzutage sogar noch positiver bewertet werden als früher.

Zweitens gibt es das Problem des Vergessens. Wenn wir die neuen Visionen betrachten, ist es wichtig, dass wir die Vision-Praxis-Dialektik im Zusammenhang nicht nur mit dem Lernen aus historischen Fehlschlägen, sondern auch im Zusammenhang mit einem Prozess des Vergessens jener historischen Fehlschläge analysieren. Dieses Vergessen ist ein wichtiger Faktor, wenn wir verstehen wollen, wie es überhaupt möglich ist, die Kernenergie heute noch als „neue Energietechnologie“ darzustellen. Es ist nunmehr fast ein Vierteljahrhundert her seit dem Desaster in der Ukraine im Tschernobylwerk, und es gibt heute viele junge Menschen, in Europa und anderswo, die nie von Tschernobyl gehört haben und nichts mit diesem Namen anfangen können. Noch weniger Menschen – einschließlich Politiker – haben heute eine Ahnung davon, was ein Schneller Brüter oder eine Wiederaufarbeitungsanlage (gewesen) ist – insbesondere nicht, wenn das ganze Vokabular sich verändert hat. Außerdem müssen Veränderungen im allgemeinen energiepolitischen Klima als wichtiger Faktor mit einbezogen werden. Erstens hat die Nuklearindustrie das steigende Bewusstsein um die Gefahr des Klimawandels ausnutzen können,

17 Generation IV International Forum 2009.

Tabelle 1: Überblick über Reaktoren der „Generation IV“ (Quelle: Generation IV International Forum).

System	Neutronen-Spektrum	Kühlung	Temperatur (°C)	Brennstoff-Zyklus	Größe (MW, elektr.)
Gasreaktor mit sehr hoher Temperatur	thermisch	Helium	900-1000	Offen	250-300
Natriumgekühlter schneller Reaktor	Schnell	Natrium	550	Geschlossen	30-150 300-150 1000-2000
Superkritischer wassergekühlter Reaktor	Thermisch/ schnell	Wasser	510-625	Offen/ geschlossen	300-700 1000-1500
Gasgekühlter schneller Reaktor	Schnell	Helium	850	Geschlossen	1200
Bleigekühlter schneller Reaktor	Schnell	Blei	480-800	Geschlossen	20-180 300-1200 600-1000
Geschmolzener Salzreaktor	Epithermisch	Fluoridsalze	700-800	Geschlossen	1000

um die Kernenergie als umweltfreundliche, kohlendioxidfreie Technologie zu deuten. Zweitens wird die Kernenergie von den meisten Akteuren als „heimische“ Energiequelle und deshalb als sicherheitspolitisch sicherer als Öl und Gas angesehen. Letzteres Argument ist besonders interessant, da Uran in Wirklichkeit den am stärksten internationalisierten Energierohstoff darstellt.¹⁸

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Dieses Kapitel hat untersucht, wie die Zukunftsvisionen der Kerntechnik über einen längeren Zeitraum mit der realen wissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Praxis interagiert haben. Ausgehend von der geschichtlichen Entwicklung wurde das Problem aufgeworfen, inwieweit die Kerntechnik heute noch als „neue“ Technologie verstanden werden kann und welche sozialen und gesellschaftlichen Prozesse im Gange sind, die dazu beitragen, das „Neue“ der Kerntechnik aufrechtzuerhalten bzw. ihre „Veraltung“ zu vermeiden – in materieller wie auch in sozial-diskursiver Hinsicht.

Das Kapitel nahm als Ausgangspunkt die „Urvisionen“ der Kerntechnik (1940er/1950er Jahre), um dann die Anpassung der Zukunftsvisionen an die reale technische Entwicklung zu analysieren. Die Tschernobyl-Katastrophe im Jahr 1986 und der Fall des osteuropäischen Kommunismus kurz darauf wurden als Bruchpunkt gedeutet, worauf weltweit die Entwicklung einer so genannten „neuen Kerntechnik“ folgte, die sich gegen die „alte“, aber auch gegen die „andere“ (vor allem sowjetische) Kerntechnik absetzte. Diese „neue Kerntechnik“ bringt eine Fülle von neuen, weitreichenden visionären und utopischen Vorstellungen mit sich, die aber im Grunde als eine Synthese der Urvisionen der Kerntechnik und den gescheiterten Erfahrungen der ingenieurtechnischen Praxis verstanden werden müssen.

Ein letzter, aber nicht unwichtiger Punkt ist, dass die jetzige Entwicklung vor dem Hintergrund einer großen Zahl in Betrieb befindlicher Kernkraftwerke stattfindet, die in den nächsten 10 bis 20 Jahren völlig veraltet sein werden und die entweder stillgelegt oder ersetzt

18 Mehr als 90 Prozent des Urans, das weltweit in Kernkraftwerken jährlich eingesetzt wird, wird aus anderen Ländern importiert. Entsprechende Anteile für Erdöl und Erdgas liegen etwa bei 60 Prozent bzw. 20 Prozent. Vgl. Smil 2003.

werden müssen. Hier gibt es offensichtlich eine Marktlücke für die nukleare Industrie, und für viele Regierungen ist das ein akzeptables Argument dafür, die neue kerntechnische Forschung und Entwicklung aktiv zu unterstützen und zu finanzieren. Interessant ist hier, dass vor allem die Forschung im Zentrum steht, weniger tatsächliche industrielle Aktivitäten. Die Geschichte der Kerntechnik könnte also so beschrieben werden, dass sie mit Forschung und Entwicklung beginnt, um dann durch eine dynamische Phase der industriellen Expansion abgelöst zu werden – um dann aber in die Forschung zurückzukehren, in der neue Zukunftsvisionen geboren werden.

LITERATUR

- Bohenschäfer, W. u. a.: *Nachhaltige Energiepolitik für den Standort Deutschland: Anforderungen an die zukünftige Energiepolitik*, Berlin: Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI), 2005.
- Damian, M.: „Nuclear power: the ambiguous lessons of history”. In: *Energy Policy* 20 (1992), S. 596-607.
- Del Sesto, S.: „Wasn’t the future of nuclear energy wonderful?” In: Corn, J. (Hrsg.): *Imagining tomorrow: history, technology and the American future*, Cambridge/MA: MIT Press, 1987, S. 58-76.
- Evans, G./Kawaguchi, Y.: *Eliminating nuclear threats: a practical agenda for global policymakers*, (International Commission on Nuclear Non-proliferation and Disarmament), Canberra/Tokyo 2009.
- Fjæstad, M.: *Visionen om outtömlig energi: bldreaktorn i svensk kärnkraftshistoria, 1945-1980*, Hedemora, 2010.
- Forschungszentrum Jülich: Wissenschaftlicher Ergebnisbericht 2001, Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH, 2001.
- Generation IV International Forum: GIF and Generation-IV, <http://www.gen-4.org/Technology/evolution.htm> [Stand: 07.12.2009].
- Högselius, P.: *The dynamics of innovation in Eastern Europe: lessons from Estonia*, Cheltenham: Edward Elgar, 2005a.
- Högselius, P.: *Die deutsch-deutsche Geschichte des Kernkraftwerkes Greifswald: Atomenergie zwischen Ost und West*, Berlin: Berliner Wissenschafts-Verlag, 2005b.

- Högselius, P.: „Spent nuclear fuel policies in historical perspective: an international comparison“. In: *Energy Policy* 37 (2009), Nr. 1, S. 254-263.
- IAEA: *Nuclear power reactors in the world* (April 2008 edition), Wien: International Atomic Energy Agency, 2008.
- Radkau, J.: *Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft, 1945-1975. Verdrängte Alternativen in der Kerntechnik und der Ursprung der nuklearen Kontroverse*, Hamburg: Rowohlt, 1983.
- Smil, V.: *Energy at the crossroads: global perspectives and uncertainties*, Cambridge/MA: MIT Press, 2003.
- Tidd, J./Bessant, J./Pavitt, K.: *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change*, 3. Aufl. New York/NY: Wiley, 2005.
- Varchmin, J./Radkau, J.: *Kraft, Energie und Arbeit: Energie und Gesellschaft*, München: Deutsches Museum, 1981.

Die Kernfusion als eine Energie für die Zukunft

SIBYLLE GÜNTER, ISABELLA MILCH

Die nachhaltige Energieversorgung von – in wenigen Jahrzehnten – circa zehn Milliarden Menschen ist eine globale Herausforderung. Zur Lösung des Problems sollten alle denkbaren Alternativen zu fossilen Energieträgern, die zurzeit 75 Prozent des Primär-Weltenergiebedarfs decken, parallel zueinander entwickelt werden. Als CO₂-freie und nahezu unerschöpfliche Primär-Energiequelle könnte die Kernfusion ab der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts einen entscheidenden Beitrag leisten. Aufgrund ihrer inhärenten Sicherheit – im Gegensatz zu Spaltungskraftwerken beruhen Fusionskraftwerke nicht auf einer Kettenreaktion – und ohne die Notwendigkeit, die radioaktiven Abfälle endzulagern, könnten Kernfusionskraftwerke zu einer der Stützen einer künftigen Energieversorgung werden.

EINE ENERGIE FÜR DIE ZUKUNFT – SEIT 50 JAHREN?

Diese günstigen Eigenschaften motivieren die Anstrengungen der weltweiten Fusionsforschung seit ihren Anfängen. Erste Untersuchungen mit dem Ziel, die Kernverschmelzung zur Energiegewinnung nutzbar zu machen, begannen Ende der 1940er Jahre, vor allem in den USA, Russland und Großbritannien. Die entsprechende Aufgabe lautete: ein Wasserstoff-Plasma mit magnetischen Feldern

stabil und wärmeisolierend einzuschließen, um es auf eine Zündtemperatur von über 100 Millionen Grad aufheizen zu können.

Blickt man aus unserer Zeit mit ihren modernen Fusionsanlagen zurück in diese Vergangenheit, so nehmen sich die Anfänge der Forschung sehr bescheiden aus: Die Plasmen waren mit wenigen Litern Volumen klein, es fehlten experimentelle Erfahrung, theoretisches Verständnis des Plasmaverhaltens, leistungsfähige Heizapparaturen, Methoden zum Beobachten derart heißer Plasmen und schnelle Computer zum Berechnen ihres komplexen Verhaltens.

Es ist daher verständlich, dass man die Entwicklung anfangs zu optimistisch eingeschätzt hat. Die ursprüngliche Hoffnung auf einen schnellen Durchbruch musste bald aufgegeben werden. Es setzte sich die Erkenntnis durch, dass zur Entwicklung der Fusion ein Langzeitprogramm mit intensiver Grundlagenforschung nötig sei, um die hochkomplexen, vielfach rückgekoppelten Vorgänge im Plasma verstehen zu lernen.¹ Das Erzeugen von Temperaturen weit über denen im Sonnen-Inneren, eine Wärmeisolierung, die hundertmal besser ist als die von Styropor, und die mit den hohen Temperaturen verbundene Wärmebelastung der Materialien stellten Herausforderungen dar, die zu Beginn der Forschung vor gut 50 Jahren nicht abzusehen waren. Sie führen dazu, dass die Entwicklung eines Fusionskraftwerks wohl noch weitere etwa 50 Jahre dauern wird.

Andererseits hat die Fusionsforschung bereits gewaltige Fortschritte gemacht: Der Parameter, an dem der Erfolg des Plasma-Einschlusses gemessen werden kann ($nT\tau$: Dichte \times Temperatur \times Energieeinschlusszeit – ein Maß für die Wärmeisolierung), verdoppelte sich in den letzten Jahrzehnten etwa jedes Jahr – ein Fortschritt, der sich in seiner Geschwindigkeit nur mit der rasanten Entwicklung von Computerchips vergleichen lässt.

HERAUSFORDERUNG FUSIONSFORSCHUNG

Die wesentliche neue technologische Komponente in einem Fusionskraftwerk ist das Plasma: Ein extrem dünnes, ionisiertes Gas, ein Gemisch aus positiven und negativen Ladungsträgern, in dem bei hohen

¹ Aus unserer Sicht verlief die Fusionsforschung unabhängig von der Entwicklung der Kernspaltungstechnologie, also anders als in Joachim Radkaus Beitrag in diesem Band angedeutet.

Temperaturen Wasserstoff-Kerne zu Helium verschmelzen. Die dabei außerdem entstehenden Neutronen heizen die Gefäßwände auf und ermöglichen so eine konventionelle Energieauskopplung und Stromversorgung.

Wie ein Kohlefeuer setzt auch das Fusionsfeuer nicht selbstständig, sondern erst bei den passenden Zündbedingungen ein. Für den Brennstoff bedeutet dies eine Zündtemperatur von 200 Millionen Grad. Wegen der hohen Temperatur kann man das Plasma nicht unmittelbar in materiellen Gefäßen einschließen. Bei jedem Wandkontakt würde sich das heiße Gas sofort abkühlen. Stattdessen nutzt man magnetische Felder, die den Brennstoff wärmeisolierend einschließen und von den Gefäßwänden fernhalten.

Nach diesem Prinzip Energie freizusetzen, gelang erstmals der europäischen Gemeinschaftsanlage JET (Joint European Torus) in Culham/Großbritannien, dem gegenwärtig größten Fusionsexperiment weltweit. Die europäischen Fusionsforscher haben die Anlage gemeinsam geplant, gebaut und seit 1983 auch gemeinsam betrieben. Alle wissenschaftlich-technischen Ziele, die der Anlage bei der Planung gesetzt wurden, sind inzwischen erreicht oder sogar übertroffen. 1997 ist es hier gelungen, kurzzeitig eine Fusionsleistung von 16 Megawatt zu erzeugen. Mehr als die Hälfte der zur Plasmaheizung verbrauchten Leistung wurde dabei per Fusion zurückgewonnen.

Für einen Nettogewinn an Energie ist das JET-Plasma mit seinen 80 Kubikmetern jedoch zu klein. Dies ist die Aufgabe des internationalen Experimentalreaktors ITER (lat.: „der Weg“). In seinem rund 830 Kubikmeter umfassenden Plasmavolumen soll eine Fusionsleistung von 500 Megawatt erzeugt werden – zehnmal mehr, als zur Aufheizung des Plasmas verbraucht wird.

DIE INTERNATIONALE FUSIONSTESTANLAGE ITER

Der internationale Experimentalreaktor ITER, der zurzeit in weltweiter Zusammenarbeit im südfranzösischen Cadarache entsteht, soll zeigen, dass das Prinzip der Energieproduktion von Sonne und Sternen auch auf der Erde realisierbar ist: Unter irdischen Bedingungen gelingt dies am einfachsten mit den beiden Wasserstoffsorten Deuterium und Tritium. Sie verschmelzen zu Helium, dabei werden Neutronen frei sowie große Mengen von Energie: Ein Gramm Brennstoff könnte in einem

Kraftwerk 90.000 Kilowattstunden Energie freisetzen, die Verbrennungswärme von elf Tonnen Kohle. Die für den Fusionsprozess nötigen Grundstoffe – Deuterium und Lithium, woraus im Kraftwerk Tritium hergestellt wird – sind in nahezu unerschöpflicher Menge überall auf der Welt vorhanden.

Eingeleitet wurde das ITER-Projekt 1985 als Symbol für das Ende des Kalten Krieges in Gesprächen des damaligen sowjetischen Generalsekretärs Gorbatschow mit den Präsidenten Frankreichs und der USA, Mitterand und Reagan. Nach langjährigen Vorbereitungen und Verhandlungen über den rechtlichen und organisatorischen Rahmen des Projekts wurde im Oktober 2007 von den sieben Projektpartnern – Europa, Japan, Russland, den USA, China, Südkorea und Indien – die internationale ITER-Organisation gegründet. Die ersten Industrieaufträge zur Herstellung der ITER-Bauteile wurden 2009 vergeben. Nach etwa zehn Jahren Bauzeit, so die Planung, werden rund 600 Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker und Angestellte rund zwanzig Jahre lang an der Anlage arbeiten. Mit dem internationalen Experimentalreaktor ITER steht die Fusionsforschung vor der Demonstration eines Energie liefernden Plasmas.

Am weitesten verbreitet: Tokamak-Anlagen

JET und ITER sind Fusionsanlagen vom Typ „Tokamak“, der heute weltweit am weitesten verbreiteten und am besten untersuchten Bauart. Sie bauen ihren Magnetfeldkäfig zu einem Teil durch äußere Magnetspulen auf, die das Plasmagefäß umschließen. Der andere Teil wird von einem im Plasma fließenden elektrischen Strom erzeugt, der dort pulsweise von einem Transformator induziert wird. Sie können deshalb ohne Zusatzmaßnahmen nur in Pulsen arbeiten. Im Europäischen Fusionsprogramm wird an mehreren, unterschiedlich spezialisierten Tokamaks geforscht: Während die Großanlage JET das Plasmaverhalten in der Nähe der Zündung untersucht, bearbeiten die kleineren nationalen Anlagen – in Deutschland ASDEX Upgrade in Garching und TEXTOR in Jülich – speziellere Fragen: Zum Beispiel widmet sich ASDEX Upgrade, die größte deutsche Fusionsanlage, schwerpunktmäßig der ITER-Vorbereitung: Hierzu gehört die Suche nach einer kraftwerkstauglichen Gefäßwand sowie nach optimierten Betriebsweisen, das heißt die Entwicklung von Plasmazuständen mit verbesserter Wärmeisolation und verlängerter Pulsdauer. So werden die mit ASDEX Upgrade erarbeiteten Kennt-

nisse, die bereits in die ITER-Planung wesentlich einfließen, auch den wissenschaftlichen Betrieb der Anlage bestimmen.

Die Alternative: Stellaratoren

Im Unterschied zu Tokamaks können Fusionsanlagen vom Typ „Stellarator“ von vornherein im Dauerbetrieb arbeiten: Sie werden ohne Plasmaströmung mit einem Feld betrieben, das ausschließlich durch äußere Spulen erzeugt wird. Dafür benötigen sie jedoch wesentlich komplexer geformte Magnetspulen als ein Tokamak. Die Entwicklung solcher Spulen wurde erst auf Grundlage moderner Hochleistungsrechner möglich.

Stellaratoren sind in ihrer Entwicklung daher deutlich weniger fortgeschritten als Tokamaks. In Greifswald entsteht allerdings gerade die Stellaratoranlage Wendelstein 7-X, die nach Fertigstellung im Jahr 2014 das weltweit größte Experiment vom Stellarator-Typ sein wird – mit einem Plasmavolumen von 30 Kubikmetern jedoch wesentlich kleiner als ITER. Wendelstein 7-X soll die Kraftwerkstauglichkeit dieses alternativen Konzepts zeigen.

DIE VISION: FUSIONSKRAFTWERKE AB MITTE DES 21. JAHRHUNDERTS

Der Tokamak ITER soll demonstrieren, dass ein Energie lieferndes Fusionsfeuer möglich ist. Auf technologischer Seite liegen weitere Herausforderungen vor allem in der Materialforschung: Parallel zu ITER gilt es – unter anderem mit Hilfe einer Neutronenquelle –, die Entwicklung neutronenbeständiger Baumaterialien mit geringem Aktivierungspotenzial voranzutreiben sowie von hitze- und erosionsbeständigen Materialien für das Plasmagefäß.

Auf ITER sollen dann Demonstrationsanlagen folgen, die alle Kraftwerksfunktionen erfüllen. Wenn Wendelstein 7-X seine berechneten guten Eigenschaften experimentell bestätigen kann, dann könnte

Abbildung 1: Der Weg zur wirtschaftlichen Nutzung der Fusion (Grafik: IPP).

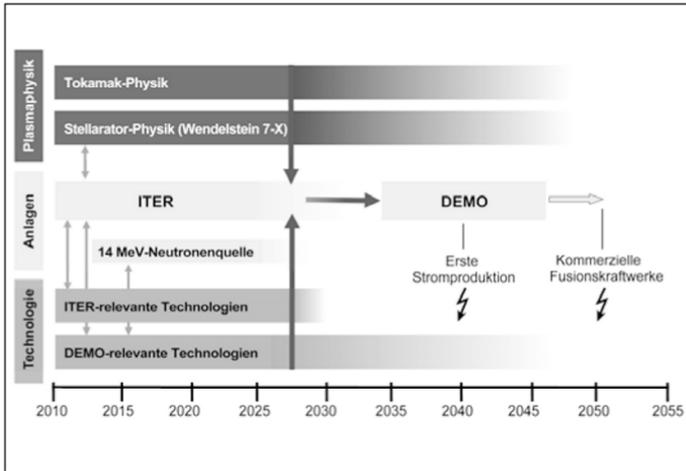
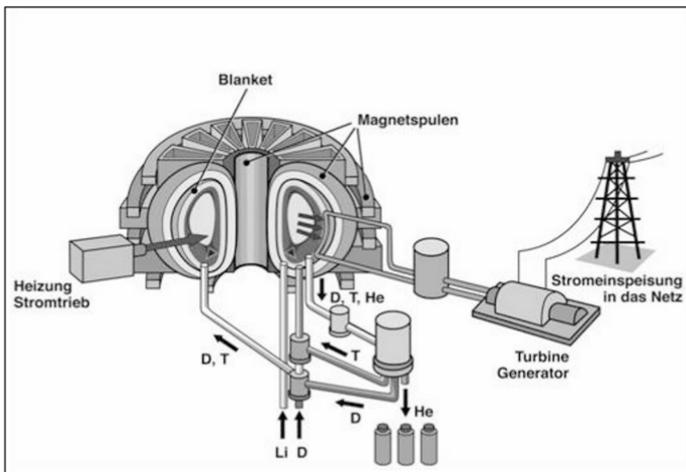


Abbildung 2: Aufbau eines Fusionskraftwerks (Grafik: IPP).



eines dieser Demonstrationskraftwerke auch ein Stellarator sein. Angesichts von je zwanzig Jahren Planungs-, Bau- und Betriebszeit für ITER und seine Nachfolger könnte ein Fusionskraftwerk gegen Mitte des Jahrhunderts wirtschaftlich nutzbare Energie liefern.

Heute ist die Fusionsforschung öffentlich finanzierte Vorsorgeforschung (in Deutschland mit einem Budget von zurzeit jährlich rund 135 Millionen Euro). Von der Industrie wird sie mit Interesse, aber bisher ohne signifikante finanzielle Beiträge verfolgt. Ist die Forschung erfolgreich, sollte sich dies spätestens bei den Demonstrationskraftwerken ändern (Abbildung 1). So ist der Know-how-Transfer in die eigene Industrie ein wichtiges Anliegen der sieben ITER-Partner, die großen Wert darauf legen, dass die Schlüsselkomponenten der Anlage im jeweils eigenen Land hergestellt werden. Die Bauteile werden in den Partnerländern hergestellt, dann nach Cadarache transportiert und dort zusammengebaut – ein Verfahren, das größtmöglichen Wissenstransfer ermöglicht, aber ein komplexes Projektmanagement und höhere Kosten zur Folge hat.

DAS FUSIONSKRAFTWERK

Das künftige Kraftwerk soll auf folgende Weise arbeiten (Abbildung 2): Bis zur Zündung führt eine Startheizung dem Plasma für einige Sekunden eine Leistung von 50 bis 100 Megawatt zu. Die schnellen Heliumkerne, die bei den nun einsetzenden Fusionsreaktionen entstehen, sind als geladene Teilchen im Magnetfeld gefangen und geben ihre Energie über Stöße an das Plasma ab. Schließlich kann die äußere Heizung weitgehend abgeschaltet werden; das Plasma brennt nahezu selbstständig weiter und hält die hohe Fusionstemperatur per Selbstheizung aufrecht. Die entstehenden Neutronen verlassen das Plasma ungehindert und werden im Blanket, der inneren Verkleidung der Gefäßwand, abgebremst. Dort geben sie ihre gesamte Bewegungsenergie in Form von Wärme ab und erzeugen zudem aus Lithium den Brennstoffbestandteil Tritium. Etwa 35 Gramm Brennstoff pro Stunde verbraucht ein Kraftwerk von 1000 Megawatt elektrischer Leistung. Die in Blanket und Divertor abgegebene Wärme wird durch ein Kühlmittel – Helium oder Wasser – zum Dampferzeuger transportiert, um Strom zu produzieren, der dann an das Netz abgegeben wird. Die konventionellen Teile des Kraftwerks – Dampferzeuger, Turbine und

Generator – unterscheiden sich kaum von ähnlichen Komponenten in heutigen Kohle- oder Kernkraftwerken.

ZUR SICHERHEIT UND UMWELTVERTRÄGLICHKEIT DER FUSIONSKRAFTWERKE

Ist die Forschung erfolgreich, hängt der tatsächliche Einsatz der Kernfusion von der gesellschaftlichen Akzeptanz ab, für die wiederum vor allem die Sicherheits- und Umwelteigenschaften der Neuen Technologie ausschlaggebend sind. Überlegungen zur Sicherheit gelten dem radioaktiven Tritium und den energiereichen Fusionsneutronen, welche die Wände des Plasmagefäßes aktivieren. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Kernfusion und den heutigen Spaltungskraftwerken ist, dass keine Kettenreaktionen stattfinden und jeweils nur sehr wenig Brennstoff im Kraftwerk vorhanden ist. Ein Unfall mit katastrophalen Folgen ist demnach prinzipiell unmöglich. Klimaschädliche Emissionen treten nicht auf.

Als radioaktiver Abfall bleiben die Wände des Plasmagefäßes zurück, die nach Betriebsende zwischengelagert werden müssen. Die Radioaktivität des Abfalls nimmt rasch ab, nach etwa hundert Jahren auf ein Zehntausendstel des Anfangswerts. Nach ein- bis fünfhundert Jahren Abklingzeit ist der radiotoxische Inhalt bereits vergleichbar mit dem Gefährdungspotenzial der gesamten Kohleasche aus einem leistungsgleichen Kohlekraftwerk, die stets natürliche radioaktive Stoffe enthält. Werden entsprechende Rezyklierungstechniken angewandt, so wäre nach hundert Jahren Abklingzeit kein Abfall mehr zu isolieren. Das gesamte Material wäre dann zum einen Teil freigegeben, zum anderen in neuen Kraftwerken wiederverwendet.

WIE SICH KERNFUSION ALS NEUE TECHNOLOGIE ETABLIEREN KANN

Mit diesen günstigen Eigenschaften und ihrem nahezu unerschöpflichen Brennstoffreservoir könnte die Fusion eine der Stützen einer nachhaltigen Energieversorgung werden. Mit etwa 1500 Megawatt elektrischer Leistung würden Fusionskraftwerke im Versorgungssystem der Zukunft vor allem die Grundlast bedienen. Damit ließen sie

sich wie heutige Großkraftwerke in das Verbundsystem der Stromversorgung einbinden. Auch in einer stark von erneuerbaren Energien dominierten Stromwirtschaft fänden Fusionskraftwerke ihren Platz – als Puffer für die von der Witterung abhängigen Wind- und Sonnenkraftwerke. Ebenso könnten sie zur Wasserstofferzeugung genutzt werden.

Eine Studie zur Entwicklung des europäischen Energiemarktes² ab 2050 zeigt, dass Fusion als Neue und vergleichsweise kapitalintensive Technologie dann in den europäischen Markt eindringen kann, wenn der Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid deutlich reduziert werden soll. Dann könnte Fusion im Jahr 2100 etwa 20 bis 30 Prozent des europäischen Strombedarfs decken. Im Unterschied zu vielen heutigen Kraftwerken sind die Brennstoffkosten bei der Fusion nahezu vernachlässigbar; der Kapitalaufwand fällt im Wesentlichen beim Bau der Anlagen an. Da damit während des Betriebs die Marktabhängigkeit der Brennstoffkosten wegfällt, ist mit deutlich höherer Preisstabilität zu rechnen.

Die Bedeutung der Option Fusion wird vor allem im globalen Blickwinkel deutlich: In Ländern mit rasant steigender wirtschaftlicher Aktivität wie Indien und China sind in den nächsten Jahrzehnten fast nur Kohlekraftwerke geplant. Kraftwerke und Infrastruktur sind auf Lebenszeiten von etwa 40 Jahren ausgelegt – zu dieser Zeit sollen erste Fusionsdemonstrationskraftwerke mit ihrer neuartigen Stromerzeugungsmethode beginnen.

2 Lako u. a., Long-term scenarios and the role of fusion power, ECN-C--01-053, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), <http://www.ecn.nl/library/reports/2001/c01053.html> [Stand: 01.10.2010].

Von Netzen und Inseln: Neue Energieversorgungssysteme für die Welt

FRANK BEHRENDT, KRISTINA BOGNAR

Bei allem Bemühen um eine effiziente Nutzung der bisher eingesetzten fossilen Energieträger werden Neue Technologien für die Bereitstellung und Verteilung der erneuerbaren Energien dringend benötigt. Entwicklungslinien mit hohem Forschungsbedarf in diesem Bereich sind Fotovoltaik, Offshore-Windanlagen, grundlastgeeignete Kraftwerke für tiefe Geothermie und solarthermische Großkraftwerke in Südeuropa mit den entsprechenden Konsequenzen für Speicherung und Transportnetze. Für die in Zukunft stärker diversifizierten Bereitstellungstechnologien müssen verlustarme Netzkonzepte entwickelt werden, mit denen auf Schwankungen oder auf Störungen flexibel reagiert werden kann.

Grundlastfähige Kraftwerke müssen auch bei einem hohen Anteil erneuerbarer Energien im Energiemix nachhaltig die Energieversorgung sicherstellen. Hierzu gilt es, eine vernünftige Strategie beim Abschalten von Kraftwerken bzw. der Verlängerung von Laufzeiten zu verfolgen. Langfristig ist die Kernfusion als letztlich unbeschränkt verfügbare erneuerbare Energiequelle in Betracht zu ziehen.

Es wird insbesondere eine hoch entwickelte Netzsteuerung mit fortgeschrittenen Speichertechnologien zu kombinieren sein. Die Speichertechnologien müssen deutlich weiterentwickelt werden, da sowohl direkte elektrische als auch thermische, mechanische sowie stoffliche Speicher zukünftig wichtige Bausteine einer integrierten Netzstruktur sein können.

BEWÄHRTE SYSTEME

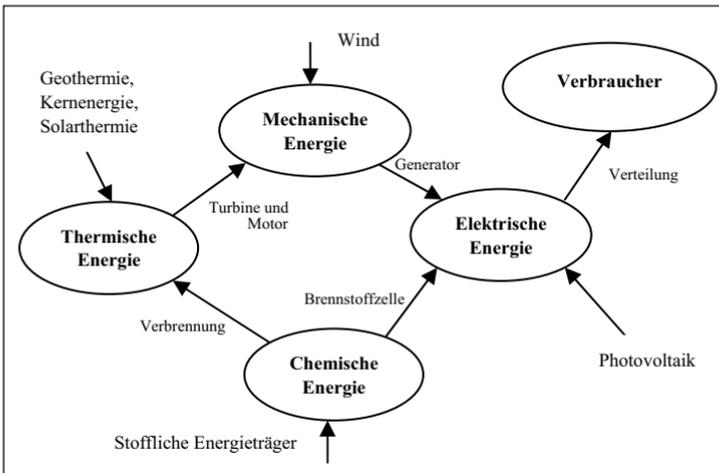
Bewährte Energieversorgungssysteme in Industrieländern beruhen im Kern auf der Verfügbarkeit fossiler Großkraftwerke, in denen aus Kohle, Öl oder Erdgas Wärme bereitgestellt wird, die entweder direkt für Nah- und Fernwärmeversorgungskonzepte genutzt oder mittels Turbinen und wiederum von davon angetriebenen Generatoren in elektrische Energie überführt wird (Abbildung 1). Diese wird dann mittels Übertragungsnetzen (für Hoch- und Höchstspannung oberhalb von 50 Kilovolt) und dann Verteilnetzen (Mittel- und Niederspannung) den industriellen und privaten Nutzern zugeführt.

In einem solchen Konzept besteht keine oder eine nur sehr geringe Notwendigkeit an Speichern für überschüssigen Strom. Der hauptsächliche Speicher ist der fossile Energieträger, der verbrannt (oder eben auch nicht verbrannt) wird. Die Bereitstellung von Wärme in Kernkraftwerken bzw. mittels Geo- oder Solarthermie passt sich weitgehend problemlos in dieses Erzeugungs- und Verteilschema ein. Auch die direkte Wandlung chemisch gebundener Energie – z. B. im Wasserstoff – in elektrischen Strom mittels Brennstoffzelle erfordert keine weitergehende Veränderung des gerade beschriebenen Konzeptes.

NEUE RAHMENBEDINGUNGEN

Das im Integrierten Energie- und Klimapakete (IEKP) durch die Bundesregierung Ende 2007 festgelegte Ziel einer Reduktion der Emission von Treibhausgasen um 40 Prozent bis zum Jahr 2020 – bezogen auf das Jahr 1990 – erfordert u. a. eine erhebliche Ausweitung des Einsatzes erneuerbarer Energien bei der Bereitstellung von Strom. Für das Jahr 2020 wird ein Anteil erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung von 30 Prozent angestrebt (Stand im Jahre 2009: 16,1 Prozent). Diese Situation wird durch eine weitere Entwicklung zusätzlich verschärft. Bis zum Jahre 2020 werden fossile Kraftwerke mit einer Gesamtleistung zwischen 18 und 33 Gigawatt altersbedingt vom Netz genommen. Hinzu kommt die politisch vereinbarte Abschaltung von Atomkraftwerken mit einer Gesamtleistung von rund 19 Gigawatt.

Abbildung 1: Prozesse bei der Energiebereitstellung.



Der Ersatz dieser elektrischen Leistung in der Größenordnung von 40 Gigawatt soll einerseits durch Effizienzgewinne erfolgen, andererseits aber zu einem erheblichen Teil wiederum durch den Einsatz erneuerbarer Energien erreicht werden.

Für die vom Wind bereitgestellte mechanische Energie, die mittels Generatoren in elektrischen Strom verwandelt wird, und für den Strom, der in photovoltaischen Elementen direkt aus der Sonnenstrahlung erzeugt wird, gilt, dass Stromangebot und Nachfrage nur noch in geringem und abnehmendem Maße synchron sind. Darüber hinaus werden diese Quellen häufig direkt mit den Verteilnetzen im Mittelspannungsbereich verbunden, die von der Auslegung her nicht für eine Einspeisung großer Strommengen konzipiert wurden.

Wunsch wie Notwendigkeit, fossile durch erneuerbare Energien zu ersetzen, machen aus den gerade genannten Gründen den Um- und Ausbau von Übertragungs- und Verteilnetzen unumgänglich. Darüber hinaus kann der sich entwickelnden räumlichen Ungleichverteilung von Erzeugung und Nutzung elektrischen Stroms durch entsprechende Speicherkonzepte zumindest zum Teil entgegengewirkt werden. Im Bereich derartiger elektrischer und thermischer Energiespeicher besteht aber noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Solche Speichersysteme können in Abhängigkeit ihrer Kapazität durch

die Integration in Energieversorgungssysteme sowohl zentral als auch dezentral zur Netzstabilisierung beitragen.

WEITRÄUMIGE ÜBERTRAGUNGSNETZE FÜR DIE STROMBEREITSTELLUNG UND -NUTZUNG

In Europa ist seit Anfang der 1950er Jahre ein Stromübertragungsnetz (Union für die Koordinierung des Transportes elektrischer Energie – UCTE) entstanden, das heute die Netzinfrastruktur von 34 Betreibern solcher Übertragungsnetze aus 22 Ländern zusammenfasst. Am 1. Juli 2009 wurden die Aufgaben der UCTE vom European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) übernommen.

In seiner ursprünglichen Fassung hatte dieser Zusammenschluss der Übertragungsnetze dem bilateralen Ausgleich benötigter Strommengen benachbarter Staaten gedient. Im Zuge der Liberalisierung des europäischen Strommarktes wurde über dieses Netz auch zunehmend Strom über deutlich längere Entfernungen gehandelt. Ein drehstrombasiertes Übertragungsnetzwerk weist bei größeren Leitungslängen jedoch unvermeidbare Verluste auf und stößt damit an technische Grenzen, für die es bis heute keine technischen Lösungen gibt. In den letzten Jahren haben Strom-Durchleitungen weiter an Bedeutung gewonnen; sie stellen erhebliche neue Anforderungen an das Leitungssystem wie auch an die zum Einsatz kommenden Mess- und Regeltechniken zur sicheren Aufrechterhaltung eines verlässlichen Betriebes. Eine wichtige Herausforderung für die zukünftige Ausgestaltung eines solch weiträumigen Verbundes von Übertragungsleitungen ist die Fähigkeit zur Echtzeitmodellierung des gesamten Netzverhaltens. Nur so sind die Auswirkungen von geplanten lokalen Eingriffen (zum Beispiel die Abschaltung einzelner Stränge aus Wartungsgründen) für das Gesamtnetz sicher vorhersagbar.

Im Zusammenwirken mit derartigen Planungsmöglichkeiten sollten es die Netzverbände in Zukunft erlauben, mit dem zunehmenden Angebot an erneuerbaren Energien sinnvoll umzugehen. Dann könnten auch größere Strommengen weiträumig verlagert und einer entsprechenden Nachfrage zugeführt werden. Lokal entstandene Überschüsse elektrischer Energie müssten dann nicht mehr wie bisher gespeichert werden. Das alles setzt freilich voraus, dass die Netze zwischen den

europäischen Regionen mit einem hohen Anfall an Strom aus erneuerbaren Energien auf der einen und Regionen mit hoher Bevölkerungsdichte bzw. energieintensiver Industrie auf der anderen Seite zügig ausgebaut werden.

Generell sind derartig engmaschige Verbünde aus zwei Gründen zu begrüßen. Einerseits muss auf eine verbrauchsnahe Erzeugung elektrischer Energie weniger Wert gelegt werden. Somit kann die Nutzung erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Strom in solchen Regionen erfolgen, in denen für die jeweiligen Technologien die besten Rahmenbedingungen herrschen. Die relative Lage zu den Verbrauchszentren verliert an Bedeutung. Andererseits hilft dieser Ansatz erheblich, räumliche und zeitliche Fluktuationen des Angebots erneuerbarer Energien auszugleichen und damit den bestehenden Verbrauchsmustern anzugleichen.

STROMBEREITSTELLUNG UND -NUTZUNG IN LOSE GEKOPPELTEN VERTEILNETZEN

Ein relativ engmaschiges Übertragungsnetz hat zwar einen erheblichen Charme, ist aber auch mit hohen Investitionen verbunden. Dies gilt insbesondere für Regionen, die eine derartige Infrastruktur noch gar nicht oder in nur sehr geringem Umfang aufweisen.

Es gibt aber auch Regionen, die schon heute eine auch langfristig tragfähige Balance zwischen regional möglicher Bereitstellung von Strom und dessen Nutzung aufweisen und die zum Teil auch bereits gegenwärtig einen erheblichen Anteil an erneuerbaren Energien in ihrem Erzeugungsportfolio aufweisen. Hierunter fallen z. B. Regionen mit nicht zu hoher Stromnutzungsintensität und weitgehend ausbalancierten Betriebssituationen (Einbindung großer Wasserkraftwerke und Pumpspeicherwerke). Hier ist die Verbindung mit einem umfassenden Übertragungsnetz nur aus Gründen der Versorgungssicherheit geboten. Solche kleineren Netzbereiche können aber in Abhängigkeit vom gegebenen Energiemix mit einer Reihe von Problemen konfrontiert werden, die im Fall eines engmaschigen Verbundnetzes nicht in gleichem Maße auftreten bzw. durch das weiträumige Übertragungsnetz leichter ausgeglichen werden.

Zwischen dem UCTE und dem in Skandinavien betriebenen Verbundnetz NORDEL besteht eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung, die

mittels netzentkoppelnder Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) realisiert wurde. Diese Verbindung könnte beispielhaft für europäische Stromspeicherung im Netzverbund sein. Ein solcher Ansatz könnte auch die Lösung für andere Regionen und Kontinente im Rahmen eines sukzessiven Ausbaus von Übertragungsverbundnetzen sein.

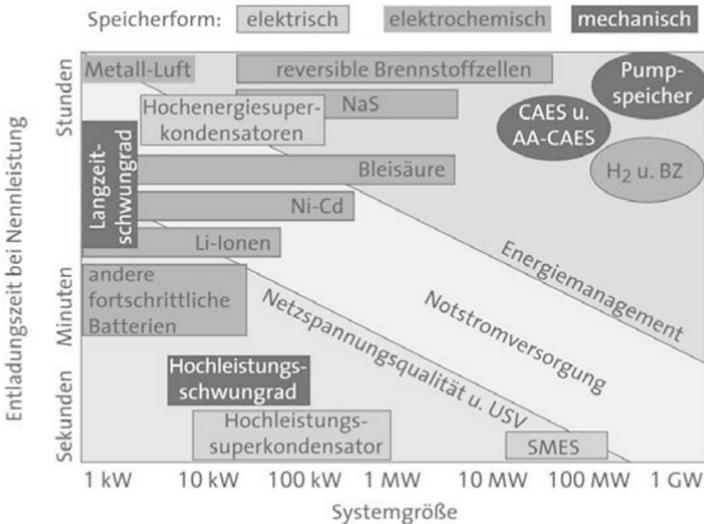
Je höher der Anteil von erneuerbaren Energien an der erzeugten Strommenge wird, desto höher ist der Regulierungs- und Glättungsbedarf im Stromnetz. Dabei dienen die Regelleistung bzw. die dafür vorgehaltenen Kraftwerke dem kurzfristigen Ausgleich von Differenzen zwischen dem Energiebedarf und der Energiebereitstellung.

Zentrale, netzintegrierte Energiespeicher

Ein wichtiger Beitrag im Regelleistungsbereich wird durch Speicherkraftwerke erbracht. Gerade in kleineren Netzen mit nur schwacher Ankopplung an ausgedehnte Übertragungsnetze kann auf solche Speicherkraftwerke nicht verzichtet werden. Denn ansonsten würde angesichts des fluktuierenden Angebots erneuerbarer Energien (etwa aus Wind oder Sonne) der dann große Bedarf an Regelleistungskraftwerken den Strompreis in die Höhe treiben. Abbildung 2 gibt einen Überblick zu den Kapazitäten und Lade- bzw. Entladezeiten verschiedenster Speichertechnologien.

Es werden derzeit verschiedene großtechnische Speichertechnologien diskutiert, und zwar die mit Wasser betriebenen Pumpspeicherkraftwerke (diese sind bereits in Skandinavien weit verbreitet), Druckluftspeicher und Wasserstoffspeichersysteme. Je nach Region sind Pumpspeicherkraftwerke nur begrenzt realisierbar, da große Wassermengen bewegt werden müssen und ohne entsprechende landschaftliche Voraussetzungen die Speicherbecken nur mit einem unvertretbar hohen finanziellen Aufwand gebaut werden können. In Deutschland ist derzeit eine Pumpspeicherleistung von etwa 7 Gigawatt installiert, die bei einer Jahreslaufzeit von 1070 Stunden 7,5 Terawatt pro Stunde als Regelleistung bereitstellt. Eine derartige Speicherkapazität reicht aber angesichts der z. B. in Deutschland bis Ende 2009 installierten windbasierten Kraftwerksleistung von rund 25 Gigawatt nur für sehr kurze Zeiträume aus. Erfreulich sind die mit 75 bis 85 Prozent relativ hohen Systemwirkungsgrade von Pumpspeicherkraftwerken.

Abbildung 2: Kapazität und Ladezeiten von Speichern für elektrischen Strom (CAES – Compressed Air Energy Storage/ Druckluftspeicher, AA-CAES – Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage/ adiabatische Druckluftspeicher, NaS – Natrium-Schwefel-Batterien, SMES – Superconducting Magnetic Energy Storage/Supraleitende Magnetspeicher)[Oertel 2008]. Wiedergabe mit freundlicher Genehmigung durch das TAB.



Zur Zwischenspeicherung überschüssiger Windkraft sind auch unterirdische Druckluftspeicher gut geeignet. Hier müssen freilich die geografischen bzw. geologischen Voraussetzungen stimmen. Der Wirkungsgrad solcher Druckluftspeicherkraftwerke liegt heute bei ca. 40 Prozent. Ein weiterer Ansatz zur stofflichen Speicherung von Strom ist die Erzeugung von Wasserstoff, der anschließend entweder in Brennstoffzellen direkt oder über Verbrennungsprozesse als Ersatz fossiler Brennstoffe wieder in Strom zurückverwandelt werden soll. Der Gesamtwirkungsgrad beträgt hier jedoch nur 20 bis 25 Prozent (verfügbarer Strom am Ende bezogen auf die Ausgangsmenge), so dass diese Lösung unter den heutigen technischen Gegebenheiten als nur wenig attraktiv erscheint.

Im Zusammenhang mit einem Ausbau thermischer Solarkraftwerke – z. B. im Rahmen des Desertec-Projekts – rücken auch thermische Speicher als zentraler Bestandteil der Energiebereitstellung in den

Fokus. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen sensiblen Wärmespeichern (Speicherung gefühlter Wärme), thermochemischen Sorptionspeichern (diese beruhen auf der Adsorption von Wasser) und Latentwärmespeichern (Nutzung frei werdender Energie beim Phasenwechsel, z. B. fest-flüssig). Heute kommen noch vorwiegend Betonspeicher (sensible Feststoffspeicher) und Flüssigsalz-Speicher (sensible Flüssigspeicher) zum Einsatz.

INSELLÖSUNGEN: STROMBEREITSTELLUNG UND -NUTZUNG IN ISOLIERTEN VERTEILNETZEN

Für Regionen, in denen weiträumige Verteil- und Verbundnetze nicht verfügbar sind, müssen dezentrale Systemlösungen betrachtet werden. Isolierten Verteilnetzen begegnet man klassischerweise auf „echten“ Inseln, aber auch in Entwicklungs-, Schwellen- und jungen Industrieländern, bei denen der Zusammenschluss lokaler Netze aus vielfältigen technischen oder ökonomischen Gründen noch nicht erfolgt ist und auch auf absehbare Zeit nur sehr eingeschränkt Realität werden wird. Unter diesen Rahmenbedingungen werden auch die Probleme sichtbar, die aus großen, über 30 bis 50 Prozent liegenden Anteilen erneuerbarer Energien am Strommix entstehen. In der Verschränkung verschiedener erneuerbarer Stromquellen und geeigneter Speichertechnologien liegen die größten Herausforderungen, weshalb dort auch ein erheblicher Forschungsbedarf besteht.

Da die Stromversorgung isolierter Regionen oft von teuren Dieselöl-Importen abhängt, können auf erneuerbaren Energien basierende Versorgungssysteme in diesen Regionen wirtschaftlich z. T. schon heute mit fossilen Energieträgern konkurrieren. Für eine nachhaltige Auslegung ist die geografische Lage der zu versorgenden Region das entscheidende Kriterium. Je nach Verfügbarkeit muss das Potenzial von Wind, Solarthermie, Fotovoltaik, Geothermie, Biomasse und ozeanischen Kräften bestmöglich genutzt werden. Die typischerweise nur schwer vorhersagbare und stark fluktuierende Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien bringt eine Vielzahl von Herausforderungen mit sich, wenn eine sichere, kontinuierliche und klimaschonende Versorgung mit Energie, insbesondere Elektrizität, sichergestellt werden soll. Die konventionelle Lösung für die Energieversorgung in autarken Regionen stellen oftmals Dieselgeneratoren dar. Die Sorge um nicht

vorhersehbare Kostensteigerungen im Bereich des Dieselkraftstoffs, aber zunehmend auch das Ziel, eine weitgehend CO₂-emissionsfreie Energieversorgung bereitzustellen, ist ein starker Treiber, Dieselgeneratoren allenfalls als Systemkomponente und damit als Back-up-Lösung einzusetzen. Eine nachhaltige Alternative könnte die Nutzung von Biodiesel anstelle von fossilem Kraftstoff sein. Zu diesem Zweck werden in verschiedensten Forschungsprojekten unter anderem Algenarten untersucht, die CO₂ binden und durch Fotosynthese als Abfallprodukt Öle produzieren. Gegenwärtig ist jedoch noch keine ausreichende Menge an Biodiesel auf diesem Weg produzierbar.

Ein möglicher Lösungsweg zu einer weitgehend CO₂-freien Energieversorgung liegt in der geschickt verschränkten Nutzung verschiedener erneuerbaren Energien. Fluktuationen können durch jeweils technische, lokal angepasste Lösungen zum Teil ausgeglichen werden, wenn z. B. die häufig zeitlich verschobenen Starkwindphasen und Zeiten hoher Sonnenintensität in der Planung und Auslegung entsprechend Berücksichtigung finden.

Hauptsächlich kommen in dezentralen Versorgungssystemen Windkraft-, Fotovoltaik- und thermische Solaranlagen sowohl an Gebäuden integriert als auch isoliert zum Einsatz.

In den meisten Fällen wird jedoch ein mehr oder minder großer Bedarf an Ausgleich zwischen Stromangebot und –nachfrage verbleiben. Alternativ zu Dieselgeneratoren als Back-up-Lösung bieten sich verschiedene Speichersysteme an. Sowohl Strom als auch Wärme können helfen, in gespeicherter Form das diskontinuierliche Angebot der genannten erneuerbaren Energien aus der Sicht des Endabnehmers zu verstetigen.

Kleine, dezentrale Energiespeicher

Im Gegensatz zu den oben erwähnten großtechnischen Speichern, wie den Pumpwasserkraftwerken, Druckluftspeichern und Wasserstoff-Speichersystemen, sind für dezentrale Strukturen besonders elektrochemische Speichertechnologien geeignet, da sie schnell aktivierbar und flexibel errichtbar sind und wirtschaftlich betrachtet verhältnismäßig kurze Abschreibungszeiträume haben.

Bei der Einbindung von Stromspeichern in das Gesamtsystem muss jedoch bedacht werden, dass die Investitionskosten solch eines Speichers immer als Zusatzkosten zum Strompreis hinzuaddiert wer-

den müssen. Der Strom wird schließlich zu einem bestimmten Preis produziert und anstatt direkt „verbraucht“ zu werden, zwischengespeichert. Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist es daher durchaus denkbar, dass Speichersysteme den Dieselgenerator in autarken Regionen nicht zwangsläufig ersetzen werden.

Auch kleinere Energiespeicher, elektrisch wie thermisch, können zur Entlastung der Energieversorgung einer Region beitragen und ein zentrales Element für ein effektives Energiemanagement im Bereich der Klimatisierung, Wärme- und Strombereitstellung sein. Für einen breiten Einsatz von Energiespeichern ist jedoch die weitere Entwicklung der Technologien dringend erforderlich, insbesondere in Bezug auf die Effizienz, Energiedichte und Lebensdauer (vgl. Abbildung 2).

Generell muss die Herausforderung einer möglichst weitgehenden Entkopplung von Erzeugung und Nutzung von elektrischem Strom bewältigt werden. Hierzu gibt es neben den bereits angesprochenen Speichern die Möglichkeit durch gesteuerte Nachfrage das Stromnetz reguliert zu entlasten (Demand Side Management). Ein Beispiel ist die Verwendung von Überschussstrom im Bereich der Lebensmittelindustrie zur weiter als notwendigen Absenkung der Temperatur in Kühllhäusern bei einem Überschussangebot elektrischen Stroms. Entspricht dann das Stromangebot nicht mehr der Nachfrage, so kann die Kühlung reduziert oder abgeschaltet werden, bis wieder die normale Höchsttemperatur erreicht ist.

Ein weiteres Beispiel, bei dem ein Grundbedürfnis des Menschen eine wichtige Rolle spielt, ist die Nutzung überschüssiger Energie für die Bereitstellung sauberen Trinkwassers z. B. aus Salzwasser. Derartige Entsalzungsprozesse weisen einen sehr hohen Energiebedarf auf. Als dynamisch steuerbare Energieverbraucher sind Entsalzungsanlagen als eine Art Pufferspeicher denkbar. Im Vergleich zu Strom kann aufbereitetes Meerwasser zum Trinken, aber vor allem auch zur Bewässerung, wesentlich einfacher gespeichert und zeitlich nach Belieben eingesetzt werden. Ein solches Konzept hat beispielsweise der deutsche Windkraftanlagenproduzent Enercon vorgestellt, der mit überschüssiger Windenergie eine in der Windkraftanlage integrierte Meerwasserentsalzungsanlage betreibt.

FAZIT

Der Übergang von den lang etablierten, typischerweise hierarchisch organisierten Strukturen von Übertragungs- und Verteilnetzen mit einer verhältnismäßig kleinen Anzahl großer fossiler oder nuklearer Kraftwerke hin zu einem Energiemix, der eine viel größere Vielfalt an Kraftwerkstypen gerade auch im Bereich der erneuerbaren Energien beinhaltet, bringt eine Vielzahl von Herausforderungen mit sich. Die Integration elektrischer Energie aus derart wechselhaften Quellen wie Windkraft oder Fotovoltaik erfordert nicht nur eine erhebliche Weiterentwicklung der hardwareseitigen Elemente der Netze, sondern auch massive Anstrengungen im Bereich der Mess- und Regeltechnik. Nur so lässt sich ein verlässlicher und sicherer Netzbetrieb auch in Zukunft gewährleisten.

In diesem Feld spielen freilich auch politische Vorgaben eine große Rolle. Angesichts des sehr langfristigen Charakters von Investitionsentscheidungen im Bereich der Energieversorgung – die Lebensdauer von Anlagen umfasst typischerweise die Zeit von fünf bis zehn Legislaturperioden – müssen die Entscheidungsträger in der Politik eine viel strategischere Sichtweise entwickeln als in vielen anderen Handlungsfeldern. Hier ist eine langfristig angelegte Politikberatung, wie sie z. B. die nationalen Akademien bieten können, in hohem Maße gefordert.

Im Bereich der elektrischen Energieversorgung ist derzeit eine sehr große Zahl verschiedenster Projektansätze auf den Weg gebracht worden. Hierzu zählen Vorhaben, die einzelne Ansätze verfolgen (z. B. energieautonome Häuser), genauso wie solche, bei denen viele zentrale wie auch dezentrale Stromerzeuger miteinander vernetzt werden (z. B. das Konzept virtueller Kraftwerke, bei denen die Verbraucher zu Produzenten werden können oder das sehr großräumige Desertec-Projekt). Viele dieser Vorhaben werden interessante und wichtige Beiträge zu unserem zukünftigen Energieversorgungssystem liefern. Stromversorgungskonzepte müssen stark an lokale Strukturen angelehnt werden und können daher als weiträumige Übertragungsnetze oder auch als lose gekoppelte bzw. isolierte Verteilnetze angelegt werden. Es gibt weder nach technologischen noch nach wirtschaftlichen, ökologischen oder sozialen Gesichtspunkten ein grundsätzlich ideales Versorgungskonzept. Auch die Entwicklung elektrischer Infrastrukturen für solche Regionen der Welt, die bisher nur eine sehr mangelhafte Versorgung mit elektrischer Energie aufweisen, stellt eine

Herausforderung dar. Hier gilt es ebenso, eine geeignete Balance zwischen dem Wunsch nach sicherer Versorgung und beherrschbaren Kosten zu finden.

Eine weitere Herausforderung in Bezug auf die nachhaltige Weiterentwicklung von Stromnetzen liegt bei der Öffentlichkeitsarbeit. Fast alle Ansätze und Vorhaben scheitern an der Akzeptanz der Bevölkerung, die durch Volksentscheide nicht nur Windkraftanlagen vor der eigenen Haustür ablehnt, sondern im Regelfall auch Überlandleitungen, die durch ihre Region führen würden. Langzeitvorhaben wie z. B. der Netzausbau sind daher nicht nur eine Frage der Verfügbarkeit finanzieller Mittel, sondern auch der Unterstützung durch die Bevölkerung. Die Netzbetreiber sind hier in erheblichem Maße gefordert, frühzeitig den Dialog mit der Bevölkerung und den Genehmigungsbehörden zu führen. Die Bevölkerung wiederum muss in stärkerem Maße für die finanziellen Konsequenzen einer Entscheidung – z. B. für Erdkabel anstelle von Überlandleitungen – sensibilisiert werden.

LITERATUR

- Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (Nationale Akademie der Wissenschaften) / acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften: *Konzept für ein integriertes Energieforschungsprogramm für Deutschland* (Koordinatoren: F. Behrendt, O. Renn, F. Schüth, E. Umbach), Halle/München/Berlin 2009.
- Husain, A. (Hrsg.): *Integrated power and desalination plants*, Oxford: EOLSS Publishers 2003.
- Leonhard, W./Wenzel, A.: „Flauten, Orkane und eine verfehlte Energiepolitik – wie soll das elektrische Netz das richten?“ In: *ew Dossier* 106 (7), (2007), S. 52-57.
- Matthes, F.-C./Ziesing, H.-J.: *Die Entwicklung des deutschen Kraftwerksparks und die aktuelle Debatte um die zukünftige Strombedarfsdeckung*. URL: <http://oeko.de/oekodoc/722/2008-196-de.pdf> [Stand: 18.12.2009].
- Oertel, D.: „Energiespeicher – Stand und Perspektiven“. In: *TAB Arbeitsbericht 123*, (Büro für Technologiefolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag) Berlin, 2008.

Schwarz, H./Bitsch, R./Fichtner, W.: *Netzintegration erneuerbarer Energien in Brandenburg* (Studie im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft des Landes Brandenburg), BTU Cottbus, 2008.

ETG im VDE (Hrsg.): Leonhard, W. u. a.: *Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger*, 2008.

Ist die Windenergienutzung eine Neue Technologie?

MATTHIAS HEYMANN

Zählt man die erfolgreich wieder eingeführte Windenergienutzung zu den so genannten „Neuen Technologien“, dann dürfte es sich um die älteste der Neuen Technologien handeln. Die erste sichere Erwähnung einer Windmühle stammt aus dem Jahre 947 n. Chr. aus Kleinasien. In Europa wurde die erste Windmühle um das Jahr 1180 in der Normandie nachgewiesen. Jannis Notebaart vermutete, dass die Windmühle im 13. Jahrhundert bereits „eine gewohnte Erscheinung“ war.¹ Im vorindustriellen Europa zählte die Windmühle zu den wichtigsten Antriebsmaschinen. Sie war eine der Grundlagen für das so genannte goldene Zeitalter der Niederlande im 17. Jahrhundert.² Im Deutschen Reich stieg die Zahl der Windmühlen im späten 19. Jahrhundert, angetrieben von dem wirtschaftlichen Wachstum im Zuge der Industrialisierung, auf ihren Höhepunkt von etwa 20.000.³ In den USA waren die so genannten Windräder (in Deutschland auch Windturbinen oder Windmotoren genannt) eine entscheidende Voraussetzung für die systematische Besiedlung des mittleren Westens in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Zwischen 1870 und 1900 sollen 6,5 Millionen Windräder gebaut worden sein.⁴ Etwa 1000 Hersteller und 1100 ver-

1 Notebaart 1972, S. 269, 96 f.

2 De Vries/Van der Woude 1997.

3 Heymann 1995.

4 Herzberg 1987, S. 279. Sageser wies darauf hin, dass die Windturbinen in den Great Plains niemals gezählt und ihre Anzahl meistens überschätzt

schiedene Windradmodelle wurden für den Zeitraum von 1860 bis 1960 gezählt.⁵ Doch die alte Technologie der Windmühle oder des Windrades hielt der Konkurrenz alternativer Antriebe nach der Wende zum 20. Jahrhundert nicht lange stand. Innerhalb weniger Jahrzehnte verloren Windmühlen und Windmotoren jede wirtschaftliche Bedeutung.⁶

Mit dem wirtschaftlichen Druck auf die Windmühlen entstand auch die Idee, dass lediglich die unzureichende und veraltete Technik für ihren Niedergang verantwortlich sei, während in vielen anderen Wirtschaftsbereichen rasche technische Fortschritte erzielt würden. Wissenschaftler und Ingenieure wie Kurt Bilau, Hermann Honnef, Palmer Coslett Putnam, Percy H. Thomas, Johannes Juul und Ulrich Hütter – meist handelte es sich um idealistische Einmann-Unternehmer – bemühten sich um eine Verbesserung der Windmühlentechnik und verwandelten die Technik der Windenergienutzung dramatisch.⁷ Bilau und Hütter nutzten neueste aerodynamische Erkenntnisse und verwandelten das vierflügelige Windmühlenkreuz in aerodynamisch geformte Rotoren. Hütter führte in den 1950er Jahren überdies (als einer der Pioniere dieser Technologie) erstmals glasfaserverstärkte Kunststoffflügel ein.⁸ Honnef, Putnam und Thomas entwarfen in den 1930er und 1940er Jahren so genannte Großwindanlagen mit dramatisch gesteigerter Leistung. Nur Putnam gelang auch die Realisierung des Baus einer solchen Anlage. Auf einem Hügel in Vermont entstand Anfang der 1940er Jahre eine Windenergieanlage mit einer Leistung von 1000 Kilowatt, ungefähr dem 100-fachen der traditionellen Windmühle, die allerdings nach zwei Jahren an einem Flügelbruch scheiterte.⁹ Putnam, Hütter und Juul schließlich realisierten in den 1940er und 1950er Jahren erfolgreich die Kopplung einer Wechselstrom-erzeugenden Windenergieanlage an das Elektrizitätsnetz und die Einspeisung von Windstrom.¹⁰ Im Verlauf von nur etwa 40 Jahren (von circa 1920 bis 1960) verwandelte sich die Technik der Windenergienutzung vollständig. Aus der über Jahrhunderte bewährten und kaum veränderten

worden sei. Für Nebraska kam er auf eine Zahl von etwa 2000 Windturbinen im Jahr 1898. Sageser 1967, S. 113.

5 Baker 1985, S. 339ff.

6 Heymann 1995, Kapitel 1-3; Gipe 1995, Kap. 5.

7 Heymann 1995.

8 Bilau 1933; Hütter 1963.

9 Honnef 1932; Putnam 1948; Thomas 1945.

10 Putnam 1948; Hütter 1954, S. 270-278; Johannes 1961, S. 396-398.

Windmühle entstand in raschen Schritten ein aerodynamisch geformter und effizienter Stromerzeuger.

Als in den Jahren nach der Ölpreiskrise 1973/74 der Ruf nach Alternativen in der Stromerzeugung in vielen Ländern laut wurde, waren die grundlegenden Technologien der Windenergienutzung im Prinzip bekannt, und einige wenige stromerzeugende Windenergieanlagen bereits in den 1950er und frühen 1960er Jahren getestet worden. Was also sollte neu sein an dieser Technologie? Inwiefern ist es sinnvoll von einer Neuen Technologie zu sprechen? Und warum ist dieser Begriff dennoch problematisch und missverständlich?

NEUANFÄNGE IN DEN 1970ER JAHREN

In der Bundesrepublik Deutschland gab das Bundesministerium für Forschung und Technologie von Juli 1974 bis Januar 1976 umfangreiche Programmstudien zu allen erneuerbaren Energien in Auftrag, in denen Fachleute über technischen Stand, Potenzial und wirtschaftliche Aussichten dieser Energiequellen Auskunft geben sollten. Die Ministerialbeamten sahen auf diesem Feld neue Forschungsaufgaben, und die Autoren der Programmstudien bestätigten sie in dieser Einschätzung. Teil III dieser Studien, verfasst von dem Windenergiepionier Ulrich Hütter und seinen Mitarbeitern, galt der Windenergie.¹¹ Hütter war Professor an der Universität Stuttgart und gleichzeitig Institutsleiter bei der benachbarten Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) in Stuttgart. Auch der NASA in den USA, die ebenfalls ein aufwendiges Forschungsprogramm vorbereitete, diente Hütter als Berater. In der deutschen Programmstudie betonte Hütter zunächst den ermutigenden Stand der Technik. Mit seiner Testanlage, die in den 1950er Jahren errichtet wurde und von 1957 bis 1968 (allerdings mit unfallbedingten größeren Unterbrechungen) im Testbetrieb lief, sei eine „technisch hochperfektierte Windenergieanlage“ entwickelt worden, die „in vielen Dingen den heute noch gültigen Stand der Technik“ darstelle.¹² Als anzustrebendes Ziel eines Forschungsprogramms empfahl Hütter dem BMFT wie der NASA die Entwicklung einer Anlage in der Größenordnung von einem Megawatt Leistung (das Zehnfache der Testanlage aus den 1950er Jahren) und 80

11 BMFT 1976.

12 Ebd., S. 44, 77.

Meter Flügeldurchmesser (mehr als das Doppelte der Testanlage aus den 1950er Jahren). Als nächsten Schritt fasste er eine „Großanlage mit 113 m Durchmesser“ ins Auge, „deren installierte Leistung zwischen 3 und 6 MW – je nach Aufstellungsort – liegen kann“.¹³

Hütters Empfehlung, neue Großwindanlagen zu bauen, die die Leistung von Windmühlen oder der Testanlagen aus den 1950er Jahren bei Weitem in den Schatten stellten, war kein Einzelfall, sondern die bevorzugte Strategie in allen Ländern, in denen Forschungsministerien Forschungsprogramme zur Windenergienutzung finanzierten. Das wiederbelebte Interesse an Großwindanlagen hatte den einfachen Grund, dass die bis dahin genutzten Windmühlen oder Windenergieanlagen eine im Vergleich zu Großkraftwerken äußerst geringe Leistung boten. Es schien (aus der Perspektive der Energieunternehmen) ausgeschlossen, dass solchermaßen winzige Leistungseinheiten einen nennenswerten Beitrag zur Elektrizitätsversorgung bieten und eine Verringerung der Abhängigkeit von fossilen (oder nuklearen) Brennstoffen gewährleisten könnten. Damit ist ein wichtiger Aspekt des Neuen benannt. Windenergieanlagen sollten größer und effizienter werden, gegebenenfalls mit Hilfe neuer technischer Konzepte (obwohl theoretische und praktische Nachteile dieser Konzepte bekannt waren).¹⁴ Hütter nährte nach Kräften die Vorstellung, dass die grundlegende Technik zur Verfügung stünde und nur noch der entscheidende Schritt zur Großanlage erforderlich sei.

Doch nicht nur die Windenergieanlage war in dieser Hinsicht eine technische Herausforderung, eine ehrgeizige „Neue Technologie“. Ein ganz wesentlicher Aspekt des Neuen bestand darin, dass diese Technik neuartige Anforderungen an die Infrastruktur der Elektrizitätsversorgung stellte. Die Windenergie (wie die Sonnenenergie auch) hatte Eigenschaften, die sie von den damals wichtigsten Energieträgern Kohle, Öl, Erdgas und Uran fundamental unterschied. Der Wind hatte eine erheblich geringere Energiedichte, war stark schwankend, stand regional in sehr unterschiedlichem Maße und vor allem nicht immer

13 Ebd., S. 83f.

14 Das BMBF streute die Forschungsmittel auf verschiedene Windenergienutzungskonzepte wie dem Zweiflügler (Hütters Konzept), dem Einflügler Monoapterus von MBB, dem vertikalen Darrieus-Rotor von Dornier oder dem in Spanien errichteten Aufwindkraftwerk des Stuttgarter Ingenieurbüros Schlaich & Partner. Ein weiterer Darrieus-Rotor entstand in Kanada; vgl. Heymann 1995, S. 362-392.

zur Verfügung. Das Elektrizitätsnetz, in das die aus Windenergie erzeugte elektrische Energie eingespeist werden sollte, musste also an viele kleine und stark schwankende Stromproduzenten angepasst werden. Dies hatte drei Konsequenzen: erstens musste eine Destabilisierung des Netzes durch starke Leistungsschwankungen vermieden werden, zweitens musste Kompensation für großflächige Leistungsausfälle zur Verfügung stehen (die aber schwerfällige Großkraftwerke nicht bieten konnten), und drittens musste das Elektrizitätsnetz für eine Vielzahl verteilter Produzenten ausgebaut, also mussten dezentrale Elemente in die auf Großkraftwerke ausgerichtete zentrale Versorgungsstruktur integriert werden. Darüber hinaus waren viele technische Detailprobleme zu lösen, z. B. in der Regeltechnik und Leistungselektronik.¹⁵ „Neu“ waren diese Probleme auch insofern, als einzelne Pioniervorhaben aus den 1950er Jahren zwar im Prinzip Lösungsansätze aufzeigten, aber bereits lange zurücklagen. Es hatte jedoch keine kontinuierliche Entwicklung gegeben, vorhandene persönliche Erfahrungen waren die Ausnahme (die wichtigste darunter Ulrich Hütter, der infolgedessen international zu einem sehr gefragten Experten wurde), und erfahrene Hersteller gab es überhaupt nicht. Überdies waren nur geringe Erfahrungen mit wenigen Einzelanlagen gesammelt worden. Die Windenergie-technik und die Integration der Windenergie in das System der Elektrizitätsversorgung stellte so gesehen in der Tat eine Neue Technologie dar.

Gleichzeitig spiegelt dieser Begriff der „Neuen Technologie“ ein zentrales Missverständnis wider, das nahezu allen an der Windenergie interessierten Forschungsadministrationen und Wissenschaftlern in den 1970er Jahren (und teilweise auch später noch) unterlief. Die Forschungsprogramme des BMFT in der Bundesrepublik oder der NASA in den USA bis Mitte der 1980er Jahre standen stellvertretend für das international dominierende Verständnis, dass es sich bei der Wiedereinführung der Windenergienutzung allein um ein Problem der Technik handele, weshalb nahezu ausschließlich technische Forschung und Entwicklung gefördert wurden.¹⁶ Die Beispiele Dänemark und Deutschland, die heute zu den erfolgreichsten Nutzern von Windenergie zählen, haben deutlich gezeigt, dass nicht technische Forschung, sondern Marktöffnung und Marktförderung die entscheidende Voraussetzung für den Erfolg waren. Diesen Weg schlug Dänemark (gemein-

15 Ackermann 2008.

16 Neukirch 2009.

sam mit Kalifornien) bereits Ende der 1970er Jahre ein, die Bundesrepublik Deutschland – diesem Beispiel folgend – erst rund zehn Jahre später. Erfolgreiche Windenergienutzung basierte letztlich auf „alter“ Technik, nämlich dem Vorbild der 1957 nach langjährigen Experimenten von Johannes Juul errichteten Windenergieanlage im dänischen Gedser, die dänische Handwerker Mitte der 1970er Jahre in verkleinertem Maßstab nachgebaut hatten. Aus diesen Anfängen entstand Anfang der 1980er Jahre das so genannte Danish Design, Windenergieanlagen mit charakteristischen Merkmalen wie drei Rotorblättern, Luv-ausrichtung des Rotors und stabiler Bauweise. Dieses Design erwies sich als am erfolgreichsten und wurde zehn Jahre später weltweit von nahezu allen Herstellern kopiert (Hütter bevorzugte Zweiflügler, die theoretisch effizienter sind, sich aber als weniger belastbar und zuverlässig erwiesen hatten).¹⁷

Es waren nicht die angestrebten neuen Technologien von Windenergieanlagen, die die Renaissance der Windenergienutzung möglich machten, sondern institutionelle Innovationen. Dazu zählten erstens gesetzliche Vorschriften, die die Energiewirtschaft verpflichteten, von privaten Windenergieanlagen erzeugten Strom abzunehmen und dafür einen Mindestpreis zu zahlen (der meist etwa doppelt so hoch zu sein hatte, wie die ursprünglichen Angebote der Energiewirtschaft), und zweitens eine Förderung seitens des Staates, der entweder die Anschaffung und Installation von Windenergieanlagen anteilig finanzierte oder aber jede produzierte Kilowattstunde zusätzlich vergütete. Durch diese Maßnahmen entstanden Rahmenbedingungen, die die Nutzung der Windenergie für Privatbetreiber wirtschaftlich machten und somit ein enormes Wachstum der installierten Windenergieleistung zur Folge hatten.¹⁸ Die Schaffung von nationalen Märkten für die Windenergienutzung war auch die Voraussetzung für die technische Ausreifung und graduelle Leistungssteigerung von Windenergieanlagen. Nicht Großanlagen schufen die Voraussetzung für die Entstehung neuer Märkte, sondern (mit geeigneten Instrumenten geförderte) neue Märkte schufen die Voraussetzung für die Entstehung von Großanlagen. Während kommerzielle Anlagen 1980 eine Leistung von 30 Kilowatt und einen Rotordurchmesser von bis zu 10 Metern hatten, leistete die

17 Heymann 1998, S. 641-670.

18 Jacobsson/Johnson 2000, S. 625-640; Bruns u. a. 2008; Vestergaard/Goddard/Brandstrup 2003.

größte kommerzielle Anlage im Jahr 2010 bis zu 7,5 Megawatt (7500 Kilowatt!) bei einem Rotordurchmesser von 126 Metern.¹⁹

Erst die massenhafte Ausstattung von Landschaften mit Windenergieanlagen seit Anfang der 1980er Jahre beförderte den erforderlichen Reifungsprozess der Technologie und schuf die Basis für eine eindrucksvolle graduelle Steigerung der Anlagenleistung. Die top-down geplante technische Entwicklung von Großanlagen (durch Forschungsförderung) scheiterte, die graduelle Bottom-up-Entwicklung und Verbesserung der Technik (durch Marktförderung) ermöglichte den technischen und wirtschaftlichen Durchbruch.²⁰ Dieser Aspekt erfolgreicher Innovation im Fall der Windenergienutzung (die Förderung eines „Neuen Marktes“) wird durch den Begriff der „Neuen Technologie“ nur unzureichend erfasst, vielleicht sogar ausgeblendet.

Ganz und gar unzureichend erscheint der Begriff „Neue Technologie“ in Hinsicht auf die Erfassung der politischen und kulturellen Voraussetzungen einer Wiedereinführung der kommerziellen Windenergienutzung. Ihre Hemmnisse (ebenso wie ihre Förderung) lagen weniger im unzureichenden (beziehungsweise erfolgversprechenden) Stand der Technik als in den politischen und kulturellen Bedeutungen, die mit dieser Technik verknüpft wurden. Der amerikanische Wissenschaftler und Umweltaktivist Amory Lovins hat in den 1970er Jahren treffend eine Zweiteilung in den politisch-wirtschaftlichen Vorstellungen und kulturellen Visionen zukünftiger Energiepolitik beschrieben, die er als „hard energy path“ und als „soft energy path“ bezeichnete. Der traditionelle Entwicklungspfad in der Energieversorgung sei von Kohle- und Kernenergienutzung auf der Basis von Großkraftwerken, von Monopolen und der Macht großer Energieunternehmen, der Ausbeutung unersetzlicher Ressourcen und massiver Umweltverschmutzung geprägt. Diesen traditionellen Entwicklungspfad kennzeichnete er als den „hard energy path“. Lovins kritisierte diesen Pfad und die zunehmende Zentralisierung der Energieversorgung leidenschaftlich und warb für den „soft energy path“, für eine Umkehr und einen fun-

19 Dabei handelt es sich um die E-126 der ostfriesischen Firma Enercon. Windblatt, Enercon Magazin für Windenergie Nr. 1, 2010, S. 8. Diese Anlage ist auch auf Filmsequenzen in You Tube zu sehen. Zur Entwicklung der Anlagengrößen bis 1990; vgl. Heymann 1995, S. 407.

20 Karnøe 1991; Heymann 1995; Ders. 1998.

damentalen Wandel der Energiepolitik in Richtung Energieeinsparung, erneuerbare Energien und dezentrale Versorgungsstrukturen.²¹

Lovins polare Gegenüberstellung von Entwicklungspfaden beinhaltete weit mehr als verschiedene (oder entgegengesetzte) technische Entwicklungsvarianten. Er kennzeichnete mit seiner Darstellung eine tiefe kulturelle Kluft, die zwischen verschiedenen gesellschaftlichen Gruppierungen und ihren Zukunftsvorstellungen existierte. Auf der einen Seite standen die Repräsentanten des energiewirtschaftlichen und -politischen Establishments, die an dem eingeschlagenen Entwicklungspfad festhielten, weiteres Wachstum der Energiewirtschaft verfolgten, den Ausbau der Kernenergie betrieben und alternative Energiekonzepte bekämpften. Zu diesem zählten vor allem die Energieversorger sowie der größte Teil der mit Fragen der Energieversorgung befassten Verwaltung (die vom Wachstum der Energiewirtschaft profitierte) und weite Teile der traditionell konservativen Energiewissenschaft. Über Jahrzehnte dominierte die technische Expertise dieses Establishments in Fragen der Energieversorgung, und es besaß und reklamierte weiterhin die kulturelle Deutungshoheit in der Energiepolitik. Auf der anderen Seite standen Umweltaktivisten, Kernenergiegegner und Kritiker des Wachstumspfad, die vehement die Überzeugungen, Ziele und Ansprüche dieses Establishments in Frage stellten. Die Windenergie stellte in diesem Konflikt weit mehr als bloß eine technische Option dar, sie wurde zum politischen Symbol. Für die einen war sie eine gefährliche gesellschaftliche Fehlentwicklung, die Versorgungssicherheit, Wachstum und Wohlstand gefährdete. Für die anderen stand sie repräsentativ für einen bunten Strauß alternativer gesellschaftlicher Ideale und Visionen, für eine umweltfreundlichere, humanere, demokratischere und gerechtere Gesellschaft.²²

KONFLIKTFELD WINDENERGIENUTZUNG

In den 1970er und 1980er Jahren war die Windenergienutzung in vielen Ländern ein umkämpftes gesellschaftliches Konfliktfeld. Energieversorgungsunternehmen bekämpften die Windenergienutzung teilweise offen und versuchten sie mit unterschiedlichen Mitteln zu

21 Lovins 1978.

22 Heymann 1999a, S. 112-136; Heymann 1999b, S. 217-236.

behindern. Sie lehnten den Anschluss von Windenergieanlagen an das Elektrizitätsnetz ab oder stellten dafür enorme Kosten in Aussicht; akzeptierten sie Windstrom, zahlten sie nur geringe Vergütungen. Private Windenergieerzeuger passten nicht in das Marktkonzept der Versorgungsunternehmen. Sie lieferten unregelmäßig Strom, den die Energiewirtschaft nicht benötigte, nahmen umgekehrt weniger Strom ab und drohten darüber hinaus mit zusätzlichen Belastungen durch veränderte Anforderungen an Netze und Regelkapazitäten. Vor allem aber brachen sie in das Produktionsmonopol der Energieversorger ein und brachten dieses in Gefahr. Gesellschaftliche Forderungen nach energiepolitischen Alternativen forderten die Elektrizitätsversorger in einer Zeit heraus, in der sie ohnehin mit deutlich verschlechterten Bedingungen konfrontiert waren. Während sich die Elektrizitätserzeugung in den Industrieländern im Zeitraum von 1930 bis 1970 alle zehn Jahre verdoppelte, fand dieses überdurchschnittliche Wachstum in den 1970er Jahren ein Ende. Gleichzeitig stieß die Elektrizitätserzeugung auch an technologische Grenzen, da kontinuierlich steigende Kraftwerksleistungen und Wirkungsgrade Ende der 1960er Jahre ein Plateau erreichten und seitdem stagnierten. Die Ölpreiskrisen der 1970er Jahre beeinflussten überdies die gesamte Energiewirtschaft und Energiepolitik, reduzierten Energiekonsum und stärkten die Rolle der Regulation.²³

Krisensymptome in der Energiewirtschaft kollidierten mit der Kritik und den alternativen Visionen der Anti-Atomkraft- und Umweltbewegung und anderer wachstumskritischer Strömungen. Innerhalb weniger Jahre erfasste ein Bewusstsein für Umweltzerstörungen und begrenzte Ressourcen weite Teile der Gesellschaft in vielen Industrieländern. Exemplarisch für diese Entwicklung steht das Interesse an dem 1972 veröffentlichten Bericht des Club of Rome, „Die Grenzen des Wachstums“.²⁴ Dieser Bericht zeigte mit Hilfe von Computersimulationen die Grenzen exponentiellen Wachstums, das zu einer dramatisch steigenden Umweltverschmutzung sowie einer raschen Erschöpfung der Rohstoffe führen und unausweichlich in einem katastrophalen Zusammenbruch enden würde. Eng verknüpft war die Wachstumskritik mit einer Welle der Technikkritik, wie z. B. im 1973 veröffentlichten Werk „Small is beautiful“ des Ökonomen und Philosophen Ernst

23 Richard Hirsh bezeichnete diese wirtschaftliche und technische Stagnation als „technological stasis“. Hirsh 1989.

24 Meadows 1972; dazu: Moll 1991.

Friedrich Schumacher, das zu den weltweit 100 einflussreichsten Büchern nach dem Zweiten Weltkrieg gerechnet wurde.²⁵

Diese Kontexte sind entscheidend, um die *Bedeutung* der Windenergie für verschiedene Akteure zu verstehen. Sie zeigen, dass die Forschungsadministrationen in Ländern wie der Bundesrepublik Deutschland, den Niederlanden, Frankreich, Italien, Dänemark oder Schweden scheitern mussten mit dem Konzept, die Erprobung der Windenergie-technik in die Hände der Elektrizitätswirtschaft zu legen. Die auf Großanlagen ausgerichteten Forschungsprogramme dieser Länder verfehlten ihre Ziele nicht nur wegen der unangemessenen technischen Ambitionen, sondern auch wegen der maßgeblichen Beteiligung eben der Akteure, die das geringste Interesse an der Windenergie hatten.²⁶ Dies zeigt paradigmatisch das Beispiel der deutschen Großwindanlage Growian. Die „Schwergeburt“ Growian (FAZ, 19.1.1980) war kein Kind enthusiastischer Eltern, sondern ein die Adoptiveltern belastender Pflegefall. „Wir brauchen Growian [...] um zu beweisen, daß es nicht geht“, wurde das Vorstandsmitglied des RWE, Günther Klätte, 1982 in der Presse zitiert (Die Welt, 13.12.1982).²⁷

Umgekehrt zeigt das Beispiel Dänemark, dass die erfolgreiche Entwicklung und Einführung der Windenergie maßgeblich von Akteuren befördert und betrieben wurde, die der Anti-AKW- und der Umweltbewegung zuzurechnen sind. Eine Schlüsselrolle spielte die Organisation für erneuerbare Energien (OVE), ein Verein, in dem etwa 2000 Mitglieder aktiv waren. Die OVE versammelte an der Windenergie interessierte Idealisten und wirkte als Aktions- und Kommunikationsforum, um technische Entwicklungsarbeiten zu unterstützen, Erfahrungen auszutauschen und kooperative Initiativen zu fördern. Während das staatliche, ebenfalls auf Großanlagen zielende Forschungsprogramm in Dänemark nicht zur Entwicklung kommerzieller Windenergieanlagen führte, waren es die in OVE organisierten Handwerker und Idealisten, die die erfolgreiche dänische Windenergie-technik begründeten.²⁸ Das Beispiel Spanien zeigte rund 20 Jahre später, dass kulturelle Kontexte sich verändern konnten. Dort war es der führende Ener-

25 Schumacher 1973; The Times Literary Supplement 1995, S. 39.

26 Gipe 1995, S. 37-48; Heymann 1999; Kemp 2002; Verbong 1999, S. 137-160.

27 Heymann 1995, S. 369-382.

28 Van Est 1999; Neukirch 2009.

gieversorger Endesa, der Anfang der 1990er Jahre massiv in die Windenergie zu investieren begann, Tochterunternehmen für die Herstellung von Windenergieanlagen gründete und damit einen neuen lukrativen Markt mit großem Erfolg dominierte.²⁹ Die Polarisierung der Gesellschaft in den 1970er Jahren war zwei Jahrzehnte später einem umweltpolitischen Pragmatismus gewichen, der auch für die Energiewirtschaft interessante Perspektiven bot. Diese Beispiele demonstrieren die Bedeutung und Wirksamkeit kultureller Kontexte für die Frage, ob jemand einer Technologie positiv oder negativ gegenübersteht.

Aufzuhalten war der Aufstieg der Windenergie unter der Voraussetzung neuer politischer Weichenstellungen, die sich international durchsetzten, ohnehin nicht mehr. Die jährlichen Zuwächse an installierter Windenergieleistung waren seit Anfang der 1990er Jahre zweistellig. Die Kapazität der weltweit installierten Windenergieanlagen betrug 1997 etwa 7500 Megawatt und wuchs auf knapp 95.000 Megawatt zehn Jahre später. 2008 waren es 122.000 Megawatt, für 2010 werden 190.000 Megawatt prognostiziert.³⁰

FAZIT

Ist also die Windenergienutzung eine „Neue Technologie“? Nur in einem Punkt waren sich die Windenergiefeinde aus dem Lager der Erzeuger traditioneller Energie und die windenergiefreundlichen Aktivistinnen in den 1970er Jahren einig. Sie sahen die Windenergie-technik nicht als eine Neue, sondern als eine alte Technologie. Erstere verstanden darunter vor allem „veraltet“ und werteten dies rundheraus negativ. Letztere knüpften ausdrücklich an die „alte“ Technik und die mit ihr verknüpfte Romantik an. Diese mehr als 30 Jahre zurückliegende Einschätzung dürfen wir heute im Hinblick auf die Technik mit guten Gründen revidieren. Allein der Vergleich von Windenergieanlagen und ihrer Bedeutung Mitte der 1970er Jahre und drei Jahrzehnte später zeigt, dass hier eine weitgehend „Neue“ Technologie entstanden ist. Gleichzeitig verweist das Beispiel der Windenergienutzung auf die Schwächen des Begriffs „Neue Technologie“. Während er die Bedeutung technischer Durchbrüche und Innovationen betont, vernachlässigt

29 Neukirch 2009, S. 248-261.

30 WWEA, 2009, S. 4.

er die Bedeutung institutioneller Durchbrüche und Innovationen. Er lenkt den Blick auf die Technik und vernachlässigt die Akteure und ihre Interessen und Visionen. Er betont ein produktionszentriertes Innovationsverständnis und vernachlässigt die kulturellen Kontexte, die entscheidend für die Akzeptanz von Innovationen sind. Es fragt sich also, ob hier ein neuer Begriff nutzbringend wäre.

LITERATUR

- Ackermann, T. (Hrsg.): *Windpower in power systems*, Chichester: Wiley, 2008.
- Baker, T.L.: *A field guide to American windmills*, Norman/OK: University of Oklahoma Press, 1985.
- Bilau, K.: *Windmühlenbau einst und jetzt*, Leipzig: Schäfer, 1933.
- BMFT (Hrsg.): *Programmstudie Energiequellen für morgen? Nicht-nukleare - nichtfossile Primärenergiequellen, Teil III, Nutzung der Windenergie*, Jülich: Bundesministerium für Forschung und Technologie, 1976.
- Bruns, E. u. a.: *Die Innovationsbiographie der Windenergie. Absichten und Auswirkungen von Steuerungsimpulsen*, Berlin: Lit, 2008.
- de Vries, J./van der Woude, A.: *The first modern economy: success, failure, and perseverance of the Dutch economy, 1500-1815*, Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- Gipe, P.: *Wind energy comes of age*, New York/NY: Wiley, 1995.
- Herzberg, H.: *Mühlen und Müller in Berlin*, Berlin: Verlag für Bauwesen, 1987 (unter Mitarbeit von Hans Joachim Rieseberg).
- Heymann, M.: *Die Geschichte der Windenergienutzung 1890-1990*, Frankfurt am Main: Campus, 1995.
- Heymann, M.: „Signs of hubris: The shaping of wind technology styles in Germany, Denmark, and the United States, 1940-1990“. In: *Technology and Culture* 39 (1998), Nr. 4, S. 641-670.
- Heymann, M.: „A fight of systems? Wind power and electric power systems in Denmark, Germany, and the USA“. In: *Centaurus* 41 (1999), Nr. 1-2, S. 112-136.
- Heymann, M.: „Der Riese und der Wind: Zum schwierigen Verhältnis des RWE zur Windenergie nach 1945“. In: Maier, H. (Hrsg.): *Umwelt, Technik und Politik: Aspekte aus 100 Jahren RWE-*

- Geschichte 1898-1998*, Freiberg: Technische Universität, Bergakademie, 1999, S. 217-236.
- Hirsh, R.: *Technology and transformation in the electrical utility industry*, Cambridge/MA: MIT Press, 1989.
- Honnef, H.: *Windkraftwerke*, Braunschweig: Vieweg, 1932.
- Hütter, U./Armbruster, A.: *Bericht über die Erstellung und Erprobung einer 100 kW Windkraftanlage in Stötten bei Geislingen*, unveröffentlichter Bericht, Stuttgart, 1963.
- Hütter, U.: *Die Entwicklung von Windkraftanlagen zur Stromerzeugung in Deutschland*, In: BWK, 1954, S. 270-278.
- Jacobsson, S./Johnson, A.: „The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research“. In: *Energy Policy* 28 (2000), S. 625-640.
- Johannes, J.: „Recent developments and potential improvements in wind power utilization for use in connection with electrical networks in Denmark; United Nations conference on new sources of energy, Rom 21.-31.8.1961“. In: *Wind Power*, Vol.7, New York, 1964, S. 396-398.
- Karnøe, P.: *Dansk Vindmølleindustri – en overraskende international succes. Om innovationer, industriudvikling og teknologipolitik*, Frederiksberg, 1991.
- Kemp, L.: *Learning in wind turbine development. A comparison between the Netherlands and Denmark*. Dissertation Universität Utrecht, 2002.
- Lovins, A. B.: *Sanfte Energie. Das Programm für die energie- und industriepolitische Umrüstung unserer Gesellschaft*, Reinbek: Rowohlt, 1978.
- Meadows, D. H./Meadows, D./Randers, J.: *The limits to growth : A report for The Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York/NY: Books, 1972.
- Moll, P.: *From scarcity to sustainability. Futures studies and the environment: the role of the Club of Rome*, Frankfurt am Main: Peter Lang, 1991.
- Neukirch, M.: *Die internationale Pionierphase der Windenergienutzung*. Dissertation Universität Göttingen, 2009.
- Notebaart, J. C.: *Windmühlen*, Den Haag: Mouton, 1972.
- Putnam, P. C.: *Power from the wind*, New York: Van Nostrand, 1948.
- Sageser, A. B.: „Windmill and pump irrigation on the Great Plains 1890-1910“. In: *Nebraska History* 48 (1967), Nr. 2, S. 107-118.

- Schumacher, E. F.: *Small is beautiful: A study of economics as if people mattered*, New York/NY: Harper & Row, 1973.
- Thomas, P. H.: *Electric power from the wind*, Washington: U.S. Federal Power Commission, 1945.
- The hundred most influential books since the war. In: *The Times Literary Supplement*, October 6, 1995, S. 39.
- van Est, R.: *Winds of change. A comparative study of the politics of wind energy innovation in California and Denmark*, Utrecht: International Books, 1999.
- Verbong, G. P. J.: „Wind power in the Netherlands, 1970-1990“. In: *Centaurus* 41 (1999), S. 137-160.
- Vestergaard, J./Goddard, R. D./Brandstrup, L.: *Industry formation and state intervention – the case of the windmill industry in Denmark and the United States*, Aarhus: Handelshøjskolen, Working-Paper 03.06.2003.
- World Wind Energy Association: *World wind energy report 2008*, Bonn: World Wind Energy Association, 2009.

Brennstoffzellen zwischen Euphorie und Ernüchterung: Versprechen Neuer Technologien und ihre Bedeutung für Akteursstrategien

KORNELIA KONRAD

EINLEITUNG

Brennstoffzellen sind an und für sich keine vollkommen Neue Technologie – das technologische Prinzip ist schon seit dem 19. Jahrhundert bekannt, und insofern unterscheiden sich Brennstoffzellen deutlich von einigen anderen so genannten Neuen Technologien wie zum Beispiel der Nanotechnologie. Aus gesellschaftlicher Perspektive ist Technik jedoch stets mehr als ihr technologisches Kernprinzip – sie umfasst nebst real funktionierenden und nicht nur prinzipiell vorstellbaren Artefakten auch die vielfältigen sozialen Elemente, die erst eine Technik im Sinne funktionierender Konfigurationen ermöglichen.¹ Wenn wir nach der Neuheit einer Technologie fragen, so müssen wir also das Neue in Bezug auf verschiedene technische und soziale Dimensionen berücksichtigen.² Technik im Sinne solcher funktionierender Konfigurationen ist im Allgemeinen in ein System aus technischen Komponenten, Herstellungsverfahren und Anwendungsformen, aus Geschäftsmodellen, Nutzungspraktiken, kollektiven Bedeutungszuschreibungen, rechtlichen Regelungen und Normen eingebunden. Der Neuheitsgrad

1 Rip/Kemp 1998.

2 Vgl. den Beitrag von Heymann in diesem Band.

einer Technologie ist somit umso größer, je mehr Veränderungen in den bestehenden sozio-technischen Systemen beziehungsweise Regimen erforderlich sind, um eine funktionierende Konfiguration zu ermöglichen.³

Um Brennstoffzellen großflächig für Mobilitätszwecke oder für die Versorgung von Gebäuden mit Elektrizität und Wärme einzusetzen, sind substanzielle Veränderungen in den bestehenden Mobilitäts- und Energieversorgungssystemen notwendig – auch wenn das Ausmaß der erforderlichen Veränderungen und damit des Neuen je nach Art der anvisierten Technologie und Anwendung variiert. Würden zum Beispiel Brennstoffzellen in größerer Zahl für die Versorgung von einzelnen Gebäuden eingesetzt werden, so könnte das neue Prinzip zur dezentralen Erzeugung von Elektrizität und Wärme spürbare Rückwirkungen auf die Struktur der Elektrizitätsversorgung sowie neue Rollen und Geschäftsmodelle für Elektrizitätsversorger mit sich bringen. Der Brennstoff könnte dabei immerhin aus der bestehenden Gasversorgung bezogen werden. Im Falle einer Nutzung von Brennstoffzellen auf der Basis reinen Wasserstoffs im automobilen Bereich käme darüber hinaus das Problem hinzu, eine Infrastruktur für die Wasserstoffversorgung aufbauen zu müssen.

Die verschiedenen Dimensionen des in technischer und sozialer Hinsicht Neuen müssen bei der Einführung einer neuen Technologie berücksichtigt werden, auch wenn sie zumeist mit hohen Unsicherheiten verbunden sind. Um nur einige dieser Unsicherheiten zu nennen: Welche technischen Varianten lassen sich wann zu wettbewerbsfähigen Kosten wie herstellen, und welche Leistungsparameter werden sie erfüllen? Welche Anwendungsfelder sind vielversprechend, und welche konkreten Nutzungsformen werden sich herausbilden? Welche Geschäftsmodelle sind realisierbar und profitabel, und welche eignen sich besonders, um eine Verbreitung zu fördern? Welche Akteure sind bereit und fähig, die verschiedenen für die Umsetzung erforderlichen Aufgaben und Rollen zu übernehmen? Und nicht zuletzt, welche weiterreichenden Folgen erwünschter und unerwünschter Art werden sich aus der Verbreitung ergeben? Mit Blick auf die Brennstoffzellen-Technologie lauten die Fragen dann entsprechend, ob Protonenaustauschmembran- oder Festoxidbrennstoffzellen geeigneter sind, ob die Versorgung von Einfamilienhäusern mit Strom und Wärme ein vielversprechendes Anwendungsfeld ist, ob die Brennstoffzellensysteme

3 Vgl. Geels 2005; Konrad/Truffer/Voß 2008.

den Kunden am besten im Contractingverfahren, d. h. als langfristige Energiedienstleistung, angeboten werden sollen, und ob eine Verbreitung von Brennstoffzellen tatsächlich die gewünschten Einsparungen hinsichtlich Kohlendioxidemissionen mit sich bringen wird.

Angesichts der genannten Unsicherheiten können sich die mit der Innovation Brennstoffzelle befassten Akteure in ihren Entscheidungen häufig nicht auf robustes Wissen stützen, sondern müssen sich an Erwartungen ausrichten. Welche konkreten Erwartungen ein Akteur hegt, hängt zum einen von spezifischen Erfahrungen und Prioritäten ab, und ist zum anderen von Erwartungen beeinflusst, die von weiteren Akteuren oder im öffentlichen Diskurs geäußert werden. Diese Erwartungen anderer, ob direkt oder vermittelt über den öffentlichen Diskurs geäußert, sind besonders bedeutsam, da sie erstens Orientierung geben, und zweitens, weil im Falle von Innovationen, die Neuerungen auf der Ebene eines sozio-technischen Systems erfordern, die Interdependenz zwischen Innovationsakteuren besonders hoch ist. Aus der wechselseitigen Orientierung heraus entstehen sodann häufig kollektive Erwartungen, sei es auf der Ebene wissenschaftlich-technischer Communities oder auch auf breiterer gesellschaftlicher Ebene. Mit dem Begriff kollektiver Erwartungen soll auf institutionalisierte Erwartungen verwiesen werden, das heißt auf Erwartungen, die Teil eines sozialen Repertoires geworden sind.⁴ Damit ist gemeint, dass diese Erwartungen von vielen oder zumindest einigen geteilt werden, von anderen aber auch angezweifelt werden können. So oder so sind sie innerhalb einer gewissen Community oder auf breiterer Ebene bekannt und stellen damit einen wichtigen Bezugspunkt dar. Akteure, für die diese kollektiven Erwartungen zumindest potentiell relevant sind, können sie im Allgemeinen kaum ignorieren, sondern müssen dazu Stellung nehmen.

Die wechselseitige Orientierung zwischen Akteuren trägt im Weiteren nicht selten zu selbstverstärkenden Effekten bei, die sich zeitweilig von Erfahrung und Evidenz zu lösen scheinen. Ein typisches Ergebnis solch selbstverstärkender Effekte sind so genannte Hypezyklen, in denen zunächst Erwartungen auf immer breiterer Ebene akzeptiert werden, die dann oft auch zunehmend optimistischer werden. Diese Entwicklung ist typischerweise mit drastisch ansteigendem Medieninteresse verbunden. Zu einem späteren Zeitpunkt kühlen sich die Erwartungen jedoch nicht selten ab, ebenso wie das Medieninteresse,

4 Konrad 2006.

wenn sich frühere Ankündigungen nicht realisieren lassen. Brennstoffzellen haben vor wenigen Jahren einen solchen Hypezyklus durchlaufen; bemerkenswerterweise sind ihm schon frühere Hypezyklen vorangegangen, die in diesem Beitrag aber nicht näher behandelt werden können.⁵

Während das Phänomen der Hypezyklen an und für sich bekannt ist, sind die Auswirkungen auf die weitere Entwicklung einer Neuen Technologie und insbesondere auf die Strategien und Aktivitäten der beteiligten Innovationsakteure weit weniger klar. Einige Ansätze betrachten Hypezyklen eher als ein von der eigentlichen Technologieentwicklung entkoppeltes Medienphänomen, wie dies z. B. implizit im populären Hypezyklus-Konzept der Beratungsfirma Gartner Group angelegt ist.⁶ Andererseits haben Arbeiten aus der „Soziologie der Erwartungen“,⁷ einer Forschungsrichtung aus dem Feld der science and technology studies, oder auch Untersuchungen zur Implementation von neuen IT-Systemen in Organisationen gezeigt, dass kollektive Erwartungen einen wesentlichen Einfluss auf Innovationsprozesse haben, indem sie Akteure motivieren, leiten und koordinieren.⁸

Dieser Artikel soll zu einem nuancierten Verständnis der Bedeutung von kollektiven Erwartungen und Hypezyklen für Entwicklung und Einführung Neuer Technologien beitragen, indem für ein breitgefächertes Sample an der Entwicklung und Einführung stationärer Brennstoffzellen beteiligter Akteure aufgezeigt wird, ob und wie die steigenden beziehungsweise zurückgenommenen kollektiven Erwartungen an Brennstoffzellen die Strategien und Aktivitäten dieser Akteure tatsächlich beeinflusst haben.

Im folgenden Abschnitt wird zunächst der Verlauf der kollektiven Erwartungen an Brennstoffzellen beschrieben, wobei der Fokus auf der Entwicklung in den deutschsprachigen Ländern während der letzten fünfzehn Jahre liegt. Nach einer kurzen Erläuterung von Methode und Sample beschreiben der dritte und vierte Abschnitt die strategischen Reaktionen der Akteure in unserem Sample auf die Hype- und die Enttäuschungsphase, und der fünfte Abschnitt diskutiert, welche Faktoren erklären können, warum einige Akteure stärker reagieren als andere.

5 Schaeffer 1998.

6 Fenn 2006.

7 Borup u. a. 2006.

8 Swanson/Ramiller 1997.

STATIONÄRE BRENNSTOFFZELLEN: ERWARTUNGSDYNAMIKEN UND INNOVATIONSAKTEURE

Hintergrund

Wie schon eingangs erwähnt, ist das technologische Prinzip von Brennstoffzellen, d. h. die Gewinnung von elektrischer Energie und Wärme aus einer Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff, nicht neu, sondern wurde schon 1839 von einem schweizerischen und einem walisischen Wissenschaftler beschrieben.⁹ Auch weitreichende Erwartungen an das Potenzial der Technologie sind nicht neu; ebenfalls aus dem 19. Jahrhundert sind Äußerungen von Wissenschaftlern und in der Literatur belegt, die der Brennstoffzellentechnologie ein revolutionäres Potenzial für die Energieerzeugung im großen Maßstab vorhersagten. Gleichwohl gab es erst im 20. Jahrhundert bedeutendere Entwicklungsbemühungen. Praktische Anwendung fanden Brennstoffzellen dann zunächst in den sechziger Jahren in der Raumfahrt. In diesem Zeitraum, als die weltweit verteilten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zusammengeführt wurden, entstand der erste Brennstoffzellenhype, der in den siebziger Jahren jedoch von Ernüchterung und einem starken Rückgang der Aktivitäten gefolgt war.¹⁰ Erst Mitte bis Ende der achtziger Jahre initiierten wieder verschiedene Länder in bedeutenderem Umfang Brennstoffzellenaktivitäten. Im Laufe der neunziger Jahre nahmen das Interesse und auch die Aktivitäten wieder deutlich zu, und zum Ende des Jahrzehnts hin entwickelte sich – wie im Folgenden erläutert wird – erneut ein Brennstoffzellenhype.

Ein wichtiges Element zum Verständnis des Auf und Ab der kollektiven Erwartungen ist, dass sich die Erwartungen über die Jahre auf unterschiedliche Typen von Brennstoffzellen und auf unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten konzentrierten. Damit konnten Enttäuschungen, die sich im Zusammenhang mit einem bestimmten Technologietyp oder Anwendungsbereich ergaben, immer wieder aufgefangen werden, indem sich die Erwartungen zu einem anderen Technologie-

9 Die Frage, wann und von wem eine Technologie ‚entdeckt‘ wurde, ist wohl immer umstritten. Zumeist wird William Robert Groves Beschreibung aus dem Jahre 1839 diese Rolle für die Brennstoffzelle zugeschrieben.

10 Schaeffer 1998.

typ oder Anwendungsbereich hin verschoben. Während in den achtziger Jahren die größten Hoffnungen auf Schmelzkarbonat- (MCFC) und Phosphorsäurebrennstoffzellen (PAFC) gerichtet waren sowie auf Anwendungen in der stationären Elektrizitätsproduktion, verschoben sie sich in den neunziger Jahren hin zu Protonenaustauschmembran- (PEMFC) und Festoxidbrennstoffzellen (SOFC) und zunächst auf Anwendungen im automobilen Bereich. Etwas später entstand parallel dazu verstärktes Interesse an der Anwendung für Kraftwärmekopplungsanlagen für einzelne Gebäude, d. h. insbesondere für Anlagen, die gleichzeitig Strom und Wärme für Ein- oder Mehrfamilienhäuser produzieren, so genannte Mikro-KWK. Schließlich wurden auch Anwendungen zur Stromversorgung portabler Geräte und für unterschiedlichste Nischenbereiche von Gabelstaplern bis zu Yachten anvisiert.

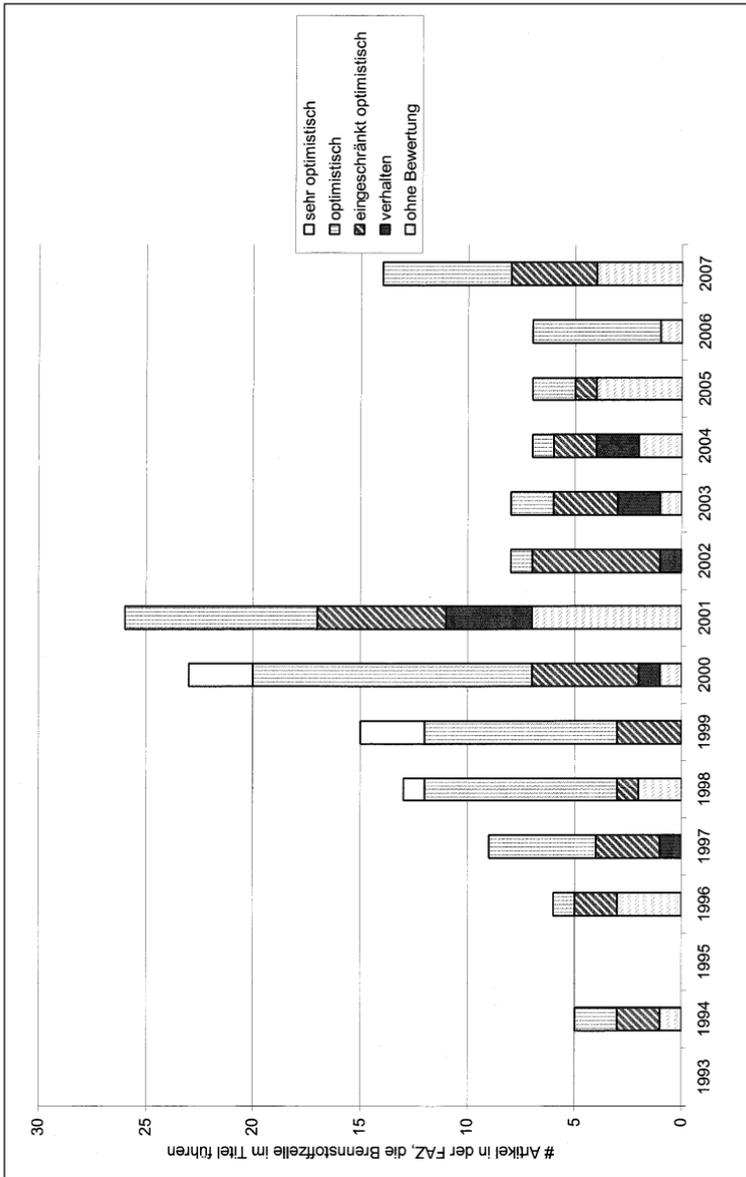
Der Brennstoffzellenhype um die Jahrtausendwende

Wir haben die Entwicklung der kollektiven Erwartungen an Brennstoffzellen im deutschsprachigen Raum in Form einer Diskursanalyse unterschiedlicher Medien- und Dokumententypen (Massenmedien, Fachzeitschriften, Finanzpresse, wissenschaftliche Artikel und Politikdokumente) analysiert.¹¹ Dabei zeigte sich eine zwar nicht identische, aber in wesentlichen Zügen ähnliche Dynamik in Massenmedien, Fach- und Finanzpresse, die sich auch weitgehend mit der Wahrnehmung der Entwicklung der „Stimmung“ in der Brennstoffzellenszene deckt, wie sie seitens der befragten Innovationsakteure genannt wurde.¹² Zur Erläuterung konzentrieren wir uns hier auf die Berichterstattung in einer der großen deutschen Tageszeitungen, der Frankfurter Allgemeinen Zeitung. Abbildung 1 zeigt zum einen die sich verändernde Aufmerksamkeit für das Thema Brennstoffzellen zwischen den Jahren 1993-2007, exemplifiziert an der Anzahl der jährlich erschienenen Artikel, die Brennstoffzellen im Titel nannten, und zum anderen die sich verändernden Erwartungen, die in den jeweiligen Artikeln zum Ausdruck gebracht wurden. Parallel dazu haben wir die Artikel inhaltlich auf die darin manifestierten Erwartungen und Diskursakteure hin ausgewertet.

11 Konrad/Budde 2010.

12 Die Erwartungen, wie sie sich in Politikdokumenten und in wissenschaftlichen Artikeln widerspiegeln, folgen einer anderen Dynamik, auf die wir hier aber nicht eingehen können.

Abbildung 1: Aufmerksamkeit und Bewertung in Massenmedien.



Demzufolge kann von einem eigentlichen Hype ab 1997/1998 gesprochen werden. Ausgangspunkt des Hypes waren zu einem wesentlichen Teil die Aktivitäten und kommunizierten Erwartungen der Daimler-Benz bzw. späteren DaimlerChrysler AG. In den Jahren zuvor wurde gelegentlich über Brennstoffzellenprototypen des Unternehmens berichtet, die kommunizierten Erwartungen bezüglich der Kommerzialisierungshorizonte waren aber zurückhaltend formuliert. Im Laufe des Jahres 1997 änderte sich die Berichterstattung deutlich. Es gab nun auch Artikel über andere Automobilhersteller und deren Aktivitäten sowie zunehmend ambitionierte Ankündigungen. Darüber hinaus wurde dem Thema Kommerzialisierung mehr Aufmerksamkeit gewidmet. Über das Jahr hinweg kündigten die verschiedenen Hersteller immer ambitioniertere Entwicklungsziele an, bis schließlich weitgehend einhellig das Jahr 2004 als Beginn der Serienproduktion von Brennstoffzellenautos genannt und diese – nunmehr kollektive – Erwartung auch über die folgenden Jahre zunächst beibehalten wurde. Das Interesse für stationäre Anwendungen, insbesondere Mikro-KWK, auch sinnfällig als „Kraftwerk im Keller“ bezeichnet, entwickelte sich erst etwas später. Auch hier waren 1999 ambitionierte Äußerungen eines Systemherstellers – des Heizungsproduzenten Vaillant – ein wichtiger Auslöser. Einen Brennstoffzellenhype finden wir in den Jahren 2000 und Anfang 2001 ebenfalls in der Finanzpresse, weitestgehend parallel zum Höhenflug der Aktienkurse von Brennstoffzellenunternehmen.

Im Laufe des Jahres 2001 nahmen jedoch einige Automobilunternehmen ihre Ankündigungen bezüglich einer baldigen Kommerzialisierung zurück, was zunächst eine Verschiebung der Aufmerksamkeit hin zu stationären Anwendungen mit sich brachte, die nunmehr als frühzeitiger kommerziell einsetzbar galten. Gleichwohl mussten 2002/2003 auch die Hersteller stationärer Brennstoffzellen ihre Kommerzialisierungshorizonte deutlich verlängern. Allerdings ist im Allgemeinen die Enttäuschung, wie sie auch in der Presse zum Ausdruck gebracht wurde, eher als Ernüchterung zu bezeichnen, denn als umfassende Enttäuschung.¹³ Viele der als moderat optimistisch gekennzeichneten Artikel spiegeln zwar Enttäuschung hinsichtlich der Kommerzialisierungshorizonte, sprechen Brennstoffzellen aber dennoch ein langfristiges Potenzial zu.

13 Ruef/Markard 2010.

Ein Grund für die allzu optimistische Einschätzung der mittelfristigen Potenziale von Brennstoffzellen war, dass einige Facetten des Neuen der Technologie und die damit verbundenen Unsicherheiten und Schwierigkeiten von Seiten einiger Akteure zunächst nicht hinreichend wahrgenommen wurden. Die Entwicklungspläne und Erwartungen wurden daher – wie von verschiedenen Akteuren berichtet – zu sehr in Analogie zu inkrementellen, gewissermaßen weniger „neuen“ Entwicklungsprozessen aufgestellt und gebildet:

„Wir haben gesagt, wir brauchen fünf Jahre, also 2005 sind wir fertig. Normal, wenn die Heizungsindustrie ein neues Modell entwickelt, braucht sie zwei Jahre. Und da haben wir gesagt, naja, dann geben wir uns mal das Doppelte und noch ein Jahr drauf; fünf Jahre müssten eigentlich locker ausreichen.“¹⁴

STRATEGISCHE REAKTIONEN AUF DIE HYPEPHASE

Für die überwiegende Mehrheit der Akteure in unserem Sample¹⁵ waren die kollektiven Erwartungen in der Hypephase ein wesentliches Kriterium, Brennstoffzellenaktivitäten aufzunehmen oder diese deutlich zu intensivieren. Diejenigen, die relativ früh eingestiegen waren, orientierten sich zunächst an kollektiven Erwartungen zum Einsatz von Brennstoffzellen im automobilen Sektor, da sie sich erhofften, von Entwicklungssprüngen in diesem Bereich auch für stationäre Anwendungen zu profitieren. Diejenigen, die später eingestiegen waren, hatten sich unmittelbar auf Erwartungen zu stationären Mikro-KWK-

14 Interview: Früherer Produktmanager Brennstoffzellen, Systemhersteller A, 6/2008.

15 Der Auswertung liegen circa 30 semistrukturierte, qualitative Interviews zugrunde, die in den Jahren 2007 und 2008, sowie 2002 und 2003 durchgeführt wurden und Aufschluss über die Strategien von siebzehn Organisationen im deutschsprachigen Raum geben, darunter Systemhersteller, Versorgungsunternehmen, Komponentenhersteller und Forschungsanstalten. Interviewpartner waren jeweils die Verantwortlichen für Brennstoffzellenaktivitäten. Das Projekt wurde vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) finanziert und an der Eawag, einem Schweizer Forschungsinstitut des ETH-Bereichs, gemeinsam mit meinen Kollegen Annette Ruef, Bernhard Truffer und Jochen Markard durchgeführt. Ferner erfolgte das Projekt in Kooperation mit dem Austrian Institute of Technology (AIT), das auf die mobile Verwendung von Brennstoffzellen fokussierte. Ich danke Björn Budde für die Erlaubnis, Datenmaterial aus diesem Projekt zu verwenden.

Anwendungen bezogen. Diese insgesamt hohe Bedeutung der kollektiven Erwartungen für die Brennstoffzellenstrategien der untersuchten Organisationen ist allein schon bemerkenswert; es zeigt sich aber auch, dass die Art und Stärke der strategischen Reaktionen zwischen den Akteuren sehr unterschiedlich ausfielen. Die Reaktionen lassen sich in drei verschiedene Kategorien einteilen: Promotoren, Follower und nur indirekt Betroffene.

Strategische Reaktionen können sehr unterschiedliche Formen annehmen. In unserer Untersuchung haben wir folgende Arten berücksichtigt, die sich im Wesentlichen mit den strategischen Reaktionen decken, die in der Managementliteratur als mögliche Reaktionen auf durch Unsicherheit gekennzeichnete Situationen angeführt, beziehungsweise als Präzisierung unserer Fragestellung aufgefasst werden können.¹⁶

Strategische Reaktionen betreffen in einer ersten Dimension Innovationsaktivitäten im engeren Sinne, zum Beispiel die Initiierung, Veränderung oder Aufgabe von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten, Produktentwicklungen oder Testprojekten. Veränderungen der internen Struktur einer Organisation können die Folge sein, wenn neue Abteilungen oder Tochterunternehmen gegründet, aufgegeben, ver- oder zugekauft werden oder Kooperationen eingegangen oder aufgelöst werden.

Eine zweite Dimension strategischer Reaktionen ist auf Diskursaktivitäten gerichtet, das heißt auf die explizite und strategische Lancierung, Stärkung und Verbreitung bestimmter Erwartungen. Dazu gehören insbesondere Pressemitteilungen, Öffentlichkeitsarbeit, Lobbying oder entsprechende Äußerungen im Rahmen von Konferenzbeiträgen.

Da unser Sample eine heterogene Gruppe von Organisationen umfasst, die unterschiedlich groß sind und sehr unterschiedliche Arten von Innovationsaktivitäten durchführen, haben wir nicht die absoluten Innovationsaktivitäten und deren Veränderung verglichen, sondern untersucht, ob und wie eine Organisation ihre Brennstoffzellenstrategie und die damit verbundenen Aktivitäten im Zusammenhang mit Veränderungen der kollektiven Erwartungen modifizierte. Für die Diskursaktivitäten haben wir verglichen, wie intensiv eine Organisation Diskursaktivitäten betrieben hat und wie ambitioniert die jeweils geäußerten Erwartungen waren. Als empirische Grundlage dienten Aussagen aus den Interviews, die soweit verfügbar mit Daten aus

16 Engau/Hoffmann [im Erscheinen].

anderen Quellen, unter anderem der Presseberichterstattung, abgeglichen wurden. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die strategischen Reaktionen der Organisationen in unserem Sample auf die Hypephase.

Promotoren

Zur Gruppe der Promotoren zählen Akteure, die sehr aktiv zur Bildung kollektiver Erwartungen und schließlich auch des Hypes beitrugen, indem sie in intensiver Weise Diskursaktivitäten betrieben und sehr ambitionierte Erwartungen und – soweit es die eigenen Aktivitäten betraf – auch Ankündigungen in Bezug auf Zeitpunkt und teilweise auch Umfang der Kommerzialisierung von Brennstoffzellen öffentlich äußerten. Zu dieser Gruppe gehören zwei Systemhersteller, ein großer Komponentenhersteller und ein großes Versorgungsunternehmen. Bewerbenswerterweise waren alle diese Organisationen auch selbst durch den Brennstoffzellenhype wesentlich in ihren Innovationsaktivitäten beeinflusst. Teilweise war die Entscheidung, Brennstoffzellenaktivitäten aufzunehmen oder stark auszubauen, davon zumindest mit motiviert, und teilweise sahen sich die Akteure genötigt, ihre Strategie anzupassen, um nicht hinter den kollektiven Erwartungen zurück zu bleiben, selbst wenn diese intern durchaus skeptisch beurteilt wurden.

Wir sprechen nur dann von einer strategischen Reaktion auf kollektive Erwartungen bzw. den Brennstoffzellenhype, wenn eine strategische Entscheidung und deren Umsetzung durch Erwartungen außerhalb der Organisation beeinflusst waren, das heißt Erwartungen in der Öffentlichkeit, der technisch-wissenschaftlichen Community oder durch Aktivitäten von Wettbewerbern, die ihrerseits hohe Erwartungen kommunizierten. Das folgende Beispiel eines großen Komponentenherstellers soll dies verdeutlichen:

„[Das Unternehmen stieg] relativ früh [ein], damals gab es auch so einen Hype in der Industrie, da wurde viel über Brennstoffzellen gesprochen und wie gesagt, da hat [das Unternehmen] sich massiv engagiert, viel investiert in der Erwartung, dass der Markt sich sehr schnell entwickeln würde, es gab Veröffentlichungen, Marktstudien, die ein Wachstum innerhalb von einigen Jahren nur prognostiziert haben, die das ganze sehr attraktiv gemacht haben für [das Unternehmen]. Diese Erwartungen haben sich aber leider nie erfüllt.“¹⁷

17 Interview: Sales und Managing Direktor Brennstoffzellen, 4/2008.

Die Befragten betrieben aus zwei Gründen intensive Diskursaktivitäten: Zum einen sollte eine frühzeitige und intensive Kommunikation komplementäre Akteursgruppen wie Installateure und Kunden motivieren. Zum anderen war die Kommunikation darauf gerichtet, die Erwartungen und das Interesse von Investoren und der Finanzwelt zu schüren und damit den Firmenwert – durchaus erfolgreich – zu steigern. Dies ist umso bemerkenswerter, da die Brennstoffzellenaktivitäten bei den fraglichen Unternehmen nur einen marginalen Anteil an den Gesamtaktivitäten ausmachten und die Brennstoffzellenaktivitäten vor bzw. nach der Hypephase nicht in die Öffentlichkeit getragen wurden.

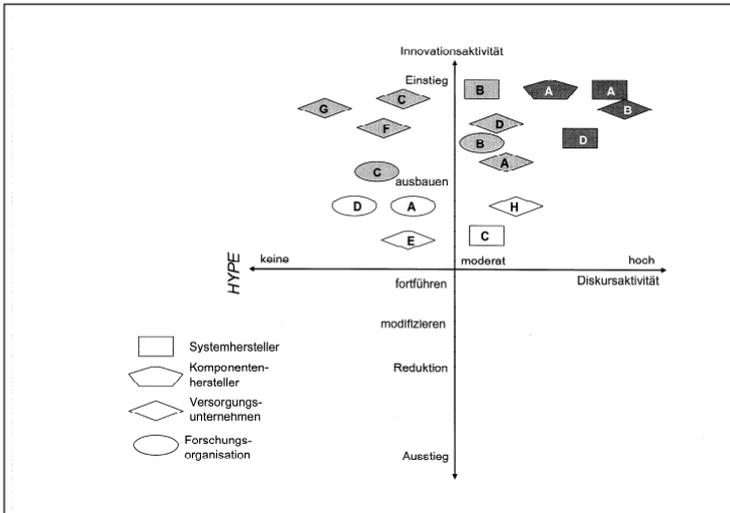
Follower

Für eine zweite Gruppe von Akteuren waren kollektive Erwartungen ebenfalls ein wesentliches Element ihrer Entscheidung, Brennstoffzellenaktivitäten aufzunehmen oder diese zu intensivieren, aber sie betrieben Diskursaktivitäten weniger intensiv bzw. propagierten moderatere Erwartungen als die Promotoren. Für die Versorgungsunternehmen dieser Gruppe war ferner eine Stärkung des Firmenimages mittels der Brennstoffzellenaktivitäten ein wichtigeres Ziel als unmittelbar die Entwicklung eines echten Geschäftsfeldes. Zur Gruppe der Follower zählen auch zwei Forschungsorganisationen. Im einen Fall wurde im Zuge des Brennstoffzellenhypes das Feld der Brennstoffzellen als strategisches Forschungsfeld aufgebaut, im anderen Fall ermöglichte der Hype, die Brennstoffzellenaktivitäten stark auszubauen. Beide Organisationen gaben an, dass ihre starke Drittmittelabhängigkeit ausschlaggebend für die starke Kopplung ihrer Aktivitäten an die Erwartungsdynamiken sei.

Indirekt betroffene Früheinsteiger

Die dritte Gruppe umfasst Akteure, die schon vor dem Hype Brennstoffzellenaktivitäten unternahmen und deren Strategie nicht oder nur wenig beeinflusst war. Teilweise gab es indirekte Effekte, das heißt Aktivitäten konnten etwas gesteigert werden, da sich neue Kooperationsmöglichkeiten mit durch den Hype motivierten Akteuren ergaben oder bessere Förderungsmöglichkeiten bestanden.

Abbildung 2: Strategische Reaktionen auf die Hypephase.



Die Forschungsorganisationen in dieser Gruppe waren im Gegensatz zu denjenigen in der Gruppe der Follower in deutlich geringerem Maße auf Drittmittel angewiesen, so dass entsprechende Effekte sehr viel geringer ausfielen.

STRATEGISCHE REAKTIONEN AUF DIE ENTÄUSCHUNGSPHASE

Nicht nur sich steigende kollektive Erwartungen, auch deren Zurücknahme beeinflussten die Strategien vieler Brennstoffzellenakteure. Allerdings scheint der Effekt insgesamt etwas moderater auszufallen als derjenige der Hypephase. Dabei spielte auch eine Rolle, dass es sich bei der Enttäuschung weniger um eine radikale Desavouierung von Brennstoffzellen als grundsätzlich vielversprechende Technologie handelte, sondern vielmehr um eine Ernüchterung hinsichtlich der Zeiträume, in denen man erhoffte, die Technologie in kommerzielle Produkte überführen zu können (siehe oben). Die Enttäuschung dieser spezifischen Erwartungen war für verschiedene Akteure unterschiedlich problematisch und zog somit auch unterschiedliche Reaktionen

nach sich. Während einige Akteure ihre Aktivitäten aufgaben und andere diese reduzierten, gab es auch eine größere Anzahl von Akteuren, die ihre Aktivitäten fortführten oder zumindest ihre Strategie nur modifizierten. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die strategischen Reaktionen der Organisationen in unserem Sample auf die Enttäuschungsphase.

Promotoren

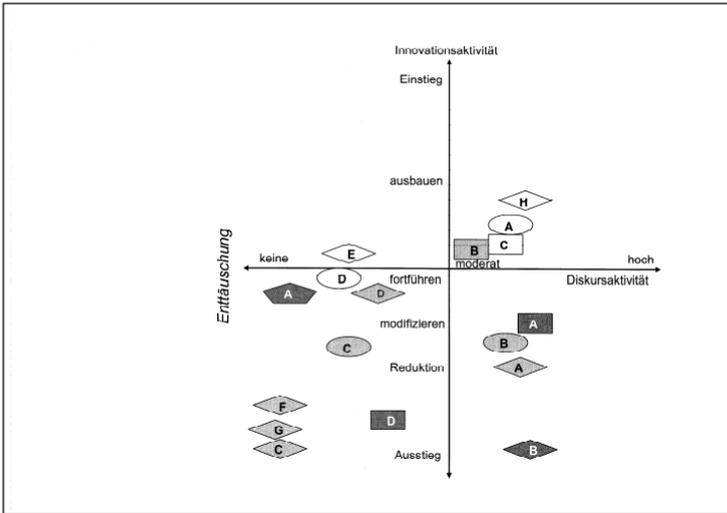
Alle Akteure dieser Gruppe, die in der Hypephase intensive Diskursaktivitäten betrieben hatten, reduzierten diese deutlich – auch diejenigen, die ihre Brennstoffzellenaktivitäten grundsätzlich weiterführten. Darüber hinaus änderte sich die Art der Koordination von Diskursaktivitäten. Während zuvor eine eher wettbewerbsförmige Koordination von Erwartungen und Diskursaktivitäten vorgeherrschte hatte, wurden diese nun stärker zwischen den Akteuren abgestimmt – insbesondere zwischen den immer zahlreicheren Akteuren, die sich an einer neugegründeten Brennstoffzellenvereinigung beteiligten – und waren insgesamt moderater gehalten. Darüber hinaus gingen einige der Erwartungen und damit verknüpften Zeitpläne in ein neu aufgesetztes Förderprogramm ein und wurden damit zu einer Richtschnur für alle, die von diesem Programm profitieren wollten. Die stärker abgestimmte Koordination war somit nicht allein eine Reaktion auf überschießende Erwartungen, sondern trug ihrerseits auch dazu bei, die Erwartungen in der Folgezeit moderater und vermutlich auch stabiler zu halten.

Insgesamt führten zwei der Organisationen in dieser Gruppe Brennstoffzellenaktivitäten weiter, wenn auch in modifizierter Form, nämlich im Rahmen eines insgesamt etwas veränderten Spektrums an Technologien. Zwei Organisationen gaben jedoch ihre Brennstoffzellendivisionen, die sie zunächst gegründet hatten, wieder auf bzw. verkauften diese.

Follower

Fast alle Versorgungsunternehmen in dieser Gruppe gaben ihre Brennstoffzellenaktivitäten auf oder reduzierten sie zumindest erheblich.

Abbildung 3: Strategische Reaktionen auf die Enttäuschungsphase.



Dies erscheint insofern verständlich, als für diese Organisationen die Förderung des Unternehmensimages ein zentrales Ziel der Brennstoffzellenaktivitäten war, und in einer Enttäuschungsphase der Imagegewinn geringer ausfällt. Die Forschungsorganisationen in der Gruppe der Follower betrieben ihre Brennstoffzellenaktivitäten weiter und behielten ihre Strategie an und für sich bei, mussten ihre Aktivitäten aber komplementär zum Ausbau in der Hypephase wieder etwas reduzieren, da sich die Möglichkeiten Drittmittel zu akquirieren, verschlechtert hatten. Auch der einzige Systemhersteller in dieser Gruppe änderte seine Strategie nicht grundlegend, was mit dem vergleichsweise langfristigen Planungshorizont eines Familienunternehmens begründet wurde. Die Diskursaktivitäten aller Akteure blieben weitgehend unverändert auf moderatem Niveau.

Indirekt betroffene Früheinsteiger

Diese Gruppe von Akteuren, die schon von der Hypephase wenig in ihren Brennstoffzellenstrategien beeinflusst war, führte auch in der Enttäuschungsphase ihre Strategien im Wesentlichen fort. Teilweise wurde nun sogar verstärkt versucht, der in Folge der Enttäuschung beobachteten Destabilisierung von Brennstoffzellenaktivitäten durch

Unterstützung der Institutionenbildung entgegen zu wirken – in Form der genannten Brennstoffzellenvereinigung, regionaler Verbände und von Bemühungen zur Etablierung eines Förderprogrammes. Die Forschungsorganisationen in dieser Gruppe konnten aufgrund ihres hohen Anteils an Grundfinanzierung ihre Aktivitäten weiterführen oder sogar noch ausbauen, wenn auch – wie in einem Falle vermutet – möglicherweise weniger intensiv als es ohne die Enttäuschungsphase möglich gewesen wäre.

WAS BEEINFLUSST DIE STRATEGISCHEN REAKTIONEN AUF EUPHORIE UND ENTtäUSCHUNG?

Die vorangehenden Abschnitte haben gezeigt, dass kollektive Erwartungen und deren Veränderung die strategischen Entscheidungen von Brennstoffzellenakteuren deutlich beeinflusst haben, wenn auch in unterschiedlichem Maße und in unterschiedlicher Form. Was beeinflusst also, zu welchem Reaktionstyp ein Akteur beziehungsweise eine Organisation gehört? Und wie lassen sich die Unterschiede in den Reaktionen von Promotoren und Followern auf die Enttäuschungsphase erklären? Bevor ich auf diese Fragen eingehe, ist eine methodische Anmerkung notwendig. Angesichts der qualitativen Herangehensweise der Untersuchung lassen sich Hinweise auf Erklärungsvariablen insbesondere aus den Erläuterungen und Begründungen der Akteure selbst ableiten. Ferner wurde auch berücksichtigt, ob die sich daraus ergebenden Erklärungsmuster auch für das gesamte Sample konsistente Ergebnisse liefern. Hierzu ist allerdings zu bemerken, dass angesichts der begrenzten Größe des Samples diese Art der „Validierung“ nur als zusätzlicher Hinweis auf die Relevanz der Faktoren gewertet werden kann und nicht als eine quantitative Bestätigung.

Aus unserer Untersuchung ergeben sich drei Arten von Einflussfaktoren, die allesamt mit den spezifischen Handlungsbedingungen der Akteure in Zusammenhang stehen. Eine erste bedeutsame Rahmenbedingung ist die Art der Verankerung der Brennstoffzellenstrategie in der übergreifenden Organisationsstrategie beziehungsweise die Verknüpfung mit weiteren Teilstrategien. Je besser die entsprechende Passung ist, desto geringer ist die Sensitivität gegenüber Veränderungen in den kollektiven Erwartungen. Dies zeigt sich nicht allein, aber

besonders deutlich bei den Versorgungsunternehmen in unserem Sample.

Die untersuchten Versorgungsunternehmen positionierten sich in sehr unterschiedlicher Weise zu einer möglichen Dezentralisierung der Energieerzeugung im Allgemeinen und auch die Bedeutung von Energiedienstleistungen, wozu auch Wärmecontracting zählt, d. h. die vertraglich gebundene Lieferung von Wärme im Gegensatz zum Verkauf von Anlagen, wurde sehr unterschiedlich eingeschätzt. Unternehmen, die beidem eine hohe Bedeutung in der Unternehmensstrategie einräumten, behielten die Brennstoffzellenaktivitäten auch über die Enttäuschungsphase hinweg bei. Auf der anderen Seite nahm das Interesse einiger Unternehmen an Wärmecontracting ab, was sich über die brennstoffzellenspezifische Enttäuschung hinaus negativ auf ihr Interesse an Brennstoffzellen auswirkte. Diese Unternehmen gaben Brennstoffzellenaktivitäten auf oder reduzierten sie.

Auch bei den untersuchten Systemherstellern scheint die strategische Einbettung eine wichtige Rolle gespielt zu haben. Bei dem einzigen Unternehmen, das im untersuchten Zeitraum die Brennstoffzellenaktivitäten aufgab, handelt es sich um einen Konzern, der – im Gegensatz zu den anderen Vertretern dieser Akteursgruppe – ansonsten keine Aktivitäten im Bereich Wärmeversorgung oder dezentraler Energieversorgung unterhielt.

Ein zweiter Faktor, der die Sensitivität gegenüber kollektiven Erwartungen erhöht, ist die Abhängigkeit einer Organisation von anderen Akteuren, insbesondere hinsichtlich der Ausstattung mit finanziellen Mitteln, und damit die Angewiesenheit auf eine Legitimierung und Rechtfertigung der eigenen Aktivitäten und Erwartungen von – beziehungsweise nach – außen. Dies kam in den schon oben angeführten Äußerungen der stark drittmittelabhängigen Forschungsorganisationen zum Ausdruck und zeigte sich auch in der erhöhten Sensitivität von börsennotierten Unternehmen im Vergleich zu Familienunternehmen. Tochterunternehmen von börsennotierten Unternehmen scheinen hier eine Mittelstellung einzunehmen. Eine erhöhte Angewiesenheit auf externe Legitimierung erhöhte ferner auch die Disposition, intensive Diskursaktivitäten zu betreiben, insofern drei der vier Unternehmen in der Gruppe der Promotoren börsennotierte Unternehmen sind und die Verflechtung mit dem Börsenhype von einem Teil der Befragten auch explizit benannt wurde.

Schließlich ist zu berücksichtigen, zu welchem Akteurstyp eine Organisation gehört, ob es sich also z. B. um Systemhersteller, Versorgungsunternehmen oder Forschungsorganisationen handelt. Je nach der Funktion eines Unternehmens im gesamten Innovationsprozess ist die Enttäuschung spezifischer Erwartungen mehr oder weniger problematisch. Für Versorgungsunternehmen war die Verlängerung der Kommerzialisierungshorizonte ein deutlich kritischerer Faktor als für die Forschungsorganisationen, die zwar teilweise ihre Aktivitäten reduzieren mussten, aber in keinem Fall gänzlich aufgaben. Zweitens spielen hier auch die typischen „Reaktionszeiten“ der jeweiligen Akteursgruppen mit hinein: Forschungsorganisationen, und hier auch wieder insbesondere diejenigen mit einem hohen Grundfinanzierungsanteil, veränderten ihre Brennstoffzellenstrategien insgesamt langsamer als die Versorgungsunternehmen und waren daher gar nicht in der Lage, auf kurzfristige Veränderungen der kollektiven Erwartungen einzugehen.

ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mein Beitrag begann mit der Feststellung, dass die verschiedenen technischen und gesellschaftlichen Facetten des Neuen einer „Neuen Technologie“ unmittelbar mit einer Vielzahl von Unsicherheiten verbunden sind, die sich auf unterschiedlichste Aspekte – von Herstellungsverfahren für neue Komponenten bis zu Nutzungsformen – beziehen können. Diese Unsicherheiten werden jedoch teilweise über kollektive Erwartungen reduziert. Damit ist gemeint, dass einige Unsicherheiten und Schwierigkeiten in der Hypephase nicht oder nicht in voller Tragweite wahrgenommen, aber zu einem späteren Zeitpunkt spürbar werden, was zu einer Enttäuschung der ursprünglichen Erwartungen beitragen kann.

Hieraus ergibt sich die Frage, ob und wie sich die wechselnden Erwartungen auf die tatsächlichen Innovationsaktivitäten auswirken. Im Falle der Innovationsaktivitäten zu stationären Brennstoffzellen wurde deutlich, dass kollektive Erwartungsdynamiken nicht allein Begleiterscheinungen sind, sondern dass sie den Verlauf der Innovationsprozesse vermittels der Strategien der beteiligten Akteure deutlich beeinflussen, dass aber das Ausmaß und die Art der Reaktion je nach den Handlungsbedingungen der einzelnen Akteure und auch der kon-

kreten Form der Enttäuschung unterschiedlich ausfallen. Es zeigte sich ferner, dass nicht allein Innovationsaktivitäten im engeren Sinne – wie Entwicklungsarbeiten, Produktgestaltung und Pilotanwendungen – beeinflusst wurden, sondern die ganze Breite von innovationsrelevanten Strategien. Dazu gehörten Maßnahmen zur Institutionenbildung innerhalb des Innovationsfeldes ebenso wie Diskursaktivitäten, die ihrerseits wieder auf die Erwartungsbildung zurückwirkten. Mehr noch, die Art und Weise der Koordination von Erwartungsbildung und Diskursaktivitäten änderten sich in Reaktion auf die Erfahrungen in der Hypephase. Mit anderen Worten, die Erwartungsdynamiken wirkten auf die Strukturen, die diese selbst generierten, zurück. Demzufolge können sich über die Art der Erwartungsbildung und -koordination auch die Erwartungsdynamiken und deren Einfluss auf die Innovationsaktivitäten über die Zeit verändern. In diesem Beitrag lässt sich dies nur für einen sehr engen Zeitraum und ein einzelnes Feld aufzeigen; eine systematischere Erfassung, möglichst auch über unterschiedlich strukturierte Technologiefelder hinweg, könnte hier künftig wichtige Ergebnisse liefern und auch Einsichten dazu, welche Strukturen der Erwartungsbildung und -koordinierung einen reflexiven Umgang mit Erwartungsdynamiken am ehesten ermöglichen.

Die Ergebnisse haben ferner gezeigt, dass von den unterschiedlichen Innovationsakteuren, die auf kollektive Erwartungsdynamiken reagieren der Anteil derjenigen Akteure der im untersuchten Sample Brennstoffzellenaktivitäten in Zusammenhang mit der Hypephase überhaupt erst begonnen oder zumindest bestehende Aktivitäten stark ausgebaut hat, bemerkenswert hoch ist. Auch wenn das Sample aufgrund der qualitativen Auswahl keine quantitativen Hochrechnungen erlaubt, so scheint angesichts der Tatsache, dass es eine große Zahl der bedeutendsten Akteure im deutschsprachigen Raum umfasst, der Schluss erlaubt, dass die Hypedynamik zunächst einen wesentlichen Beitrag zur Formierung des Innovationsfeldes geleistet hat. Dies gilt umso mehr, als auch die Institutionenbildung beeinflusst war. Die Enttäuschungsphase wirkte im weiteren Verlauf zwar teilweise destabilisierend; gleichwohl ist aber auch hervorzuheben, dass im konkreten Falle der hier betrachteten stationären Brennstoffzellenaktivitäten der Effekt gemäßigt ausfiel. Insbesondere zeigte sich auch, dass die Sensitivität bezüglich einer Enttäuschungsphase nicht zuletzt abhängig von den Handlungsbedingungen der Akteure deutlich variiert. Hieraus lässt sich die Vermutung ableiten, dass im Allgemeinen eine Neue Techno-

logie eine Enttäuschungsphase schwerer oder leichter überstehen wird, je nachdem, ob ein Innovationsfeld durch für Veränderungen der kollektiven Erwartungen besonders sensitive Akteure getragen wird, z. B. börsennotierte Unternehmen und stark drittmittelabhängige Forschungseinrichtungen, oder durch solche, die im Allgemeinen weniger sensitiv und schnell reagieren, wie z. B. Forschungsorganisationen mit hohem Grundfinanzierungsanteil oder eigentümergeführten Unternehmen.

LITERATUR

- Borup, M. u. a.: „The sociology of expectations in science and technology“. In: *Technology Analysis and Strategic Management*, 18 (2006), S. 285-298.
- Engau, C./Hoffmann, V.: „Corporate response strategies to regulatory uncertainty: evidence from uncertainty about post-Kyoto regulation“. In: *Policy Sciences*, [im Erscheinen].
- Fenn, J.: *Understanding Gartner's hype cycles* (Report). Stanford/CA, 2006.
- Geels, F. W.: *Technological transitions and system innovations. A co-evolutionary and socio-technical analysis*, Cheltenham: Edward Elgar, 2005.
- Konrad, K.: „The Social dynamics of expectations: the interaction of collective and actor-specific expectations on electronic commerce and interactive television“. In: *Technology Analysis & Strategic Management* 18 (2006), Nr. 3/4, S. 429-444.
- Konrad, K./Budde, B.: Fuel cell hype and the coupling of discourse arenas, unveröffentlichtes Manuskript, 2010.
- Konrad, K./Truffer, B./Voß, J.-P.: „Multi-regime dynamics in the analysis of sectoral transformation potentials: Evidence from German utility sectors“. In: *Journal of Cleaner Production*, 16 (2008), S. 1190-1202.
- Rip, A./Kemp, R.: „Technological change“. In: Rayner, S./Malone, E. L. (Hrsg.): *Human choice and climate change – resources and technology*, Vol. 2., Columbus: Battelle Press, 1998, S. 327-399.
- Ruef, A./Markard, J.: „What happens after a hype? How changing expectations affected innovation activities in the case of stationary

fuel cells“. In: *Technology Analysis & Strategic Management*, 22 (2010), Nr. 3, S. 317-338.

Schaeffer, G. J.: *Fuell cells for the future – A contribution to technology forecasting from a technology dynamics perspective*, Petten/Twente: Dissertation, 1998.

Swanson, E. B./Ramiller, N. C.: „The organizing vision in information systems isnovation“. In: *Organization Science*, 8 (1997), Nr. 5, S. 458-474.

Computer als Neue Technologie – Vom Rechner zu integrierten IuK-Systemen

KLAUS MAINZER

Keine Technologie hat wohl in den letzten sechzig Jahren derart eindringlich Wissenschaft und Gesellschaft verändert wie der Computer und darauf aufsetzende IuK-Systeme (Informations- und Kommunikationstechnologie). Angetrieben wurde diese Dynamik von einem rasanten Wachstum der Rechenkapazitäten (im Sinn des Mooreschen Gesetzes), einer rasanten Miniaturisierung der Rechnerbauteile (von Röhren und Transistoren zu Nanoelektronik und Quantencomputing), der Globalisierung der Informationssysteme und Automatisierung der Gesellschaft bei gleichzeitiger Verbilligung immer kleinerer und leistungsfähigerer IT-Systeme. Der Computer ist eine Schlüsseltechnologie unserer Gesellschaft. Wir schreiben mit PCs, informieren uns im Internet und kommunizieren per E-Mail oder Handy. Selbst wer sich diesem Computeralltag entzieht, vertraut sich computergestützten Versorgungs-, Verkehrs- und Gesundheitssystemen an.

Angefangen hat alles mit einigen wenigen Großraumrechnern. Das hatte zunächst auch der Erwartung der Experten entsprochen. Seit über sechzig Jahren treiben aber entgegen dieser Anfangsprognosen immer neue und kürzere Innovationszyklen eine Wachstumsbranche an, die immer kleinere, schnellere und preiswertere Mikroprozessoren überall in unserer Arbeits- und Lebenswelt miteinander vernetzt. Computerprodukte werden zu Metaphern für neue und revolutionäre Technik schlechthin. Es zeigt sich nämlich, dass Innovationen in anderen Branchen von Material- und Lebenswissenschaften bis zur Medizin ohne Computer nicht mehr denkbar und möglich sind. Trotz der erwähnten

Fehleinschätzungen und manchmal überzogener und falscher Erwartungen wird diese Dynamik nach wie vor vom Mooreschen Gesetz bestimmt, wonach sich alle 18 Monate die Rechenkapazitäten verdoppeln. Daher ist die Computertechnik, das ist die zentrale These dieses Beitrags, das Netzwerk, in dem sich die Innovationsdynamik in Wissenschaft, Technik und Gesellschaft vollzieht.

VOM RECHNER ZUM HOCHLEISTUNGSCOMPUTER

In der Industrie- und Militärforschung wurden bereits in den 1930er Jahren erste Spezialrechner für begrenzte Rechenaufgaben gebaut.¹ Von grundlegender Bedeutung war aber die Entwicklung von universellen programmgesteuerten Computern, die für unterschiedliche Anwendungen programmiert werden können. Am 11. April 1936 meldete Konrad Zuse sein „Verfahren zur selbsttätigen Durchführung von Rechnungen mit Hilfe von Rechenmaschinen“ zum Patent an. 1938 war mit der Z1 eine erste mechanische Version fertig, die 1941 durch die Z3 mit elektromechanischen Relaischaltern ersetzt wurde. Z3 war der erste programmkontrollierte Computer mit einem Relaispeicher von 2600 Relais für 64 Worte mit einer Wortlänge von je 22 Bit. Die Multiplikationszeit der Z3 betrug 3 Sekunden.²

Der erste vollelektronische Rechner mit 18.000 Elektronenröhren war ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Automatic Calculator), der 1946 von J. Presper Eckert und John W. Mauchly fertiggestellt wurde (Multiplikationszeit 3 Millisekunden). Im selben Jahr schlug der ungarisch-amerikanische Mathematiker John von Neumann (1903-1957) seine bahnbrechenden Konzepte zur Konstruktion eines universellen Computers vor, der technischen, wissenschaftlichen und kommerziellen Zwecken genügen sollte.³ Bis heute orientieren sich die meisten Rechenanlagen an den Strukturprinzipien eines von-Neumann-Computers. Die Struktur eines von-Neumann-Computers ist unabhängig von den zu bearbeitenden Problemen.

Seit den 1950er Jahren werden Computergenerationen unterschieden, wobei jede Generation durch die verwendete Schaltkreistechnologie charakterisiert ist. In der ersten Generation bis Ende der 1950er

1 Bauer 2009.

2 Zuse 1970.

3 Randell 1975.

Jahre werden Elektronenröhren als Schaltelemente mit einer Geschwindigkeit von etwa 1000 Additionen pro Sekunde verwendet. In der zweiten Generation bis Ende der 1960er Jahre folgen Halbleiterschaltkreise mit Transistoren und Dioden, die eine Geschwindigkeit von 10.000 Additionen pro Sekunde erlauben. In der dritten Generation seit Mitte der 1960er Jahre werden teilweise integrierte Schaltkreise mit einer Geschwindigkeit von circa 500.000 Additionen pro Sekunde benutzt. In der vierten Generation seit Anfang der 1970er Jahre überwiegen hochintegrierte Schaltkreise mit einer Geschwindigkeit von ca. 10 Millionen Additionen pro Sekunde. In der fünften Generation seit Anfang der 1980er Jahre gibt es höchstintegrierte Schaltkreise mit mehreren Prozessoren auf einem Chip (also auf einem Plättchen aus einem Halbleitermaterial wie etwa Silizium). Damit sind wir in der jüngsten Technikgeschichte des Computers angelangt.⁴

Mit seinen Rechenleistungen wird der Computer zu einer Querschnittstechnologie, die in nahezu allen wissenschaftlichen Disziplinen und Lebensbereichen unverzichtbar ist. Wissenschaftliche Durchbrüche sind ohne Computer nicht mehr möglich.⁵ Die Beispiele reichen von den millionen- und milliardenschweren Forschungsprogrammen der Energie- und Elementarteilchenphysik im CERN bis zur Bioinformatik, Gentechnologie und Systembiologie. So wurden automatische DNA-Sequenzierungsgeräte zum ersten Mal vor 15 Jahren vorgestellt und konnten inzwischen zu Höchstleistungsmaschinen mit einer Sequenzierungsleistung von rund 500.000 Basenpaaren pro Tag weiterentwickelt werden. Die mit diesen Sequenzierungsapparaten ausgestatteten internationalen Genomforschungszentren des Genomsequenzierungskonsortiums schaffen in Computernetzen eine Sequenzierungsleistung von 172 Millionen Basen pro Tag oder 2000 Basen pro Sekunde. Das Genomprogramm, das mit der Zusammenstellung der menschlichen Gene 2001 einen vorläufigen Höhepunkt erreichte, war ein reduktionistischer Forschungsansatz, der durch immer größere Rechenleistungen immer kleinere Bausteine des Lebens entschlüsselte.

Nun stehen wir in der Systembiologie vor einer unvergleichlich viel schwierigeren Aufgabe: Wie lässt sich aus der enormen Datenflut über einzelne Komponenten das biologische Gesamtsystem der Zellen, Organe und Organismen erschließen?⁶ Riesige Genkarten über alle

4 Mainzer 1994; Ders. 1979.

5 Mainzer 2005a.

6 Mainzer 2010.

genetischen Wechselwirkungen und komplexe Stoffwechselnetzwerke sind in Computermodellen zu entschlüsseln, um komplexe Systemfunktionen wie Regulation, Kontrolle, Steuerung und Adaption in Wachstumsprozessen und der Evolution zu verstehen. Die Erwartungen sind gewaltig und in ihrer Realisierbarkeit noch nicht abschätzbar: Die „gläserne“ Zelle mit ihren Schaltplänen soll neue Möglichkeiten der genetischen Beeinflussung von Krankheiten (wie etwa Krebs und Herz-Kreislauf-Probleme), aber auch des Alterungsprozesses erlauben. Ohne Computermodelle von Zellen, Organen und Organismen mit gigantischen Rechenleistungen wird diese Hürde allerdings nicht zu nehmen sein. Die Schaltpläne der Systembiologie bilden dann die Grundlage für künstliche Organismen der Synthetischen Biologie.⁷

VOM RECHNER ZUM ROBOTER

Mit zunehmender Leistungsfähigkeit und Miniaturisierung von Computern werden Roboter zu Dienstleistern der Industriegesellschaft. Die japanische Robot Association sagt voraus, dass die Roboter der nächsten Generation bis zu 64,8 Milliarden US-Dollar für wirtschaftliche Aktivitäten bis 2025 erzeugen werden, wobei 43,2 Milliarden US-Dollar für Produktion und Löhne und 21,6 Milliarden US-Dollar für Anwendungen aufgewendet werden. Die Fukuoko World Robot Declaration vom Februar 2004 listet die japanischen Erwartungen für die Roboter der nächsten Generation auf, die mit Menschen koexistieren und sie im Alltag unterstützen sollen.

In der technischen Norm ISO (International Organisation of Standardization) 8373 werden Roboter noch als universell einsetzbare Handhabungsautomaten mit mindestens drei Bewegungsachsen definiert, deren Ablauffolgen ohne mechanischen Eingriff veränderbar (also ‚frei programmierbar‘) sind. Sie können also Handhabungs- und Fertigungsaufgaben vollautomatisch ausführen. Damit unterscheiden sie sich von Geräten, die von Menschen direkt gelenkt oder ferngesteuert werden. Historisch wird 1961 das erste amerikanische Patent für einen programmierbaren Manipulator erteilt. Erst der technische Fortschritt in der Computer- und Mikroelektronik, Regelungs- und Antriebstechnik machte den Einsatz von ersten Industrierobotern in

7 Vgl. den Beitrag von Müller-Röber und Weitze in diesem Band.

der Automobilindustrie möglich. Seit den 1980er Jahren werden sie in diesem Industriezweig für die Automatisierung von Montagearbeiten genutzt.

In der industriellen Produktionstechnik wird Robotik mit zunehmender Rationalisierung, Automatisierung und Komplexität der industriellen Fertigung unverzichtbar. Dabei stehen die Bereiche Montage und Handhabungstechnik im Vordergrund. Bei der industriellen Bildverarbeitung geht es um die informationstechnische Auswertung von Daten aus allen Phasen des Produktionsprozesses. Sie werden sowohl für Steuerungsaufgaben als auch zur Dokumentation der Produktqualität verwendet. Mit computergestützter Robotersteuerung kommt die Informatik ins Spiel. Die Anwendungen reichen vom massenhaften Einsatz preiswerter Personal Computer (PC) bis zu parallelen Mehrprozessorsystemen. In konventioneller Technik sorgen Regelkreise und Filter dafür, dass Bewegungsabläufe sich an Sollwerten orientieren. Dabei werden auch bereits Fuzzy-Regler eingesetzt, um größere Flexibilität zu erreichen.

Ingenieure beginnen damit, Industrieroboter als komplexe dynamische Systeme zu begreifen, um komplexe Bewegungsabläufe zu koordinieren. Beispiel sind handähnliche Greifwerkzeuge, die über taktile und visuelle Sensoren auch weiche Materialien wie zum Beispiel Textilien fassen können. Robotersteuerung über visuelle optische Sensoren setzt Stereokameras voraus, die dreidimensionale Bilder der Umgebung erzeugen. Um komplexe Bewegungssysteme zu realisieren, müssen reale Produktionsabläufe vorher geplant, programmiert und optimiert werden. Dazu werden mittlerweile Visualisierungen und Virtualisierungen auf dem Computerbildschirm vorgenommen. Ein Roboter kann in solchen Szenarien auf seine Positioniergenauigkeit und sein dynamisches Verhalten getestet werden, bevor er in Hardware gebaut wird.

Bei der Programmierung von Industrierobotern sind immer komplexere Roboterumgebungen zu berücksichtigen. Um zum Beispiel die Bewegungsbahn eines Roboterarms möglichst optimal und kollisionsfrei zu programmieren, wird auch Soft Computing (etwa mit genetischen Algorithmen, neuronalen Netzen und Fuzzy Logik) eingesetzt.⁸ Im Rahmen der Bionik haben sich Ingenieure seit den 1960er Jahren für Evolutionsstrategien der Natur interessiert. Die Gesetze der biologischen Evolution sollten im Computer angewendet werden, um ge-

8 Mainzer 1997.

eignete Baupläne für technische Verfahren zu finden. Im Biocomputing ist genetisches Programmieren heute ein Standardverfahren.⁹

Serviceroboter sind für viele gefährliche und unangenehme Arbeiten in der Entwicklung und Erprobung geeignet. Dazu gehören die fernbediente Brandbekämpfung, der Einsatz in gefährlichen Erdbeben- oder Vulkangebieten, Fassadenreinigung an Hochhäusern oder die Inspektion von Gas-, Öl-, oder Abwasserröhren. Ob in Astronautenkapseln im Weltraum, Pilotencockpits in Flugzeugen oder in Tiefseekapseln, ob in der Industrieproduktion oder in Operationssälen, überall werden Roboter mit präintelligenten motorischen Fähigkeiten unverzichtbar sein. Ziel sind zudem Haushaltshilfen in jedermanns Wohnung. Serviceroboter werden alles Spektakuläre verlieren und wie selbstverständlich in die Lebenswelt des Menschen integriert sein, da er sie ohne diese Systeme nicht mehr beherrschen könnte.

Während solche Systeme im menschlichen Größenbereich operieren, werden mit wachsender Miniaturisierung der Technik auch Miniroboter mit winzigen Mikroprozessoren notwendig, die z. B. bei der Fertigung in der Feinmechanik oder der Behandlung einzelner biologischer Zellen in der medizinischen Forschung zum Einsatz kommen. Mikroroboter, die unter einem Lichtmikroskop oder sogar Rasterelektronenmikroskop arbeiten, sind eine große Herausforderung für Computertechnik, Mikroelektronik und Materialforschung. Notwendig werden feinste Materialstreifen („smart materials“), die sich unter geeigneter Spannung millimetergenau in gewünschter Weise verformen. Nadelförmige Roboterarme oder Pinzettengreifer könnten an Zellen operieren. Aktuatoren der Miniroboter verwenden Antriebskräfte, die auf winzige elektrostatische oder elektromagnetische Wirkungen aufbauen. Die gesamte computergestützte Ansteuerungs- und Leitungselektronik muss auf kleinen Platinen untergebracht sein. Mit optischen und taktilen Mikrosensoren ausgestattet, entstehen technische Computersysteme, die Montagearbeiten im Mikrobereich übernehmen.

Roboter müssen also nicht wie Menschen aussehen. Genauso wie Flugzeuge nicht wie Vögel aussehen, gibt es je nach Funktion auch andere angepasste Formen. Humanoide Roboter sind Roboter, die eine menschliche Form besitzen. Es stellt sich die Frage, welche Eigenschaften und Fähigkeiten Humanoidroboter zu welchem Zweck besitzen sollten. Humanoidroboter sollten direkt in der menschlichen Um-

9 Mainzer 2005b.

gebung wirken können. In der menschlichen Umwelt ist die Umgebung auf menschliche Proportionen abgestimmt. Die Gestaltung reicht von der Breite der Gänge über die Höhe einer Treppenstufe bis zu Positionen von Türklinken. Für nicht menschenähnliche Roboter (die sich etwa auf Rädern bewegen und mit anderen Greifern statt Händen ausgestattet sind) müssten also große Investitionen für Veränderungen der Umwelt ausgeführt werden. Zudem sind alle Werkzeuge, die Mensch und Roboter gemeinsam benutzen sollten, auf menschliche Bedürfnisse abgestimmt. Nicht zu unterschätzen ist die Erfahrung, dass humanoide Formen den emotionalen Umgang mit Robotern psychologisch erleichtern.

Während Humanoidroboter in Literatur und Film schon früh auftreten, werden die ersten technischen Exemplare vergleichsweise spät entwickelt. Der Grund ist einfach die späte Entwicklung der aufwendigen Basistechnologien. ABOT-1 (benannt nach der Waseda University in Japan) war 1973 der erste Humanoidroboter, der Objekte visuell erkennen konnte, ein Gehör besaß und über einen künstlichen Mund mit Menschen kommunizierte. Er hatte druckempfindliche Hände, mit denen er Gegenstände bediente. Zudem ging er wenigstens langsam auf zwei Beinen. 1984 folgte der klavierspielende WABOT-2. 1996 stellte die Firma Honda den 1,80 Meter großen und 210 Kilogramm schweren Humanoidroboter P2 vor, der erstmals mit einem internen Rechner und Batterie ausgestattet war und daher mit hoher Zuverlässigkeit den Gang auf zwei Beinen beherrschte. 1997 folgte der 1,60 Meter große und 130 Kilogramm schwere P3 und schließlich im Jahr 2000 der 1,20 Meter große und 43 Kilogramm schwere ASIMO, also Roboter, die leichter, effektiver und kleiner werden.

Humanoidroboter haben nicht nur zwei Beine und zwei Arme. Sie verfügen über optische und akustische Sensoren. In Bezug auf Platz und Batterielaufzeiten gibt es bisher bei den verwendbaren Prozessoren und Sensoren Einschränkungen. Miniaturisierungen von optischen und akustischen Funktionen sind ebenso erforderlich wie die Entwicklung von verteilten Mikroprozessoren zur lokalen Signalverarbeitung. In der Humanoidrobotik ist Japan bisher führend. Das japanische Wirtschafts- und Industrieministerium verfolgt seit 1998 das HRP (Humanoid Robotics Project). Bis 2010 sollte sich danach ein Humanoidroboter frei in normaler Umgebung bewegen, Treppen und Hindernisse überwinden, selbstständig Wege suchen, nach einem Fall beweglich bleiben, Türen selbstständig betätigen und auf einem Arm

stützend Arbeit erledigen können. Ein Humanoidroboter könnte dann im Prinzip so gehen wie ein Mensch. Dieses Ziel wurde bisher nur teilweise erreicht. Zwar bewegen sich Humanoidroboter heute schon durchaus menschenähnlich, aber allein aufgrund beschränkter Batterieleistung zeitlich nur sehr begrenzt.

Nach dem japanischen Humanoid-Robotik-Programm soll der Roboter bis 2015 motorische Aufgaben mit Händen selbstständig ausführen können. Dafür benötigt er dreidimensionale optische Sensoren, die die Beschaffenheit, Position und die Richtung eines Objekts wahrnehmen, eine Hand, die diese Aufgabe ausführen kann, sowie Kraftsensoren, um den Zustand der Manipulatorhand beim Greifen eines Objekts zu erkennen und die Arbeitsschritte zu planen. Das Ziel für 2020 wäre ein Humanoidroboter, der in der Wohnung des Menschen mit ihm interaktiv zusammenarbeitet. Mit der Realisierung dieses Ziels wäre das endgültige Ziel des HRP erreicht. Allerdings dürfte der Humanoidroboter keine Menschen verletzen oder die Umgebung beschädigen. Sicherheit und Kraft, die für Bewegung und Arbeit benötigt werden, müssten gleichermaßen gewährleistet sein. Erst dann steht ein Serviceroboter für den Menschen zur Verfügung, der im Prinzip in jedem Haushalt einsetzbar ist.

VOM RECHNER ZUR ERWEITERTEN REALITÄT

Unter dem Eindruck des sich rasch ausbreitenden Internets¹⁰ meinte man in den 1990er Jahren, dass sich unser soziales und wirtschaftliches Leben vollständig in die virtuelle Welt von Computern und Laptops verlagern werde. Das ist bekanntlich nicht eingetreten, aber seit Ende der 1990er Jahre breiten sich Kleingeräte („Smart Devices“) für spezielle Zwecke unterhalb der Leistung eines PCs mit geringem Energieverbrauch und einfachen Bedienungsflächen aus, die immer mehr unserer Lebensbereiche betreffen. Im Unterschied zur Konzentration und Zentralisierung von Rechen- und Speicherkapazität in einzelnen Computern werden Computerfunktionen dezentral ausgelagert und in die Geräte verteilt, wo sie gebraucht werden. Die Informatik spricht von der ‚ubiquitären‘ Verteilung solcher Computerfunktio-

10 Berners-Lee 1999.

nen in technischen Infrastrukturen und nennt diese Richtung daher auch „Ubiquitous Computing“.¹¹

Bekanntestes Beispiel sind mobile Telefone („Handy“) für multimediale Kommunikation. Zentimetergroße Geräte für kurze Nachrichten, Folien in der Größenordnung von Papierseiten, handliche E-Bücher oder E-Zeitungen und Displays in der Größe von Tafeln und Pinnwänden lassen sich in unsere Berufs-, Wohn- und Alltagswelt integrieren. Die Bedienung ist nur noch haptisch durch Berühren der Gegenstände oder Bewegen in entsprechenden elektromagnetischen Feldern. Keyboard und Bildschirm erweisen sich als überholte Interaktionskrücken von Mensch und Computer. Sie sind die Eierschalen, in denen sich die Herkunft des PCs aus der Schreibmaschinen- und Fernsehetechnik verrät. Im Ubiquitous Computing bedarf es keiner Wissensrepräsentation und Computergrundkenntnisse für den technischen Gebrauch. Die Technik wird unsichtbar und verschwindet buchstäblich in den Geräten. Wie der Lichtschalter, den jeder ohne Grundkenntnisse von Maxwells Elektrodynamik bedienen kann, wird Computertechnik im Ubiquitous Computing alltäglich. Telematisch über das Internet und Satelliten verbunden baut sich eine weltweite computerisierte Lebenswelt auf.

An die Stelle virtueller Realität (virtual reality), die häufig als Gegenwelt zur physischen Realität verstanden wurde (bis hin zur Wirklichkeitsflucht), tritt eine erweiterte Realität (augmented reality), in der Computerfunktionen unseren Alltag durchdringen und unsere natürlichen Möglichkeiten der Mobilität und Kommunikation erweitern und verstärken.¹² Telematisch vernetzt schaffen sie Systemumgebungen mit wachsender Komplexität, in denen sich unser Leben vollzieht.¹³

VOM RECHNER ZU CYBERPHYSICAL SYSTEMS

Klassische Computersysteme zeichneten sich durch eine strikte Trennung von physischer und virtueller Welt aus. Steuerungssysteme der Mechatronik, die z. B. in modernen Fahrzeugen und Flugzeugen eingebaut sind und aus einer Vielzahl von Sensoren und Aktuatoren bestehen, entsprechen diesem Bild nicht mehr. Diese Systeme erkennen

11 Mattern 2007; vgl. den Beitrag von Herzog in diesem Band.

12 Mainzer 1999.

13 Mainzer 2008; Ders. 2007.

ihre physische Umgebung, verarbeiten diese Informationen und können die physische Umwelt auch koordiniert beeinflussen. Damit steht die Computertechnik vor der neuen Herausforderung, die digitale Welt des Computers mit der physischen Welt der Analogsignale, die von Sensoren und Aktuatoren verarbeitet werden, zu verbinden.

Der nächste Entwicklungsschritt nach den mechatronischen Systemen sind die „Cyberphysical Systems“ (CPS), die sich nicht nur durch eine starke Kopplung von physischem Anwendungsmodell und dem Computer-Steuerungsmodell auszeichnen, sondern auch in die Arbeits- und Alltagsumgebung eingebettet sind (zum Beispiel integrierte intelligente Energieversorgungssysteme von Ländern und Erdteilen).¹⁴ Durch die vernetzte Einbettung in Systemumgebungen gehen CPS-Systeme über isolierte mechatronische Systeme hinaus. CPS bestehen aus vielen vernetzten Komponenten, die sich selbstständig untereinander für eine gemeinsame Aufgabe koordinieren. Sie sind damit auch mehr als die Summe der vielen unterschiedlichen smarten Kleingeräte im Ubiquitous Computing, da sie Gesamtsysteme aus vielen intelligenten Teilsystemen mit integrierenden Funktionen für bestimmte Ziele und Aufgaben (zum Beispiel effiziente Energieversorgung) realisieren. Dadurch werden intelligente Funktionen von den einzelnen Teilsystemen auf die externe Umgebung des Gesamtsystems ausgeweitet. Wie das Internet werden CPS zu gigantischen Maschinen, die aber neben den Informationsflüssen zusätzlich (wie mechatronische Systeme und Organismen) noch Energie-, Material- und Stoffwechselflüsse integrieren.

Ein erstes Beispiel sind intelligente Stromnetze (Smart Grids), die neben dem herkömmlichen Stromtransport auch Datenkommunikation erlauben, um den Anforderungen für einen hochkomplexen Netzbetrieb zu genügen. Der Trend geht zu globalen und länderübergreifenden Netzstrukturen wie dem Internet, in dem Blockheizkraftwerke zur Erzeugung von Strom aus fossiler Primärenergie ebenso vertreten sind wie erneuerbare Quellen mit Fotovoltaikanlagen, Windkraftanlagen, Biogasanlagen. Wohnhäuser oder Büroanlagen können zugleich lokale Stromerzeuger sein, die sich selbst oder ihre Umgebung mit Energie versorgen.

Smart Grids bezeichnen ganzheitliche Organisationen des Stromnetzes zur Steuerung, Lastenverteilung, Speicherung und Erzeugung von elektrischer Energie. In ihrer Dynamik und Struktur besitzen sie

14 Vgl. Beitrag von Broy in diesem Band.

auffallende Ähnlichkeit mit den komplexen Proteinnetzen der Systembiologie, die den Energiehaushalt einer Zelle regulieren. Durch Smart Grids lassen sich Engpässe, Qualitätsmängel und versteckte Wertschöpfungspotenziale aufdecken, unnötige Kostenverursacher eliminieren sowie Investitionsplanung und Instandhaltung optimieren. Entscheidend für den Grad der Intelligenz dieser Netze ist die Fähigkeit, Informationen aus den einzelnen Netzelementen wie zum Beispiel Erzeugungsanlagen, Verbraucher oder Verteilungsstationen in Echtzeit abrufen und verarbeiten zu können. Dazu gehören auch automatische Verhandlungen über bedarfsorientierte lokale Stromversorgung durch virtuelle Agenten im Kommunikationsnetz, die in Echtzeit abgewickelt werden müssen, um wirksam zu werden.

Smart Grids mit integrierten Kommunikationssystemen realisieren also eine dynamisch geregelte Energieversorgung. Sie sind ein Beispiel für die Entwicklung großer und komplexer Realzeitsysteme nach den Prinzipien von Cyberphysical Systems. Die Reserveenergie zum Ausgleich von kurzfristigen Lastenspitzen oder Spannungseinbrüchen wird traditionell zentral von Großkraftwerken vorgehalten. Das besprochene Modell löst das Problem durch dynamisch reagierende Verhandlungsstrategien in Echtzeit. Das Hauptproblem bei Umstellung auf erneuerbare Energien liegt in der großen Zahl von Rand- und Nebenbedingungen, die mit dem funktionalen Betrieb ebenso zu tun haben wie mit Fragen der Sicherheit, Verlässlichkeit, zeitlicher Verfügbarkeit, Fehlertoleranz und Anpassungsfähigkeit. Cyberphysical Systems mit dezentralen und Bottom-up Strukturen sind daher die Antwort auf die zunehmende Komplexität unserer Versorgungs- und Kommunikationssysteme, mit denen die Menschheit – so könnte man es ausdrücken – in einem computergestützten Superorganismus zusammenwächst.

MENSCH, COMPUTER UND GESELLSCHAFT – QUO VADIS?

Welche Zukunftsperspektiven ergeben sich für die Entwicklung von Mensch, Computer und Gesellschaft? Bio-, Gen- und Computertechnologie werden zusammenwachsen. Setzt sich die Evolution auf der Grundlage dieser Technologien im Umbau des Menschen fort? Sind wir am Ende die ‚glücklichen Roboter‘, die uns Marvin Minsky seit

Jahren verspricht, oder stürzen wir ab in die Robotertechnokratie, vor der Bill Joy warnt? Transformiert sich die Menschheit in einen Superorganismus, in dem Computertechnik, Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) das Gehirn und Nervensystem bilden?

Wissenschaftlich-technische Grenzen haben sich zwar bisher immer als vorläufig erwiesen. Ob aber die mentale und psychische Verfassung des Menschen immer in der Lage sein wird, sich den neuen Lebensbedingungen einer technisch-wissenschaftlichen Zivilisation anzupassen, ist keineswegs erwiesen. Der entscheidende Maßstab wird die Lebensqualität sein, die sich durch Technik und Wissenschaft verbessert und nicht das utopische Ziel einer sich selber perfektionierenden Spezies. Wenigstens in demokratischen Gesellschaften wird die Akzeptanz von Technologie auch über die Zukunft von Technologie entscheiden. Wirtschaft wird nur dort investieren, wo Technologieprodukte Akzeptanz auf den Märkten finden. Gerade die Computertechnologie liefert hinreichend Beispiele, wie manch geplante Entwicklungen sich als Flops und andere unverhofft als Trendsetter erwiesen – vom Großrechner bis zu PCs, Internet, Smart Devices und Smart Grid.

LITERATUR

- Bauer, F. L.: *Kurze Geschichte der Informatik*, 2. Aufl., Paderborn: Wilhelm Fink, 2009.
- Berners-Lee, T.: *Weaving the web: The original design and ultimate destiny of the world wide web by its inventor*, San Francisco/CA: Harper One, 1999.
- Mainzer, K.: Entwicklungsfaktoren der Informatik in der Bundesrepublik Deutschland. In: Van den Daele, W./Krohn W./Weingart, P. (Hrsg.): *Geplante Forschung. Vergleichende Studien über den Einfluss politischer Programme auf die Wissenschaftsentwicklung*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1979, S. 117-180.
- Mainzer, K.: *Computer – Neue Flügel des Geistes*, Berlin: de Gruyter, 1994.
- Mainzer, K.: *Gehirn, Computer, Komplexität*, Berlin: Springer, 1997.
- Mainzer, K.: *Computernetze und virtuelle Realität. Leben in der Wissensgesellschaft*, Berlin: Springer, 1999.
- Mainzer, K.: *Computerphilosophie – Eine Einführung*, Hamburg: Junius, 2005a.

- Mainzer, K.: *KI – Künstliche Intelligenz. Grundlagen intelligenter Systeme*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2005b.
- Mainzer, K.: *Thinking in complexity. The computational dynamics of matter, mind, and mankind*, 5. Aufl., Berlin: Springer, 2007.
- Mainzer, K.: *Komplexität*, Paderborn: UTB-Profile, 2008.
- Mainzer, K.: *Leben als Maschine? Von der Systembiologie zu Robotik und Künstlicher Intelligenz*, Paderborn: Mentis, 2010.
- Mattern, F. (Hrsg.): *Die Informatisierung des Alltags. Leben in smarten Umgebungen*, Berlin: Springer, 2007.
- Randell, B. (Hrsg.): *The origins of digital computers – Selected papers*, Berlin: Springer, 1975.
- Zuse, K.: *Der Computer – mein Lebenswerk*, Berlin: Springer, 1970.

Ubiquitous Computing: Intelligente Objekte in Beruf und Alltag

OTTHEIN HERZOG

Der Begriff des Ubiquitous Computing, auch als Pervasive Computing, Ambient Intelligence, Post PC Computing, Calm Computing, oder Augmented Computing bezeichnet, wurde maßgeblich geprägt durch Mark Weiser,¹ der schon 1988 in XEROX Palo Alto Research Center (PARC) von einer Vielzahl von „Intelligenten Objekten“ im beruflichen und privaten Umfeld eines Menschen ausging. Er beschreibt die Computer des 21. Jahrhunderts als diametral dem PC mit seinem alleinigen Aufmerksamkeitsanspruch entgegengesetzt: „The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.“² Dieses Verschwinden von technologischer Infrastruktur im Fall des Computers beschreibt er wie folgt: „The challenge is to create a new kind of relationship of people to computers, one in which the computer would have to take the lead in becoming vastly better at getting out of the way, allowing people to just go about their lives.“³ Auch wenn er seine Beispiele vor allem aus einer Büro-Umgebung bezog, sahen er und seine Kollegen schon vor zwanzig Jahren sehr klar, dass diese andere Art, Computer als Assistenten und eben nicht als „dumme Helfer“ zu sehen, sich im Prinzip auf alle Lebensbereiche erstrecken kann.

1 Weiser 1991, S. 94.

2 Ebd., S. 94.

3 Weiser 1993, S. 76.

„Since we started this work at Xerox Palo Alto Research Center (PARC) in 1988 a few places have begun work on this possible next-generation computing environment in which each person is continually interacting with hundreds of nearby wirelessly interconnected computers. The goal is to achieve the most effective kind of technology, that which is essentially invisible to the user. To bring computers to this point while retaining their power will require radically new kinds of computers of all sizes and shapes to be available to each person.“⁴

INTELLIGENTE OBJEKTE

Vor mehr als zwei Jahrzehnten wurde der Grundstein dafür gelegt, dass wir heute von „Intelligenten Objekten“ sprechen können, die uns im Alltag und Berufsleben unterstützen, auch wenn wir in weiten Bereichen immer noch dem Dogma des „Desktop Computing“ unterliegen.

Aber was macht „simple“ Gegenstände zu Intelligenten Objekten? Diese Objekte mit „Intelligenz“ können dadurch definiert werden, dass sie einen Mikroprozessor, einen Speicher, Sensoren zum Erfassen von Daten aus der Umgebung, eine eigene Energieversorgung, möglicherweise Aktoren und Funkschnittstellen zu anderen Intelligenten Objekten besitzen. In den nächsten Abschnitten werden drei Stufen von zunehmender „Intelligenz“ von Objekten diskutiert und anhand von Beispielen erläutert.

Die untere Schwelle zur „Objektintelligenz“ bilden passive RFID-Chips, in die für jeden Chip eine weltweit eindeutige Kennung codiert ist, die ausgelesen werden kann und es so ermöglicht, dass physikalische Objekte mit geeigneten Lesegeräten ohne direkten Kontakt aus der Ferne registriert werden können. (Manch einer hat diese Technologie schon beim Verlassen eines Kaufhauses durch einen RFID-initiierten Alarm kennen lernen dürfen, wenn vergessen worden war, das RFID-Etikett von einem gekauften Gegenstand zu entfernen...) Mit Leseabständen von heute mehreren Metern ohne Sichtkontakt sind RFID-Chips z. B. nicht mehr aus Logistik-Anwendungen wegzudenken, da sie es ermöglichen, ohne (teure) menschliche Einwirkung EDV-Prozesse automatisch mit realen Gegenständen zu verknüpfen; die Erfassung logistischer Objekte wie Paletten oder Container ist zu

4 Weiser 1993, S. 75.

einem Stückpreis im Cent-Bereich möglich, so dass es auch vom betriebswirtschaftlichen Standpunkt aus tragbar wird, dynamische Zeit- und Ortsinformation von logistischen Objekten weiter zu verarbeiten.

Lesegeräte für RFID-Chips können auch als Sensoren an eingebauete Computer angeschlossen sein: diese Steigerung der Fähigkeiten des Objekts erlaubt es, individuelle und flexible Aktionen aufgrund von verschiedenen RFID-Informationen dezentral am Objekt selbst zu initiieren – eine weitere Stufe von „Intelligenz“ in Objekten. Hier ist z. B. daran zu denken, dass ein RFID-Lesegerät an einem Einkaufswagen angebracht ist, mit dem in einem Supermarkt die RFID-Tags von Waren ausgelesen werden können. Neben der Aufsummierung der Preise der bisher in den Wagen gelegten Waren können Hinweise auf Sonderangebote verwandter Artikel oder auch auf besondere Eigenschaften der ausgewählten Waren gegeben werden, wie Kalorien- und Zuckergehalt und Warnungen vor Allergien, die sogar auf den jeweiligen Kunden zugeschnitten sein können (der selbst über einen RFID-Chip in seiner Kundenkarte identifiziert werden kann).

Ein weiteres Beispiel ist der „Intelligente Container“⁵, der über miteinander vernetzte Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren verfügt und so die entsprechenden Bedingungen während des Transports empfindlicher Lebensmittel (zum Beispiel Früchte) überwachen und im Endausbau auch optimal steuern kann. Wenn man bedenkt, dass bisher bei dem Transport von Bananen aus Übersee rund 3 Prozent dieser empfindlichen Früchte verderben, liegt das Sparpotenzial durch Intelligente Container auf der Hand.

Die leistungsfähigste Stufe Intelligenter Objekte wird erreicht, wenn sie zusätzlich auch noch drahtlos untereinander bzw. mit anderen Intelligenzen Objekten kommunizieren können. Dabei hängt es von der Anwendung ab, ob eine besonders sparsame Form der Kommunikation wie ZigBee (einige Kilobyte/Sekunde), Kommunikation auf nahe Entfernung, aber mit beschränkter Bandbreite mit Bluetooth (bis zu 2 Megabyte/Sekunde), mit hoher Bandbreite auf nahe Entfernung durch die verschiedenen Versionen von WLAN (11-300 Megabyte/Sekunde) oder sogar über beliebige Entfernungen über Mobilfunk/UMTS (mehr als 7 Megabyte/Sekunde) gewählt wird. Entscheidend ist, dass Intelligente Objekte nach außen kommunizieren können, um Informationen weiterzugeben oder z. B. aus dem Internet über WEB 2.0-Schnittstellen zu sammeln.

5 Herzog u. a. 2009, S. 58.

Beispiele hierfür sind Smartphones, die über GPS-Sensoren zur Lagebestimmung und über WLAN verfügen, das (ebenso wie auch GSM über die Basisstationen) für die Lokalisierung geeignet ist. Hierdurch ergibt sich eine Vielzahl von Anwendungen, wie das automatische Bestimmen und Kommunizieren von Aufenthaltsorten für Freunde, die Analyse von Bewegungsmustern in Zeit und Raum oder die Versendung von zielgerichteter Werbung. Da es damit möglich wird, sehr genaue Bewegungsprofile von Personen zu erstellen, wird an diesem Funktionspotenzial deutlich, dass durch das Intelligente Objekt Mobiltelefon neue und sehr weitgehende Gefahren in Bezug auf die informationelle Selbstbestimmung entstanden sind. Andererseits ist diese Technologie auch dafür geeignet, in einer Wohnumgebung alter Menschen Notfälle zu registrieren und den Arzt zu rufen, die korrekte Medikamenteneinnahme zu überwachen und darauf hinzuweisen, wann Lebensmittel nachgekauft werden müssen.

Es gibt zentrale Herausforderungen, die mit der breiten Benutzung Intelligenter Objekte verbunden sind: Die Entwicklung Neuer Technologien muss wesentlich interdisziplinärer arbeiten, als das heute in der Mehrzahl der Entwicklungsprojekte geschieht. Auf der technischen Seite muss eine kleinere und leichtere Energieversorgung für Intelligente Objekte möglich werden, um die nötigen Standzeiten zu sichern. Ebenso muss die Standardisierung der Schnittstellen Intelligenter Objekte gesichert werden, damit die Systeme verschiedener Hersteller zusammenarbeiten können. Da sich bei Intelligenzen Objekten durch die neue und enge Verflechtung von Technik und Mensch eine neue Qualität von Assistenzsystemen ergibt, die unser Alltagsleben stark verändern wird, sind auch neue rechtliche und gesellschaftliche Fragen zu beantworten. Und: die Nutzer müssen möglichst frühzeitig in die Entwicklung eingebunden werden, damit neue Produkte nicht an den Menschen und dem Markt vorbei entwickelt werden.

IMPLIKATIONEN FÜR DIE GESELLSCHAFT

In dem acatech-Projekt „Intelligente Objekte – Technische Gestaltung – Wirtschaftliche Verwertung – Gesellschaftliche Wirkung“⁶ wurde die Technik und Gestaltung Intelligenter Objekte eingehend unter-

6 Herzog/Schildhauer 2009.

sucht.⁷ Daneben wurden wirtschaftliche und ethische Überlegungen einbezogen,⁸ und es wurden Fragen der gesellschaftlichen Integration Intelligenter Objekte im Allgemeinen sowie am Beispiel der RFID-Technologie behandelt.⁹

Auf dieser umfassenden Analyse Intelligenter Objekte bauen die Empfehlungen von acatech in Bezug auf die Gestaltung, Technik und gesellschaftliche Verträglichkeit auf.¹⁰ Diese betreffen u. a. die systematische Nutzereinbindung. Bei Intelligenen Objekten und Systemen, die sich in der Anwendung der Wahrnehmung ihrer Nutzer entziehen, ist dafür Sorge zu tragen, dass Persönlichkeitsrechte der Nutzer, wie etwa der Wunsch nach Privatheit, zu jeder Zeit geachtet werden. Hinsichtlich einer mobilen Energieversorgung sollten Forschungsinteresse und Förderlandschaft der fundamentalen Bedeutung zuverlässiger kleinster Energieversorgungseinheiten für den Einsatz und den Markterfolg neuer verteilter Systeme Intelligenter Objekte gerecht werden. Es sollten zudem verstärkt Standardisierungsbemühungen gefördert werden, wie etwa Bemühungen um standardisierte Schnittstellen und Frequenzen, allerdings nicht im partikularen Interesse einzelner wirtschaftlicher Akteure. Zudem empfiehlt acatech in diesem Bereich, das Potenzial Intelligenter Objekte zur Optimierung der innerbetrieblichen und unternehmensübergreifenden Wertschöpfung und Leistungserstellung verstärkt zu erschließen. Außerdem muss sichergestellt werden, dass Nutzer Einsicht in alle im Zusammenhang mit ihren Handlungen erhobenen Daten und ihre Verwendung erhalten können. Das bestehende Datenschutzrecht muss angesichts der neuen Entwicklungen angepasst und fortentwickelt werden. Schließlich ist zu diskutieren, wie man die potenziellen Nutzer und Betroffenen dieser Technologien in die Ausgestaltung der Einsatzbedingungen mit einbinden kann und wie man eine institutionell verfestigte Form der Mitbestimmung oder Mitgestaltung der Nutzung verwirklichen kann. Dazu erscheinen offene soziale Netze, die sich auf Vertrauensbeziehungen gründen, besonders geeignet.

7 Kornwachs/Stephan 2009; Rammert 2009; Herzog/Schildhauer/Breckenfelder 2009; Stephan 2009; Ackermann u. a. 2009.

8 Schildhauer 2009; Kornwachs 2009.

9 Kornwachs/Coy 2009a; Kornwachs/Coy 2009b.

10 acatech 2009.

FAZIT

Die Neuen Technologien, die sich aus der Miniaturisierung der Mikroelektronik für Rechner, Sensoren und Aktoren und ihrer drahtlosen Kommunikationsfähigkeit ergeben, eröffnen neue Möglichkeiten der Kommunikation unter den Menschen, bisher nicht realisierbare Perspektiven der Gesundheitsversorgung zu geringeren Kosten, um auch im Alter länger aktiv und selbstständig bleiben zu können, Unterstützung durch Assistenzsysteme, um komplexe Tätigkeiten in der Arbeitswelt bewältigen zu können, und schließlich neue Freizeitangebote durch mobile Spiele.

Aus den Empfehlungen von acatech wird aber auch sehr deutlich, dass die Überlegungen Mark Weisers auf dem besten Weg sind, Realität zu werden und dass die Gesellschaft noch einen hohen Nachholbedarf hat, diese neuen Technologien sozialverträglich und gesellschaftlich akzeptabel in Bezug auf Datensicherheit und das Recht der informationellen Selbstbestimmung einzusetzen.

LITERATUR

- acatech (Hrsg.): *Intelligente Objekte – klein, vernetzt, sensitiv. Eine neue Technologie verändert die Gesellschaft und fordert zur Gestaltung heraus*, Berlin/Heidelberg: Springer 2009 (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 5).
- Ackermann, R./Breckenfelder, C./Brelage, C. u. a.: Wesentliche technologische Eigenschaften und Trends. In: Herzog, O./Schildhauer, T. (Hrsg.), *Intelligente Objekte*, 2009, S. 75-95.
- Herzog, O./Schildhauer, T. (Hrsg.): *Intelligente Objekte: Technische Gestaltung – Wirtschaftliche Verwertung – Gesellschaftliche Wirkung*, Berlin/Heidelberg: Springer, 2009 (acatech DISKUTIERT).
- Herzog, O./Schildhauer, T./Breckenfelder, C.: Beispiele Intelligenter Objekte. In: Herzog/Schildhauer, *Intelligente Objekte*, 2009, S. 35-61.
- Kornwachs, K./Stephan, P. F.: Das Mensch-Ding Verhältnis. In: Herzog/Schildhauer, *Intelligente Objekte*, 2009, S. 15-21.
- Kornwachs, K.: Ethische Überlegungen – Bedingungserhaltung verantwortlichen Handelns. In: Herzog/Schildhauer, *Intelligente Objekte*, 2009, S. 115-121.

- Kornwachs, K./Coy, W.: Gesellschaftliche Relevanz. In: Herzog/Schildhauer, *Intelligente Objekte*, 2009, S. 125-132.
- Kornwachs, K./Coy, W.: Selbstbestimmung und Sicherheitsbedürfnis am Beispiel RFID. In: Herzog/Schildhauer, *Intelligente Objekte*, 2009, S. 133-138.
- Rammert, W.: Hybride Handlungsträgerschaft: Ein soziotechnisches Modell verteilten Handelns. In: Herzog/Schildhauer, *Intelligente Objekte*, 2009, S. 23-33.
- Schildhauer, T.: Eine wirtschaftliche Perspektive der Intelligenen Objekte und Systeme. In: Herzog/Schildhauer, *Intelligente Objekte*, 2009, S. 99-114.
- Stephan, P. F.: Gestaltungsaufgaben für Intelligente Objekte. In: Herzog/Schildhauer, *Intelligente Objekte*, 2009, S. 63-73.
- Weiser, M.: The computer for the 21st century. In: *Scientific American* 265 (1991), Nr. 3, S. 94-104.
- Weiser, M.: Some computer science issues in ubiquitous computing. In: *CACM* 36 (1993), Nr. 7, S. 74-83.

Software Engineering: Potenziale einer immateriellen Technologie

MANFRED BROY

Software ist der Treibriemen unserer Informationsgesellschaft. Kein modernes Fahrzeug, kein heutiges Flugzeug, kein mobiles Telefon, kein Internet-Browser ist ohne Software funktionsfähig. Ob Gehaltsabrechnung, ob Überweisung, ob Bestellvorgang, ob Flugbuchung, ob Internetabfrage: Softwaresysteme verwalten Daten, steuern Vorgänge, verbuchen Einträge, übertragen Informationen. Die moderne Informationsgesellschaft hängt entscheidend von der Funktionsfähigkeit von Software ab. Software besteht aus Computerprogrammen und Daten, die gemeinsam eine für den Zielrechner (Computer) ausführbare Anwendung bilden und damit diesen Rechner für einen bestimmten Zweck zu nutzen erlauben. Software ermöglicht die gezielte Ausrichtung universeller Rechner auf vorgegebene Aufgaben und prägt damit die Nutzung der Rechner entscheidend. Dieser Beitrag erklärt, warum auch Software als Technologie zu verstehen ist, und zwar als eine ganz besondere: eine immaterielle Technologie.

DER PROZESS DER SOFTWAREENTWICKLUNG

Eine der schwierigsten und oft unterschätzten Herausforderungen bei der Entwicklung von Software liegt im Erfassen zutreffender *Anforderungen*, das heißt im Ermitteln und Festlegen, was die Software im Einzelnen leisten soll und wie sie in den vielen unterschiedlichen Situationen angemessen zu reagieren hat. Softwareentwicklung besteht

typischerweise aus einer Folge von Lösungsschritten, wobei das umfassende Problemverständnis von ganz besonderer Bedeutung ist. Für große Softwaresysteme sind umfangreiche Teams erforderlich, in denen die unterschiedlichsten Fachkenntnisse zusammengeführt werden. So arbeiten in Softwareentwicklungsteams Experten des jeweiligen Anwendungsgebiets, Spezialisten für die Mensch-Maschine-Interaktion, aber natürlich auch Softwareexperten, die sich mit Fragen der Architektur, der Qualität oder der Implementierung von Software gezielt befassen. Dies erfordert aufgrund der Abhängigkeiten zwischen den Themen eine enge, sehr kommunikationsintensive Zusammenarbeit.

Da Software heute oft riesige Umfänge annimmt, sind die Strukturierung der Software in so genannte *Softwarearchitekturen*, die Umsetzung der Architektur in eine Implementierung und das Sicherstellen, dass die Implementierung nachweisbar korrekt arbeitet, essentielle Aufgaben.

Die Softwareentwicklung ist nach wie vor einem schnellen Paradigmenwechsel unterworfen. Immer wieder entstehen neuartige Entwicklungsmethoden, Programmiersprachen, -konzepte und -plattformen. Da große Softwaresysteme oft über lange Zeiträume im Einsatz sind und über diese Zeiträume hinweg flexibel an sich ändernden Einsatzanforderungen angepasst werden müssen, ist ein wichtiger Trend die Beherrschung der Weiterentwicklung von Software. Dies heißt, dass existierende und sich im Betrieb befindliche Software mit vertretbarem Aufwand schnell und flexibel an neue Bedürfnisse angepasst werden kann.

DAS BESONDERE AN SOFTWARE

Software ist das Ergebnis eines Ingenieurprozesses. Allerdings ist Software im Gegensatz zu anderen bekannten Ingenieurleistungen ein immaterielles Produkt:

- Software stützt sich auf mathematische Logik und nicht auf die „klassische“ Mathematik stetiger Funktionen.
- Software schafft enge Bezüge zur Arbeits- und Denkweise von Menschen durch die Nähe zur Sprache und zur differenzierten Reaktion.

- Software ist immateriell, benötigt keinen Produktionsprozess und erfordert damit ein grundsätzlich anderes Konzept der Ökonomie.
- Software ist langlebig, wird über Jahrzehnte eingesetzt und erfordert eine beständige Wartung und Weiterentwicklung.
- Software kodifiziert Verhalten und steuert komplexe Vorgänge der Technik.
- Software bestimmt die Interaktion von Systemen mit ihren Nutzern und damit maßgeblich deren Arbeitsweise und Arbeitsplatzgestaltung.
- Software erfordert die kognitive Durchdringung des Anwendungsgebiets als Voraussetzung für ihre Entwicklung und erzwingt somit eine deutlich höhere Formalisierung und wissenschaftliche Erfassung.

Software ist in der Tat eine sehr spezifische Technologie. Das Charakteristische an Software ist, dass sie aus Computerprogrammen besteht. Programme sind formale Verhaltensbeschreibungen, die durch eine Maschine, den Rechner, ausgeführt werden können. Sie legen einen Rechenprozess fest, der den unterschiedlichsten Zwecken dienen kann. Klassische Beispiele sind die Durchführungen komplexer Berechnungen, das Steuern physikalischer Prozesse, das Übertragen von Nachrichten oder das Verwalten großer Datenmengen. Kern der Programme ist deren Programmlogik, in der niedergelegt ist, unter welchen Umständen welche Operationen ausgeführt werden. Liefert beispielsweise der Crashesensor in einem Fahrzeug ein entsprechendes Signal, dann kann über eine geeignete Bedingung die Auslösung des Airbags erfolgen.

Bei einer Software muss vorausgedacht werden, wie in ganz unterschiedlichen Situationen zu verfahren ist. Dabei muss mit großer Genauigkeit vorgegangen werden, damit alle etwaigen Sonderfälle Berücksichtigung finden. Dies erfordert tiefe Einsichten in das Anwendungsgebiet. Aufgrund der unglaublichen Geschwindigkeit der Rechner kann eine hohe Zahl logischer Operationen in nur wenigen Sekundenbruchteilen ausgeführt werden. Dies ermöglicht, dass softwaregesteuerte Systeme blitzschnell „in Echtzeit“ reagieren können. Daraus erklären sich die Mächtigkeit von Software und ihre nahezu unbeschränkte Einsatzbreite, insbesondere wenn die Software über Peripheriegeräte, wie Sensoren und Aktuatoren, unmittelbar mit den physikalischen Prozessen der Umwelt und andererseits über globale Netze

weltweit verbunden ist. Es entsteht das Phänomen der *Cyber-Physical Systems*.¹

SOFTWARE ENGINEERING: DIE ENTSTEHUNG EINER INGENIEURSDISZIPLIN

Software Engineering ist ein vergleichsweise junges Gebiet – gerade einmal 40 Jahre alt. Einer der Väter programmgesteuerter Rechner, die die technische Basis für die Softwaretechnik bilden, ist Konrad Zuse. Er entwickelte 1938 den ersten Rechner mit – noch begrenzter – Programmiermöglichkeit. An vielen Stellen wurde im Zweiten Weltkrieg an der Konstruktion von programmgesteuerten Rechnern gearbeitet. Typische Anwendungen in dieser Zeit waren das Erstellen von Artillerietabellen, die Berechnung von Flugbahnen oder die Entschlüsselung codierter Nachrichten. Nach Ende des Zweiten Weltkriegs nahm die Computertechnik einen schnellen Aufschwung und mit ihr der Bedarf an Programmen für die Rechner. Mit dem exponentiellen Wachsen der Leistungsfähigkeit der Rechner und der Größe der Speicher wuchs zugleich auch der Bedarf und Umfang von Software. Ein typisches Beispiel ist die Automobilindustrie in Hinblick auf die Speicherkapazitäten, Nachrichten- und Softwareumfänge in Fahrzeugen.

Ende der 1960er Jahre zeigte sich eine erste Krise bei der Entwicklung von Software. Es wurde deutlich, dass mit dem nunmehr erforderlichen Umfang und der damit einhergehenden Komplexität von Software die Erstellung von Software nicht länger ein reines Handwerk sein konnte, sondern nach wissenschaftlichen Grundlagen und ingenieurwissenschaftlicher Systematik verlangte. Im Jahr 1968 wurde der Begriff Software Engineering von Friedrich L. Bauer (Technische Universität München) im Rahmen einer internationalen Tagung in Garmisch-Patenkirchen geprägt und fand schnell internationale Aufmerksamkeit. Von der Prägung des Begriffes bis zur Schaffung einer

1 Der Begriff Cyber-Physical Systems (CPS) steht für domänenübergreifend und global mit weltweiten Diensten vernetzte softwareintensive Systeme und ihre vielfältigen Entwicklungs- und Nutzungspotenziale. CPS können weitgehend ortsunabhängig vernetzte und verteilte Dienste erbringen. Sie arbeiten kontextspezifisch, adaptiv, autonom, automatisiert und multifunktional. Daraus resultiert eine Fülle weitreichender Lösungs- und Anwendungsmöglichkeiten für unser Alltagsleben (Broy 2010).

wissenschaftlich vollständig etablierten Ingenieurdisziplin war es jedoch ein weiter Weg.

AKTUELLE UND ZUKÜNFTIGE HERAUSFORDERUNGEN

Heute existieren Softwaresysteme mit mehreren 100 Millionen Zeilen Programm. Ihre Erstellung erfordert viele Tausende von Entwicklerjahren. Große Softwareprojekte werden in Teams von Hunderten von Entwicklern bearbeitet. Die Beherrschung von Software Engineering wird für viele Bereiche der Wissenschaft, der Wirtschaft, aber auch für den Staat zum Schlüssel zu Innovationen. Viele der wissenschaftlichen und technischen Durchbrüche der letzten Jahre sind eng gepaart mit der Fähigkeit, Software zielgerichtet einzusetzen. Dies erfordert insbesondere die Modellierung von Anwendungsgebieten durch Mittel des Software Engineerings – ein Vorgang, bei dem die Zusammenhänge ganz unterschiedlicher Anwendungsgebiete mit Modellen der Informatik ganz und gar durchdrungen werden müssen. Oft ist diese Durchdringung eher kurzfristig motiviert durch die Schaffung von Softwaresystemen für eng umgrenzte Aufgaben. Später zeigt sich dann oft, dass die Notwendigkeit, die dabei zu betrachtenden Aspekte des Anwendungsgebietes mit Mitteln der Software zu erfassen, auf völlig neue Sichten und Einsichten in die entsprechenden Gebiete führt. Eines der herausragenden Beispiele dafür ist die Bioinformatik, aber auch die Medizininformatik, in der zunehmend Modelle, die im Umfeld des Software Engineerings entstanden sind, auch dafür eingesetzt werden, biologische Vorgänge zu modellieren. Jüngste Durchbrüche etwa im Bereich der Systembiologie, insbesondere der Modellierung komplexer biologischer Systeme, sind ohne leistungsstarke Software undenkbar.

Da Softwaresysteme für ganz unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden, die insbesondere auch wichtige Aufgaben unserer Gesellschaft berühren, sind Fragen der Sicherheit im Zusammenhang mit Softwaresystemen eine große Herausforderung. Dies betrifft sowohl die funktionale Sicherheit, das heißt das Sicherstellen, dass von der Software keine Gefahren bei ihrer Nutzung ausgehen, und die Daten- und Zugriffssicherheit, die dafür sorgt, dass weder die Software noch

die von ihr verwalteten Daten durch Unbefugte manipuliert und keine Angriffe auf diese Software vorgenommen werden können.

Die Zukunft der Softwaresysteme ist dadurch geprägt, dass durch sie immer weitere Anwendungsgebiete erschlossen werden und dass sie Schritt für Schritt von der starken Verzahnung mit der technischen Infrastruktur befreit wird. Ermöglicht wird das durch Plattformen, die es erlauben, Software auf einem hohen Abstraktionsniveau ausgerichtet auf die Logik der Anwendungen zu formulieren. Zentrales Element wird dabei die Vernetzung der Softwaresysteme. Das Zusammenspiel unterschiedlicher Softwareanwendungen ergibt ein schier unbegrenztes Potenzial für zukünftige Anwendungen. Durch das Zusammenwachsen der eingebetteten Softwaresysteme mit Anwendungen in den globalen Netzen und die dadurch entstehenden Cyber-Physical Systems wird die Software „ubiquitär“, also in alle Bereiche und Gegenstände integriert.² Software wird die primäre Grundlage für Assistenzsysteme und Werkzeuge der Menschen in Beruf und Freizeit. Software kann die zentralen Wissensinhalte verwalten und speichern, aber auch Dienste, Prozesse und Verfahrensweisen bereitstellen und unterstützen. Die Flexibilität, aber auch die Sicherheit unserer Gesellschaft hängen schon heute maßgeblich von Software ab. Dies wird sich in Zukunft noch drastisch verstärken.

Der Bedarf an hochleistungsfähigen Softwaresystemen geht von verschiedenen Anwendungsgebieten aus – sei es die Verkehrstechnik, die Medizin, die Kommunikationstechnik, die Produktionstechnik, das Wissensmanagement oder schlicht komplexe Verwaltungsaufgaben. Längst ist die Wartung und Weiterentwicklung, die Evolution von Software für Unternehmen erfolgskritisch. Softwaresysteme sind oft 20 Jahre und länger in Einsatz. Die Pflege, Anpassung und Weiterentwicklung bestimmen entscheidend die Fähigkeit der Unternehmen, auf sich schnell sich ändernde Anforderungen zu reagieren.

Die Möglichkeiten der Software sind dabei längst noch nicht ausgereizt. Schon heute liegt die Nutzung weit hinter den technischen Möglichkeiten zurück. Die Grenzen des Einsatzes von Software liegen nicht in der Technik, sondern in unserer Vorstellungskraft.

2 Vgl. den Beitrag von Herzog in diesem Band.

LITERATUR

Broy, M. (Hrsg.): *Cyber-Physical Systems: Innovation durch software-intensive eingebettete Systeme*. Berlin: Springer, 2010.

Die Automatisierung des Denkens, Sehens und Hörens. Kybernetik und Bionik als alte Neue Technologien

PHILIPP AUMANN

Neue Technologien sind – so ist auf der Homepage des BMBF zu lesen – durch ihre Zukunftsträchtigkeit definiert,¹ d.h. sie versprechen die Verbesserung des Lebens in unserem Land. Der Begriff sagt demnach nichts über Inhalte aus, sondern steckt lediglich das Feld einer übergreifenden Utopie ab. Insofern haben die Neuen Technologien auch eine Geschichte, nämlich eine der Interaktion von Wissenschaft und Gesellschaft, der öffentlichen und politischen Erwartungen sowie der Reaktion von Wissenschaftlern auf diese Erwartungen.

Beispielhaft möchte ich diese Wechselwirkungen anhand der Utopie der „Denkmaschinen“ und damit der Karriere der Kybernetik klären. Diese und nach ihr die Bionik und die Künstliche-Intelligenz-Forschung traten an, um geistige Prozesse, insbesondere das Sehen und Hören, technisch zu imitieren.² Dass dieses Ansinnen als etwas fundamental Neues und Zukunftsweisendes galt, war nicht der wissenschaftlichen Praxis, sondern der öffentlichen Debatte geschuldet. Insofern liegt der Ausgangspunkt dieses Beitrags in der öffentlichen Haltung gegenüber technischen Objekten und Verfahren der Informationsverarbeitung sowie deren Vermenschlichung durch den Begriff des Denkens. Anschließend wird betrachtet, wie Wissenschaft und Technik, repräsentiert durch ein spezielles wissenschaftliches Milieu von

1 Siehe <http://www.bmbf.de/de/1000.php> [Stand: 12.11.2009].

2 Vgl. den Beitrag von Kornwachs in diesem Band.

Nachrichtentechnikern aus München und Karlsruhe und darin namentlich den Leiter des Instituts für Nachrichtentechnik der TU München Hans Marko, auf das öffentliche Denken reagierten. Erst das Wechselverhältnis von Öffentlichkeit und Wissenschaft machte aus Technik eine „Neue Technologie“, die gleichermaßen Utopien wie Innovationen produzierte.

COMPUTER UND KYBERNETIK IN DER ÖFFENTLICHKEIT

Die elektronische digitale Rechenmaschine hat ihre Ursprünge in den späten 1940er Jahren. Bereits während sie Einzug in Wissenschaft und Wirtschaft hielt, thematisierten sie auch die Massenmedien. Schon die Technik an sich beeindruckte mit ihren zuvor nicht gekannten Zahlen bei Rechenleistungen und Speicherkapazitäten. Zudem verliehen die Massenmedien den Maschinen anthropomorphe Züge, indem sie Rechner mit Begriffen wie „Maschinen-“, „Elektronen-“ oder „Robot-Gehirn“ beschrieben. Die zentrale Frage richtete sich dahin, „ob Rechenautomaten wirklich ‚denken‘.“³ Besonders am Beispiel der automatischen Sprachübersetzung wurde immer wieder gezeigt, dass die Technik nun originär menschliche Geistesleistungen zu übernehmen vermochte.⁴ Der Computer erschien als der Kulminationspunkt technischer Entwicklungen und als Herausforderung an den Menschen. Man währte sich am Beginn einer Zeit, in der die „Supergehirne herrschen“.⁵

Als Experte für diesbezügliche Fragen wurde in erster Linie Norbert Wiener herangezogen, weil er in seinem Buch „Cybernetics or control and communication in the animal and the machine“, aber noch mehr in seinem zweiten Buch „The human use of human beings“⁶ als einer der wenigen Computerpioniere metatechnische Überlegungen

-
- 3 Maschinengehirn 1950, S. 38. Diese Perzeption zieht sich durch die gesamten 1950er Jahre, auch bei Automation 1955, S. 29 f.; Elektronengehirne 1956, S. 42. Einen Überblick über die Darstellung des Computers im Spiegel liefert Balles 1999.
 - 4 Thematisiert z. B. bei Maschinengehirn 1950, S. 38; Übersetzungsmaschinen 1958, S. 38 f.
 - 5 Ebd., S. 39.
 - 6 Wiener 1948; Wiener 1950.

zur Leistungsfähigkeit des Computers sowie zu sozialen und anthropologischen Konsequenzen der Neuen Technologie anstellte. Weil mit Wiener auch sein Begriff „Kybernetik“ ins öffentliche Bewusstsein rückte, war der Debatte um die gesellschaftliche Bedeutung des Computers ein klingender Titel vorgegeben. Die Kybernetik galt als die theoretische Grundlage für die Entwicklung des neuartigen technischen Objekts. Der Begriff war in dieser Hinsicht deckungsgleich mit dem der Computer Science. Das Nachrichtenmagazin „Der Spiegel“ etwa nahm explizit an, dass Computer „nach Wieners Theorie gebaut“⁷ würden. Auch der Dichter Gottfried Benn schrieb der Kybernetik die Bedeutung zu, dass sie alles, was der Mensch denke, in maschinelles Denken verwandeln könne.⁸ Damit wies Benn einer zweiten Bedeutungsebene den Weg. Schnell verband die Öffentlichkeit mit diesem schillernden Begriff alles, was mit Nachdenken über den Computer zu tun hatte. Die Kybernetik war die „Magie“ des neuen Computerzeitalters und Norbert Wiener ihr „Prophet“.⁹

Weil Wiener sich aber zu metatechnischen Problemen nur sehr vage äußerte und wenig konkretisierte, konnte jeder nichtwissenschaftliche Rezipient aus Wieners Schriften herauslesen oder in sie hineininterpretieren, was ihn interessierte und was mit seinem Vorwissen zu vereinbaren war. Am meisten faszinierte Laien wie Wissenschaftler an der Kybernetik, dass sie Mensch und Maschine gleich behandelte. Denn sie entsprach der individuellen Erfahrung einer immer weiter fortschreitenden Technisierung des Lebens und des Ersatzes des Menschen durch die Maschine.

Die gesellschaftliche Entwicklung, die dieser Erfahrung Ausdruck verlieh und damit diskursiv am engsten mit der Kybernetik verbunden war, war die Automatisierung von Industrie und Verwaltung. Nach dieser Vorstellung stellte die „mensenleere Fabrik“ die zentrale Auswirkung kybernetischer Maschinen auf die Gesellschaft dar.¹⁰ Computer agierten diesem Bild zufolge „als Steuerungsmechanismus und Befehlsorgan für Büros, Laboratorien und Fabriken“¹¹ und beherrschten zusammen mit der Firmenspitze und einem kleinen Stab

7 Elektronengehirne 1956, S. 46. So verwendet auch bei Automation 1955, S. 30; Leibniz 1966, S. 171.

8 Vgl. Benn 1949, S. 71.

9 Elektronengehirne 1956, S. 42.

10 Vgl. Beitrag von Kornwachs in diesem Band.

11 Beides Automation 1955, S. 21.

von Ingenieuren den Industriebetrieb. Der technologische Fortschritt führe zu einem Wirtschaftswachstum, das kleine, unrational arbeitende Betriebe zerstöre, Massenarbeitslosigkeit erzeuge und deshalb den Arbeitern schade. Im öffentlichen Bewusstsein entsprach die Kybernetik damit einer Automatisierungswissenschaft und war eher negativ konnotiert.

In den 1960er Jahren hatte sich die Öffentlichkeit an den Computer gewöhnt. Er war nicht mehr das Neue und Unerhörte schlechthin, sondern hielt allmählich Einzug in den Alltag. Mit der Gewöhnung an den Rechenautomaten ging auch eine Umdeutung des Begriffs Kybernetik ins Positive einher. In ihr wurde immer mehr ein Mittel zur rationalen Umgestaltung der Gesellschaft mittels der Neuen Technologie gesehen. Alles, was irgendwie im Zusammenhang mit Automatik, politischer Planung oder maschinellen Geistesprozessen stand, fand nun unter dem Dach der Kybernetik Platz. Sie diente oft nur „als modisches Synonym für Regelung, elektronische Berechnung und Automation“.¹² Die Unsicherheit über ihren Inhalt wurde aber auch in der Hochphase der Kybernetik-Rezeption nicht dadurch abgebaut, dass Wissenschaft und Technik den Inhalt der Kybernetik definiert und vermittelt hätten. Weil sie im Gegenteil nur wenige sichtbare Erfolge vorweisen konnte und Autoren sich vermehrt lediglich mit der fortschrittlichen Begrifflichkeit schmückten, war die Kybernetik nicht nur eine Mode, sondern sah sich gleichzeitig mit der negativen Seite eines Hypes konfrontiert: Sie wurde immer stärker als unseriös betrachtet. Durch das Missverhältnis „zwischen Aufsehen und konkreten Ergebnissen“ drohte die Kybernetik „ein Synonym für Jahrmarktsgelbe und Pseudowissenschaft zu werden“.¹³ Weil die in die Kybernetik gesetzten Hoffnungen nie erfüllt wurden, traute ihr ab den 1970er Jahren niemand mehr zu, die gesellschaftlichen Probleme zu lösen. Deshalb verschwand sie aus dem öffentlichen Fokus.

Allerdings wäre es falsch anzunehmen, dass die außerwissenschaftliche Öffentlichkeit nur „Utopien“ wahrnahm. Denn die „reale“¹⁴ Form der Kybernetik genoss durchaus auch massenmediale Aufmerksamkeit. Die Medien zeigten sogar großes Interesse an der Nutzbarmachung biologischen Wissens für die Technik. Allerdings bezeichne-

12 Zemanek 1961, S. 40.

13 Zemanek 1964, S. 171.

14 Diese Dichotomie ist angelehnt an Bauer 1969.

ten sie dieses Forschungs- und Entwicklungsfeld kaum mit dem Begriff Kybernetik, sondern eher mit „Biotechnik“ oder „Bionik“.¹⁵

KYBERNETIK UND BIONIK ALS WISSENSCHAFTEN

Von dieser gesellschaftlichen Dynamik rund um „Denkmaschinen“ profitierte die Kybernetik als Wissenschaft. Sie trat ab den frühen 1950er Jahren an, um informationsverarbeitende, sich selbst regelnde Systeme zu analysieren und die Ergebnisse dieser Analyse für eine technische Synthese bereitzustellen. Sie war gleichfalls eine Technologie, die solche Systeme künstlich nachzubilden versuchte und diese Nachbildungen einerseits als technische Entwicklungen dem Einsatz in der Praxis, andererseits der analysierenden Wissenschaft als Hilfsmittel zur Verfügung stellte. Sie erhob den Anspruch, all diese Systeme mit denselben Begriffen beschreiben und mit denselben Fragestellungen, Theorien und Methoden analysieren und synthetisieren zu können.

Die Kybernetik existierte allerdings nur idealtypisch als ein Ganzes. Tatsächlich zeichnete sie sich immer durch verschiedene Formen des Verständnisses und verschiedene Forschungsansätze, eine Uneinheitlichkeit, ja Amorphie aus. Es gab nie die eine Kybernetik, sondern immer nur verschiedene Formen und Ausprägungen, die sich je nach Forschungsinteressen und -fragen, Methoden und nach den prägenden Akteuren eigenständig entwickelten.

Die unterschiedlichen Ausprägungen der Kybernetik bewegten sich zwischen zwei Extremen. Auf der einen Seite wurde die Kybernetik als methodisches und heuristisches Hilfsmittel verstanden, das in verschiedenartigen Wissenschaften unabhängig vom materiellen Substrat des Untersuchungsobjekts anwendbar war. Auf der anderen Seite stand die Kybernetik als eine philosophische, anthropologische Theorie der funktionellen Gleichartigkeit aller informationsverarbeitenden Systeme, die zum Teil weltanschauliche Züge annahm. In diesem Sinne entwickelte sich „der kybernetische Totalitätsanspruch“,¹⁶ nach dem die Kybernetik alle denkbaren Erscheinungen der Natur und des Geistes analysieren und nachbilden könne.

15 Z. B. bei Biotechnik 1961; Tierpsychologie 1963.

16 Lutz 1973, S. 261.

Ebenfalls mit Informationsübermittlung und -verarbeitung beschäftigte sich die Bionik, deren Geburtsstunde 1960 auf dem Symposium „Bionics. Living prototypes – the key to new technology“ in Dayton, Ohio schlug. In der Bundesrepublik wurde sie einige Jahre später bekannt und hatte sich ihren Platz inmitten der Debatten um die Kybernetik geschaffen. Nach allgemeiner Meinung drehte sich die Bionik um die Frage, was die Technik von der Biologie lernen könne. Der Gedanke hinter der bionischen Frage war eindeutig anwendungsorientiert und darauf ausgerichtet, dass der Ingenieur mit Hilfe biologischen Wissens „neue Maschinen herstellen kann, die ihm das Leben erleichtern.“¹⁷ Die Nähe zur Kybernetik zeigte sich nicht nur in der Fragestellung, sondern auch darin, dass selbst Kybernetiker die Begriffe synonym verwendeten. Beispielsweise bezeichnete der Erlanger Physiologe Wolf Dieter Keidel die Kybernetik als Forschungsgebiet, das „im Laufe weniger Jahre unter dem Begriff der Bionics“ bekannt geworden sei.¹⁸

Innerhalb der kybernetischen Scientific Community galt die Bionik Ende der 1960er Jahre als die entscheidende Praxis, um das Wissen über organische Systeme zur Konstruktion „verbesserter technischer Systeme“¹⁹ zu befördern. Kybernetik orientierte sich dem Münchner Nachrichtentechniker Hans Marko zufolge stets in Richtung der wissenschaftlichen Wissensproduktion. Wenn hingegen die Entwicklung von elektronischen Modellen nicht als Hilfsmittel der wissenschaftlichen Analyse gedacht war, sondern einen technisch-wirtschaftlichen Zweck verfolgte, handelte es sich um Bionik. Die Probleme der automatischen Zeichenerkennung, lernender und adaptiver Rechenmaschinen zählten in diesem Verständnis nicht mehr zur Kybernetik. So verstanden, waren die Begriffe „Bionik“ und „technische Kybernetik“ austauschbar und fanden nur in verschiedenen Kontexten unterschiedliche Verwendungen.

Das Verständnis Markos ist aber nicht nur irreführend, sondern greift zu kurz, weil der Begriff Bionik üblicherweise für Technologien galt, die sich ein Vorbild an der Natur nahmen.²⁰ Während die Kybernetik nur Informationsprozesse nach organischem Vorbild technisch nachzubilden versuchte und lediglich Funktionsanalogien bildete,

17 Beziehung 1964, S. 286.

18 Keidel 1964, S. 769.

19 Jeweils Marko 1968, S. 22 f.

20 Etwa bei Rechenberg 1973, S. 465.

suchte die Bionik ganz allgemein nach natürlichen Vorbildern für technische Entwicklungen, also auch auf den Gebieten der Energie und der Materie, etwa im Bauplan von Tieren. Insofern wäre die Technische Kybernetik als das Teilgebiet der Bionik zu verstehen, das sich mit der Information beschäftigt.

Kybernetik, Bionik und – am Rande bemerkt – auch die KI-Forschung, die sich in der Bundesrepublik in den späten 1970er Jahren herausbildete²¹ und versuchte, „Künstliche Neuronale Netze“,²² d. h. Rechenmaschinen nach den Prinzipien und Strukturen organischer nachrichtenverarbeitender Systeme zu entwickeln, waren sich in den Fragestellungen und der theoretischen Basis äußerst ähnlich. Sie bildeten mit weiteren Disziplinen als komplementäre Teile das Ganze eines Feldes der Informationswissenschaften. Die Überschneidung der Forschungskonzepte offenbarte sich auch personell. Unterschiede zwischen den drei Gebieten lassen sich v. a. in zeitlicher Hinsicht feststellen: Die Kybernetik institutionalisierte sich seit den späten 1950er Jahren, die Bionik in den späten 1960er Jahren und die KI-Forschung seit der Mitte der 1970er Jahre. Jedes Mal erzeugten die Bemühungen und v. a. die Versprechungen der Akteure „eine Modeströmung oder Euphorie“,²³ und jedes Mal wollten Forscher Phänomene nachbilden, die sie „nicht genügend erkannt“²⁴ hatten. Die Grundthese der gleichrangigen Informationsverarbeitung in Organismen und technischen Systemen sowie die Problemstellungen waren in allen drei Konzepten identisch. Schon diese Feststellungen legen die Vermutung nahe, dass die wissenschaftlichen Akteure auf öffentliche Stimmungen reagierten, ihre Arbeiten je nach Mode betitelten und sich diese Moden eine nach der anderen abnutzten.

Diesen Eindruck vermittelt auch der Umgang mit diesen Begriffen innerhalb eines speziellen wissenschaftlichen Milieus von Nachrichtentechnikern aus München und Karlsruhe: Das Institut für Nachrichtentechnik der TU München arbeitete seit den frühen 1960er Jahren sehr erfolgreich an der nachrichtentechnischen Deutung und Modellie-

21 Zur Geschichte der KI-Forschung in der BRD siehe Ahrweiler 1995, S. 75-150.

22 Dazu z. B. das Lehrbuch Ritter/Martinez/Schulten 1990.

23 Für die KI-Forschung und im Rückblick auf die Kybernetik konstatiert dies Wolfgang Händler an Karl Steinbuch, 05.07.1988, Universitätsarchiv Karlsruhe, 39,05/159.

24 Wolfgang Händler an Karl Steinbuch, 13.10.1988, Universitätsarchiv Karlsruhe, 39,05/159.

rung von organischem Verhalten. Es wurde federführend bei der Errichtung eines Sonderforschungsbereichs „Kybernetik“ der DFG 1968, war also ein zentraler Ort kybernetischer Forschung in der Bundesrepublik. Weil dieser Begriff aber in den 1970er Jahren den Höhepunkt seiner Wirkung überschritten hatte, führten die Institutsmitarbeiter im Zuge neuen Drittmittelbedarfs bald frische, unverbrauchte Schlagwörter ein, um sich weiterhin modern und fortschrittlich zu geben. Sie stellten nun ihre Anträge „unter dem Namen Bionik oder Neuroscience“.²⁵ Bionik bedeutete dabei „die Synthese technischer Systeme mit Hilfe biologischer Kenntnisse.“²⁶ Ein Neuronenmodell etwa, das als Hilfsmittel für die Analyse biologischer Vorgänge diente, ordnete der Institutsleiter Hans Marko der Kybernetik zu. Dagegen zählte er das „System zur Impulsgenerierung bei der Übertragung von pulsformigen Informationen“, das er 1967 zum Patent angemeldet hatte,²⁷ zur Bionik, weil in diesem Fall seine Arbeit die Entwicklung eines technischen Systems zum Ziel hatte. Bionik wäre nach diesem Verständnis ein anderes Wort für technische Kybernetik – oder ein neues Modewort, das an die Stelle eines verbrauchten trat.

Die Deutsche Gesellschaft für Kybernetik (DGK) war stark vom Denken der Münchner Kybernetiker geprägt und ging dementsprechend ähnlich nonchalant mit den Begriffen um. Auf der DGK-Tagung 1973 in Nürnberg lag der Schwerpunkt auf „Kybernetik und Bionik“. Auch hier wurde getrennt zwischen einerseits analytischer Kybernetik, unter die auch die Entwicklung technischer Modelle fiel, solange sie Hilfsmittel für die Analyse blieben, und andererseits der „Bionik“. Unter Kybernetik wollte Hans Marko als Präsident der DGK „eine exakte naturwissenschaftliche Methodik“ verstanden wissen, „die die Methoden der Nachrichten- und Regelungstheorie in anderen Bereichen, wie in der Biologie oder Soziologie anwendet.“²⁸ Die spezifischen heuristischen Hilfsmittel der Kybernetik bildeten nach Marko das Modell, das Funktionsschema und das Experiment. Ihre Methoden waren allesamt technischer Natur und rekrutierten sich vor allem aus der Informationstheorie, der Netzwerktheorie, der Systemtheorie, der Theorie der Schaltnetze und der Automatentheorie. Die Beschreibung des Objekts erfolgte klassischerweise mathematisch, besonders statis-

25 Marko 1972, S. 699.

26 Ebd.

27 Dieses System wird ebd., S. 700, beschrieben.

28 Marko 1974, S. 16.

tisch. Von dieser charakteristisch kybernetischen Arbeitsweise und Zielsetzung grenzte Marko die Bionik ab, weil sie die kybernetisch gewonnenen Erkenntnisse „zu einer Verbesserung technischer Systeme“²⁹ nutze. Die Bionik war nach diesem Verständnis die Technologie, die erkenntnistheoretisch an die Kybernetik anschloss.

Neben der Bionik tauchte auf der Nürnberger Tagung auch die Künstliche-Intelligenz-Forschung auf, die durch ihre Fragestellung eine Brücke zwischen Kybernetik und Computer Science schlug.³⁰ Diese Schlagwörter ersetzten nunmehr die Rede von der synthetischen beziehungsweise technischen Kybernetik. Die neuen Begrifflichkeiten lassen rückwirkend auch die alten als Schlagwörter erscheinen, unter denen alle Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich der Informationsverarbeitung in künstlichen und organischen Systemen, oder mit den Worten Wieners: im Bereich von „Control and communication in the animal and the machine“ subsumiert wurden. Auch innerhalb der DGK benutzten die Forscher auf diesem Gebiet den Begriff der Kybernetik nur so lange, wie sie damit Hoffnungen und Erwartungen wecken und mit Hilfe solcher Erwartungen Forschungsgelder einwerben konnten. Dass die Arbeit in den Instituten und Labors trotz dieser Änderungen der Begrifflichkeiten ohne merkliche Brüche vorstatten ging, demonstrierte die Lücke zwischen der Praxis und der Außendarstellung der Forschung.

Auf dem Gebiet der Automatischen Mustererkennung, einem Paradebeispiel der Technisierung der Wahrnehmung und einem der wichtigsten Forschungsfelder der technischen Kybernetik, arbeitete das Karlsruher Fraunhofer-Institut für Informationsverarbeitung in Technik und Biologie (IITB) eng mit Markos Institut an der TU München zusammen. Wenn dort aber ein Sammelbegriff für die konstruierende Tätigkeit auf der Basis biologischen Wissens verwendet wurde, dann war dies kaum „Kybernetik“, sondern eher „Bionik“. Bereits in der Gründungsphase des Instituts um 1965 geisterten die beiden Begriffe herum und sorgten für Unklarheiten in der Begriffsbestimmung. Niemand wusste so recht, ob sie komplementäre Begriffe oder Widersprüche seien oder ob das eine ein Teilgebiet des anderen sei.³¹ Auch das Arbeitsgebiet „Bionik und Biokybernetik“ des IITB lässt erahnen,

29 Ebd., S. 24.

30 So Händler 1974, S. 179.

31 Das geht z. B. hervor aus Jebesen-Marwedel an Marko, 3.2.1965, Archiv des Instituts für Zeitgeschichte, ED 721/407.

dass beide Begriffe in sich nicht klar und noch weniger klar voneinander abgegrenzt waren.

Die Bionik wurde nie als Wissenschaft um ihrer selbst willen verstanden oder dargestellt, sondern von Anbeginn in den Dienst der Wirtschaft gestellt. Ihre dezidierte Anwendungsnähe ließ jene wirtschaftliche Innovationskraft erwarten, die die Kybernetik nie hatte liefern können. Das Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung (BMwF) ließ ab 1969 ein Forschungsprogramm vorbereiten, für das die Fraunhofer-Gesellschaft die Organisation übernehmen und das IITB inhaltlich das Zentrum bilden sollte. Dafür mussten zunächst der Stand der Forschung eruiert und eine gemeinsame Terminologie gefunden werden. Das BMwF koordinierte diese Schritte und beauftragte ein Expertengremium aus Informatikern, Physiologen, Biologen und Ingenieuren – unter anderem aus dem Münchner Institut für Nachrichtentechnik – mit der Durchführung. Das Resultat dieser Arbeitsphase war ein Heft über Aufgaben, Zustand und Entwicklungsmöglichkeiten bionischer Forschung in der Bundesrepublik, das Alfred Schief, ein Abteilungsleiter des IITB, redaktionell betreute und in der „Schriftenreihe Technologien“ des BMwF herausgab.³²

Die Bionik wollte dieser Konzeption zufolge die Wissensressourcen aus der Natur nutzen und setzte sich deshalb die Aufgabe, zuerst mit technischen Methoden biologische Systeme hoher Leistungsfähigkeit nach deren Funktionen und Strukturen zu untersuchen und zu beschreiben. Das hierbei gewonnene Wissen sollte sie auf technische Aufgabenstellungen übertragen „mit dem Ziel, neue und leistungsfähigere Stoffe, Geräte, Verfahren oder Systeme zu gewinnen.“³³ Dass diese beiden Ziele dem entsprachen, was die kybernetische Theorie als ihre analytische beziehungsweise synthetische Ausrichtung bezeichnete, übergingen die Autoren der Studie. Sie änderten den kybernetischen Gedanken lediglich dadurch, dass sie nicht nur informationelle Aspekte zum Gebiet der Bionik zählten und die Natur nicht nur funktional zum Vorbild für die Technik erklärten, sondern Anregungen „in Form von Funktions- und von Bauprinzipien“³⁴ in Aussicht stellten.

Die Innovationskraft eines so modernen wissenschaftlich-technischen Konzepts sah die BMwF-Studie darin bestätigt, dass die

32 Über seine Stellung informiert A. Schief an O. Mohr, 14.1.1971, Archiv des Instituts für Zeitgeschichte, ED 721/598.

33 Bionik 1970, S. 8.

34 Ebd., S. 8.

Bionik besonders in Ländern gefördert werde, „die eine hochentwickelte und zukunftsorientierte Industrie“³⁵ besaßen. Die Bionik versprach, zentrale zukünftige „Probleme wie ‚Synthetische Sprache‘, ‚Automatische Zeichenerkennung‘, ‚Mensch-Maschine-Systeme‘, ‚Informationsreduktion‘, ‚Massenverkehrsregelung“³⁶ zu lösen. Die Politik glaubte diesen Versprechungen und sah zwischen der Förderung der Bionik und wirtschaftlichem Aufschwung eine direkte Konsequenz. Besonders erhoffte sie sich, dass die Bionik ein Mittel sei, um die „Technologische Lücke“ der Bundesrepublik, vor allem gegenüber den USA und der Sowjetunion, zu schließen.³⁷

Diese Hoffnung versuchten die Autoren der Studie für sich auszunutzen. Sie verwendeten den modischen Begriff und schnitten ihn und damit das BMWF-Förderprogramm auf die bestehenden Forschungsinhalte ihrer Institute zu. Als sie die Strukturen eines zukünftigen bionischen Förderprogramms konkretisierten, berücksichtigten sie den materiellen Aspekt der Bionik kaum mehr und engten sie wiederum auf kybernetische Aspekte ein. Als Ziel des Programms gaben die Autoren aus, „Kenntnisse über die Arbeitsweise des menschlichen Gehirns zu erhalten, diese Kenntnisse mathematisch zu beschreiben und sie der Nutzung in der Technik in Form neuer Konzeptionen zuzuführen.“³⁸ Die einzelnen Kapitel des Hefts lesen sich dann wie eine Beschreibung der Arbeitsgebiete des Sonderforschungsbereichs „Kybernetik“ und des IITB: Sensorik, Zentralnervöse Informationsverarbeitung und -speicherung, Verhaltensuntersuchungen sowie Motorik waren die Forschungsfelder der analytischen Zielrichtung und die der synthetischen waren Optische Mustererkennung, Leistungsvergleich sowie Anthropotechnik. Sonstige Bereiche der Bionik wurden marginalisiert.³⁹

Als das Forschungsprogramm im Rahmen der BMWF-Förderung „Neue Technologien“ realisiert wurde, änderte sich weder im Institut für Nachrichtentechnik der TU München noch im IITB inhaltlich etwas, nur ihre finanziellen Ausstattungen verbesserten sich durch die

35 Ebd., S. 13. Ihre volkswirtschaftliche Bedeutung wird auch betont, ebd., S. 7 u. 15.

36 Ebd., S. 15.

37 Dieses Denken repräsentiert die Mentalität des gesamten bundesdeutschen Innovationssystems dieser Zeit; vgl. Trischler 2001.

38 Bionik 1970, S. 12.

39 Die Arbeitsgebiete spiegeln sich in den Kapitelüberschriften der Studie.

zusätzliche staatliche Förderung nochmals gehörig. Die Institute stärkten ihre Position, indem ihre Protagonisten ihr Arbeitsgebiet mit einer neuen, modischen Terminologie beschrieben. Daneben kanonisierten sie ihren längst bestehenden Arbeitsstil. Der Begriff Bionik übernahm für die konstruierend arbeitenden Ingenieure die Rolle, die der Begriff Kybernetik im Milieu der nachrichtentechnischen Analyse von Informationsprozessen um Hans Marko innehatte: Er gab der Öffentlichkeit ein Schlagwort an die Hand, das modern klang und das komplexe Arbeitsgebiet eher in Form einer Metapher als definitorisch umschrieb. Allerdings wurde das dazugehörige Forschungsprogramm durch das Forschungsministerium und seine Experten weit weniger klar umrissen, als die Programme der DFG eingegrenzt wurden. In der Konsequenz „kam alles rein“,⁴⁰ was im Grenzgebiet von Technik und Biologie wirtschaftlich interessant erschien. Weil noch dazu der Begriff seine modische Zugkraft verlor, bevor irgendwo ein festes bionisches Forschungsprogramm entstanden war, etablierte er sich nicht dauerhaft. Die Ingenieure griffen kurzfristig mit Hilfe des Titels Bionik „nach den Geldtöpfen“,⁴¹ um ihn dann in wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Nischen verschwinden zu lassen.

KYBERNETIK UND BIONIK – ALTE NEUE TECHNOLOGIEN

Die wissenschaftlichen Akteure auf dem Gebiet der Technisierung des Wahrnehmens und Denkens sahen sich in erster Linie als „Nachrichtentechniker mit Arbeitsbereichen wie der Statistik, der statistischen Kommunikationstheorie, der Stochastik, der Systemtheorie, lineare und nichtlineare Systeme und der Theorie der Optimalempfänger.“⁴² Einen theoretischen Überbegriff benötigten sie nur, um damit Förderprogramme oder Institute zu bezeichnen. Kybernetik und Bionik dienten in erster Linie als medienwirksame, griffige und modern klingende Begriffe. Sie bedienten die öffentlichen Erwartungen rund um die Technisierung menschlichen Verhaltens. Zum Vorteil gereichte den Wissenschaftlern dieses Spiel mit den Utopien dadurch, dass sie als die potenziellen Lieferanten zukunftsweisenden Wissens und tech-

40 Alfred Schief im Interview, 18.5.2006.

41 Ebd.

42 Ebd.

nisch-wirtschaftlicher Innovationen politisch gefördert wurden und deshalb immer hervorragend ausgestattet waren. Auf forschungs- und entwicklungspraktischer Ebene wurden die Akteure den ihnen entgegengebrachten Erwartungen und Ansprüchen weitestgehend gerecht, indem sie ihre gute finanzielle, personelle und materielle Ausstattung nutzten und diese Ressourcen in fassbare wissenschaftlich-technische Ergebnisse umsetzten. Daneben verbreiteten ihre Konzepte einen enormen Wissenschafts- und Technikoptimismus. Die Kybernetiker technisierten nicht nur Denkprozesse – ihr eigentliches Ansinnen –, sie halfen auch, das kollektive Denken in ein technikorientiertes zu wandeln und damit zu modernisieren.

Allerdings stand der nonchalante Umgang mit den Begrifflichkeiten einer dauerhaften Etablierung von Kybernetik und Bionik als wissenschaftlichen Disziplinen im Wege. Ein heterogenes, diversifiziertes Forschungsfeld, das nicht einmal begrifflich eindeutig definiert war, ließ sich nun einmal schlecht institutionalisieren. Weder Kybernetik, noch Bionik oder KI-Forschung schafften es in nennenswertem Maße, die in ihren Forschungsprogrammen ausgearbeiteten Standards durch Lehrbücher zu fixieren. Begriffe, Fragen, Methoden und der aktuelle Forschungsstand wurden dadurch nie allgemeinverbindlich definiert und nie für eine nachfolgende Generation auf formalem Weg erlernbar. Wenn irgendwo einschlägige Studienrichtungen begründet wurden, gingen sie meist nach der Pensionierung der führenden Kybernetiker und Bioniker oder spätestens bei der daraufhin anstehenden Lehrplan-Reform zugrunde oder als Teilgebiete in den Curricula anderer Studienrichtungen auf. Einige Lehrstühle und Institute führen das Wissen und die spezifische Art zu arbeiten bis heute fort, allerdings in den seltensten Fällen unter dem ursprünglichen Namen. Meist sind für die Arbeitsgebiete neue Titel geprägt worden, die aber einen vergleichbaren Inhalt beschreiben.

Diese Entwicklung steht durchaus repräsentativ für die Karrieren von Neuen Technologien im Allgemeinen und für die Versuche von Wissenschaftlern, mit öffentlichen Erwartungen zu spielen, sie für sich zu nutzen.⁴³ Denn massenmedial transportierte Bilder und Begriffe beflügeln die Wissenschaft ideell und besonders finanziell, sie sind aber im öffentlichen Raum angesiedelt und können nicht von der Wissenschaft gesteuert werden. Sie führen zu immer größeren Visionen, zu überzogenen Hoffnungen und Horrorvorstellungen. Davon unter-

43 Vgl. den Beitrag von Kehrt in diesem Band.

scheidet sich die tatsächliche Entwicklung der Wissenschaft, dass sie langsamer und anschlussfähig an disziplinäre Traditionen verläuft.⁴⁴ Weil die Öffentlichkeit ihre positiven und negativen Visionen aber als Messlatte anlegt, kann die Wissenschaft den externen Erwartungen notwendigerweise nicht gerecht werden. Sie büßt Glaubwürdigkeit und Vertrauen ein und verliert somit die Öffentlichkeit als ihre Ressource.⁴⁵ Wenn sie bis dahin fassbare Ergebnisse geliefert und sich institutionell verankert hat, schadet ihr der Aufmerksamkeitsverlust nicht. Hat sie diesen Schritt aber noch nicht getan, wandelt sie sich nicht von einer neuen zu einer etablierten Technologie, sondern sie verschwindet aus der wissenschaftlichen Praxis.

LITERATUR

- „Automation. Die Revolution der Roboter“. In: *Der Spiegel* Nr. 31/1955, S. 21-30.
- *Bionik. Studie über ein Förderungsprogramm, ausgearbeitet im Auftrage des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft* (Schriftenreihe Technologien 1), Bonn: Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft, 1970.
- „Biotechnik. Bienen und Raketen“. In: *Der Spiegel* Nr. 21/1961, S. 88 f.
- „Elektronengehirne. Die Magie der Roboter“. In: *Der Spiegel* Nr. 40/1956, S. 42.
- *Kybernetik und Bionik. Berichtswerk über den 5. Kongreß der DGK in Nürnberg, 28.-30.3.1973*, hrsg. v. Keidel, W. D. (u. a.), München: Oldenbourg, 1974.
- „Leibniz-Kongress. Solche Fülle“. In: *Der Spiegel* Nr. 48/1966, S. 171.
- „Maschinengehirn. Beängstigend menschlich“. In: *Der Spiegel* Nr. 28/1950, S. 38.
- „Tierpsychologie. Hunger auf Befehl“. In: *Der Spiegel* Nr. 6/1963, S. 74-78.

44 So auch die wissenschaftssoziologische Theorie. Siehe z. B. Weingart 2005, S. 43.

45 Zum Ressourcenbegriff Schirmacher 2008; Schirmacher/Nikolow 2007. Der Begriff der Ressource wird dort abgeleitet von Ash 2002.

- „Über die Beziehung zwischen Technik und Biologie“. In: *ETZ* 85 (1964), S. 286.
- „Übersetzungsmaschinen. Die Wortfabrik“. In: *Der Spiegel* Nr. 2/1958, S. 38f.
- Ahrweiler, P.: *Künstliche Intelligenz-Forschung in Deutschland. Die Etablierung eines Hochtechnologiefachs*, Münster: Waxmann, 1995.
- Ash, M. G.: „Wissenschaften und Politik als Ressourcen füreinander“. In: vom Bruch, R./Kaderas, B. (Hrsg.): *Wissenschaften und Wissenschaftspolitik*, Stuttgart: Steiner, 2002, S. 32-51.
- Balles, U.: *Die kulturelle Erfindung des Computers – eine Analyse des Nachrichtenmagazins „Der Spiegel“* (Forschungsberichte des Fachbereichs Informatik der TU Berlin 99-7), Berlin: Fachbereich Informatik der TU Berlin, 1999.
- Bauer, F. L.: „Kybernetik als Utopie und als Realität“. In: Rieger, P./Strauß, J. (Hrsg.): *Kybernetik, Medizin, Verhaltensforschung* (Tutzinger Texte 5), München: Claudius, 1969, S. 9-30.
- Benn, G.: „Der Radardenker (1949)“. In: Ders.: *Sämtliche Werke, Band 5: Prosa 3*, Stuttgart: Klett-Cotta, 1991, S. 65-79.
- Händler, W.: „Man-Machine-Dialog“. In: Keidel, W. D. u. a. (Hrsg.): *Kybernetik und Bionik. Berichtswerk über den 5. Kongreß der DGK in Nürnberg, 28.-30.3.1973*, München: Oldenbourg, 1974, S. 179-189.
- Keidel, W. D.: „Kybernetische Leistungen des menschlichen Organismus“. In: *ETZ* 85 (1964), S. 769-777.
- Lutz, T.: „Kybernetik. Portrait einer Wissenschaft“. In: *VDI-Z* 115 (1973), S. 260-265.
- Marko, H.: „Die Anwendung nachrichtentheoretischer Methoden in der Biologie“. In: Marko, H./Färber, G. (Hrsg.): *Kybernetik 1968. Berichtswerk über den Kongreß der DGK in München vom 23.-26.4.1968*, München: Oldenbourg, 1968, S. 21-44.
- Marko, H.: „Bionik oder die Nutzung biologischer Kenntnisse für den technischen Fortschritt“. In: *ETZ* 93 (1972), S. 697-702.
- Marko, H.: „Einleitung und Einleitungsvortrag des Präsidenten der DGK: Methodenlehre der Kybernetik“. In: Keidel, W. D. u. a. (Hrsg.): *Kybernetik und Bionik. Berichtswerk über den 5. Kongreß der DGK in Nürnberg, 28.-30.3.1973*, München: Oldenbourg, 1974, S. 15-26.

- Rechenberg, I.: „Bionik, Evolution und Optimierung“. In: *Naturwissenschaftliche Rundschau* 26 (1973), S. 465-472.
- Ritter, H./Martinez, T./Schulten, K.: *Neuronale Netze. Eine Einführung in die Neuroinformatik selbstorganisierender Netze*, Bonn/München/Reading: Addison-Wesley, 1990.
- Schirmmacher, A.: „Nach der Popularisierung. Zur Relation von Wissenschaft und Öffentlichkeit im 20. Jahrhundert“. In: *Geschichte und Gesellschaft* 34 (2008), S. 73-95.
- Schirmmacher, A./Nikolow S. (Hrsg.): *Wissenschaft und Öffentlichkeit als Ressourcen füreinander. Studien zur Wissenschaftsgeschichte im 20. Jahrhundert*, Frankfurt am Main: Campus, 2007.
- Trischler, H.: „Das bundesdeutsche Innovationssystem in den ‚langen 70er Jahren‘. Antworten auf die ‚amerikanische Herausforderung‘“. In: Abele, J. u. a. (Hrsg.): *Innovationskulturen und Fortschrittserwartungen im geteilten Deutschland. Forschung und Entwicklung in der Bundesrepublik und der DDR*, Köln u. a.: Böhlau, 2001, S. 47-70.
- Weingart, P.: „Die Zügellosigkeit der Erkenntnisproduktion und die Demokratisierung der Gesellschaft. Zur Rolle ethischer und politischer Kontrollen der Wissenschaft in Humangenetik und Reproduktionsbiologie“. In: Ders. (Hrsg.): *Die Wissenschaft der Öffentlichkeit. Essays zum Verhältnis von Wissenschaft, Medien und Öffentlichkeit*, Weilerswist: Velbrück, 2005, S. 34-48.
- Wiener, N.: *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*, Cambridge: MIT-Press, 1948.
- Wiener, N.: *The human use of human beings. Cybernetics and society*, Boston/MA: Houghton Mifflin, 1950.
- Zemanek, H.: „Technische und kybernetische Modelle“. In: Mittelstaedt, H. (Hrsg.): *Regelungsvorgänge in lebenden Wesen. Nachrichtenverarbeitung, Steuerung und Regelung in Organismen, Vorträge der Tagung Essen 06.-07.11.1958*, (Beihefte zu Regelungstechnik 8), München: Oldenbourg, 1961, S. 32-50.
- Zemanek, H.: „Kybernetik“. In: *Elektronische Rechenanlagen* 6 (1964), S. 169-177.

Visionen und Dämonen der Biotechnologie

BERNHARD GILL

Was sind die Visionen, was ist das Neue, wer sind die Akteure der Biotechnologie? Um diese Fragen zu beantworten, muss man zunächst definieren, was Biotechnologie überhaupt ist. Ich werde also zunächst die wissenschaftlich-technische Entwicklung skizzieren, dann einen kurzen Überblick über die Begleitforschung geben, um dann die These zu entwickeln, dass die „moderne“, d. h. auf DNS-Analyse und -Synthese gestützte Biotechnologie ihre Leitideen aus einem reduktionistischen Modell entwickelt hat, das sowohl zu hochfliegenden Allmachtsphantasien als auch zu schwärzesten Alpträumen Anlass gegeben hat. Mittlerweile ist Ernüchterung eingetreten – bei den Technikern vielleicht sogar etwas mehr als bei den Kritikern. Das große Modell des „Molekularbiologischen Dogmas“ ist dabei zusammenzubrechen und beginnt einer Vielzahl kleinerer Modelle Platz zu machen, die zu kleineren Hoffnungen und kleineren Ängsten Anlass geben. Während die moderne Biotechnologie allmählich – in stark zurechtgestutzter Form – in den Alltag einzieht, scheint sie nun von einer etwas demutvolleren und zugleich weniger schwarz malenden Einsicht in die stets prekäre Balance von Naturbeherrschung und Unberechenbarkeit begleitet.

WAS IST „BIOTECHNOLOGIE“? EIN KURZER ÜBERBLICK ÜBER DIE WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE ENTWICKLUNG

Biotechnik, das heißt die Nutzbarmachung des Lebendigen, beginnt spätestens mit der neolithischen Revolution, d.h. mit Ackerbau und Viehzucht, mit dem Verarbeiten und Konservieren von Nahrungsmitteln, dem Gerben von Häuten und Ähnlichem. Mit der neuzeitlichen Entwicklung der biologischen und chemischen Wissenschaften werden diese Techniken dann genauer verstanden und steuerbar, das heißt zu *Technologien* weiterentwickelt. Im Lauf des 20. Jahrhunderts entsteht die Genetik als Vererbungs- und Züchtungslehre. Mit ihr ist die Vorstellung verbunden, dass alle wesentlichen biologischen Vorgänge durch eine Erbsubstanz gesteuert sind, die dann als „DNS“ identifiziert und seit den 1970er Jahren auch relativ gezielt verändert werden kann. Die DNS wird als eine Aneinanderreihung von Buchstaben gesehen, die als Schrift zu lesen und als Bauanweisung für die Organismen zu verstehen sei. „Das Buch des Lebens“ – diese aus dem religiösen Wortschatz entlehnte Metapher wird oft verwendet – scheint den Biologen nun offen zu liegen.¹

Wissenschaftlich wird diese Vorstellung zum Molekularbiologischen Dogma erhoben, das besagt, dass die DNS die Synthese der Baustoffe der Zelle im Wesentlichen determiniert und kontrolliert und dabei selbst unverändert bleibt. Gentechnologie, das heißt die Fähigkeit, die DNS mehr oder weniger gezielt zu verändern, wird damit zur „Schlüsseltechnologie“, die es ermöglichen soll, in allen Feldern Verbesserungen zu erreichen, in denen biologische Vorgänge bereits eine Rolle spielen oder in Zukunft spielen könnten – das heißt fast überall. Der Einsatz der Gentechnik im engeren Sinne ist dabei begleitet von einer Reihe anderer, teils älterer, teils neuerer biochemischer und zellbiologischer Verfahren, so dass die Grenzen zwischen herkömmlicher und moderner Biotechnologie fließend sind.

Um über die Vielzahl der Möglichkeiten den Überblick zu behalten, hat sich im Sprachgebrauch eine metaphorische Farbentypologie etabliert. Unter „roter Biotechnologie“ wird der Einsatz an Mensch und Tier, unter „grüner Biotechnologie“ die Anwendungen im Pflanzenbau und bei Nahrungsmitteln, unter „grauer Biotechnologie“ die

1 Stent 1990; Gill 1992.

Nutzung von Mikroorganismen in vielen weiteren Bereichen, wie z. B. Abwasseraufbereitung, Erzleaching usw. verstanden. Gelegentlich kommen noch weitere Farbstufen dazu – „weiß“ für industrielle Transformation von Rohstoffen, „blau“ für meeresbiologische Praktiken. Der Einsatz der Gentechnik und wesentliche ökonomische Investitionen blieben bisher aber auf den Bereich der roten und grünen Biotechnologie beschränkt, und entsprechend standen diese Gebiete auch im Fokus öffentlicher Aufmerksamkeit. In der roten Biotechnologie kann man heute – gestuft nach Eingriffstiefe – im Wesentlichen fünf Felder unterscheiden: a) fortgeschrittene genetische Diagnostik bis hin zur Genomanalyse, b) Herstellung von Arzneimitteln mithilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen oder Zellkulturen, c) Zellersatz durch Züchtung adulter oder embryonaler Zellen, d) Beeinflussung genetisch bedingter Erkrankungen durch Veränderung adulter Zellen (somatische Gentherapie) und e) Kopieren und Verändern von Keimzellen und Embryonen. In der grünen Biotechnologie lassen sich analog ungefähr die folgenden Anwendungsfelder benennen: a) die Züchtung von Pflanzen mithilfe von molekularbiologischen Markern, b) die Herstellung von Enzymen für die Lebensmittelindustrie mithilfe von gentechnisch veränderten Mikroorganismen oder Zellkulturen und c) die gentechnische Veränderung des Genoms von Nahrungspflanzen, Industrie- und Arzneipflanzen.

Auf der Ebene der Grundlagenforschung sind gegenwärtig zwei Entwicklungsstränge auszumachen, die die Richtung und Gestalt der Biotechnologie wohl wesentlich verändern werden. Die Genomforschung ist auf technischer Ebene weit vorangeschritten, das „Lesen“ des Buchstabencodes ist weitgehend automatisiert und entzaubert. Man steht jetzt vor einem Datengebirge, das mehr Fragen aufwirft als Antworten gibt – was als Triumph des Molekularbiologischen Dogmas angekündigt war, hat vor allem zu seiner wissenschaftsbasierten Unterminierung beigetragen. Man darf erwarten, dass hier eine ganze Reihe von natur- und sozialphilosophisch spannenden Erörterungen zum Wechselspiel zwischen Anlage, Umwelt und Eigensinn des Lebewesens anknüpfen wird. Während die Genomforschung beginnt, die Komplexität der Lebensvorgänge anzunehmen, ist der neue Zweig der Synthetischen Biologie darum bemüht, den Reduktionismus neu zu erfinden, indem man nun versucht, Modellorganismen aus standardisierten Molekülen neu zusammensetzen. Während die Gentechnik noch ganze Organismen der Natur entnahm und sie in einzelnen Merkmalen

veränderte, geht man nun sozusagen auf der Emergenzleiter eine Stufe tiefer zur Chemie und versucht von dort aus Leben künstlich herzustellen. Verbunden ist damit die Hoffnung, die Steuerungs- und Kontrollbemühungen, die auf der biologischen Ebene an deren Komplexität gescheitert sind, von hier aus neu aufzurollen. In praktischer Hinsicht zeichnen sich hier Synergien ab im Bereich herkömmlicher, chemisch-synthetischer Arzneimittelforschung sowie im Bereich der Informationstechnologie, wo man begonnen hat, im Sinne von „Biochips“ Halbleiter im Verbund mit biologischem Material zu entwickeln. Weitere biochemische und biophysikalische Anknüpfungen sind auch im Bereich der Nanotechnologie denkbar (soweit man nicht, je nach Begriffsabgrenzung, die Synthetische Biologie ohnehin unter die Nanotechnologie subsumieren möchte).

GESELLSCHAFTLICHE KONTROVERSEN UND SOZIALWISSENSCHAFTLICHE BEGLEITFORSCHUNG

Die Entwicklung der modernen Biotechnologie war seit ihrem Beginn in der 1970er Jahren von warnenden Stimmen begleitet. Zunächst stammten diese auch aus dem Kreis der beteiligten Forscher – der Zeitgeist war damals ökologisch und kritisch, die Molekularbiologen rekrutierten sich, ähnlich wie die ersten Computerfreaks, aus einer aufrührerischen Intelligenz, und die Problematik militärischer wie auch ziviler Nutzung der Atomtechnik stand prägnant vor Augen.² Dieser erste Impuls kritischer Reflexion beschränkte sich aber alsbald auf das Anliegen der Laborsicherheit, die durch die Verwendung von Organismen gewährleistet werden sollte, die außerhalb des Labors nicht überlebensfähig sind, sowie durch physische Abschirmung der Labore ähnlich wie bei der herkömmlichen Forschung an Bakterien und Viren.

Für viele Nutzungen sollten die transgenen Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere dann aber freigesetzt werden, d. h. außerhalb des Labors, des industriellen Bioreaktors oder des Gewächshauses lebensfähig sein. Hier entbrannte eine Kontroverse zwischen den Molekularbiologen und der ökologischen Risikoforschung. Während Erstere zunächst glaubten, ihre Organismen seien auch außerhalb des Labors

2 Krinsky 1982; Radkau 1988.

vollständig beherrschbar, konnten Letztere zeigen, dass die einmal freigesetzten Transgene in der natürlichen Umwelt kaum zu kontrollieren sind, weil die biologische Evolution auf Selbstverbreitung, Selbstvermehrung und Selbstvermischung genetischer Information beruht. Dies ließ sich ironischerweise gerade mithilfe gentechnischer Diagnosemethoden recht gut verfolgen. Oder vereinfacht und plakativ ausgedrückt: Der Pollen fliegt, wo er will, und beim transgenen Pollen kann man oft sogar nachweisen, wo er genau hergekommen ist.³ Die Debatte verschob sich dann auf die Frage, ob die freigesetzten Transgene – da nun mal unkontrollierbar – überhaupt gefährlich seien. Wenn die Gentechnik nichts anderes mache als die Natur – nämlich genetische Information durcheinander zu mischen –, dann sei sie auch nicht gefährlich oder jedenfalls nicht gefährlicher als die Natur. Doch diese Antwort ist erstens ambivalent, denn die Natur ist ja nicht immer ungefährlich, und zweitens unter Biologen bis heute umstritten. Die politische Debatte hat sich an diesem Punkt jedoch einfach verschoben. Ging es früher um eher konkrete Risikoszenarien – was passiert, wenn ein transgenes Bakterium, das man auf der Müllkippe freisetzt, um PVC abzubauen, dort nicht bleibt, sondern die Isolierung von elektrischen Leitungen befällt? – reicht heute zumindest bei der grünen Gentechnik vielfach der Hinweis auf „Ungewissheit“ oder „Nichtwissen“ aus, um Ablehnung zu begründen. Entsprechend hat sich auch in breiten Teilen der europäischen Öffentlichkeit für die Verbreitung transgener Pollen der Begriff der „genetischen Verschmutzung“ etabliert, der erst einmal offen lässt, ob der Schmutz gefährlich ist oder nicht.

Bei der roten Gentechnik ist der Risiko- oder Ungewissheitsverdacht jedoch weniger virulent geworden. Dafür sind wohl weniger biologische Gründe auszumachen, sondern ein ganz anderes Risiko-Nutzen-Kalkül bei den Bürgern. Wenn herbizidresistente Pflanzen eingeführt werden, haben manche Bauern davon vielleicht einen gewissen anbautechnischen Nutzen, aber die Endverbraucher haben davon keinen Vorteil und pochen deshalb auf jene „Natürlichkeit“ ihrer Nahrungsmittel, die ihnen von der Werbung schon immer verheißen wurde. Wenn dagegen in der Öffentlichkeit eine Therapie für eine lebensbedrohliche Krankheit wie Krebs versprochen wird, trifft das auf frenetischen Beifall und lässt alle Bedenken in den Hintergrund treten. So waren es bei der somatischen Gentherapie dann auch wieder die Genmediziner selbst, die nach einigen tödlichen Zwischenfällen

3 Crawley u. a. 2001; Ellstrand 2001.

diese Versuchsserien abgebrochen und sich ohne größeren Druck aus der Öffentlichkeit für die weitere Forschung zunächst wieder ins Labor zurückgezogen haben.

Andererseits wurden gegen die rote Gentechnik Bedenken von ganz anderer Seite laut, nämlich im Hinblick auf die Manipulation am Menschen und damit auch am Menschenbild. Man könnte das die theologische Begleitforschung nennen: Was wäre, wenn wir alle schöner, gesünder, intelligenter, jünger und unsterblich würden? Oder von uns, vermessen und selbstverliebt, Klone schaffen ließen? Oder weniger plakativ und dafür näher im Bereich technischer Machbarkeit: Was bedeutet es, wenn wir genetische Anfälligkeiten für sehr weit verbreitete Krankheiten wie zum Beispiel Krebs, Atherosklerose oder Altersdemenz diagnostizieren können? Wollen wir das wirklich wissen und uns einem entsprechenden Vorsorgeregime unterziehen, inkaufnehmend, dass die Diagnosen oft falsch positiv und Abwehrmaßnahmen damit unnütz sind, oder falsch negativ, also trotz der mit dem Test erzeugten psychischen und physischen Belastungen nichts verhindern, oder die Diagnose zwar zutreffend, aber die Abwehrmaßnahmen einfach wirkungslos sind? In der säkularen Gesellschaft tritt die Medizin an die Stelle des Heils: Sind wir, aus Angst vor dem Tod, dazu verdammt, uns einem medizinischen Dauerdiskurs zu unterwerfen und ständig einen Normalkörper instandzuhalten, der irgendwann dann doch unwiderruflich zu Staub zerfällt?

Die sozialwissenschaftliche Begleitforschung hat versucht, die Stimmung in der Bevölkerung und in der politischen Öffentlichkeit zu analysieren und damit den beteiligten Akteuren – aus Wissenschaft, Industrie, Politik und Gegenöffentlichkeit – einen Spiegel für Erfolg und Misserfolg im Kampf um die Akzeptanz vorzuhalten und Ansatzpunkte zu zeigen, wie sie ihre Bemühungen verbessern könnten. Dabei hat sich mit der Zeit herausgestellt, dass die oben skizzierten Einstellungen relativ stabil und weitgehend manipulationsresistent sind. Ernüchterung haben sie entsprechend auch bezüglich der von den Protagonisten der Biotechnologie hartnäckig gepflegten Hoffnung auf naturwissenschaftliche „Aufklärung“ gebracht: Die Skepsis in der Bevölkerung hat nichts mit dem Stand des individuellen Wissens über Gen- und Biotechnik zu tun, sondern beruht auf Werturteilen. Sie wäre

deshalb selbst mit noch massiveren Informations- und Erziehungskampagnen nicht aus der Welt zu schaffen.⁴

Ein weiterer Schub der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung hat sich darauf konzentriert, alle möglichen Arten von Mediationsverfahren vorzuschlagen, zu initiieren oder kritisch zu begleiten.⁵ Dazu kann man u. a. partizipative Technikfolgenabschätzung, Konsensuskonferenzen, Ethik-Kommissionen, Ethikräte und gesetzlich vorgeschriebene Anhörungsverfahren rechnen.⁶ Hier sollten entweder Betroffene, Laien oder Vertreter von Non-Governmental-Organizations (NGOs) in die Diskussion um die Bewertung und Regulierung der Entwicklung von Forschung und Technologie einbezogen werden. Damit sollte das Legitimationsdefizit überwunden werden, das sich daraus ergab, dass Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Berufspolitik die Gentechnik fördern wollten, die Bevölkerung aber skeptisch blieb. Eine gewisse Hochkonjunktur hatten diese Verfahren – nicht nur Deutschland, sondern auch in anderen europäischen Ländern – ungefähr zwischen 1995 und 2005. Seither scheint es wesentlich ruhiger geworden zu sein, auch wenn noch gelegentlich peripher von solchen Verfahren berichtet wird.⁷ Die an diese Initiativen geknüpften Hoffnungen waren wohl vor allem aus den historischen Erfahrungen gespeist, die man in Europa vielfach nach dem Zweiten Weltkrieg durch die korporatistische Einbeziehung der Arbeiterbewegung in Wirtschafts- und Regierungsentscheidungen gewonnen hatte und durch die es gelungen war, den Klassenkonflikt in ruhige und konstruktive Bahnen zu lenken. Im Umweltbereich sind Vermittlungsverfahren aber bisher weitgehend erfolglos geblieben, denn sie konnten weder „nach unten“, d. h. zu den Bürgern, noch „nach oben“, d. h. zu den Entscheidungsträgern, Bindewirkung entfalten: Die Bürger besetzen also weiter Äcker und boykottieren Supermärkte; die Entscheidungsträger ignorieren auch weiter das Bürgervotum. Diese institutionelle Schwäche der Verfahren liegt vor allem darin begründet, dass es sich beim Streit um die Gentechnik – bisher jedenfalls – um einen Wert- und nicht um einen Verteilungskonflikt handelt und daher auch, anders als zum Beispiel im Tarifstreit zwischen Gewerkschaften und Arbeitgebern,

4 Durant/Bauer/Gaskell 1998; Gaskell/Bauer 2001; Hampel/Renn 1999; Peters u. a. 2007.

5 Vgl. den Beitrag von Renn in diesem Band.

6 Joss 2000; Sellnow 2002.

7 Meyer/Knapp/Boysen 2009.

keine echten Kompromisse möglich sind. Damit soll aber nicht gesagt werden, dass alle Umweltkonflikte für alle Zeiten die Struktur eines Wertkonflikts aufweisen müssten. Verwiesen sei darauf, dass der Klassenkonflikt auch bis zum „New Deal“ als Clash zwischen unvereinbaren Weltanschauungen ausgetragen wurde. Außerdem hat der Klimagipfel in Kopenhagen gezeigt, dass auf der Grundlage einer Einigung in der Sache – „der Klimawandel ist schädlich und er ist anthropogen erzeugt“ – eine Überführung in einen Verteilungskonflikt möglich ist (womit er natürlich noch nicht gelöst ist).

Die ökonomische Begleitforschung, die von den Befürwortern in Stellung gebracht wurde, hat im Allgemeinen versucht, die Gentechnik als Schlüsseltechnologie mit enormen ökonomischem Entwicklungspotenzial auszuweisen, deren Einführung und Ausbau über die Konkurrenz der Standorte und den Erhalt von Arbeitsplätzen entscheide und damit für den gesellschaftlichen Wohlstand unabdingbar seien. Die meisten Kritiker haben diese Behauptung mangels eigener ökonomischer Bildung unhinterfragt stehen gelassen und ihr lediglich naturwissenschaftliche Risikodiskurse oder theologische Natur- und Menschenbilddiskurse entgegen gesetzt. Dagegen blieb relativ unbenutzt, dass von unabhängigen Autoren die vorgelegten Rechenszenarien über ökonomische Entwicklungspotenziale schon früh als unseriös angezweifelt wurden, weil hier meistens Zahlen für die alte Biotechnologie im weitesten Sinne – also Landwirtschaft, Nahrungsmittelverarbeitung, Arzneimittel etc. – zugrunde gelegt wurden und auf diese Weise natürlich wichtige Ziffern aufsummiert werden konnten. Oft wurde auch die staatliche Förderung in diesem Bereich als genuin durch die Gentechnik verursachte Wirtschaftsleistung ausgewiesen. Anders ausgedrückt: Immer wurden Gegenstände, die auch anders hergestellt, oder Geld, das auch anders ausgegeben werden könnte, der Gentechnik ursächlich als ökonomisches Potenzial angerechnet.⁸ Seriöse empirische Untersuchungen gibt es erst in jüngerer Zeit. Diese versuchen, den Schaden oder Nutzen zu analysieren, der für die USA bzw. für die EU entsteht, indem Erstere die grüne Gentechnik umfangreich einsetzen und Letztere bisher weitgehend darauf verzichtet haben. Sie kommen tendenziell zu dem Schluss, dass der Anbauverzicht und die Einfuhrbeschränkungen für die Landwirtschaft in der EU positive und für die Verbraucher kaum negative Auswirkungen ha-

8 Dolata 1996.

ben.⁹ Dieser Einsicht folgend haben die USA vor der WTO ein Verfahren angestrengt, in dem die restriktiven Sicherheitsbestimmungen und Kennzeichnungsregeln der EU als Handelsboykott inkriminiert werden. Anders ausgedrückt: Das Blatt zwischen „Ökonomie“ und „Moral“ hat sich gewendet, „die Ökonomie“ ist – zumindest an diesem Punkt und aus der gesamtwirtschaftlichen Perspektive der EU – eher gegen als für die Gentechnik.

EIN BLICK ZURÜCK IN DIE ZUKUNFT

Wenn ich hier nun ein Resümee über die Entwicklung oder Technikgenese der letzten 40 Jahre zu geben versuche, so möchte ich noch einmal, wie eingangs schon angedeutet, das Molekularbiologische Dogma ins Zentrum rücken. Dieses hat die Befürworter zu übertriebenen Allmachtsphantasien und Kontrollversprechen und spiegelbildlich die Kritiker zu übertriebenen Ohnmachtsphantasien und wahrscheinlich übertriebenen Risikoszenarien verleitet. Im Molekularbiologischen Dogma – wie in anderen Formen des Modellplatonismus – ist alles ganz einfach und klar. Wenn ein biologisches Phänomen tatsächlich durch einen und nur einen bestimmten Buchstabencode in der DNS eindeutig und vollständig determiniert würde, dann könnten wir hoffen, durch Veränderung des Codes auch das Phänomen vollständig zu steuern. Die Zelle, die Organe und der gesamte Organismus wären dann der Sklave der DNS. Man ahnte schon vor 40 Jahren und weiß heute ganz sicher, dass das nicht der Fall ist.¹⁰ Eher scheint es so zu sein, dass die Zelle bzw. der Organismus sich der in der DNS niedergelegten Baupläne bedient, sie aber gleichsam „kreativ“ interpretiert und eventuell neu arrangiert nach komplexen Regeln, die noch niemand durchschaut. Lebewesen passen sich ihrer Umwelt an, und mit zunehmender Komplexität der Umwelt wird ihr Verhalten unberechenbarer. Folglich machen Organismen im Labor, mehr noch im Gewächshaus, und erst recht im Freiland, immer etwas anderes, als im Modell vorgesehen war. Entsprechend sind viele hochfliegende Träume gescheitert oder jedenfalls bis heute nur wenig vorangekommen. In der Folge müssen die Kritiker eigentlich auch nicht fürchten, dass sich das Menschenbild schlagartig verändern könnte. Natürlich kann man

9 Schmitz 2004.

10 Jablonka/Raz 2009.

mit genchirurgischem Besteck Lebewesen verstümmeln und zerstören, aber das kann man auch mit einem einfachen Skalpell. Was sich aber nicht abzeichnet, ist die gezielte und tiefgreifende Veränderung – jedenfalls nicht dramatischer als in der Vergangenheit, etwa durch Antibiotika und Herzschrittmacher. Auch das „Lesen des Genoms“ sagt uns nichts über unser Schicksal oder jedenfalls nicht viel mehr, als wir auch aus dem Kaffeesatz anderer Früherkennungstests herauslesen könnten.

Parallel sind auch die Sicherheitsversprechen geplatzt und haben zu Risikovergleichen Zuflucht genommen. Die soziologische Risikoforschung hat deutlich gemacht, dass Risikodiskurse mit dem Verweis auf Ungewissheit und Nichtwissen von den Kritikern unabschließbar gemacht werden können und damit ins Mark des Überlegenheitsanspruchs der Moderne treffen.¹¹ Denn wenn etwas „nur“ so gefährlich sein soll wie die Natur, dann impliziert dies das Eingeständnis, dass man die Kontrolle über die Natur, zu der die Moderne einst angetreten war, doch nicht erreichen kann. Wenn Wissenschaft sich mit der Uneinholbarkeit des Nichtwissens konfrontiert sieht, dann verliert sie zwar nicht unbedingt ihren praktischen Nutzen, ihr metaphorischer Zauber aber ist gebrochen.¹² Andererseits stehen auch die Risikoszenarien der Kritiker auf demselben Boden der Ungewissheit. Was die Gentechnik gefährlicher machen könnte als die Natur – dazu gibt es gegenwärtig nur vage Ideen und Ahnungen. Bis heute ist auch nichts Katastrophales passiert, was der Gentechnik mit einiger Sicherheit zuzurechnen wäre. Aber das will letztlich auch nichts heißen, weil vielleicht manches – wie in anderen Branchen¹³ – vertuscht wurde, weil es Akkumulationseffekte geben kann und weil Erkenntnisprozesse auch aus anderen Gründen manchmal sehr lange dauern – die Atmosphäre heizen wir schon seit der industriellen Revolution auf; seit hundert Jahren haben wir erste Hinweise auf den Treibhauseffekt,¹⁴ und seit neuestem wissen wir ziemlich sicher, dass das zum Klimawandel führt. Nur ist der Hinweis auf Nichtwissen so besehen auch jederzeit auf alles zu beziehen. Wirklich durchschlagend war er im Bereich der Gentechnik deshalb nur dort, wo er gegen einen gefühlten Nicht-Nutzen ins Spiel gebracht wurde.

11 Beck 1999; Wehling 2006.

12 Böschen/Schneider/Lerf 2004.

13 Hay/Silbergeld 1985; Karmus 1989.

14 Tyndall 1863; Arrhenius 1896.

Doch was helfen am Ende diese Relativierungen und Differenzierungen? Können wir deshalb in Zukunft die Debatte um die Gentechnik oder um andere, jüngere Technologien wie die Nanotechnologie, entspannter und nüchterner führen? Wenn man die Mechanismen der Öffentlichkeit kennt, weiß man, dass das wohl nur schwer möglich ist. Um Forschungsgelder einzuwerben, werden die Wissenschaftler auch in Zukunft das Blaue vom Himmel versprechen. Um die Öffentlichkeit und die Investoren zu beruhigen, werden sie weiterhin modellbasierte, d. h. empirisch vorläufig unbegründete Sicherheitsversprechen abgeben. Und umgekehrt werden Kritiker, um von den Medien und der Politik im vielstimmigen Konzert der Anliegen gehört zu werden, auch weiterhin Manipulationsexzesse und Katastrophenszenarien allerorten beschwören und vor dem Weg in den Abgrund der schlechtmöglichsten aller Welten warnen. Aber man muss ja als Akteur nicht alles selbst glauben, was einem das Rollenskript souffliert und man also zu deklamieren sich anschickt. Wenn die Scheinwerfer und Kameras aus sind, kann man sich vielleicht wechselseitig die Notwendigkeit des Theaterdonners eingestehen, ohne deshalb gleich als Zyniker dazustehen. Das könnte dann immerhin, bei allem Klamauk auf der Vorderbühne, zu einem freundlicheren Umgangston und einem zivileren Benehmen auf der Hinterbühne beitragen.

LITERATUR

- Arrhenius, S.: On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. In: *Philosophical Magazine* 41 (1896), S. 237 ff.
- Beck, U.: *World risk society*, Oxford: Blackwell Pub., 1999.
- Bösch, S./Schneider, M./Lerf, A. (Hrsg.): *Handeln trotz Nichtwissen*, Frankfurt am Main: Campus, 2004.
- Crawley, M. J. u. a.: Biotechnology – transgenic crops in natural habitats. In: *Nature* 409 (2001), S. 682-683.
- Dolata, U.: *Politische Ökonomie der Gentechnik – Konzernstrategien, Forschungsprogramme, Technologiewettläufe*, Berlin: edition sigma, 1996.
- Durant, J./Bauer, M. W./Gaskell, G. (Hrsg.): *Biotechnology in the public sphere*, London: Science Museum, 1998.

- Ellstrand, N. C.: When transgenes wander, should we worry? In: *Plant Physiology* 125 (2001), S. 1543-1545.
- Gaskell, G./ Bauer, M. W. (Hrsg.): *Biotechnology 1996 – 2000. The years of controversy*, London: Science Museum, 2001.
- Gill, B.: Kettenmoleküle und Assoziationsketten – Metaphern in der Gentechnologie und Genomanalyse. In: *Prokla*, 22 (1992), Nr. 88, S. 413-433.
- Hampel, J./Renn, O.: *Gentechnik und Öffentlichkeit. Wahrnehmung und Bewertung einer umstrittenen Technologie*, Frankfurt am Main: Campus, 1999.
- Hay, A./Silbergeld, E.: Assessing the risk of dioxin exposure. In: *Nature* 315 (1985), S. 102-103.
- Jablonka, E./Raz, G.: Transgenerational epigenetic inheritance: prevalence, mechanisms, and implications for the study of heredity and evolution. In: *The Quarterly Review of Biology* 84 (2009), Nr. 2, S. 131-176.
- Joss, S.: *Die Konsensuskonferenz in Theorie und Anwendung*. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, 2000.
- Karmus, W.: *Das Zusammenspiel der Wissenschaft, Behörden und Industrie dargestellt am Fall der Risiko-Beurteilung und Risikobewältigung von Dioxinen*, Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin, 1989.
- Krimsky, S.: *Genetic alchemy – the social history of the recombinant DNA controversy*, Cambridge/MA: MIT Press, 1982.
- Meyer, R./Knapp, M./Boysen, M.: *Diskursprojekt „Szenario Workshops: Zukünfte der Grünen Gentechnik“*. <http://www.szenario-workshops-gruene-gentechnik.de/downloads/endbericht.pdf> [Stand: 09.07.2010].
- Peters, H. P. u. a.: Culture and technological innovation: impact of institutional trust and appreciation of nature on attitudes towards food biotechnology in the USA and Germany. In: *International Journal of Public Opinion Research* 19 (2007), Nr. 2, S. 191-220.
- Radkau, J.: Hiroshima und Asilomar. Die Inszenierung des Diskurses über Gentechnik vor dem Hintergrund der Kernenergie-Kontroverse. In: *Geschichte und Gesellschaft* 14 (1988), Nr. 3, S. 329ff.

- Schmitz, A.: Controversies over the adoption of genetically modified organisms. An overview of the special issue. In: *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* (2004), Nr. 2.
- Sellnow, R.: Erste deutsche „Konsensus-Konferenz“ zum Thema: „Streitfall Gendiagnostik“. In: Stiftung Mitarbeit (Hrsg.): *Rundbrief Bürgerbeteiligung I/2002*, Bonn, 2002, S. 10-18.
- Stent, G.: So war das mit der Molekularbiologie. In: Herbig, J./ Hohlfeld, R. (Hrsg.): *Die zweite Schöpfung*, München: Hanser, 1990, S. 329-356.
- Tyndall, J.: On radiation through the earth's atmosphere. In: *Philosophical Magazine* 25 (1863), S. 200 ff.
- Wehling, P.: *Im Schatten des Wissens? Perspektiven der Soziologie des Nichtwissens*. Konstanz: UVK, 2006.

Synthetische Biologie – auf dem Weg zu einer Neuen Technologie

BERND MÜLLER-RÖBER, MARC-DENIS WEITZE

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Molekularbiologie hat sich in den letzten Jahren die Synthetische Biologie entwickelt. Sie basiert auf der Entschlüsselung kompletter Genome, dem technischen Fortschritt bei der chemisch-enzymatischen Synthese von Nukleinsäuren und der Möglichkeit, Daten umfassend auf nahezu allen Ebenen der zellulären Informationsverarbeitung zu erfassen. Synthetische Biologie führt ein weites Spektrum an naturwissenschaftlichen Disziplinen zusammen und verfolgt ingenieurwissenschaftliche Prinzipien, um bekannte Organismen gezielt in einem modularen Ansatz zu verändern oder – im Extremfall – neue, in der Natur nicht vorkommende Organismen bottom up aus Grundbausteinen aufzubauen. Biologische Systeme werden dabei auch mit chemisch synthetisierten (also „nicht natürlichen“) Komponenten zu neuen Einheiten kombiniert.

Ein Antrieb der Synthetischen Biologie ist es, sich von den Beschränkungen der natürlichen Evolution zu lösen und ganz neue molekulare Bausteine in Lebewesen einzuschleusen. Hier lassen sich revolutionäre Folgen für die Biotechnologie absehen: Neue Arzneimittel, Biotreibstoffe und Materialien verspricht man sich von Anwendungen der Synthetischen Biologie in der industriellen Biotechnologie. Ausgehend von der bereits großen Bedeutung der Biotechnologie in der chemischen Industrie könnte es dann in den nächsten Jahren zu einer regelrechten Biologisierung der Wirtschaft kommen. Und an der Bio-

ökonomie, wie sie sich bereits jetzt abzeichnet,¹ könnte die Synthetische Biologie einen großen Anteil erlangen.

SYNTHETISCHE BIOLOGIE ALS „NEUE TECHNOLOGIE“

Auf dem Weg zum künstlichen Leben

Seit über hundert Jahren beanspruchen Wissenschaftler, „in Kürze“ künstliches Leben im Reagenzglas herstellen zu können. So sorgten um 1900 Experimente und Publikationen des deutsch-amerikanischen Physiologen Jacques Loeb für Medienrummel, der – für seine Zeit durchaus typisch – die Ansicht vertrat, dass das Ziel der Biologie die Abiogenese sei: die Erzeugung von Leben aus unbelebter Materie. Im 20. Jahrhundert wurden verschiedene Grundlagen entwickelt, mit denen man in jüngster Zeit diesem Ziel nähergekommen ist: Molekularbiologie, Kybernetik und Rekombinante DNA heißen einige der Felder, die hier relevant sind.²

In den 1990er Jahren blühte die Forschungsrichtung „Artificial Life“, die ebenfalls als Vorläufer der Synthetischen Biologie betrachtet werden kann.³ Christopher Langton, einer der Begründer dieses Feldes, definierte wie folgt:

„Artificial life is the study of artificial systems that exhibit behavior characteristic of natural living systems. It is the quest to explain life in any of its possible manifestations, without restriction to the particular examples that have evolved on earth. This includes biological and chemical experiments, computer simulations, and purely theoretical endeavors. [...] Microelectronic technology and genetic engineering will soon give us the capability to create new life forms in silicio as well as in vitro. This capacity will present humanity with the most far-reaching technical, theoretical and ethical challenges it has ever con-

1 Vgl. BioÖkonomieRat. <http://www.biooekonomierat.de> [Stand:01.10.2010].

2 Für weitere historische Aspekte vgl. z. B. Campos 2009. Der Begriff „Synthetische Biologie“ wurde freilich zeitweise auch im Sinne der heutigen „Biotechnologie“ verwendet, siehe Winnacker 1992.

3 Vgl. Fox-Keller 2002, Kap. 9.

fronted. The time seems appropriate for a gathering of those involved in attempts simulate or synthesize aspects of living systems.“⁴

Im Jahr 2003 scheint der Traum von Jacques Loeb in Erfüllung gegangen zu sein: „Researchers Create First Autonomous Synthetic Life Form“:⁵ Mit gentechnischen Methoden konnten Forscher um Peter Schultz (Scripps Research Institute, La Jolla/CA) ein Bakterium so verändern, dass sein Repertoire neben den natürlichen 20 Aminosäuren eine weitere umfasst, diese also selbst herstellt und in seine Proteine einbaut. Und auch am J. Craig Venter Institute gelang es erstmals im Rahmen des hier angesiedelten Forschungsprojekts „First self-replicating synthetic bacterial cell“ ein synthetisches Chromosom in ein Bakterium einzupflanzen und darin zum Leben zu erwecken.⁶

Vorläufer und Mitläufer

Gene und Genome werden analysiert und synthetisiert – wie verhält sich die Synthetische Biologie zur Gentechnik? Der Unterschied wird anhand dieser Definition deutlich: „Synthetic Biology is A) the design and construction of new biological parts, devices, and systems, and B) the re-design of existing, natural biological systems for useful purposes.“⁷ Methoden der Gentechnik werden seit mehr als 30 Jahren zur gezielten Veränderung von Organismen eingesetzt. Sie spielen heute eine nicht mehr wegzudenkende Rolle in nahezu allen Bereichen der biologischen Grundlagenforschung und gehören zum zentralen Repertoire der angewandten Biotechnologie. Mittels Gentechnik lässt sich längst die Basenfolge in der Erbsubstanz von Organismen ändern.

Die Synthetische Biologie geht weit darüber hinaus. Sie beschränkt sich nicht auf Veränderung und Austausch bestehender Gensequenzen, sondern konstruiert neue Genome, verwendet neue genetische Codes,

4 Langton 1989, S. 1.

5 Service 2003.

6 First Self-Replicating Synthetic Bacterial Cell. <http://www.jcvi.org/cms/research/projects/first-self-replicating-synthetic-bacterial-cell/overview/> [Stand: 01.10.2010].

7 So definiert es eine Gruppe von Forschern auf dem Feld der Synthetischen Biologie, <http://syntheticbiology.org/> [Stand: 01.10.2010].

arbeitet nach Designprinzipien und bedient sich möglichst standardisierter Elemente. Die Forschungsansätze sind vielfältig, zum Beispiel:

- Einen vorläufigen Höhepunkt fand die chemische Synthese von Genen und ganzen Genomen in der Synthese des Mycoplasma-Genoms mit rund 583.000 Basenpaaren am J. Craig Venter Institute im Jahr 2008.
- Organismen stellen in der Regel zwanzig verschiedene Aminosäuren selbst her: Diese Aminosäuren sind die Bausteine der natürlichen Proteine, die Struktur und Chemie des Lebens prägen. Wenn es hier gelingt, künstliche Aminosäuren einzuschleusen, entstehen Proteine mit ganz neuen Eigenschaften. Es gibt keinen chemischen oder biologischen Grund, sich auf die zwanzig üblichen Aminosäuren als Bausteine für Proteine zu beschränken.
- Das Design maßgeschneiderter Stoffwechselwege („metabolic engineering“) ist ein weiteres Forschungsfeld, das die längst zur Routine gewordenen gentechnischen Methoden ausweitet und bei dem einzelne Gene zwischen Organismen transferiert werden. Die gentechnische Konstruktion kompletter Biosynthesewege, die in der Natur nicht vorkommen, ist eine viel versprechende Perspektive zur Produktion neuer Biomoleküle, indem einzelne Stoffwechselfunktionen aus verschiedenen Spenderorganismen zusammengefasst werden. Auf diese Weise konnte bereits 2003 eine Vorstufe des Antimalariamittels Artemisinin synthetisiert werden.

Ein anderes mit der Synthetischen Biologie eng verwandtes Feld ist die Systembiologie, die die komplexen Wechselwirkungen innerhalb bestehender biologischer Systeme untersucht. Synthetische Biologie baut darauf auf und erzeugt neue biologische Funktionen und Systeme. Die an der Synthetischen Biologie beteiligten Disziplinen: Molekularbiologie, Organische Chemie, Nanobiotechnologie und Informationstechnik. Computermodellierung, DNA-Sequenzierung, DNA-Synthese, Chemische Synthese, Mikrofluidik und Lab-on-a-chip sind Techniken, die als Enabler der Synthetischen Biologie dienen.

Synthetische Biologie als Technikwissenschaft

Obwohl sich die Forschung zur Synthetischen Biologie weltweit noch im Grundlagenstadium befindet, handelt es sich um eine Technikwissenschaft. Sven Panke (ETH Zürich) nennt fünf Punkte, die zentral für Technikwissenschaften sind und in der Synthetischen Biologie eine zentrale Rolle spielen, sich jedoch noch nicht in der Biotechnologie etabliert haben:⁸

- **Umfassendes Wissen:** Derzeit ist beispielsweise die Funktion eines Viertels des Genoms des Kolibakteriums (eines Organismus, der in der Biologie bis heute intensiv untersucht wird) unbekannt – angesichts solcher Lücken können wir kaum behaupten, dass wir wissen, wie Leben funktioniert.
- **Orthogonalität:** Die kombinierten Teile biologischer Systeme (beispielsweise die molekularen Bestandteile von Zellen) sollten voneinander unabhängig sein, damit ein modularer Aufbau möglich ist und keine unvorhergesehenen Nebeneffekte auftreten. In natürlichen Zellen beeinflussen sich molekulare Bausteine nämlich in vielfältiger Weise.
- **Hierarchische Organisation:** Untersysteme sollen in der Synthetischen Biologie auf verschiedenen Abstraktionsebenen betrachtet werden – dagegen dominiert in der Biotechnologie die molekulare Sichtweise. Dabei ermöglicht in den Ingenieurwissenschaften wie der Elektronik die Abstraktion auf verschiedenen Hierarchieebenen eine effektive Arbeitsteilung (verschiedene Spezialisten sind zuständig für verschiedene „Ebenen“ mit ihren jeweiligen Details; in der Biologie könnten dies Stoffwechselwege sein oder genetische Schaltkreise).
- **Standardisierung:** Biologische Systeme sind komplex und vielfältig. Der Weg zu maßgeschneiderten Bausteinen der Synthetischen Biologie ist noch weit.
- **Trennung von Design, Entwurf und Herstellung:** In der Biotechnologie ist diese Trennung – anders als etwa im Automobilbau – längst noch nicht gegeben. Die Vereinigung von Biowissenschaften und Ingenieurwissenschaften, die sich nun in der Synthetischen Biologie abzeichnet, ist Voraussetzung dafür, dass diese Arbeitsschritte voneinander getrennt werden können.

8 Panke 2008, S. 6.

Zu jedem einzelnen dieser Punkte kann die Synthetische Biologie einen Beitrag leisten und damit die Biotechnologie insgesamt zu einer Technikwissenschaft machen.

MÖGLICHKEITEN, HERAUSFORDERUNGEN UND REALITÄTEN

Die Visionen einer Biologie am Reißbrett liegen in der Konstruktion von Organismen mit gänzlich neuen, in der Natur nicht vorkommenden Eigenschaften und der *de novo*-Schaffung von Leben aus (nichtlebendigen) Bausteinen biologischen oder nicht-biologischen Ursprungs. Der entscheidende Durchbruch wäre erreicht, wenn es gelänge, einen Organismus mit einem möglichst kleinen Genom zu schaffen. Denn so ließe sich die biologische Komplexität zähmen, die derzeit noch viele Anwendungsmöglichkeiten behindert. Ein solches vereinfachtes, aber funktionsfähiges Genom könnten die Biotechniker als das Gerüst nutzen, in das sie neue Funktionen nach Wunsch einbauen, ohne dass diese sich gegenseitig stören.

Auch mit Methoden wie dem „Code Engineering“ können neue funktionelle Systeme geschaffen werden:⁹ Organismen stellen in der Regel 20 verschiedene Aminosäuren selbst her. Wenn es gelingt, künstliche Aminosäuren einzuschleusen, entstehen Proteine mit ganz neuen Eigenschaften, die wiederum als neue Medikamente, Katalysatoren und Biomaterialien eingesetzt werden können – in besserer Qualität und zu geringeren Kosten als mit alten Methoden.

Tatsächlich können schon kleinere Verbesserungen in biotechnologischen Prozessen durch Methoden der Synthetischen Biologie eine erhebliche wirtschaftliche Relevanz haben. So wird die als Futtermittelzusatz benötigte Aminosäure Lysin derzeit mit klassischen biotechnologischen Verfahren im Maßstab von 700.000 Tonnen jährlich produziert, was einem Marktwert von 1,4 Milliarden Euro entspricht. Die neuen Prozesse könnten auf neue Rohstoffquellen zurückgreifen und so Ressourcen und Energie sparen und Abfälle vermeiden. Insgesamt zeichnen sich eine höhere Produktivität und ganz neue Produktionskonzepte ab, in denen verschiedene biologische Bereiche wie etwa Fotosynthese und Kohlendioxid-Verwertung zusammen kommen.

9 Budisa/Weitze 2009.

Mögliche Anwendungsfelder sind denkbar vielfältig: Die Hoffnung besteht beispielsweise darin, Minimalzellen mit reduzierten Genomen und genau definierten – berechenbaren – Eigenschaften für umwelt-schonende industrielle Produktionsprozesse zu entwickeln oder exakt regulierbare zelluläre Systeme für medizinische Behandlungen zu generieren. Neben dem Einsatz in Umwelt und Medizin bieten sich neue Perspektiven in den Bereichen Energie, Landwirtschaft und Werkstoffe sowie für die Grundlagenforschung. Die ökonomischen Möglichkeiten sind mithin viel versprechend. Wie steht es um gegenwärtige Herausforderungen des Feldes? Diese sind durchaus divers und umfassen ethische, rechtliche und gesellschaftliche Fragen, so etwa patentrechtliche Fragen und Fragen zur Biosicherheit.¹⁰

SYNTHETISCHE BIOLOGIE IM SPANNUNGSFELD VON WISSENSCHAFT, POLITIK, ÖFFENTLICHKEIT UND WIRTSCHAFT

In der öffentlichen Diskussion spielt die Synthetische Biologie noch eine untergeordnete Rolle. In Deutschland und international wird bereits intensiv Begleitforschung betrieben, und – im Sinne einer antizipativen Kommunikation – beziehen forschungsfördernde Institutionen und Wissenschaftseinrichtungen Stellung zum Thema.¹¹

Ein Begriff wie „Synthetische Biologie“ kann durchaus Assoziationen an „Frankenstein“ hervorrufen. Und weil dieser Wissenschaftszweig weit über die Gentechnik (um die es selbst vielfältige Kontroversen gibt) hinausgeht, ist es verständlich, wenn Wissenschaftler und ihre Organisationen über antizipative Technikfolgenabschätzung und Risikokommunikation nachdenken. So wurden im Rahmen eines europäischen Forschungsprojektes „Synbiosafe“¹² die gesellschaftlichen Aspekte der Synthetischen Biologie untersucht. Die beteiligten Sozialwissenschaftler, Historiker und Philosophen haben Ergebnisse dieser Diskussionen freilich nicht abschließend bewertet, aber Denkanstöße geliefert.¹³ Welches sind im Rahmen der Synthetischen Biologie die

10 DFG/acatech/Leopoldina 2009.

11 DFG/acatech/Leopoldina 2009; Panke 2008; Royal Academy of Engineering 2009a.

12 <http://www.synbiosafe.eu/> [Stand: 01.10.2010].

13 Schmidt u. a. 2010.

spezifischen ethischen Fragen? Auf welche Weise kann die breite Öffentlichkeit in eine Diskussion einbezogen werden? Welche Rolle spielen NGOs bei der Herausbildung dieser Neuen Technologie? Probleme der Patentierung und mögliche Monopolbildung erscheinen noch abstrakt im Vergleich zu folgenden Punkten: Besteht die konkrete Gefahr, dass man pathogene Gensequenzen im Internet bei Firmen bestellen und daraus pathogene Organismen oder biologische Toxine konstruieren kann? Welches Gefahrenpotenzial bieten Mikroorganismen der Synthetischen Biologie, die absichtlich oder aus Versehen in die Welt gesetzt werden?

Was meint die Öffentlichkeit dazu?

Eine „Technik der lebenden Wesen“ (Jacques Loeb, siehe oben) beflügelte bereits vor einhundert Jahren die Fantasien der Journalisten. So spekulierte der Boston Herald am 26. November 1899: „we [...] may already see ahead of us the day when a scientist, experimenting with chemicals in a test tube, may see them unite and form a substance which shall live and move and reproduce itself.“¹⁴ Bis heute werden in den Überschriften einschlägiger Zeitungs- und Zeitschriftenartikel Faszination und Ängste deutlich: „Lebewesen maßgeschneidert“¹⁵, „Lego des Lebens“¹⁶, „Leben aus dem Nichts“¹⁷ stehen Artikeln wie „Frankensteins Zeit ist gekommen“¹⁸ und „Konkurrenz für Gott“¹⁹ gegenüber.

In der Öffentlichkeit werden die Visionen Neuer Technologien naturgemäß aus anderen Blickwinkeln betrachtet als in der (Technik-) Wissenschaft. So mögen Verheißungen der Wissenschaft, wenn sie mit Begriffen wie „Synthetische Biologie“ verbunden sind, tatsächlich auch Gedanken an Frankensteins Monster assoziieren. Ansätze zu einer „Domestizierung der Hochtechnologie“ (gemeint ist der alltägliche Umgang für jedermann mit ihr), die man gerade im Bereich der

14 Zit. nach Campos 2009, S. 11.

15 P. Illinger in: Süddeutsche Zeitung v. 28.07.2009.

16 J. Maier in: Die Zeit v. 30.07.2009.

17 J. Müller-Jung in: F.A.Z. v. 15.08.2009.

18 B. Epping in: Spiegel online v. 27.12.2008.

19 J. Grolle in: Der Spiegel 1/2010.

Biotechnologie als Chance zu deren Popularisierung auffasst,²⁰ lassen gleichzeitig Befürchtungen entstehen, dass „Genbastler“ zu Hause gefährliche Mikroorganismen erschaffen könnten.²¹ So reicht das Spektrum an Meinungen zur Synthetischen Biologie bis hin zur Forderung nach einem „Moratorium für die Anwendung und weitere Entwicklung der Synthetischen Biologie“.²²

Einer Studie der Royal Society of Engineering zufolge hat in Großbritannien ein Großteil der Bevölkerung (zwei Drittel) den Begriff „Synthetische Biologie“ noch nie gehört.²³ Während Anwendungen in Medizin und Biotreibstoffen von den Befragten eher positiv gesehen werden, sind ca. 40 Prozent der Befragten besorgt, dass nun künstliche Mikroorganismen geschaffen werden.

Eine Studie des Woodrow Wilson Center kommt in den USA zu ähnlichen Ergebnissen. Hier folgert man, dass der noch sehr geringe Bekanntheitsgrad dieser neuen Technikwissenschaft als Chance genutzt werden sollte, um Vertrauen zu schaffen. „Indeed, there is perhaps an even greater risk in not beginning to inform the public about synthetic biology now before it is framed by misimpressions, misinformation, or scepticism.“²⁴

Die Empfehlungen von DFG, acatech und Leopoldina

Vor dem Hintergrund der Chancen und Risiken, die sich mit diesem neuen Feld eröffnen, haben sich die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) und die Deutsche Akademie der Naturforscher, Leopoldina, Nationale Akademie der Wissenschaften zusammengeschlossen und eine Stellungnahme zu den Chancen und Risiken der Synthetischen Biologie erarbeitet. Als Resümee werden Empfehlungen für verschiedene Handlungsfelder gegeben:²⁵

20 Dyson 2007.

21 Vgl. Karberg 2009.

22 Christoph Then, der das Institut für unabhängige Folgenabschätzung in der Biotechnologie leitet, fordert „ein Moratorium bei staatlichen Fördermaßnahmen für die technische Weiterentwicklung der Synthetischen Biologie“ (Then 2010).

23 Royal Academy of Engineering 2009b.

24 Woodrow Wilson Center 2008, S. 8.

25 DFG/acatech/Leopoldina 2009, S. 10-11.

Da sich die anwendungsbezogenen Projekte der Synthetischen Biologie vorwiegend noch auf konzeptionellen Ebenen bewegen, sollte die Grundlagenforschung künftig verstärkt bei der Planung wissenschaftlicher Förderprogramme Berücksichtigung finden. Zudem ist anzustreben, die verschiedensten Disziplinen in Forschungszentren und Forschungsverbänden zusammenzuführen und Infrastrukturen zu bündeln.

Bei der ökonomischen Verwertung der Synthetischen Biologie ist zu beachten, dass diese nicht nur von einer starken, im internationalen Wettbewerb konkurrenzfähigen Forschung abhängt, sondern dass auch die rechtlichen und die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen mitbestimmend für den Erfolg oder Misserfolg dieser neuen Technologie sind.

Bezüglich der biologischen Sicherheit (Biosafety) und des Missbrauchsrisikos (Biosecurity) erscheinen die bestehenden Gesetze in Deutschland nach dem heutigen Forschungsstand ausreichend. Aufgrund der dynamischen und vielfältigen Entwicklungen werden jedoch verschiedene Maßnahmen zum Monitoring des Feldes und zur Reduzierung des Missbrauchsrisikos empfohlen. Soweit bewährte Methoden der Technikfolgenbeurteilung und der Risikoanalyse nicht greifen oder bei den zu erwartenden Auswirkungen hohe Unsicherheiten herrschen, muss das Vorsorgeprinzip gelten. Außerdem ist es ratsam, durch die Schaffung geeigneter interdisziplinärer Diskussionsplattformen die Selbstkontrolle der Wissenschaft zu fördern. Für Fragen der ethischen Beurteilung von technisch konstruierten Lebensformen sollte möglichst zeitnah ein öffentlicher Dialog geführt werden. In diesem Dialog sollten die Argumente ausgetauscht und die verschiedenen Interpretationen des Lebendigen gegenüber dem Nichtlebendigen diskutiert werden. Als Ziel des Diskurses ist die ethische Bewertung kopierender oder auch de novo synthetisierender Interventionen in die vorgefundene Natur anzustreben.

FAZIT

In Fortführung von Verfahren der Gentechnik und Molekularbiologie verfolgt die Synthetische Biologie einen ingenieurwissenschaftlichen Ansatz, indem sie auf verschiedenen Ebenen (Gene, Stoffwechselwege, Zellen) in biologische Prozesse eingreift oder diese ganz neu kons-

truiert. Kostengünstigere biotechnologische Verfahren mit besonders reinen Produkten und wenig Abfallstoffen sind Perspektiven, die diese Neue Technologie sowohl ökonomisch als auch ökologisch viel versprechend machen. Freilich wirft das noch junge Feld ethische, rechtliche und gesellschaftliche Fragen auf, die jetzt auf breiter Ebene zu diskutieren sind.

LITERATUR

- Budisa, N./Weitze, M.-D.: Den Kode des Lebens erweitern. In: *Spektrum der Wissenschaft* (Januar 2009), S. 42-50.
- Campos, L.: „That was the synthetic biology that was“. In: Schmidt, M. u. a. 2010, S. 5-22.
- DFG/acatech/Leopoldina: *Synthetische Biologie. Stellungnahme*, Weinheim: Wiley, 2009.
- Dyson, F.: „Our biotech future“. In: *The New York Review of Books*, Band. 54, Nr. 12, 19. Juli 2007.
- Fox-Keller, E.: *Making sense of life*, Cambridge: Harvard University Press, 2002.
- Karberg S.: „Genbastler allein zu Haus“. In: *Technology Review* 11 (2009).
- Langton, C. G.: „Artificial life“. In: Langton, C. G. (Hrsg.): *Artificial life*, Reading: Addison-Wesley, 1989, S. 1-48.
- Panke, S.: *Synthetic biology – engineering in biotechnology*, hrsg. v. Swiss Academy of Technical Sciences. Zürich 2008. <http://www.satw.ch/organisation/kommissionen/bio/Berichte> [Stand: 01.10.2010].
- The Royal Academy of Engineering: *Synthetic Biology: scope, applications and implications*. Mai 2009a.
- The Royal Academy of Engineering: *Synthetic Biology: public dialogue on synthetic biology*. Juni 2009b.
- Schmidt, M. u. a.: *Synthetic biology: the technoscience and its societal consequences*, Berlin: Springer, 2010.
- Service, R. F.: „Researchers create first autonomous synthetic life form“. In: *Science*, 31 January 2003, S. 640.
- The Woodrow Wilson International Center For Scholars: *Awareness of and attitudes toward nanotechnology and synthetic biology*, 2008.

<http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7040/final-synbio-report.pdf> [Stand: 01.0.2010].

Then, C.: „Lückenlose Kontrolle notwendig“ – Zur Kritik der Synthetischen Biologie. In: *Forschung & Lehre* 8 / 2010, S. 564-565.

Winnacker, E. L.: „Synthetische Biologie“. In: Hohlfeld, R., Herbig, J. (Hrsg.): *Die Zweite Schöpfung*, München, 1992.

Neue Technik auf alten Pfaden. Biotechnologieförderung in der Bundesrepublik Deutschland

THOMAS WIELAND

TECHNISCHER FORTSCHRITT UND FORSCHUNGSPOLITIK

Der Technikforschung – sei sie nun historisch, soziologisch oder ökonomisch motiviert – verdanken wir die Einsicht, dass technischer Fortschritt als ein evolutionärer Prozess gedacht werden kann.¹ Darin wechseln sich Phasen großer technischer Diversität, in denen radikal Neues entsteht, mit Phasen ab, in denen der einmal eingeschlagene Pfad nicht mehr verlassen wird. Je nach theoretischer Heimat der Autoren wird dann von der Etablierung technologischer Paradigmen (Trajectory Approach), der Schließung sozialer Aushandlungsprozesse (Social Construction of Technology), der Ausbildung von Pfadabhängigkeiten und anderem mehr gesprochen.² Gemeint ist letztlich immer, dass sich eine dominante Interpretation eines technischen Artefakts bzw. einer Technologie durchsetzt – eine Art Standarddesign, das für

-
- 1 Der Beitrag basiert auf den Ergebnissen von Wieland 2009, insbesondere Kap. 6. Dort finden sich auch ausführliche Angaben zur relevanten Literatur sowie den verwendeten Quellen.
 - 2 Siehe z. B. für Trajectory Approach Dosi 1982; Nelson/Winter 1977, 1982; für Social Construction of Technology Pinch/Bijker 1987; für Pfadabhängigkeit Arthur 1994; David 1985 sowie die weitergehende Diskussion in Wieland 2009, Kap. 2.

die weitere Entwicklung mehr oder weniger verbindlich wird. Man denke an die Vielzahl von Reaktortypen, die in der Frühphase der zivilen Kernenergienutzung diskutiert und entwickelt wurden und aus denen der Leichtwasserreaktor als Standarddesign in der westlichen Hemisphäre hervorgegangen ist.

Nun kann die dominante Interpretation eines technischen Artefakts bzw. einer Technologie freilich auch wieder in Frage gestellt werden. Es können neue Paradigmen auftauchen, bereits geschlossene Austauschprozesse wieder aufbrechen und Technologiepfade neu ausgerichtet werden. Am Ende steht dann oftmals eine Neuinterpretation des betroffenen Artefakts bzw. der betroffenen Technologie. Für die staatliche Technologieförderung bedeuten diese Neuinterpretationen eine große Herausforderung, da sie die Grundannahmen, mit denen die Forschungspolitik in die Förderung hineingegangen ist, in Zweifel ziehen können. Nicht selten entsteht die Notwendigkeit, die bislang verfolgten Förderstrategien neu auszurichten. Ist eine Technologie zahlreichen Neuinterpretationen aufgrund einer raschen Abfolge technischer Neuerungen unterworfen, kann das dazu führen, dass die Forschungspolitik mit ihren Strategien den tatsächlichen Entwicklungen hoffnungslos hinterherläuft.³ Die Probleme, die sich der bundesdeutschen Forschungspolitik aus der Stabilität bzw. dem Wandel von Technologien heraus stellen, sollen im Folgenden am Beispiel der Biotechnologie näher beleuchtet werden.

DIE ANFÄNGE STAATLICHER BIOTECHNOLOGIEFÖRDERUNG

Die Anfänge staatlicher Biotechnologieförderung gehen in der Bundesrepublik bis in die späten 1960er Jahre zurück, als das Bundesforschungsministerium das Programm „Neue Technologien“ aus der Taufe hob.⁴ Es war eine direkte Reaktion auf die damals heftig geführte Debatte um die „technologische Lücke“, die zwischen den USA und Westeuropa ausgemacht worden war und auf der hiesigen Seite des Atlantiks für große Aufregung sorgte. In der Debatte um die technologische Lücke drückte sich das europäische Unbehagen über den wis-

3 Zur bundesdeutschen Förderpolitik in der Datenverarbeitung siehe Wieland 2009, Kap. 5.

4 Vgl. Beitrag von Aumann in diesem Band.

senschaftlich-technischen Führungsanspruch der USA aus, der spätestens mit dem Zweiten Weltkrieg unübersehbar geworden war und das Selbstbild von Ländern wie Frankreich, England und der Bundesrepublik Deutschland gewaltig erschütterte. Zeitgenössische Kommentatoren sahen die Gefahr, dass Westeuropa zu einem Satelliten der USA werden könnte.⁵ Das galt es durch entsprechende Initiativen der Forschungspolitik zu verhindern.

Das Programm „Neue Technologien“ war als Suchprogramm konzipiert und zielte auf die Identifizierung und Förderung von Technologien, die sowohl wirtschaftlich als auch sozial und ökologisch zukunftsweisend sein sollten.⁶ Die Biotechnologie schien sich besonders gut in diesen Rahmen einzufügen, da sie Ende der 1960er Jahre noch ein ausgesprochen grünes Image besaß. Im Vergleich zu chemisch-synthetischen Verfahren, die die chemisch-pharmazeutische Industrie in der Bundesrepublik dominierten, galt sie als ressourcensparend und umweltschonend. Die Biotechnologie schien zudem Antworten auf eine lange Reihe drängender sozialer und ökologischer Probleme liefern zu können – von der Bekämpfung des Hungers in der Dritten Welt bis zur Sicherstellung einer preiswerten regenerativen Energieversorgung. Und nicht zuletzt wurde ihr von verschiedener Seite ein hohes ökonomisches Potenzial zugeschrieben, das der erlahmenden Weltwirtschaft neue Impulse verleihen sollte.⁷

Nun war die Biotechnologie in den 1960er Jahren alles andere als eine Neue Technologie. Die industrielle Nutzung biologischer Prozesse erlebte bereits im späten 19. Jahrhundert ihren ersten großen Aufschwung. In den 1960er Jahren wurden Antibiotika, Vitamine, Steroide, Enzyme und vieles andere mehr biotechnologisch produziert. Als führende Biotechnologienationen galten damals Japan und die USA.⁸ In der Bundesrepublik stand die Biotechnologie damals jedoch ganz im Schatten der organisch-chemischen Synthese.⁹ Diesen Technologiepfad hatte die deutsche chemisch-pharmazeutische Industrie seit dem Ersten Weltkrieg ebenso systematisch wie erfolgreich ausgebaut. Das war auf Kosten der Biotechnologie gegangen, die in Anwendungsnischen abgedrängt wurde. Und dort griff die Industrie überwie-

5 Siehe z. B. Strauß 1968.

6 Stucke 1993, S. 121-131; Wieland 2010, S. 79.

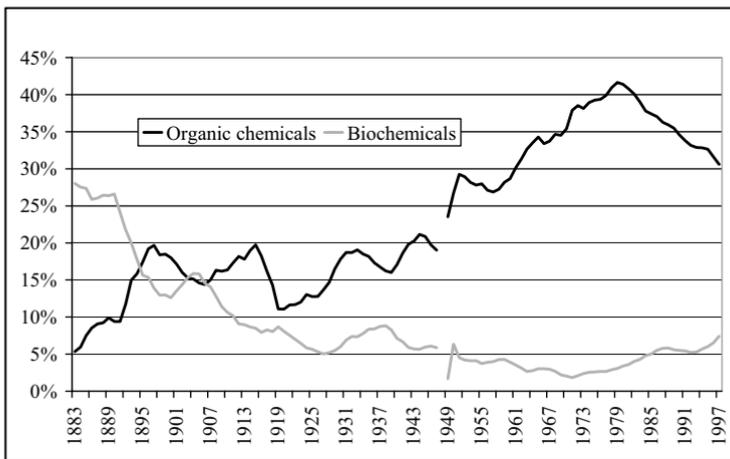
7 Vgl. Bud 1993, S. 122-140.

8 Allgemein zur Geschichte der Biotechnologie siehe Bud 1993.

9 Marschall 2000.

gend auf biotechnologische Verfahren zurück, für die sie Lizenzen im Ausland erwarb, anstatt selbst Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in nennenswertem Umfang durchzuführen. Das Konkurrenzverhältnis von organisch-chemischer Synthese und Biotechnologie, das sechzig Jahre, bevor die Biotechnologieförderung in der Bundesrepublik einsetzte, zugunsten der chemischen Verfahren entschieden worden war, ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie basiert auf Auswertungen einschlägiger Anmeldungen am Deutschen Patentamt.

Abbildung 1: Konkurrenzverlauf zwischen organisch-chemischer Synthese und Biotechnologie.¹⁰



Der Weg, den die bundesdeutsche Forschungspolitik beschritt, um die Biotechnologie aus ihren Anwendungsnischen herauszuholen und die Pfadabhängigkeit der heimischen Großchemie aufzubrechen, orientierte sich bis Ende der 1970er Jahre an den Strategien, die sie bereits bei der Kerntechnik verfolgt hatte. Dazu gehörten die Initiierung technologischer Großprojekte, die der Industrie beim Aufbau einschlägiger Kompetenzen helfen sollten, neo-korporatistische Verfahren bei der Planung und Umsetzung von Förderschwerpunkten, in denen sich vor allem die großen Unternehmen Gehör verschaffen konnten, sowie die

¹⁰ Dargestellt ist die Entwicklung der Patentanteile in den Bereichen organische Chemie und Biochemie an allen deutschen Patentanmeldungen in der Chemie; Dominguez Lacasa/Grupp/Schmoch 2003.

Etablierung von Großforschungseinrichtungen, die als Scharnier zwischen Wissenschaft und Industrie begriffen wurden.¹¹

Eines der ersten biotechnologischen Projekte, das eine staatliche Förderung erhielt, war die großtechnische Produktion von Nahrungseiweiß mit Hilfe von Hefen aus Erdöl bzw. Methanol – so genanntes Einzellereiweiß.¹² Das Projekt ging auf eine Initiative der bundesdeutschen Montanindustrie zurück, die sich angesichts der Krise des heimischen Bergbaus neue Geschäftsfelder erschließen wollte und sich dabei an ähnlichen Unternehmungen im Ausland orientierte. Durchgeführt wurde das Projekt dann aber von einem Firmenkonsortium unter der Leitung des chemisch-pharmazeutischen Unternehmens Hoechst. Obgleich das Projekt auf technischer Ebene weitgehend erfolgreich war, erwies es sich als wirtschaftlicher Flop, da sich keine Abnehmer für das produzierte Eiweiß fanden. Tatsächlich hat sich die Produktion von Einzellereiweiß zur menschlichen (oder auch tierischen) Ernährung bis heute nicht durchsetzen können, was u. a. auf die Verfügbarkeit von billigem Soja zurückzuführen ist.

Trotz dieser und ähnlicher Förderinitiativen der Forschungspolitik entwickelte sich die Biotechnologie in der Bundesrepublik nur sehr langsam. Im internationalen Vergleich galt sie auch Ende der 1970er Jahre noch als ausgesprochen rückständig.¹³ Das lag zu einem erheblichen Teil an der heimischen Großchemie, die trotz ihrer Beteiligung an einzelnen Förderprojekten weiterhin dem Technologiepfad der organisch-chemischen Synthese verschrieben blieb. Die staatlichen Initiativen waren offensichtlich nicht geeignet, den festen Glauben von Unternehmen wie Hoechst, Bayer und BASF an die Überlegenheit des bewährten und bis dahin auch höchst erfolgreichen Technologiepfads zu erschüttern. Dazu bedurfte es eines externen Schocks, der in Form der neuen Biotechnologie aus den USA kam.

DAS AUFKOMMEN DER GENTECHNIK

Während sich die bundesdeutsche Forschungspolitik bemühte, die heimische Biotechnologie aus ihren Anwendungsnischen herauszuholen, vollzog dieses Technologiefeld, ausgehend von den USA, einen

11 Zur bundesdeutschen Großforschung siehe Szöllösi-Janze/Trischler 1990.

12 Siehe dazu Wieland 2010, S. 205-207.

13 Siehe auch Buchholz 1979.

radikalen Wandel. Auslöser dafür war die Entwicklung rekombinanter DNS-Techniken seit Anfang der 1970er Jahre. Sie ermöglichten es, gezielt Gene aus einem Organismus zu entnehmen, zu verändern und auf einen anderen – auch artfremden – Organismus zu übertragen. Das nun möglich gewordene detaillierte Studium der Genregulation in höheren Lebewesen eröffnete der biologischen Grundlagenforschung ganz neue Wege. Mit Hilfe gentechnischer Methoden ließen sich darüber hinaus auch pharmazeutisch interessante Wirkstoffe, die bis dahin gar nicht oder nur sehr schwer zugänglich waren, in beinahe unbegrenzten Mengen produzieren. Besonders interessant waren zunächst rekombinante Proteine wie Humaninsulin, Interferone, Vakzine, Wachstumsfaktoren, usw.

Das kommerzielle Potenzial der Neuen Technologie weckte schnell die Anwendungsfantasie von Hochschulwissenschaftlern und Wagniskapitalgebern. Bereits Ende der 1970er Jahre setzte in den USA die erste Gründungswelle kleiner spezialisierter Biotechnologiefirmen ein, die das neuartige Wissen der Gentechnologie kommerziell zu verwerten suchten. Prominentes Beispiel für eine dieser Biotechnologiefirmen ist die 1976 von dem Molekularbiologen Herbert Boyer und dem Wagniskapitalgeber Robert Swanson gegründete Firma Genentech. Sie erlebte 1980 einen spektakulären Börsengang, bei dem der Kurs der ausgegebenen Aktie innerhalb einer Stunde von 35 auf 88 US-Dollar anstieg. Genentech wurde so zu einem Vorbild für eine ganze Reihe ähnlicher Gründungen.¹⁴

Die immensen Gewinnerwartungen, die sich mit der Gentechnik verbanden, weckten schließlich auch das Interesse der bundesdeutschen Großchemie. Firmen wie Hoechst, Bayer und BASF begannen nun, ihre etablierten Innovations- und Produktionsstrategien zu überdenken. Aus Angst, den Anschluss an die neue Biotechnologie endgültig zu verpassen, suchten sie schließlich einen Zugang zur US-amerikanischen Wissenschaft. Den Anfang machte die Firma Hoechst, die 1981 ein 70 Millionen US-Dollar schweres Abkommen mit dem Massachusetts General Hospital in Boston einging, um sich dort Kenntnisse über die neue Biotechnologie anzueignen.¹⁵ Bayer und BASF folgten mit ähnlichen Aktivitäten.¹⁶

14 Zu den Anfängen der neuen Biotechnologie in den USA siehe z. B. Hall 1987; McKelvey 2000; Smith Hughes 2001; Wright 1986.

15 Culliton 1982; siehe auch Wieland 2010.

16 Dolata 1996, S. 85-113.

TRANSFORMATIONEN DER BIOTECHNOLOGIE DURCH DIE GENTECHNIK

Anfang der 1980er Jahre war nun endlich das Interesse der bundesdeutschen Großchemie an der Biotechnologie voll erwacht. Das Problem der Rückständigkeit in diesem Technologiefeld, dem die Forschungspolitik mit ihren zahlreichen Initiativen seit Ende der 1960er Jahre gegensteuern wollte, war damit allerdings nicht gelöst. Tatsächlich stellte der Wandel der Biotechnologie mit dem Aufkommen der Gentechnik die Forschungspolitik vor neue Herausforderungen, denen mit den bisherigen Strategien der Förderung nur bedingt beizukommen war. Auf drei Verschiebungen, die mit der Etablierung der Gentechnik einhergingen und für die die Forschungspolitik eine besondere Relevanz besaßen, soll im Folgenden kurz eingegangen werden: (1) die hohe Wissenschaftsbindung der neuen Biotechnologie, (2) die Rolle kleiner spezialisierter Biotechnologiefirmen und (3) der Risikodiskurs um die Gentechnik.

(1) Zunächst muss festgehalten werden, dass mit der Gentechnik die Biotechnologie eng an die molekularbiologische Grundlagenforschung herangerückt wurde. Natürlich hatte sich auch die klassische Biotechnologie auf wissenschaftliche Disziplinen gestützt, vor allem auf die Verfahrenstechnik und die Mikrobiologie. Ihre empirisch handwerkliche Tradition konnte sie dabei aber nur schwer leugnen. Das fiel besonders im Vergleich mit der Chemie auf, die seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert durch eine enge Kopplung universitärer Grundlagenforschung und industrieller Anwendung gekennzeichnet war und deshalb nicht zufällig als eine der ersten wissenschaftsbasierten Industrien gilt. Die mangelnde theoretische Durchdringung der klassischen Biotechnologie war auch einer der Gründe, weshalb die deutsche Großchemie biotechnologische Verfahren den chemisch-synthetischen Verfahren als unterlegen betrachtete und in Ersteren lange Zeit keine Option für die Zukunft sehen mochte. Die neue, d. h. sich gentechnischer Methoden bedienende, Biotechnologie ist jedoch wie nur wenig andere Technologien wissenschaftsgebunden, wobei der molekularbiologischen Forschung dabei eine zentrale Rolle zufällt. Diese hohe Wissenschaftsbindung ist in Tabelle 1 ersichtlich, die auf der Auswertung von Patentprüfungsberichten basiert.

Tabelle 1: Relative Wissenschaftsbindung ausgewählter Technologien.¹⁷

Feld	Index
Biotechnologie	2,65
Pharmazie	1,87
Halbleiter	1,74
Organische Chemie	1,66
Lebensmittelchemie	1,51
Datenverarbeitung	1,26
Optik	1,25
Audiovisuelle Technik	1,16
Telekommunikation	1,14
Werkstoffe	1,13
Messen, Regeln	1,04
Grundstoffchemie	0,99
Oberflächentechnik	0,93
<i>Mittelwert</i>	<i>0,85</i>
Nukleartechnik	0,84
Polymere	0,81
Elektrische Energie	0,75
Umwelttechnik	0,65
Verarbeitungsprozesse	0,61
Verfahrenstechnik	0,60
Werkzeugmaschinen	0,53
Nahrungsmittelverarbeitung	0,52
Motoren, Turbinen	0,45
Handhabung	0,41
Thermische Prozesse	0,40
Medizintechnik	0,38
Raumfahrt	0,30
Transport	0,30
Maschinenelemente	0,25
Verbrauchsgüter	0,22
Bauwesen	0,18

¹⁷ Schmoch 2003, S. 152.

Die bundesdeutsche Molekularbiologie war bis in die 1980er Jahre hinein allerdings wenig geeignet, die Entwicklung des heimischen Biotechnologiesektors zu unterstützen.¹⁸ Das lag zum einen daran, dass es hierzulande trotz einiger international angesehener Molekularbiologen an ausreichender gentechnischer Expertise fehlte. Nicht nur Hoechst beklagte sich Anfang der 1980er Jahre über den „dünn gesä- te[n] Sachverstand“ in der Bundesrepublik, wenn es um Fragen der Gentechnik ging.¹⁹ Zum anderen taten sich die heimischen Molekularbiologen wie auch die Vertreter anderer biotechnologierelevanter Fächer schwer, ihre Forschungen für industriell interessante Anwendungen zu öffnen. Noch Mitte der 1990er Jahre machte Peter Hans Hofschneider, Molekularbiologe am Max-Planck-Institut für Biochemie und einer der wenigen Gentechnikpioniere hierzulande, unter seinen Kollegen eine weit verbreitete „Zwei-Lager-Mentalität“ aus, die strikt zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung unterscheiden würde.²⁰

Sowohl der Mangel an gentechnischer Expertise als auch an einer anwendungsoffenen Grundlagenforschung in der bundesdeutschen Molekularbiologie der frühen 1980er Jahre lässt sich historisch erklären. So setzte die molekularbiologische Forschung in der Bundesrepublik im Vergleich zu den USA, England und Frankreich relativ spät ein. Der erste größere Institutionalisierungsschub für das Fach erfolgte erst in den 1960er Jahren. Im Folgejahrzehnt ging es daher vielerorts noch darum, an den internationalen Forschungsstand aufzuschließen. Dass Hoechst Anfang der 1980er Jahre in den USA Nachhilfestunden in der Gentechnik nahm, konnte deshalb eigentlich nur jemanden verwundern, der mit der bundesdeutschen Entwicklung der Molekularbiologie unzureichend vertraut war. Und der Mangel an einer anwendungsoffenen Grundlagenforschung war sowohl der jahrzehntelangen Marginalisierung der Biotechnologie durch einen der wichtigsten deutschen Industriesektoren geschuldet als auch dem moralischen Versagen deutscher Biologen im Nationalsozialismus, was einen (nicht nur) rhetorischen Rückzug vieler Fachvertreter auf eine scheinbar unpolitische Grundlagenforschung zur Folge hatte.

18 Siehe dazu Wieland 2010.

19 Weissermel 1981.

20 Hofschneider 1996.

(2) Mit der engen Wissenschaftsbindung der neuen Biotechnologie ging auch eine Verschiebung in den Akteurkonstellationen einher. Die Forschungspolitik der 1970er Jahre orientierte sich an den großen Unternehmen der chemisch-pharmazeutischen Industrie, die gleichermaßen Berater und Adressaten der staatlichen Fördermaßnahmen waren. So beauftragte das Forschungsministerium mangels eigener Kompetenzen und Kapazitäten 1972 die Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen, kurz DECHEMA, mit einer Studie, die sich mit Stand und Perspektiven der Biotechnologie in der Bundesrepublik auseinandersetzen sollte.²¹ Die Studie war als Rahmen für die weitere staatliche Biotechnologieförderung gedacht. Erarbeitet wurde sie von einer Gruppe innerhalb der DECHEMA, die sich aus Vertretern der großen Chemie- und Pharmaunternehmen sowie Mitgliedern von Hochschulen und Großforschungseinrichtungen zusammensetzte. Vertreter kleiner und mittlerer Unternehmen wurden an der Erarbeitung der Studie nicht beteiligt, weil man ihre Kapazitäten ohnehin als unzureichend für biotechnologische Forschungs- und Entwicklungsprojekte ansah.²²

Der Ausschluss kleiner und mittlerer Unternehmen war – wenn überhaupt – nur solange einigermaßen schlüssig, wie die Biotechnologie als Großtechnologie verstanden wurde. Mit der neuen Biotechnologie erhielten aber gerade kleine spezialisierte Biotechnologiefirmen eine hohe strategische Bedeutung für dieses Technologiefeld. Denn diese Firmen, die häufig aus einem akademischen Milieu heraus gegründet wurden, erwiesen sich als besonders effizient für den Transfer von Wissen aus der universitären Grundlagenforschung in die industrielle Anwendung. Anders als in den USA gab es in der Bundesrepublik in den 1980er Jahren jedoch kaum Gründungsaktivitäten in diesem Bereich.²³ Der Forschungspolitik fehlte es an Adressaten für ihre biotechnologischen Fördermaßnahmen.

(3) Mit dem Einzug gentechnischer Methoden in die Biotechnologie verlor diese schließlich auch ihr grünes Image. Ende der 1960er Jahre

21 DECHEMA 1974.

22 Siehe dazu auch Buchholz 1979; Jasanoff 1985.

23 Ein Beispiel für eine frühe Firmengründung in der Bundesrepublik, die sich zudem auch als erfolgreich erwies, ist das 1984 gegründete Unternehmen DIAGEN, das heute unter dem Namen QIAGEN firmiert; siehe Rebentrost 2006.

war es auch dieses Image gewesen, das die Biotechnologie im Rahmen des Programms „Neue Technologien“ zu einem attraktiven Förderziel werden ließ. Denn neben dem ökonomischen Potenzial, das die Biotechnologie versprach, schien sie Antworten auf soziale und ökologische Probleme liefern zu können. Ende der 1960er Jahre war das in einer Gesellschaft, die den technischen Fortschritt in seiner ganzen Ambivalenz wahrzunehmen und zu hinterfragen begann, kein unwichtiges Argument für die Legitimation staatlicher Fördermaßnahmen.

Die Gentechnik mit ihren bis dahin ungeahnten Möglichkeiten der gezielten Erbgutmanipulation schien diese Versprechen der klassischen Biotechnologie nun einlösen zu können. Der Versuch, das grüne Image der klassischen auf die neue Biotechnologie zu übertragen, scheiterte jedoch. Das galt insbesondere für die Bundesrepublik, wo die Debatte über die Chancen und Risiken der neuen Technologie zwar vergleichsweise spät, dann jedoch besonders heftig einsetzte. Die Biotechnologie wurde in weiten Kreisen der Bevölkerung als Risikotechnologie wahrgenommen, die zudem ethisch weitreichende Fragen aufwarf und regelmäßig Ängste über eine neue Eugenik hervorrief. Den immensen Gewinnerwartungen der neuen Biotechnologie standen mindestens ebenso große Katastrophenbefürchtungen gegenüber. Die Politik war mit der schwierigen Aufgabe konfrontiert, diese divergierenden Interpretationen gegeneinander auszutarieren.

Die Forschungspolitik musste auf die Verschiebungen, die sich in der Biotechnologie im Gefolge der Gentechnik ergaben, mit einer Neuausrichtung ihrer Förderstrategien reagieren, wollte sie vermeiden, dass diese ins Leere liefen. Das Spektrum der nach und nach eingeleiteten Maßnahmen reicht von der Gründung der Genzentren Anfang der 1980er Jahre, die aus der breit geführten Diskussion um das zwischen Hoechst und dem Massachusetts General Hospital geschlossene Abkommen hervorgingen, bis zum Umbau des biotechnologischen Innovationssystems, der zehn Jahre später eingeleitet wurde.²⁴ Diese Bemühungen haben letztlich zu einem Erstarken des heimischen Biotechnologiesektors geführt. Deutschland verfügt heute in Europa über die meisten spezialisierten Biotechnologiefirmen, die pharmazeutische Produktpipeline füllt sich mit biotechnologischen Wirkstoffen, die hierzulande entwickelt wurden, und auch die heimische Wissenschaftsbasis der Biotechnologie wurde deutlich gestärkt

24 Siehe dazu auch Giesecke 2001; Kaiser 2008; Kaiser/Prange 2004.

Gewinn erwirtschaftet der heimische Biotechnologiesektor bislang allerdings keinen. Damit steht Deutschland nicht alleine da. Selbst in den USA fällt die wirtschaftliche Gesamtrechnung des Biotechnologiesektors erstaunlich bescheiden aus.²⁵ Ganz offensichtlich lässt sich auch in der Biotechnologie das Wissen, das an der Laborbank generiert wird, nicht ohne weiteres in industrielle Anwendungen übersetzen. Das Beispiel der rekombinanten Proteine der ersten Generation, denen Firmen wie Genentech ihren wirtschaftlichen Erfolg verdanken, ließ sich bislang in anderen Anwendungsbereichen der neuen Biotechnologie nicht umstandslos wiederholen. Letztlich scheint sich die neue Biotechnologie, was die Entwicklung neuer Produkte anbelangt, gar nicht so sehr von traditionellen Industriesektoren zu unterscheiden.²⁶

FAZIT

Die Biotechnologie hat seit dem Beginn der bundesdeutschen Förderpolitik einen erstaunlichen Wandel vollzogen. Aus der empirie-basierten Nischentechnologie wurde eine wissenschaftsbasierte Zukunftstechnologie, aus der grünen Technologie eine Risikotechnologie. Ähnliche Verschiebungen finden sich auch auf anderen Technologiefeldern. So hat die Kerntechnikförderung in der Bundesrepublik Ende der 1950er Jahre eine euphorisch gefeierte Zukunftstechnologie ins Visier genommen, die sich zu einer Risikotechnologie entwickelte, die in den 1980er Jahren ihren Rückhalt in der bundesdeutschen Bevölkerung völlig verlor. Als die bundesdeutsche Forschungspolitik Ende der 1960er Jahre die elektronische Datenverarbeitung ins Visier nahm, dominierte dort noch das Bild des Großrechners. Ein gutes Jahrzehnt später, am Ende des letzten Datenverarbeitungs-Programms der Bundesregierung, begann bereits der Personal Computer die Privathaushalte zu erobern. Derartige Verschiebungen können von der Forschungspolitik nicht vorausgesehen werden. Sie machen aber eine Förderpolitik notwendig, die regelmäßig ihre Grundannahmen überprüft und ihre Strategien den gewandelten Verhältnissen anpasst. Was zunächst als Neue Technologie identifiziert wurde, kann sich im Verlauf des Förderprozesses schnell als überholt erweisen.

25 Pisano 2006.

26 Siehe dazu Hopkins u. a. 2007.

LITERATUR

- Arthur, W. B.: *Increasing returns and path dependence in the economy*, Ann Arbor/MI: University of Michigan Press, 1994.
- Buchholz, K.: Die gezielte Förderung und Entwicklung der Biotechnologie. In: van den Daele, W. u. a. (Hrsg.): *Geplante Forschung. Vergleichende Studien über den Einfluss politischer Programme auf die Wissenschaftsentwicklung*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1979, S. 64-116.
- Bud, R.: *The uses of life*, Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- Culliton, B. J.: The Hoechst department at Mass General. In: *Science* 216 (1982), S. 1200-1203.
- David, P.A.: Clio and the economics of Qwerty. In: *American Economic Review, Papers and Proceedings* 75 (1985), S. 332-337.
- DECHEMA: *Biotechnologie. Eine Studie über Forschung und Entwicklung, Möglichkeiten, Aufgaben und Schwerpunkte der Förderung*, Frankfurt am Main: Eigenverlag, 1974.
- Dolata, U.: *Politische Ökonomie der Gentechnik. Konzernstrategien, Forschungsprogramme, Technologiewettläufe*, Berlin: edition sigma, 1996.
- Dominguez Lacasa, I./Grupp, H./Schmoch, U.: Tracing technological change over long periods in Germany in chemicals using patent statistics. In: *Scientometrics* 57 (2003), Nr. 2, S. 175-195.
- Dosi, G.: Technological paradigms and technological trajectories. In: *Research Policy* 11 (1982), S. 147-162.
- Giesecke, S.: *Von der Forschung zum Markt. Innovationsstrategien und Forschungspolitik in der Biotechnologie*, Berlin: edition sigma, 2001.
- Hall, S. S.: *Invisible frontiers. The race to synthesize a human gene*, Oxford: Oxford University Press, 1987.
- Hofschneider, P. H.: Grundlagenforschung und Industrie in Deutschland. Warnendes Beispiel Gentechnologie. In: *B.I.F. Futura* (1996), S. 104-109.
- Hopkins, M. M. u. a.: The myth of the biotech revolution: An assessment of technological, clinical and organisational change. Biotechnology: its origins, organization, and outputs. In: *Research Policy* 36 (2007), Nr. 4, S. 566-589.

- Jasanoff, S.: Technological innovation in a corporatist state. The case of biotechnology in the Federal Republic of Germany. In: *Research Policy* 14 (1985), S. 23-38.
- Kaiser, R.: *Innovationspolitik. Staatliche Steuerungskapazitäten beim Aufbau wissenschaftlicher Industrien im internationalen Vergleich*, Baden-Baden: Nomos, 2008.
- Kaiser, R./Prange, H.: The Reconfiguration of national innovation systems. The example of German biotechnology. In: *Research Policy* 33 (2004), S. 395-408.
- Marschall, L.: *Im Schatten der chemischen Synthese. Industrielle Biotechnologie in Deutschland (1900-1970)*, Frankfurt am Main: Campus, 2000.
- McKelvey, M.: *Evolutionary innovations. The business of biotechnology*, Oxford: Oxford University Press, 2000.
- Nelson, R. R./Winter, S. G.: In search of a useful theory of innovation. In: *Research Policy* 6 (1977), S. 36-76.
- Nelson, R. R./Winter, S. G.: *An evolutionary theory of economic change*, Cambridge/London: Belknap Press, 1982.
- Pinch, T. J./Bijker, W.E.: The social construction of facts and artifacts: or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other. In: Bijker, W. E. u. a. (Hrsg.): *The social construction of technological systems*, Cambridge/MA: MIT Press, 1987, S. 17-50.
- Pisano, G. P.: *Science business. The promise, the reality, and the future of biotech*, Boston/MA: Harvard Business School Press, 2006.
- Rebentrost, I.: *Das Labor in der Box. Technikentwicklung und Unternehmensgründung in der frühen deutschen Biotechnologie*, München: C. H. Beck, 2006.
- Schmoch, U.: *Hochschulforschung und Industrieforschung. Perspektiven der Interaktion*, Frankfurt am Main: Campus, 2003.
- Smith Hughes, S.: Making dollar out of DNA. The first major patent in biotechnology and the commercialization of molecular biology, 1974-1980. In: *Isis* 92 (2001), S. 541-575.
- Strauß, F. J.: Vorwort. In: Servan-Schreiber, J.-J.: *Die amerikanische Herausforderung*, Hamburg: Hoffmann und Campe, 1968, S. 7-18.
- Stucke, A.: *Institutionalisierung der Forschungspolitik. Entstehung, Entwicklung und Steuerungsprobleme des Bundesforschungsministeriums*, Frankfurt am Main: Campus, 1993.

- Szöllösi-Janze, M./Trischler, H.: Entwicklungslinien der Großforschung in der Bundesrepublik Deutschland. In: Dies. (Hrsg.): *Großforschung in Deutschland*, Frankfurt am Main: Campus, 1990, S. 13-20.
- Weissermel, K.: Fehlt bei uns die Spitzenforschung? Gespräch mit Hoechst-Forschungsvorstand Prof. Klaus Weissermel. In: *Umschau* 81 (1981), S. 614-616.
- Wieland, T.: *Neue Technik auf alten Pfaden? Forschungs- und Technologiepolitik in der Bonner Republik. Eine Studie zur Pfadabhängigkeit des technischen Fortschritts*, Bielefeld: transcript, 2009.
- Wieland, T.: Dünn gesäter Sachverstand? Molekularbiologie und Biotechnologie in der Bundesrepublik Deutschland der späten siebziger und frühen achtziger Jahre. In: Pieper, C./Uekötter, F. (Hrsg.): *Vom Nutzen der Wissenschaft*, Stuttgart: Franz Steiner, 2010, S. 233-251.
- Wright, S.: Recombinant DNA technology and its social transformation, 1972-1982. In: *Osiris* (2nd series) 2 (1986), S. 303-360.

Was ist „neu“ an Neuen Technologien? Zur vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Zukunft der Biotechnologie

DANIEL BARBEN

Wenn in Politik, Wirtschaft und Öffentlichkeit von „Neuen Technologien“ die Rede ist, geht dies gemeinhin mit der Annahme einher, dass diese Technologien von großer zukünftiger Bedeutung sind und deshalb angemessenes Handeln in der Gegenwart erfordern. Neue Technologien erscheinen so als dynamische Kräfte der Gestaltung von Zukunft, die – als im Vergleich zur bekannten Gegenwart veränderte gesellschaftliche Wirklichkeit – Anlass zu Kontroversen darüber bietet, welche erwünschten oder unerwünschten Ergebnisse die durch Neue Technologien vorangetriebenen Entwicklungen zeitigen werden.

Da die Qualität des Neuen als „neu“ nur ungenügend bestimmt ist, werde ich in diesem Beitrag zuerst Fragen zum Begriff und zur Analyse Neuer Technologien behandeln. Zweitens werde ich exemplarisch darlegen, wie das Neue der Biotechnologie im Zeitraum seit den 1970er Jahren thematisiert wurde, in dem sie als eine zukunftssträchtige Neue Technologie etabliert wurde. Daran anschließend werde ich drittens gegenwärtige Bestrebungen vorstellen, die inzwischen weitgehend anerkannte Bedeutung der Biotechnologie als mehr oder weniger vergangen erscheinen zu lassen und demgegenüber neue Zukunftsversprechen zu formulieren – die nun von den so genannten konvergenten Technologien oder der Synthetischen Biologie realisiert werden sollen. Den Schluss wird ein kurzes Resümee bilden.

BEGRIFF UND ANALYSE NEUER TECHNOLOGIEN

In den Begriff der Neuen Technologien ist die Abgrenzung zur überkommenen Vergangenheit und zur noch kommenden Zukunft eingeschrieben. Nicht thematisiert bleiben aber zunächst die Fragen, wie sich Altes und Neues genau unterscheiden und wie lange das Neue als neu gelten soll, bevor es angesichts von erneutem Neuen wieder veraltet. Der Begriff der Neuen Technologien akzentuiert deshalb das momentan Neue oder als neu Erwartete, mit der Folge, dass er weniger zur analytischen Unterscheidung komplexer temporaler Sachverhalte beiträgt als zur Lenkung von Aufmerksamkeit auf jeweils gegenwärtige Möglichkeiten der Zukunft.

Trotz dieser einschränkenden Bemerkung über die analytische Trennschärfe des Begriffs Neuer Technologien lohnt es sich meines Erachtens, diesen Begriff weiter zu theoretisieren – etwa aufgrund der Tatsache, dass Neue Technologien immer wieder hervorgebracht werden und an Prozessen sozialen Wandels beteiligt sind. Selbst wenn man dem Begriff der Neuen Technologien jeglichen analytischen Gehalt absprechen möchte, bleibt es ein aus sozialwissenschaftlicher Sicht sinnvolles Unterfangen zu untersuchen, wie „Neue Technologien“ sozial konstruiert werden und welcher Stellenwert diesem Konstrukt in gesellschaftlichen Prozessen zukommt.

Eine solche Perspektive unterstellt, dass die Frage des Neuen sozial bedeutsam ist, nicht aber, dass sich das Neue eindeutig dingfest machen lässt. Demnach ist nur neu, was für neu befunden wird – was umgekehrt heißt, dass „objektiv“ Neues als solches verkannt werden kann. Ein sozialwissenschaftlich fruchtbarer Zugang zur Bestimmung des Neuen liegt darin, zwischen verschiedenen Dimensionen zu unterscheiden, in denen die Relevanz Neuer Technologien ausgehandelt wird und gesellschaftliche Resonanz erlangt:

- In sachlicher Dimension geht es etwa darum, ob Entwicklungen in Wissenschaft und Technik zu neuen Paradigmen führen, die grundlegend neue Erkenntnis- und Eingriffspotenziale eröffnen, deren Umsetzung wiederum ein besseres Verständnis von Wirkungszusammenhängen oder neue Ansätze der Problemlösung verspricht.
- In institutioneller Dimension wird diskutiert, ob Neue Technologien tiefgreifende, möglicherweise nur schwer zu bewältigende Herausforderungen gegenüber gesellschaftlich etablierten Institutionen und

Praktiken mit sich bringen, die nicht nur graduelle, sondern grundlegende Anpassungsleistungen erfordern.

- In zeitlicher Dimension gilt es zu beurteilen, ob das Neue als bereits vorhandene Gegebenheit oder als absehbare, denkbare oder lediglich spekulative Möglichkeit zu erachten ist, was heißt, dass die Wirklichkeitsnähe sowohl der wissenschaftlich-technischen Potenziale als auch der Umsetzungshorizont kritische Größen sind.
- In diskursiver Dimension wird verhandelt, mit welchen Kategorien und Bildern die besondere Qualität Neuer Technologien angemessen zum Ausdruck gebracht werden kann, so dass sachlichen, sozialen oder zeitlich relevanten Eigenschaften Rechnung getragen wird bzw. diese nicht offensichtlich vereinseitigt gedeutet werden.

Für den Einzelfall einer Neuen Technologie liegt es nahe, dass die Frage nach der Bestimmung des Neuen zu Antworten führt, die für die verschiedenen Dimensionen und im Verhältnis zwischen diesen nicht einheitlich, sondern unterschiedlich und spannungsreich ausfallen. Auch ist grundsätzlich davon auszugehen, dass sich Bewertungen und Kontroversen im Laufe der Zeit verschieben, was die Frage nach den zugrunde liegenden Faktoren aufwirft. Schließlich ist in sozialwissenschaftlicher Perspektive zu unterscheiden zwischen Auffassungen, wie sie von Beteiligten und Betroffenen der Entwicklung und Anwendung Neuer Technologien vorgebracht werden, und sozialwissenschaftlichen Beobachtungen, die einer größeren reflexiven Distanz genügen müssen.

NEUBEGRÜNDUNG DER BIOTECHNOLOGIE I: GENTECHNIK

Nach Jahrzehnten theoretischer und experimenteller Grundlagenforschung in Genetik, Biochemie und Molekularbiologie wurden Mitte der 1970er Jahre prinzipiell neue Möglichkeiten greifbar, die genetische Struktur von Organismen zu verändern. Der Forscherdrang, das verborgene Geheimnis des Lebens zu enthüllen, wurde etwa durch Metaphern wie der Suche nach dem »heiligen Gral der Genetik« ausgedrückt.¹ Entscheidende Stationen seiner Erschließung waren die

1 Weiß 1989.

Entdeckung der DNA (deoxyribonucleic acid) als Träger der Erbsubstanz 1944, die Beschreibung der DNA-Struktur als Doppelhelix 1953 und die Entschlüsselung des genetischen Kodes 1966 – sowie das erste gelungene gentechnische Experiment 1973, indem Fremd-DNA in einer Bakterie exprimiert wurde.²

Die infolge dieser und weiterer Entdeckungen und Erfindungen angestoßenen Veränderungen in der Wissensbasis, Forschungsweise und Technisierungsperspektive der Biologie warfen eine Reihe von Fragen auf, die in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Öffentlichkeit zu mitunter intensiven Auseinandersetzungen Anlass gaben. Zwei Fragenkomplexe will ich hier herausgreifen: (1) Wie ist das entstehende Neue überhaupt angemessen bezeichnet? Und wie verhält sich dieses zur vergangenen bzw. zur zukünftigen Technologieentwicklung? (2) Welcher Art sind die neuen Denk- und Machbarkeiten beschaffen – und ist deren Realisierung auch wünschbar? Sollen die neuen wissenschaftlich-technischen Potenziale durch politische, rechtliche und ethische Grenzsetzungen eingeschränkt werden, um deren mögliche Brisanz für Individuen und Gesellschaft aufzufangen?

(1) Die Neuerungen im auf biologische Prozesse bezogenen technischen Experimentieren wurden zunächst insbesondere mit den Ausdrücken „Genmanipulation“, „rekombinante DNA-Technologie“ oder „Gentechnik“ belegt, wobei sich letztgenannter Ausdruck (im Englischen vor allem als „genetic engineering“) als Sammelbezeichnung durchsetzte. Neben der Bezeichnung des spezifisch neuen, den technischen Umgang mit „Leben“ dynamisierenden Moments betraf ein zweiter Schwerpunkt der Diskussion die Bezeichnung des übergreifenden Feldes. Hier standen etwa „biochemical engineering“, „Synthetische Biologie“ und „Biotechnologie“ zur Auswahl. Während „Synthetische Biologie“ – ein von Ernst-Ludwig Winnacker in Analogie zur Synthetischen Chemie formulierter Vorschlag³ – darauf bezogen ist, das spezifisch Neue als Begriff der Einheit des Feldes abzubilden, setzte sich in der Tat aber „Biotechnologie“ durch. In seiner unspezifischen Allgemeinheit vermag dieser Begriff, vor allem im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen, offen zu sein.

Der Begriff der Biotechnologie war in den 1970er Jahren aber nicht neu. Laut Robert Bud wurde er erstmals 1918 vom ungarischen Agrartechnologen Karl Ereky verwandt, in der Absicht, die Landwirt-

2 Stent 1968; Judson 1979; Kay 2000.

3 Winnacker 1990.

schaft von der traditionell bäuerlichen auf eine wissenschaftliche und industriell-kapitalistische Grundlage zu stellen.⁴ Interessanterweise wurde neben der durch die Gentechnik angestoßenen Erweiterung der Zukunftsperspektiven der Biotechnologie auch deren Vergangenheit ausgedehnt, damit dem Umstand Rechnung tragend, dass auf biologische Prozesse bezogene technische Praktiken menschheitsgeschichtlich weit zurückreichen. Beispiele sind die Indienstnahme von Gärungsprozessen bei der Herstellung von Bier, Brot, Wein und Essig vor ungefähr 2000 bis 6000 Jahren. In der Folge bürgerte sich in der Technikgeschichtsschreibung die Unterscheidung zwischen drei Hauptphasen ein: klassische, moderne und neue Biotechnologie.⁵

Selbst wenn Biotechnologie in einem weitreichenden Sinn zur Bezeichnung der wissenschaftlich-technischen (und wirtschaftlichen) Nutzung biologischer Prozesse verstanden wird, kann es gut sein, dass verschiedene Akteure daran sehr unterschiedliche Verständnisse knüpfen – was Anfang der 1980er tatsächlich der Fall war. Deshalb sah sich insbesondere die OECD berufen, definitorische Klärungen zu bewirken, um so wissenschaftlich-technische Entwicklungen systematisch beobachten sowie international vergleichen und besser aufeinander abstimmen zu können.⁶ Trotz solcher erfolgreichen Bemühungen liegt es nahe – da Interpretationsprozesse raum-zeitlich gebunden sind –

4 Bud 1993, S. 34.

5 Soyez 1990; Bud 1993. Die klassische Biotechnologie betrifft die traditionelle Herstellung von Nahrungsmitteln. Sie beruht auf der zunächst zufälligen, dann erfahrungsbasierten Nutzung von Mikroorganismen als Produktionsmittel. Die moderne Biotechnologie setzte im 19. Jahrhundert ein. Trotz der Entdeckung der Mikroorganismen als Einzeller um 1670 brachten erst die Erfindung des Mikroskops und die Forschungen von Louis Pasteur und Robert Koch die grundlegenden biologischen Kenntnisse. Eine wichtige technische Erfolgsbedingung bestand darin, die Zahl von nicht zum Prozessablauf gehörigen Fremdkeimen gering zu halten oder solche durch steril-technische Verfahren gar auszuschließen (Letzteres kommt seit den 1940er Jahren etwa der Produktion von Antibiotika zugute). Die Verfahren bleiben jedoch statt wissenschafts- weitgehend erfahrungsbasiert. Die neue Biotechnologie beginnt naheliegenderweise Mitte der 1970er Jahre mit den prinzipiell neuen Möglichkeiten, die genetische Struktur von Organismen zu verändern.

6 Der von der OECD zur internationalen Konsensbildung vorgeschlagene Begriff fasst Biotechnologie als „the application of scientific and engineering principles to the processing of materials by biological agents to provide goods and services.“ Bull/Holt/Lilly 1982, S. 21.

dass „Biotechnologie“ je nach disziplinärer, sektoraler oder nationaler Perspektive unterschiedliche Bedeutungen annahm bzw. weiterhin annimmt.

(2) Mit der Gentechnik rückten Erwartungen ins Zentrum von Zukunftprojektionen, dass die Universalität des genetischen Kodes prinzipiell unbeschränkte technische Eingriffe ermöglichen würde, die DNA verschiedener Organismen zu rekombinieren und bislang unüberwindbare Artenschranken verfügbar zu machen. Dadurch sollten etwa erwünschte Eigenschaften eines Organismus verstärkt oder unerwünschte unterdrückt werden oder neue Eigenschaften in einen Organismus eingeführt oder gar gänzlich neuartige Organismen geschaffen werden.

Allerdings stellte sich in der Praxis die technische Umsetzung des so genannten Dogmas der Molekularbiologie („DNA makes RNA makes protein makes phenotype“) als viel hürdenreicher als erwartet heraus – und im Laufe der Zeit musste selbst die genannte Abfolge deterministischer Schritte relativiert bzw. modifiziert werden.⁷ Damit erwies sich die noch in den 1980er Jahren gehegte Annahme, zwischen den verschiedenen Teilgebieten der Biotechnologie ließen sich neue Erkenntnisse, Methoden und Verfahren einfach übertragen, als illusorisch – und folglich auch die mitunter überbordenden Erwartungen, dass die Gentechnik die Grundlage für eine sektorübergreifende und rasant wachsende Bioindustrie bilde.

Trotz dieser Einschränkungen ist festzuhalten, dass sich die Biotechnologie als ein Feld dynamischer Innovationen auf mehreren Ebenen entwickelt hat: durch die Umwälzung der Forschungsansätze und Wissensbestände in den Biowissenschaften, durch die Entwicklung und Vermarktung neuer Produkte und Verfahren in Medizin, Landwirtschaft und Ernährung, Umweltschutz, Rohstoff- und Energiegewinnung sowie durch die Entwicklung neuer Gebiete der Wissens- und Technikentwicklung wie der Genom- oder der Stammzellenforschung. Bekanntlich war die Entwicklung der Gentechnik von intensiven Kontroversen geprägt, die sich in einzelnen Ländern auf ungleichmäßige und ungleichzeitige Weise in den verschiedenen institutionellen und technologischen Kontexten vollzogen. Die polarisierten öffentlichen Auseinandersetzungen, in denen sich Befürworter und Gegner als einander widersprechende Lager formierten, teilten oft prinzipiell die erwähnten Annahmen über die weitreichenden, revolutionären Poten-

7 Biro 2004.

ziale der Gentechnik, präsentierten jedoch gegensätzliche Bewertungen. Diese Übereinstimmung in den Prämissen bei gleichzeitigem Dissens in der Bewertung entsprach dem von beiden Seiten wahrgenommenen großen Stellenwert der Auseinandersetzungen bzw. dem darin verhandelten Einsatz – nämlich die Biotechnologie zu fördern bzw. sie zu be- oder verhindern.

Mit der zunehmenden faktischen Durchsetzung der Gentechnik richteten sich die Kontroversen stärker auf die Herausforderungen, die sich in den für die Generierung, Regulierung und Enkulturation biotechnologischer Anwendungen relevanten institutionellen Kontexten stellten. Dies erforderte von den einzelnen Akteuren, ihre jeweilige Haltung gegenüber der Gentechnik kontextspezifisch zu artikulieren, bzw. ihren Einsatz auf die Institutionen zu konzentrieren, die für die Durchsetzung der jeweiligen Interessen und Ansinnen besonders günstig scheinen. Folgende institutionelle Kontexte erwiesen sich als besonders wichtig für die gesellschaftliche Konfiguration der Biotechnologie: Innovation; Risikoregulierung; Patentierung; Ethik; Akzeptanzpolitik. Zusätzlich zur nationalstaatlichen Ebene wird der Zusammenhang dieser Kontexte auch auf sub-, supra- und internationaler Ebene hergestellt. Daraus ergibt sich die „horizontale“ wie „vertikale“ Konfiguration der Biotechnologie bzw. des Regimes der Biotechnologie.⁸

Die Frage nach der Qualität des Neuen stellt sich in jedem Kontext auf spezifische Weise; dasselbe gilt für dessen Stellenwert. So geht es bei der Innovation darum, wie weitgehend Entdeckungen und Erfindungen zu neuen Produkten, Verfahren und Märkten beitragen und ob Innovationen in der Biotechnologie institutionelle Neuerungen bzw. neue Organisationsformen erfordern. Bei der Risikoregulierung gilt es zu prüfen, inwieweit wissenschaftlich-technische Entwicklungen institutionelle Prinzipien, Verfahren und Normen als immer noch oder nicht mehr angemessen (und in diesem Sinne veraltet) erscheinen lassen, den Schutz vor Gefährdungen der Gesundheit und Umwelt zu sichern. Bei der Patentierung – als zentraler Institution des Schutzes geistiger Eigentumsrechte – ist zu entscheiden, ob bestimmte Erfindungen (in manchen Ländern auch: Entdeckungen) hinreichend neu sind, um für einen gewissen Zeitraum ausschließliche Nutzungsrechte für den jeweiligen Erfinder zu begründen. Bei der Ethik stellt sich die Frage, ob neue Wissens- und technische Eingriffsmöglichkeiten bislang etablierte Normen, Prinzipien und Verfahren der Bewertung

8 Barben 2007.

unterminieren und inwieweit solche Entscheidungsorientierungen durch neue Regelwerke zu ergänzen oder ersetzen sind. Bei der Akzeptanzpolitik interessiert, welchen Einfluss bestimmte Artikulationen des Neuen darauf haben, wie dieses wahrgenommen und positiv oder negativ bewertet wird.

Empirisch vergleichende Analysen zeigen, dass weder bestimmte Institutionen noch technologische Charakteristika den gesellschaftlichen Umgang mit Neuen Technologien festlegen, sondern dass diese wie die sie rahmenden Institutionen plastisch sind – und zwar in sachlicher, sozialer und zeitlicher Hinsicht.⁹

NEUBEGRÜNDUNG DER BIOTECHNOLOGIE II: KONVERGENTE TECHNOLOGIEN UND SYNTHETISCHE BIOLOGIE

In jüngerer Vergangenheit erfuhr die Biotechnologie aus zwei Richtungen bemerkenswerte Anstöße zu ihrer Reorganisation und Neuausrichtung. Dies sind zum einen die so genannten konvergenten Technologien, die sich durch die Verbindung von Biotechnologie, Nanotechnologie und Neurotechnologie mit der Informationstechnologie auszeichnen – Bereiche von Wissenschaft und Technik, die allesamt auf jeweils unterschiedliche Weise kleinste Einheiten handhaben. Zum anderen ist es die nun so genannte Synthetische Biologie, die als Radikalisierung des biologischen Ingenieurideals vorgestellt wird.¹⁰ Während im erstgenannten Fall die Biotechnologie in eine Perspektive weitreichender wissenschaftlich-technischer Potenzialentfaltung eingebunden ist, erscheint sie im letztgenannten Fall als einer Ablösung bzw. Neubegründung bedürftig.

Der Begriff der konvergenten Technologien wurde im vergangenen Jahrzehnt vor allem durch die National Nanotechnology Initiative der USA berühmt, deren Programmverantwortliche Mihail Roco und William Sims Bainbridge die Nanotechnologie, zusammen mit den genannten anderen etablierten oder entstehenden Hochtechnologiefeldern, als treibende Kraft umfassender wissenschaftlich-technischer wie gesellschaftlicher Umwälzungen, das menschliche Selbstverständnis

9 Jasanoff 2005; Barben 2007.

10 Vgl. zur erstgenannten Entwicklung auch Kornwachs, zur letztgenannten Entwicklung den Beitrag von Müller-Röber/Weitze in diesem Band.

eingeschlossen, vorstellten.¹¹ Das zentrale Anliegen bildet die Steigerung menschlicher Leistungsfähigkeit, die zugleich als Lösungsansatz vieler gesellschaftlicher Probleme behauptet wird. Roco und Bainbridge artikulieren den Begriff der konvergenten Technologien so, dass seine Bedeutung durch so genanntes transhumanistisches Gedankengut eingefärbt wird.¹² Eine solche Akzentsetzung ist freilich keineswegs notwendig. Nicht zuletzt aus diesem Grund widmeten sich mehrere Untersuchungsberichte, insbesondere aus Europa, dem Ziel, neben einer Kritik der transhumanistischen Perspektivierung konvergenter Technologien diese auch mit einer deutlich anderen Akzentsetzung zu skizzieren.¹³

In den letzten Jahren kamen wieder grundsätzlichere Diskussionen darum auf, wie neuere Trends in der Biotechnologie angemessen zu bezeichnen und in ihrem Stellenwert zu verorten sind. Während einige behaupten, dass die Synthetische Biologie das letzte Entwicklungsstadium der Biotechnologie bezeichnet, die mit der Gentechnik begann und nun abgelöst wird, sehen andere in ihr lediglich einen Teilbereich der Biotechnologie.¹⁴ Ein zentrales Anliegen von Vertretern der Synthetischen Biologie ist es, biologische Komponenten und Designprozesse zu standardisieren und dadurch Ingenieurprinzipien in der Biotechnologie zu stärken – d. h., Ingenieursprüche der Gentechnik sowohl zu radikalieren als auch endlich zu realisieren.¹⁵ Gleichwohl gibt es unter Vertretern der Synthetischen Biologie divergente Auffassungen darüber, welches Ingenieurideal der Synthetischen Biologie zugrunde liegt oder verfolgt werden sollte – von der Entwicklung austauschbarer biologischer Komponenten und Schaltmechanismen über die Beseitigung funktional nicht notwendiger DNA von bestehenden Genomen bis hin zur Herstellung künstlicher Protozellen.¹⁶ Wie schon knapp vier Jahrzehnte zuvor, sind sich die stärksten Förderer wie Gegner der Synthetischen Biologie einig, dass die Umsetzung der am weitesten gehenden Zielsetzungen, Organismen zu modifizie-

11 Roco/Bainbridge 2002b.

12 Roco/Bainbridge 2002a, S. 4-6.

13 Paschen u. a. 2003; European Commission 2004; Royal Society 2004, S. 54-55; STOA 2009.

14 Campos 2009, dessen Titel analog zum klassischen Insider-Text zur Geschichte der Molekularbiologie von Stent formuliert ist.

15 Breithaupt 2006; Serrano 2007.

16 Endy 2005; Glass u. a. 2006; Luisi/Ferri/Stano 2006; O' Malley u. a. 2007.

ren oder gar neu zu schaffen, bevorsteht.¹⁷ Als akzeptanzpolitisch motivierte Profilierung der Synthetischen Biologie kann man verstehen, dass insbesondere für Medizin und Energieproduktion umfassende Gestaltungspotenziale beansprucht werden, die Landwirtschaft aber gemeinhin unerwähnt bleibt.¹⁸

FAZIT

Dieser Beitrag unternahm es, die Frage, was Neue Technologien sind, sozialwissenschaftlich umzuformulieren in die Frage, was es heißt, dass etwas als Neue Technologie gilt. Statt wesentliche Eigenschaften Neuer Technologien zu bestimmen, soll die Aufmerksamkeit vielmehr auf die verschiedenen Bestimmungen des Neuen und dessen gesellschaftlichen Stellenwert gelenkt werden.

In der Folge wurde deutlich, dass die Frage nach der neuen Qualität Neuer Technologien von verschiedenen Akteuren, in verschiedenen Kontexten und zu verschiedenen Zeiten ganz unterschiedlich beantwortet werden kann. Ferner, dass diesbezügliche Fragen wie Antworten von großer Relevanz sein können bei der Generierung, Regulierung und Enkulturation Neuer Technologien – d. h. in den verschiedenen Dimensionen und Stadien ihrer Konfiguration.

Dies führte ich exemplarisch an der Biotechnologie aus. Die Frage nach dem Neuen erfasst selbst ihre Definition: abhängig davon, wie man ein entstehendes oder sich neu formierendes Technologiefeld definiert, werden unterschiedliche Eigenschaften betont und somit auch unterschiedliche Vergangenheits- und Zukunftshorizonte projiziert. So führte die praktische Ermöglichung der Gentechnik zur Umwälzung im Verständnis des Biologischen und seiner technischen Bearbeitbarkeit – und gab erst Anlass zu einem überhistorisch ansetzenden Begriff der Biotechnologie, der früh in die Menschheitsgeschichte zurückreichen und auch noch unbekannte Zukunftshorizonte umfassen würde. Das Aufkommen der konvergenten Technologien wie auch der Synthetischen Biologie findet unter Bedingungen statt, im Rahmen derer nicht nur die Vergangenheit der biologischen Wissenschaft als Beobachtungswissenschaft (beim Aufkommen der Gentechnik noch durchaus als vormalig dominante Wissenschaftskultur

17 European Commission 2005; ETC Group 2007.

18 Vgl. z. B. European Commission 2005; 2007.

der Biologie präsent), sondern auch die Gentechnik selbst bereits als historisch teilweise überkommene Entwicklungsphase erscheint – und damit erneut die Frage nach der angemessenen Definition und Reorganisation des Technologiefeldes aufwirft.

Bei der Frage nach der besonderen Qualität Neuer Technologien steht letztlich auf dem Spiel, wie diese Technologien ausgerichtet werden und sie Teil haben an der Prägung gesellschaftlicher Verhältnisse und Praktiken. Entsprechend war das Hauptanliegen dieses Beitrags weniger, Kontroversen um Neue Technologien danach zu beurteilen, ob darin das Neue angemessen abgebildet wird, als vielmehr, die Natur der Kontroversen selbst besser zu verstehen. Anforderungen an eine reflexive Analyse dynamischer und kontroverser Prozesse der Wissenschafts-, Technik- und Innovationsentwicklung könnten – oder sollten – allerdings durch Vorhaben der zukunftsorientierten Gestaltung entstehender wie etablierter Technologien ergänzt werden.¹⁹ Aufgrund des Ausmaßes der zu bewältigenden gesellschaftlichen Probleme und des Bedarfs an leistungsfähigen und zukunftssträchtigen Technologien dürften entsprechende Ansätze zunehmend als eine Notwendigkeit anerkannt werden.

LITERATUR

- Barben, D.: *Politische Ökonomie der Biotechnologie. Innovation und gesellschaftlicher Wandel im internationalen Vergleich*, Frankfurt am Main: Campus, 2007 (Reihe Theorie und Gesellschaft, Band 60).
- Barben, D. u. a.: Anticipatory governance of nanotechnology: foresight, engagement, and integration. In: Hackett, E. J. u. a. (Hrsg.): *Handbook of science and technology studies. Third edition*, Cambridge/MA: The MIT Press, 2008, S. 979-1000.
- Biro, J. C.: Seven fundamental, unsolved questions in molecular biology. Cooperative storage and bi-directional transfer of biological information by nucleic acids and proteins: an alternative to "Central Dogma". In: *Medical Hypotheses* 63 (2004), Nr. 6, S. 951-962.
- Breithaupt, H.: The engineer's approach to biology. In: *EMBO Report* 7 (2006), Nr. 1, S. 21-24.

¹⁹ Barben u. a. 2008.

- Bud, R.: *The uses of life: a history of biotechnology*, Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- Bull, A. T./Holt, G./Lilly, M. D.: *Biotechnology: international trends and perspectives*, Paris: OECD, 1982.
- Campos, L.: That was the synthetic biology that was. In: Schmidt, M. u. a. (Hrsg.): *Synthetic biology: the technoscience and its societal consequences*. Dordrecht: Springer, 2009, S. 5-21.
- Endy, D.: Foundations for engineering biology. In: *Nature* 438 (2005), S. 449-453.
- ETC Group: *Extreme genetic engineering: an introduction to synthetic biology*. Winnipeg: Action Group on Erosion, Technology and Concentration, 2007.
- European Commission: *Converging technologies – shaping the future of European societies. Report of the High Level Expert Group „Foresighting the New Technology Wave”* by Alfred Nordmann, Rapporteur. Brüssel: European Commission, Directorate-General for Research, 2004.
- European Commission: *Synthetic biology: applying engineering to biology. Report of a NEST High-Level Expert Group*. Brüssel: Directorate-General for Research, Structuring the European Research Area, Anticipation of Scientific and Technological Needs, 2005.
- European Commission: *Synthetic biology. A NEST pathfinder initiative*. Brüssel: Directorate-General for Research, Implementation of the „Ideas” Programme, 2007.
- Glass, J. I. u. a.: Essential genes of a minimal bacterium. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103 (2006), Nr. 2, S. 425-430.
- Jasanoff, S.: *Designs on nature: science and democracy in Europe and the United States*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2005.
- Judson, H. F.: *The eighth day of creation*, London: Simon and Schuster, 1979.
- Kay, L. E.: *Who wrote the book of life? A history of the genetic code*, Stanford/CA: Stanford University Press, 2000.
- Luisi, P. L./Ferri, F./Stano, P: Approaches to semi-synthetic minimal cells: a review. In: *Naturwissenschaften* 93 (2006), Nr. 1, S. 1-13.
- O'Malley, M. A. u. a.: Knowledge-making distinctions in synthetic biology. In: *BioEssays* 30 (2007), Nr. 1, S. 57-65.
- Paschen, H. u. a.: *Nanotechnologie. Nr. 92*. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, 2003.

- Roco, M. C./Bainbridge, W. S.: Overview. Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science (NBIC). In: Roco, M. C./Bainbridge, W. S. (Hrsg.): *Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*, Dordrecht: Springer, 2002, S. 1-27.
- Roco, M. C./Bainbridge, W. S. (Hrsg.): *Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*, Dordrecht: Springer, 2002.
- Royal Society, Royal Academy of Engineering: *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, London: The Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004.
- Serrano, L. (2007): Synthetic biology: promises and challenges. Editorial. In: *Molecular Systems Biology* 158 (2007), Nr. 3, S. 1-5.
- Soyez, K.: *Biotechnologie*, Basel/Boston/Berlin: Birkhäuser, 1990.
- Stent, G. S.: That was the molecular biology that was. In: *Science* 160 (1968), Nr. 3826, S. 390-395.
- STOA: *Human enhancement: study*. Brüssel: European Parliament, Directorate General for Internal Policies: Scientific Technology Options Assessment, 2009.
- Weß, L. (Hrsg.): *Die Träume der Genetik. Gentechnische Utopien von sozialem Fortschritt*. Nördlingen: Greno, 1989.
- Winnacker, E.-L.: Synthetische Biologie, In: Herbig, J./Hohlfeld, R. (Hrsg.): *Die zweite Schöpfung. Geist und Ungeist in der Biologie des 20. Jahrhunderts*, München/Wien: Hanser, 1990, S. 369-385.

Nanotechnologie: Die Konstruktion Neuer Technologien als selbsterfüllende Prophezeiung

JOACHIM SCHUMMER

DAS IDENTITÄTSPROBLEM DER NANOTECHNOLOGIE UND IHRE VIELFÄLTIGEN VERGANGENHEITEN

Nanotechnologie gilt heute vielen als ein Prototyp der Neuen Technologien, obwohl weder klar ist, ob Nanotechnologie überhaupt eine einheitliche Technik ist, noch ob sie in irgendeinem präzisen Sinne neu ist.¹ Die gängigen Versuche, Nanotechnologie als wissenschaftliche Technik im Bereich von 1 bis 100 Nanometern zu definieren, sind so weit gefasst, dass sie einen großen Teil der natur- und technikwissenschaftlichen Forschung des 20. Jahrhunderts und sogar die Chemie seit Mitte des 19. Jahrhunderts umfassen. Das liegt daran, dass fast jede kondensierte Materie unter Normalbedingungen im Nanometerbereich strukturiert ist und dass man schon lange versucht hat, über eine gezielte Veränderung der Struktur in dieser Größenordnung ihre technischen oder funktionalen Eigenschaften zu ändern. Fasst man hingegen einerseits Nanotechnologie begrifflich enger, etwa als Forschung und Entwicklung von Nanopartikeln mit größen- und formabhängigen Eigenschaften, dann würde nur ein kleiner Bruchteil dessen, was heute

1 Für detailliertere Argumente der Thesen dieses Beitrags siehe Schummer 2009 sowie Schummer 2010.

Nanotechnologie genannt wird, dazu zählen und wäre überdies ebenfalls nicht neu. Lässt man andererseits alle spezifischen Forschungsfelder zu, die zur Zeit gerade Nanotechnologie genannt werden, dann ergibt sich ein bunter Strauß von Forschungsgebieten, der von Land zu Land variiert und bis heute überall eher wächst als schrumpft. Und obwohl alle diese Forschungsgebiete, wie jede gute Forschung, beständig Neues und Interessantes produzieren, sind sie selber doch in den seltensten Fällen neu.

Wollte man eine entsprechende Geschichte der Nanotechnologie erzählen, die sich nicht an die Verwendung des Namens klammert, dann gehörten dazu aus Chemie, chemischer Technik und Materialwissenschaften beispielsweise die Geschichten der Katalyse, der Supramolekularen Chemie, der Synthese durch „Selbstorganisation“, der Polymere, Flüssigkristalle und Kohlenstoff-Nanoröhrchen, der ultradünnen Beschichtungen und molekularen Filme, der Festkörper mit nanostrukturierten Phasen, Kolloide, Nanopartikel, Wasserstoffspeichersysteme, Brennstoffzellen und so weiter. Aus der Physik, Elektrotechnik und Metrologie gehörten hierzu insbesondere die Geschichten der Rastersonden- und Elektronenmikroskopie sowie der gesamten Palette von Techniken zur elektronischen und optischen Speicherung und Verarbeitung von Daten, einschließlich Halbleiterdotierung und lithographischer Verfahren der Chip-Produktion. Für den biomedizinischen Bereich wären zumindest zu berücksichtigen: die Geschichten der pharmazeutischen Medikamentenverabreichungssysteme, der biochemischen Sensoren und bildgebenden Verfahren in der Medizin sowie zunehmend auch Bereiche der Neurophysiologie, Gewebetchnik und biochemischen Zellmanipulationen, wenn nicht sogar großer Teile der Gentechnik. Eine solche umfassende Geschichte der Nanotechnologien würde zur Verwunderung des wissenschaftlichen und wissenschaftshistorischen Laien nicht nur weite Teile der Wissenschaftsgeschichte des 20. Jahrhunderts zusammentragen. Es bliebe auch rätselhaft, warum gerade diese und nicht andere Felder berücksichtigt wurden.

NANOTECHNOLOGIE ALS PROGRAMMATISCHE IDEE DES NEUEN UND IHRE FIKTIONALEN URSPRÜNGE

Jeder Versuch, die Nanotechnologie auf wissenschaftlich-technischer Ebene zu begreifen, weist diese nicht als neu und einheitlich aus, sondern führt weit in plurale Vergangenheiten zurück. Den Nimbus der Neuheit und damit die ausgeprägte Zukunftsorientierung gewinnt Nanotechnologie erst, wenn man sie nicht als Technik, sondern als programmatische Idee und Verheißung zukünftiger sozio-technischer Neuheit begreift. Zwar sind auch die entsprechenden Ideen nicht neu, aber in ihrer programmatischen Wendung als Wissenschaftspolitik, als lokale, nationale und übernationale Nanotechnologie-Initiativen und damit auch als eigene, rasant wachsende Forschungsbudgets haben diese Ideen in der Wissenschaft tatsächlich eine globale disziplinenübergreifende Dynamik ausgelöst, die ihresgleichen in der Vergangenheit sucht.²

Historisch gehen diese Ideen zurück auf die amerikanische Nachkriegs-Sciencefiction mit ihren fantastischen Geschichten der Weltraumbesiedlung, die ganz neuartige visionäre Techniken erforderlich machten. Dazu gehörten zum Beispiel das Recyceln von Nahrung und die Herstellung beliebiger materieller Dinge aus Abfall mit wundersamen Maschinen (*matter compiler*) im durch das materielle All schwebende Raumschiff; das Einfrieren und spätere Auftauen des Raumfahrers auf sehr langen Reisen (*cryonics*); sein genetischer Umbau zur optimalen Anpassung an erdfremde Lebensbedingungen (*human enhancement*) und die Entwicklung von superintelligenten Computern, um die lange Reise durch den Weltraum oder den Kampf gegen klügere Außerirdische zu steuern (*superintelligence*). Für all diese Aufgaben wurden seit den 1940er Jahren Technikvisionen zur Gestaltung und Umgestaltung der materiellen Welt auf atomarer Ebene entworfen und zum Teil auch über populäre Filmserien wie *Star Trek* international popularisiert. Und für jede Technikvision fand sich rasch eine Visionärsgruppe, die deren baldige technische Realisierung voraussagte und dazu wissenschaftspolitischen Druck ausübte.

Mitte der 1980er Jahre fasste der Weltraumbesiedlungslobbyist Eric Drexler alle diese visionären Techniken zusammen und nannte sie Nanotechnologie.³ Analog zu den utopischen und dystopischen Vari-

2 Schummer 2007.

3 Drexler 1986.

anten der Sciencefiction entwarf Drexler nicht nur eine Utopie von unbegrenztem Reichtum und Unsterblichkeit, sondern auch Horror-szenarien, in denen die neue allmächtige Technik sich verselbstständigte oder in die Hände böser Mächte geriet. Da erschien es nur allzu geraten, die technische Entwicklung in den Händen der Guten frühzeitig zu forcieren. Was die Sciencefiction-Autoren als erfundene Geschichten und die Technikvisionäre als Prophezeiung einer determinierten Technikentwicklung fassten, das wurde schließlich in der Hand von Transhumanisten, Extropiern und anderen amerikanischen Technikreligionen als nanotechnologischer Weg zum Erlösungsheil angesehen, der unbedingt eingeschlagen werden musste.

Ende der 1990er Jahre war Nanotechnologie – auch wenn das heute kaum mehr vorstellbar erscheint – ein Begriff der amerikanischen Populärkultur, der grandiose Hoffnungen und Ängste, vor allem aber radikale Veränderung versprach. Für verschiedenste gesellschaftliche Gruppen war das eine willkommene Gelegenheit, ihre eigenen Aktivitäten neu zu beleben. Investmentberater, von alleinunterhaltenden *future gurus* bis zu großen Investmentbanken, denen mit dem voraussehbaren Platzen der Dotcom-Blase die Felle davon schwammen, entdeckten Nanotechnologie als *the next big thing*. Journalisten, denen alles Wissenschaftliche zunehmend fremd wurde, erkannten im Populärbegriff der Nanotechnologie ein willkommenes Drama, um die „Chancen und Risiken der Technik“ zu erörtern – besonders gerne mit Sprachwitzen wie „kleine Technik, große Chance“ oder „Im Kleinen steckt große Gefahr“.⁴ Wissenschaftler, die ihre hochdifferenzierte Spezialforschung keinem fachfremden Publikum mehr kommunizieren konnten, waren nach 2000 oft dankbar für jede Form der Popularisierung mit Hilfe der Nanotechnologie – obwohl vor der Jahrtausendwende keine der zahlreichen Fachprognosen über die Wissenschaft und Technik des 21. Jahrhunderts die Nanotechnologie auch nur erwähnte. Und schließlich kam Wissenschaftspolitikern, die die überproportional steigenden Forschungsbudgets einer breiten Öffentlichkeit gegenüber nicht mehr legitimieren konnten, der Populärbegriff der Nanotechnologie sehr zupass. Dies galt umso mehr, als sich damit allgemeinere wissenschaftspolitische Ideen transportieren ließen, wie etwa der Appell zu mehr Interdisziplinarität und mehr Zusammenarbeit zwischen Natur- und Technikwissenschaften sowie insgesamt eine

4 Schummer 2004.

stärkere politische Kontrolle der (durch Drittmittel) öffentlich finanzierten Forschung auf Kosten wissenschaftlicher Autonomie.

In der Hoffnung auf die Kraft der runden Zahlen rief pünktlich zur Jahrtausendwende, im Januar 2000, der amerikanische Präsident Bill Clinton die Nationale Nanotechnologie Initiative (NNI) ins Leben. Dieser Gründung gingen jedoch mehrere Jahre der Vorbereitung und der argwöhnischen Beobachtung des japanischen „Atomtechnologie“-Projekts voraus, das wiederum auf Druck der Amerikaner Grundlagenforschung in verschiedenen technisch orientierten Fächern förderte und das als Vorform aller späteren Nanotechnologieprojekte gelten kann. Jedoch erst die amerikanische NNI löste sehr bald eine weltweite Flut von weiteren nationalen Nanotechnologieprojekten aus, die nicht nur in Industrieländern, sondern auch in den meisten Schwellenländern und vielen Entwicklungsländern eingerichtet wurden. Die bei der NNI-Gründung verwendete Rede von „der nächsten industriellen Revolution“ sowie die mitgelieferte breite Palette nanotechnologischer Visionen bereiteten international die rhetorischen Vorgaben für die Propagierung der jeweils eigenen Projekte und für die wachsende wissenschaftspolitische Angst, nicht „dabei“ zu sein.

BEGLEITFORSCHUNG ALS ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Auch in der so genannten ELSI-Begleitforschung (*ethical, legal and social implications*) sind die meisten westlichen Länder den Amerikanern mit entsprechender Verzögerung oft bis in die Detailformulierung gefolgt. Bereits mit der Gründung der amerikanischen NNI wurde hierfür ein Programm aufgestellt:⁵ „Bildungs- und Trainingsanstrengungen für ethische, rechtliche und soziale Implikationen werden unternommen, um eine neue Generation ausgebildeter Arbeitskräfte in den multidisziplinären Perspektiven zu fördern, die notwendig sind für den raschen Fortschritt in der Nanotechnologie.“ So wurde ELSI – was wohlgemerkt dem Namen nach technikethische Forschung enthält – von Beginn an als Bemühung zur Steigerung des nanotechnologischen

5 „Ethical, legal, societal implications and workforce education and training efforts will be undertaken to promote a new generation of skilled workers in the multidisciplinary perspectives necessary for rapid progress in nanotechnology.“ (White House, Office of the Press Secretary, 2000).

Fortschritts missverstanden. Mit der parlamentarischen Legitimierung der amerikanischen Nanotechnologie-Förderung im „21st Nanotechnology Act“ von 2003 wurden die ELSI-Bemühungen weitgehend verkürzt auf SEIN (*societal and ethical implications of nanotechnology*) und noch stärker und deutlicher auf Öffentlichkeitsarbeit ausgerichtet, um etwa die amerikanische Bevölkerung auf vermeintlich bevorstehende „Superintelligenz“ oder „sich-selbst replizierende Nano-Maschinen“ vorzubereiten.

In Ländern ohne parlamentarische Legitimierung der Nanotechnologieförderung, wozu auch Deutschland und das überstaatliche Gebilde der Europäischen Kommission gehörten, das die europäische Forschungsförderung und damit die Nanoförderung im großen Maßstab übernommen haben, sind solche Tendenzen noch problematischer zu sehen. Denn wenn auf unterer administrativer Ebene wissenschaftspolitische Entscheidungen gefällt werden können, die vorgeblich revolutionäre Auswirkungen auf alle Bereiche der Gesellschaft haben, dann besitzt die Wissenschaftspolitik ein gravierendes Legitimationsdefizit. Entsprechend kritisch sind die europäischen und deutschen ELSI-Initiativen zu sehen, öffentliche Akzeptanz für die begrifflich so diffuse Nanotechnologie zu beschaffen durch verschiedenste Informations- und Demoskopieprojekte, von *Nano Trucks* bis zu *Focus Groups*, statt sich um demokratische Legitimation der wissenschaftspolitischen Grundausrichtungen zu bemühen.

Der eigentliche ethische Teil von SEIN oder ELSI war zu Beginn der Nanotechnologiebewegung weitgehend nach der Blaupause der Drexlerschen Vision entworfen, indem die utopischen und dystopischen Elemente als Chancen und Risiken einer Technik verhandelt wurden, die es überhaupt nicht gab, sondern die erst zukünftig erfunden werden sollte. Daher diente die ursprüngliche Debatte über SEIN, wie sie etwa von Sciencefiction-Autoren, Technikvisionären, Transhumanisten, Wissenschaftspolitikern, selbsternannten Ethikern und anderen ausgetragen wurde, weitgehend der programmatischen Aushandlung und Festschreibung von Nanotechnologie, wofür selbst die abstrusesten Untergangsszenarien hilfreich erschienen. Erst in einer zweiten Phase ab etwa 2003, als nationale Nanotechnologieprojekte weltweit etabliert waren, wurde SEIN/ELSI zunehmend auf die Frage der Toxizität von Nanopartikeln und damit kurioserweise auf den Kompetenzbereich von Toxikologen zugeschnitten. Während sich damit etwa für Ethiker ein konkreter Fall für Gerechtigkeitsüberlegun-

gen bei der Verteilung von Chancen und Risiken ergab, fielen ihnen im Rahmen der offiziellen „Begleitforschung“ lediglich die genannten Aufgaben der Öffentlichkeitsarbeit zu. Parallel mit der Neuetablierung von Nanobio- oder Bionanotechnologie wurde auch die Biomedizinethik verstärkt in SEIN einbezogen. Sowohl institutionell also auch thematisch wurde bald das gesamte Repertoire an „Begleitforschung“ in Anschlag gebracht, das bereits an Gentechnik und zuletzt am Human Genome Project eingeübt wurde, meist ohne das Spezifische der Nanotechnologie zu berücksichtigen.

DIE WISSENSCHAFTSPOLITISCHE HOFFNUNG IN DIE KRAFT DER IDEEN

Zu Beginn, also um das Jahr 2000, war Nanotechnologie in erster Linie eine Neue Technologie kraft verschiedener rhetorischer Argumentationsformen – insbesondere des *argumentum ad novitatem* und des *argumentum ad populum*, die sich in einer breiten, wissenschaftlich eher desinteressierten Öffentlichkeit bequem verwenden ließen. Inzwischen jedoch, seit Nanotechnologie zu einer globalen Bewegung in der Wissenschaftspolitik und in der Wissenschaft geworden ist, scheint sie die Kraft des Neuen gleichsam einverleibt zu haben. Denn wie es amerikanische Wissenschaftspolitiker bereits 1999 prognostizierten,⁶ könnte Nanotechnologie (ob selber neu oder nicht) andere neue Technologiefelder initiieren. Bisher hat Nanotechnologie als visionäre Idee eine soziale Bewegung der Nanotechnologie mit weitreichenden sozialen Umstrukturierungen der Wissenschaft ausgelöst. Das nährt die wissenschaftspolitische (an der früheren Entwicklung der Materialwissenschaften gestärkte) Hoffnung, dass die geänderten sozialen Strukturen wiederum neue Ideen provozieren, nun jedoch auf der wissenschaftlich-technischen Ebene als Neue Technologien. Insofern wäre die frühe Rede von den Neuen Technologien nur der Versuch einer *self-fulfilling prophecy*.

6 „Nanotechnology will give birth to new fields that at present are only visions of leading researchers“. (NSTC/IWGN 1999).

LITERATUR

- Drexler, K. E.: *Engines of creation: the coming era of nanotechnology*, New York/NY: Doubleday, 1986.
- NSTC/IWGN: *Nanotechnology research directions: vision for nanotechnology R&D in the next decade*, Washington/DC, 1999.
- Schummer, J.: „Societal and ethical implications of nanotechnology: meanings, interest groups, and social dynamics“. In: *Techné: Research in Philosophy and Technology* 8 (2004), Nr. 2, S. 56-87.
- Schummer, J.: „The global institutionalization of nanotechnology research: a bibliometric approach to the assessment of science policy“. In: *Scientometrics* 70 (2007), Nr. 3, S. 669-692.
- Schummer, J.: *Nanotechnologie: Spiele mit Grenzen*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2009.
- Schummer, J.: „On the novelty of nanotechnology: a philosophical essay“. In: Cutter, A. M. / Gordijn, B. (Hrsg.): *In pursuit of nanoeconomics: transatlantic reflections on nanotechnology*, Dordrecht: Springer, 2010 (im Druck).
- White House, Office of the Press Secretary: *National Nanotechnology Initiative: leading to the next industrial revolution*, Washington/DC, 2000, s. http://clinton4.nara.gov/WH/New/html/20000121_4.html [Stand: 23.09.2010].

Dynamiken förderpolitischen Wandels in der Nanotechnologie

CLEMENS BLÜMEL

Nicht nur durch ihre finanziellen Mittel, sondern auch durch die strategische Integration der Akteure sind Förderpolitiken bedeutsam für die gesellschaftliche Durchsetzung Neuer Technologien. In diesem Beitrag wird diskutiert, wie sich förderpolitische Strategien bei der Entwicklung Neuer Technologien verändert haben. Die Nanotechnologie wird dabei als eine Technologie dargestellt, die von einem Orientierungswandel in der Förderpolitik profitiert. Dieser wird besonders deutlich in einem Vergleich des förderpolitischen Umgangs mit anderen (vergangenen) Neuen Technologien.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Zunächst wird das globale Umfeld der Nanotechnologie und ihre Bedeutung in der Förderung skizziert. Im darauf folgenden Abschnitt wird auf die Institutionen der Forschungsförderung und den Orientierungswandel in der Förderpolitik näher eingegangen. Vor diesem Hintergrund werden die Charakteristika und institutionellen Muster der Nanotechnologieförderung am Beispiel der NNI (National Nanotechnology Initiative) der USA herausgearbeitet.

DAS TECHNOLOGIEFELD DER NANOTECHNOLOGIE ALS GEGENSTAND DER FÖRDERPOLITIK

Die Nanotechnologie gilt als ein schwer zu charakterisierendes Technologiefeld. Nach einer Definition des BMBF bezeichnet die Nanotechnologie die „Untersuchung, Anwendung und Herstellung von Strukturen, molekularen Materialien und Systemen mit einer Dimension unterhalb von 100 Nanometern“.¹ Auf dieser Ebene zeichnen sich neue Eigenschaften ab (zum Beispiel eine verbesserte elektrische Leitfähigkeit), die mittels neuer analytischer Verfahren (Nanoanalytik) genauer untersucht und durch Herstellungsverfahren (die Nanostrukturierung) manipuliert werden können. Methoden und Zugänge verschiedener Wissenschaften sind hierbei beteiligt: Molekularbiologie, Chemie, Physik und Ingenieurwissenschaften liefern wichtige Beiträge. Insofern ist die Nanotechnologie interdisziplinär, was sie zu einem wichtigen Gegenstand der Förderpolitik macht (vgl. Abschnitt 2). Die Nanotechnologie ist für verschiedene Anwendungsbereiche wie *Nanomaterialien*, *Nanoelektronik*, *Nanobiotechnologie* etc. zentral, und die Förderung der Nanotechnologie erlebt gegenwärtig einen ungeheuren Aufschwung. Das lässt sich an einigen globalen Strukturdaten der Förderung veranschaulichen.

Nanotechnologie wird in allen wichtigen Wirtschafts- und Forschungsräumen der Welt gefördert.² Allein zwischen 2004 und 2009 hat sich das globale Fördervolumen mehr als verdoppelt. Der Hauptgrund für diese starke Zunahme ist darin zu sehen, dass jährlich neue Staaten in die Förderung der Nanotechnologie einsteigen und damit die Volumina auf globaler Ebene wachsen.³ Heute fließen mehr als 9,7 Milliarden Euro in die Förderung der Nanotechnologie.⁴ Lange Zeit haben die USA, Japan und die EU die internationalen Fördervolumen bestimmt. Inzwischen deutet sich eine Verschiebung zugunsten neuer staatlicher Akteure, vor allem Russland und China an.⁵ Der entscheidende Auslöser für die Beschleunigung der Fördermaßnahmen war die Nanotechnologie-Initiative der Clinton-Administration (NNI), die nach ihrer Veröffentlichung einen wahren Schub an internationalen Aktivi-

1 Z. B. BMBF 2010, S. 11.

2 Romig/Baker/Johannes u. a. 2007, S. 1635.

3 Schummer 2007, S. 675.

4 Cientifica 2009, S. 4.

5 Ebd., S. 5.

täten ausgelöst hat. Auch die europäischen Aktivitäten haben sich erst nach der Etablierung dieser Initiative verstärkt: Inzwischen belaufen sich die Ausgaben für Nanotechnologie im aktuellen Forschungsrahmenprogramm der EU auf über 3,5 Milliarden Euro. Darüber hinaus gibt es die nationale Förderung in einer Reihe von Ländern, darunter auch Deutschland, wo jährlich immerhin 140 Millionen Euro direkt in die Förderung fließen (institutionelle Mittel nicht mitgerechnet).⁶ Die Förderung in der Nanotechnologie ist umfangreich, und sie ist global.

Warum genießt die Nanotechnologie einen solchen Stellenwert? Wie kam es zu diesen umfassenden und globalen Prioritätensetzungen? In diesem Beitrag wird argumentiert, dass die Nanotechnologie als Neue Technologie Nutznießer eines tief greifenden Orientierungswandels in der Förderpolitik ist. Im folgenden Abschnitt gehe ich auf diesen Orientierungswandel der Förderpolitik genauer ein. Dazu ist zunächst eine kurze begriffliche Einordnung der Förderorganisationen notwendig.

WANDEL BEI DER FÖRDERUNG NEUER TECHNOLOGIEN

Förderpolitik, d. h. die Förderung von Technologien und Wissenschaftsgebieten, ist eine vergleichsweise moderne Erscheinung. Sie hat sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt und ist durch eine dominante Stellung des Staates gekennzeichnet.⁷ Die dabei entstandenen Institutionen der Forschungsförderung haben spezifische Strategien hervorgebracht, die für die Entwicklung neuer Wissenschaftsfelder notwendig sind. Förderorganisationen werden hier verstanden als staatlich finanzierte Einrichtungen, deren Ziel es ist, der Forschung nach bestimmten Kriterien Mittel zur Verfügung zu stellen. Ferner verfügen sie über eine programmatische oder wissenschaftsbasierte Schwerpunktsetzung. Organisatorische Zusammensetzung, Strategien und Prioritätensetzungen in der Verteilung der Mittel sind daher auch immer Ausdruck eines spannungsvollen Verhältnisses zwischen Wissenschaft und Staat. Als Scharnier an der Schnittstelle zwischen beiden Polen übernehmen Förderorganisationen wichtige Funktionen. Ihre Verankerung in der wissenschaftlichen Gemeinschaft erlaubt die Si-

6 Zweck u. a. 2008.

7 Whitley 2003, S. 1016.

cherung der Qualität. Zudem sollen geeignete Verfahren und Anreize die Produktivität wissenschaftlicher Forschung sicherstellen.⁸ Vor allem in frühen Phasen der Entwicklungen neuer Forschungsgebiete sind Förderorganisationen bedeutsam: Durch die gezielte Steuerung neuer Forschungsgebiete kann so die Wissenschaft kognitiv beeinflusst werden.⁹ Die Versorgung der Wissenschaft mit staatlichen Mitteln nach transparenten Verfahren, die Identifikation und Unterstützung von neuen Technologiefeldern, die Entwicklung von Forschungsprogrammen sowie ihre Begleitung und Bewertung gehören seither zu ihren Aufgaben. Diese hochgradig unterschiedlichen Aufgaben haben unterschiedliche institutionelle Formen von Förderorganisationen hervorgebracht: auf der einen Seite Mission Agencies, strategische Fördereinrichtungen, die auch Teil von Ministerien sein können, und auf der anderen Seite Research Councils, die wissenschaftsbasierten Fördereinrichtungen. Diese Institutionen variieren nicht nur zwischen verschiedenen Nationalstaaten; ihr finanzielles Gewicht, ihre Instrumente und Programme sowie ihr wandelndes Verhältnis zu Wissenschaft und Wirtschaft lassen auch Rückschlüsse zu auf einen Orientierungswandel in der Forschungsförderungspolitik.

So war die leitende Idee nach 1945 das so genannte Science Push Paradigma: Die Politik investiert in Grundlagenforschung, und die Verwertung erfolgt weitgehend linear über die Anwendungsforschung zur Vermarktung. Grundlegend war die Auffassung wissenschaftspolitischer Akteure, nicht in die Wissenschaftsentwicklung einzugreifen.¹⁰ Die Grundlagenforschung sollte durch wissenschaftliche Selbstverwaltung erfolgen, weitgehend getrennt von staatlicher Prioritätensetzung. Institutionalisiert wurde diese Funktion in den Research Councils bzw. den wissenschaftsbasierten Förderorganisationen.

Neben dieser Förderung der Grundlagenforschung hat sich der Ansatz der „missionsorientierten Förderung“ herausgebildet, in der der Staat selektiv einige wichtige Gebiete der Technikentwicklung definiert, die durch einen beschränkten Kreis von Akteuren umgesetzt werden. Die Entwicklung Neuer Technologien wurde gezielt für einen Bereich in Angriff genommen, der in das Aufgabenfeld staatlicher Vorsorge fällt. Die technologischen Ziele und ihre Verwertung waren dabei weitgehend vorgegeben. Implementiert wurden diese Program-

8 Guston 2000.

9 Braun 1998.

10 Elzinga/Jamison 1995.

me durch strategische Fördereinrichtungen – eben jene Mission Agencies –, die oft einzig für den Zweck des jeweiligen technologischen Ziels gegründet wurden.¹¹ Die Aufgabentrennung zwischen strategischen und wissenschaftsbasierten Förderorganisationen war allerdings theoretisch, praktisch ließ sie sich in der Zeit eines Wachstums der Wissenschaft, das heute als „goldenes Zeitalter“ gilt, nur schwer durchsetzen. Durch die langfristige Förderung großer missionsorientierter Projekte (wie etwa der Kernenergie) hat sich zwischen Förderorganisation und Wissenschaftlern eine wechselseitige Abhängigkeit entwickelt. So bestand noch in den 1960er Jahren aus Gründen der Reputation auch in den strategischen Forschungseinrichtungen die Notwendigkeit, wissenschaftliche Disziplinen zu fördern, um sich die zukünftige Klientel zu erhalten.¹²

Dies änderte sich in den 1970er Jahren. Die Autonomie der Wissenschaft, deren institutionelle Bestandteile Förderorganisationen sind, wurde stärker in Frage gestellt. Ursache hierfür war vor allem der international stärker wachsende Wettbewerb um Neue Technologien. Infolgedessen veränderten sich die wissenschaftspolitischen Prioritätensetzungen. Ökonomische Effekte und Anwendungspotenziale stehen seither stärker im Vordergrund.¹³ Dieser Einfluss veränderte wissenschaftspolitische Prioritätensetzungen und hatte Folgen für die Förderorganisationen und deren Rollen: In strategischen und politiknahen Fördereinrichtungen hat die Abkehr vom Science Push Paradigma zu einer stärkeren Kontrolle der Forschungsausgaben geführt. Auch die disziplinäre Orientierung der Fördereinrichtungen veränderte sich zunehmend in Richtung anwendungsbezogener Forschung und stärkte damit das Interesse an Ingenieurwissenschaften.¹⁴

Der Druck zur Anwendungsorientierung hat aber auch in wissenschaftsbasierten Fördereinrichtungen zugenommen. Von ihnen wird heute erwartet, selbst strategische Schwerpunkte zu setzen und die Forschungsakteure zu einer stärkeren Verwertung ihrer Ergebnisse zu bringen. Stärker als bisher stehen Förderorganisationen unter Anpassungsdruck. Zunehmend lässt sich daher eine institutionelle Konkurrenz zwischen verschiedenen Arten von Förderorganisationen beobachten: neben den traditionellen Fördereinrichtungen wurden spezi-

11 Stucke 1993.

12 Braun 1993.

13 Trischler 1999.

14 Geuna 2001; Braun 1993; Ders. 2004, S. 1.

elle Institutionen eingeführt, die ganz auf den Wissens- und Innovationstransfer ausgerichtet sind.¹⁵ Im Feld der Förderorganisationen ist damit eine Vielfalt an Institutionen zu finden.

Doch nicht nur in der Einführung neuer Organisationen, auch an der Veränderung der Förderinstrumente wurde ein Paradigmenwechsel sichtbar. Am deutlichsten wird dies am steigenden Anteil der themengebundenen Projektförderung, der in nahezu allen westeuropäischen Ländern zu erkennen ist. Zugleich ist der Anteil der institutionellen Grundfinanzierung – zuvor vor allem in Westeuropa ein Charakteristikum des Wissenschaftssystems – stark zurückgegangen.¹⁶ Diese Zunahme der Projektförderung ist es, die eine stärkere politische Einflussnahme erkennen lässt.¹⁷ Das Zusammenspiel beider Prozesse, die (relative) Absenkung der Grundfinanzierung bei gleichzeitigem Anwachsen der Projektförderung ist der sichtbarste Ausdruck wissenschaftspolitischer Prioritätensetzungen. Denn waren es vor allem die Neuen Technologien, die vom Ausbau der Projektförderung profitierten, während andere Wissenschaftsfelder weniger an diesem Prozess teilhaben konnten, aber von der Absenkung der Grundfinanzierung betroffen waren.¹⁸ Eine Folge dieses Umbaus der Forschungsförderung war der zunehmende Druck, Prozesse zur Identifikation von Forschungsprioritäten immer weiter zu verfeinern.¹⁹ Die Entwicklung Neuer Technologien hat aber auch dazu beigetragen, die Förderaktivitäten der verschiedenen Organisationen besser zu koordinieren und damit die Weichen zu einem institutionellen Umbau und veränderten Rollenprofil der Einrichtungen gestellt. Diese strategische Koordination scheint ein besonders wichtiges Merkmal moderner Förderpolitiken zu sein.

Wesentlich für die Veränderung der förderpolitischen Institutionen war die Entdeckung und Nutzung der Biotechnologie. Die Biotechnologie wurde vor allem in den USA durch eine breit angelegte Änderung des Patentrechts und der Verwertungsrechte öffentlicher Forschungseinrichtungen gefördert. Der zentrale forschungspolitische Einschnitt war dabei der Bay-Dole Act, in dem die erweiterten Rechte der öffentlichen Einrichtungen festgeschrieben wurden. Ziel dieser

15 Lepori/Dinges 2006.

16 Ebd.

17 Braun 2004, S. 32.

18 Senker u. a. 1999.

19 Ebd., S. 31.

Maßnahmen war es, die Verwertung wissenschaftlicher Ergebnisse direkt aus den Forschungsorganisationen heraus voranzutreiben. Die Genese großer biotechnologischer Unternehmen und die Diffusion biotechnologischer Verfahren und Instrumente haben den Erfolg dieser Maßnahmen und die veränderten Innovationsmechanismen deutlich gezeigt. Dabei wurde offenbar, dass nicht nur die Forschungsinstitutionen, sondern auch das forschungspolitische Umfeld – die Verfügbarkeit von Kapital, das Vorhandensein großer und risikobereiter Kapitalgeber sowie die Investitionsbereitschaft großer pharmazeutischer Unternehmen – zu diesem Erfolg beigetragen haben.²⁰ In der Folge wurde dieses Innovationsmodell häufig versucht zu kopieren; vielfältige Maßnahmen in anderen Ländern, die auf die Veränderung der Diffusionsaktivitäten abzielen, ließen sich beobachten. Das Ergebnis auf der förderpolitischen Agenda ist eine stärkere Kopplung zwischen Wissenschaft und Technologie.

Auf politischer Ebene hat der Erfolg dieser Entwicklungen jedoch zu der Überzeugung geführt, dass sich unternehmerische Aktivitäten aus der Wissenschaft durch Maßnahmen des Innovationsumfelds beeinflussen ließen.²¹ Man kann von einem neuen Förderregime für Neue Technologien sprechen, das nachhaltig förderpolitische Konzepte veränderte und damit auch die Förderung der Nanotechnologie und ihre globale Durchsetzung forcierte.

DIE NANOTECHNOLOGIE ALS PROFITEUR DES WANDELS

Heute gilt die Nanotechnologie als ein Profiteur dieses neuen technologie- und förderpolitischen Umfelds. Wissenschaftsbasierte Technologien wie die Nanotechnologie werden gezielter im Hinblick auf die Vermarktung und Diffusion in die Wirtschaft gefördert. Aufgrund der dargestellten veränderten förderpolitischen Prioritätensetzungen wer-

20 Johnson 2004.

21 Ebd., S. 221 ff. Darunter sind insbesondere förderpolitische Maßnahmen zur Verbesserung der Kooperationsfähigkeit zu verstehen. In Deutschland waren solche Maßnahmen mit der Einführung des Bio Regio Förderprogramms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Bereich der Biotechnologie ausgesprochen erfolgreich, vgl. Casper/Lehrer/Soskice u. a. 1999.

den vor allem Technologien gefördert, deren Entwicklung starke ökonomische Potenziale versprechen. Die Nanotechnologie steht damit am Ende eines Identifikationsprozesses von Forschungsprioritäten in verschiedenen westlichen Ländern.

Allerdings sind die ökonomischen Erwartungen, die sich auf die Nanotechnologien beziehen, weniger auf die Entwicklung neuer Industrien gerichtet als vielmehr auf die Transformation bestehender.²² Aufgrund der Nutzung und Entwicklung neuer Verfahren und Techniken, die auf der Erkenntnis neuer Eigenschaften im Nanobereich beruhen, werden der Nanotechnologie Wirkungen für die Automobilindustrie, Luftfahrt (Neue Materialien und Sensorsysteme) und der Umwelttechnologie zugeschrieben.²³

Eine wichtige Rolle als Argumentationsfigur nimmt in diesem Zusammenhang der Begriff der „Schlüsseltechnologie“ ein, der in den 1980er Jahren eingeführt und insbesondere auf die Entwicklung der Computerchips bezogen wurde. In ähnlicher Weise sind die breiten Anwendungsbereiche das zentrale Merkmal der Nanotechnologie und die damit verknüpften Erwartungen, die sie als Schlüsseltechnologie charakterisieren:

„Der Begriff der Schlüsseltechnologien bezieht sich auf Technologien, die die Entwicklung neuer Waren und Dienstleistungen auf einer Vielzahl von Gebieten ermöglichen. Die Nanotechnologie verspricht beispielsweise Durchbrüche im Gesundheitswesen, in Fragen der Energie, Umwelt und Produktion, während Mikro- und Nanoelektronik zu smarten, den Energie-, Verkehrs- und Raumfahrtsektor revolutionierenden Steuersystemen beitragen könnten.“²⁴

Ein Schlüsselbereich, der die an die Nanowissenschaft gestellten Erwartungen zeigt, ist das Feld der Nanoelektronik. Da die Miniaturisierung in der Halbleiterindustrie inzwischen so weit vorangeschritten ist, dass die herkömmlichen Methoden zum Packaging der Schaltkreise früher oder später an ihre Grenzen stoßen und die Entwicklung neuer Verfahren erfordern, gilt hier die Durchsetzung neuer (nicht siliziumbasierter Technologien) als wahrscheinlich.²⁵ Bereits seit Jahrzehnten wird intensiv daran geforscht, allerdings ist eine Anwendungs-

22 TAB 2003, S. 2.

23 Paschen u. a. 2004.

24 European Commission 2009, S. 1.

25 Romig u. a. 2007, S. 1637.

reife dieser Technologien noch in weiter Ferne.²⁶ In jüngster Zeit wurden Versuche sichtbar, weitere Anwendungsfelder in den breiteren Kontext einer gesellschaftlichen Problemorientierung zu stellen. Ein Ergebnis ist die Identifikation von Bereichen, in denen Nanotechnologie zur Nachhaltigkeit beitragen kann, wie Mobilität, Bau, Energie und Umwelt.²⁷ Damit wird sichtbar, dass Förderorganisationen, insbesondere in politiknahe Fördereinrichtungen, nicht nur nach ökonomischen Potenzialen, sondern auch nach gesellschaftlicher Legitimation streben.²⁸

Diese Darstellung zeigt, dass die Nanotechnologie als Prototyp einer Neuen Technologie anzusehen ist, die außerordentlich interdisziplinär und durch eine Vielzahl an Anwendungsbereichen und Möglichkeiten zu einer an gesellschaftlichen Problemen orientierten Förderpolitik charakterisiert ist. Diese Vielzahl an Anwendungsbereichen erzeugt für Förderorganisationen besondere Aufgaben, was sich in einer Reihe von Programmen und Initiativen ausdrückt. So wird Nanotechnologie in Förderprogrammen immer in Verbindung mit dem Anwendungsfeld adressiert, in das sie diffundiert (Nanotechnologie und Energieeffizienz, Nanotechnologie in der Produktion, Nanomedizin, Nanooptik, Nanoelektronik etc.).

Damit ergibt sich für die Nanotechnologie ein besonderer Bedarf an strategischer Koordinierung zwischen verschiedenen forschungspolitischen Akteuren, der insbesondere auch aufgrund des ausgesprochen lose gekoppelten wissenschaftlichen Feldes die Förderpolitiken vor enorme Herausforderungen stellt. Kaum eine Initiative zeigt dies so deutlich wie die National Nanotechnology Initiative in den USA (NNI), wo der Druck, die Potenziale der Nanotechnologie ökonomisch zu verwerten, einige institutionelle Innovationen hervorgebracht hat. Dabei gelang es vor allem, die verschiedenen Interessen und Ziele der einzelnen Fördereinrichtungen zusammen zubringen. Dieser Ansatz ist in der Struktur der NNI ablesbar: Beteiligte Akteure sind die verschiedenen Ministerien und Forschungsförderungseinrichtungen wie etwa das Energieministerium (Department of Energy), das Ministerium für Verteidigung (Department of Defense), die Gesundheitsforschung (National Institutes of Health) sowie die National Science Foundation.

26 Rairighi 2005; vgl. die Beiträge von Kehrt und Schmitt-Landsiedel/Friederich in diesem Band.

27 Zweck u. a. 2008, S. 982.

28 Gassler u. a. 2006, S. 17.

In der weit ausdifferenzierten amerikanischen Forschungsförderungslandschaft fördern diese Institutionen Neue Technologien auf der Grundlage jeweils eigener thematischer Schwerpunktsetzungen. Traditionell stehen diese verschiedenen Fördereinrichtungen im Hinblick auf ihre Stellung im Innovationssystem und hinsichtlich ihres Adressatenkreises in institutioneller Konkurrenz.²⁹ Mit der NNI gelang es jedoch, eine Technologie aus dem unübersichtlichen System der Ressortförderung herauszuziehen. Diese Konstellation gilt als institutionelle Innovation, weil so die Eigenlogiken der einzelnen Fördereinrichtungen unterlaufen werden. In der partiellen Aufgabe der Eigenständigkeit der Ministerien und ihrer Anbindung an zentrale Institutionen mit Budgetbefugnis ist zugleich die Bedeutung der Nanotechnologie als Fördergegenstand ablesbar.³⁰ Auch in der Organisation von Forschungseinheiten setzt die Initiative auf Veränderungen: Kern der Initiative ist die Bildung großer Forschungszentren, in denen die Potenziale der beteiligten Wissenschaftsfelder gebündelt werden. In dieser Förderstrategie ist besonders die Überzeugung ablesbar, dass die Nanotechnologie neue organisatorische Formen benötigt.³¹ Damit hat die Nanotechnologieinitiative zu einer Neujustierung der Förderarrangements beigetragen, wie dies für einige Neue Technologien als charakteristisch gilt.³²

Die Nanotechnologie-Initiative der USA hat aber auch in anderer Hinsicht weit reichende Folgen für die Beurteilung der Institutionen der Forschungsförderung: Sie zeigt nicht nur die Integration der förderpolitischen Akteure, sondern auch ihre veränderte Rolle innerhalb der Förderlandschaft. Dies trifft in besonderem Maß für die National Science Foundation zu, die gemäß der oben eingeführten Unterscheidung als „wissenschaftsbasierte“ Förderorganisation bezeichnet werden kann. So ist der Erfolg der Initiative in ihrer Breitenwirkung auf die Wissenschaft auch auf die Beteiligung der NSF zurückzuführen. Diese Beteiligung ist Ausdruck einer neuen forschungspolitischen Rolle von wissenschaftsbasierten Fördereinrichtungen. Durch den

29 Braun 1993.

30 NRC 2002, S. 11.

31 Die Frage, inwiefern organisatorische Neubildungen oder eine Erweiterung vorhandener institutioneller Strukturen zur nachhaltigen Institutionalisierung der Nanotechnologie beitragen, wird bei Schummer 2007 diskutiert, S. 687 ff.

32 Senker u. a. 1999, S. 31.

verstärkten Haushaltsdruck und die wachsende institutionelle Konkurrenz ist eine strategische Orientierung notwendig geworden, die sich in einer stärkeren Konzentration auf Neue Technologien auch in wissenschaftsbasierten Fördereinrichtungen niederschlagen kann.

Wie lässt sich diese Initiative vor dem Hintergrund der förderpolitischen Entwicklung interpretieren? Einiges spricht dafür, die NNI als Wiederkehr der Missionsorientierung zu begreifen. Die Ausrichtung der Akteure auf ein Ziel und die strategische Integration der Akteure in ein starkes forschungspolitisches Programm sprechen dafür. Im Unterschied zu früheren förderpolitischen Aktivitäten wird jedoch die gesamte Breite forschungspolitischer Akteure in die Entwicklung des Programms einbezogen. Vor allem wissenschaftsbasierte Förderorganisationen haben eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung strategischer Forschungsfelder und Neuer Technologien. Damit wird die engere Kopplung zwischen wissenschaftlicher Wissensproduktion und ökonomischer Verwertung auch im Wandel der Förderorganisationen deutlich ablesbar.

FAZIT: WAS MACHT DIE NANOTECHNOLOGIE ZU EINER NEUEN TECHNOLOGIE?

Die Nanotechnologie ist eine Zukunftstechnologie, die in der öffentlichen Forschungsförderung besonders hohen Stellenwert genießt. Dies ist vor dem Hintergrund der tiefgreifenden Veränderung der wissenschaftspolitischen Rahmenbedingungen zu sehen, die in diesem Beitrag skizziert wurden. Die Nanotechnologie ist zu einem Zeitpunkt bedeutsam geworden, in dem sich die institutionellen Rahmenbedingungen grundlegend gewandelt haben. Eine hohe Bedeutung kommt dabei der Tatsache zu, dass die Nanotechnologie im Zentrum einer Umorientierung der Forschungspolitik stand, die nach dem Ende des Kalten Krieges einsetzte.³³ Gleichzeitig ist die Entwicklung der Nanotechnologie selbst vor dem Hintergrund eines neuen Förderregimes zu interpretieren. Diese technologiepolitischen Neuerungen, insbesondere die stärkere Kopplung zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sowie eine verstärkte Patentförderung und deren Diffusion wurden im Rahmen anderer technologiepolitischer Programme und Erfahrungen mit

33 Johnson 2004.

anderen Neuen Technologien wie etwa der Biotechnologie entwickelt. Diese förderpolitischen Neuerungen zwischen „Neuen“ und „alten“ Neuen Technologien können vereinfacht so dargestellt werden:

Die Einführung der „alten“ Neuen Technologien wie der Kerntechnik wurde gezielt für einen Bereich in Angriff genommen, der in den Bereich staatlicher Vorsorge fällt – auch wenn heute Unternehmen die Nutznießer sind. Die Förderstrategie war damit nur auf einen eingeschränkten Kreis von Fördernehmern ausgerichtet, vorrangig jedoch an staatlichen Interessen orientiert.

Bei der Förderung der Neuen Technologien ab den 1980er Jahren, wie der Biotechnologie und später dann auch der Nanotechnologie, scheint diese Einschränkung nicht mehr vorzuliegen. Ziel ist vielmehr eine breite Diffusion Neuer Technologien in die Wirtschaft. Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit werden direkt zu beeinflussen versucht. Methoden und Prozesse, die mit der Nanotechnologie verbunden werden, sollen nach den Zielen der forschungspolitischen Akteure bestehende Prozesse in unterschiedlichen Technologiefeldern verändern. Damit folgen die Begründungen zur Förderung der Nanotechnologie jener inzwischen nicht mehr allzu neuen Argumentationsfigur der „Schlüsseltechnologie“, die aus industriepolitischen Gründen benutzt wird: Schlüssel- oder auch Querschnittstechnologien sind aufgrund ihrer Breitenwirkung besonders intensiv zu fördern. Deswegen setzen Förderstrategien ausgesprochen breit an.

Darüber hinaus hat der besondere Bedarf an strategischer Koordination in der Nanotechnologie zu Veränderungen in den Organisationen der Forschungsförderung geführt. Dies lässt sich besonders deutlich in der Ausgestaltung der Nanotechnologie-Initiative der USA ablesen, die durch ihre institutionellen Veränderungen Modellcharakter hatte und auf globaler Ebene zahlreiche Nachahmer fand.³⁴ Dazu haben nicht nur die enormen Finanzmittel der Nanotechnologieförderung,³⁵ sondern auch deren zentrale strategische Koordinierung beigetragen. Damit zeigt sich, in welchem engen Wechselverhältnis Technologieentwicklung und Förderpolitiken stehen.

34 Schummer 2007, S. 676.

35 Gegenwärtig etwa 1, 5 Mrd. US Dollar. Vgl. NSTC 2009, S. 8.

LITERATUR

- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): *Nanotechnologie Aktionsplan 2010*. http://www.bmbf.de/pub/nano_initiative_aktionsplan_2010.pdf [Stand: 01.08. 2010].
- Barben, D.: *Politische Ökonomie der Biotechnologie. Innovation und gesellschaftlicher Wandel im internationalen Vergleich* (Theorie und Gesellschaft, Band 60), Frankfurt am Main: Campus, 2007.
- Beckert, B./Blümel, C./Friedewald, M.: Visions and realities in converging technologies: exploring the technology base for convergence. In: *Innovation 20* (2007), Nr. 4, S. 375-394.
- Braun, D.: The role of funding agencies in the cognitive development of science. In: *Research Policy Volume 27* (1998), S. 807- 821.
- Braun, D.: Who governs intermediary agencies? Principal agent relations in research policy making. In: *Journal of Public Policy Volume 13* (1993), Nr. 2, S. 135-162.
- Casper, S./Lehrer, M./Soskice, D.: Can high-technology industries prosper in Germany? Institutional frameworks and the evolution of the German software and biotechnology industries. In: *Industry and Innovation 6* (1999), S. 6-23.
- Cientifica ltd.: *Nanotechnology takes a deep breath and prepares to save the world. Global nanotechnology funding 2009*, London: Cientifica ltd., 2009.
- Elzinga, A./Jamison, A.: Changing policy agendas in science and technology. In: Jasanoff, S./Markle, G. E. (Hrsg.): *Handbook of science and technology studies*. Thousand Oaks, CA: Sage, S. 572-597.
- European Commission: *Kommission betont Wichtigkeit der Beherrschung von Schlüsseltechnologien*. Pressemitteilung der Europäischen Kommission. In: [Http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/communication_key_enabling_technologies_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/communication_key_enabling_technologies_en.pdf) [Stand: 15.01.2010].
- Gassler, H./Polt, W./Rammer, C.: Schwerpunktsetzungen in der Forschungs- und Technologiepolitik – eine Analyse der Paradigmenwechsel seit 1945. In: *Österreichische Zeitschrift für Politikwissenschaft 35* (2006), Nr.1, S. 7-23.
- Grunwald, A.: Nanotechnologie als Chiffre der Zukunft. In: Nordmann, A./Schummer, J./Schwarz, A. (Hrsg.): *Nanotechnologien im*

- Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven.* Berlin: Akademische Verlagsanstalt, 2006, S. 49-80.
- Guston, D. H.: *Politics and science. Assuring the integrity and productivity of research*, Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- Johnson, A.: The end of pure science: science policy from Bayh Dole to the NNI. In: Baird, D./Nordmann, A./Schummer, J. (Hrsg.): *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam: IOS, 2004, S. 217-230.
- Krücken G./Meier, F.: Der gesellschaftliche Innovationsdiskurs und die Rolle von Universitäten. Eine Analyse gegenwärtiger Mythen. In: *Die Hochschule, Journal für Wissenschaft und Bildung* 14 (2005), S. 157-170.
- Leath, A. T.: Administration and congress see promise in nanotechnology. In: *FYI – Science Policy News* 46 (2000).
- Lütz, S.: *Die Steuerung industrieller Forschungskooperation: Funktionsweise und Erfolgsbedingungen des staatlichen Förderinstrumentes* (Schriften des Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung Köln, Band 13), Frankfurt am Main: Campus, 1993.
- Nanotechnology Initiative: *Nanotech Facts*. http://www.nano.gov./-html/facts/home_facts.html [Stand: 15.01.2010].
- National Research Council [NRC]: *Small wonders, endless frontiers. A review of the National Nanotechnology Initiative*. Washington/DC.: National Academy Press, 2002.
- National Science and Technology Council: *The Nanotechnology Initiative. Supplement to the President's FY 2010 budget*, Washington/DC: National Science and Technology Council, 2010.
- Paschen, H. u. a.: *Nanotechnologie. Forschung und Anwendungen*, Berlin: Springer, 2004.
- Rairighi, D.: *Limits of CMOS technology scaling and technologies beyond-CMOS*, 2005. http://www.drlock.com/papers/cmos_survey.pdf. [Stand: 12.10.2009].
- Rafols, I./Meyer, M.: How cross-disciplinary is bionanotechnology? Explorations in the specialty of molecular motors. In: *Scientometrics* 70 (2007), Nr.3, S. 633-650.
- Roco, M.: International strategy for nanotechnology research and development. In: *Journal of Nanoparticle Research* 3 (2001), S. 353-360.
- Roco, M.: The emergence and policy implications of converging new technologies integrated from the nanoscale. In: *Journal of Nanoparticle Research* 7 (2005), S. 129-143.

- Roco, M.; Bainbridge, W. (Hrsg.): *Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf [Stand: 17.01.2009].
- Romig, A. D. u. a.: An introduction to nanotechnology policy: opportunities and constraints for emerging and established economies. In: *Technological Forecasting and Social Change* 74 (2007), S. 1634-1642.
- Sanz-Menendez, L./Cabello, C.: Expectations and learning as principles for Shaping the Future. In: Brown, N.; Rappert, B.; Webster, A. (Hrsg.): *Contested Futures. A sociology of expectations of prospective technoscience*, Burlington: Ashgate, 2000, S. 229-246.
- Schummer, J.: The global institutionalization of nanotechnology research: A bibliometric approach to the assessment of science policy. In: *Scientometrics* 70 (2007), Nr. 3, S. 669-692.
- Senker, J. u. a.: *European comparison of public research systems*, Sussex: SPRU, 1999.
- Siegel, R.W./Hu, E./Roco, M.: *Nanostructure science and technology. A worldwide study*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- Stucke, A.: *Die Institutionalisierung der Forschungspolitik. Entstehung, Entwicklung und Steuerungsprobleme des Bundesforschungsministeriums* (Schriften des Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung Köln, Band 12). Frankfurt am Main: Campus, 1993.
- Stucke, A.: Staatliche Akteure in der Wissenschaftspolitik. In: Simon, D./Knie, A./Hornborstel, S. (Hrsg.): *Handbuch Wissenschaftspolitik*. Wiesbaden: VS Verlag, 2009, S. 363-376.
- Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB): *Nanotechnologie. Arbeitsbericht 92*. Berlin: TAB, 2003.
- Trischler, H. (1999): Hoffnungsträger oder Sorgenkind der Forschungspolitik? Die bundesdeutsche Großforschung in den „langen“ siebziger Jahren. In: Rüdiger vom Bruch, Eckart Henning (Hrsg.): *Wissenschaftsfördernde Institutionen im Deutschland des 20. Jahrhunderts* (Dahlemer Archivgespräche Band 5). Berlin: MPG-Archiv, 1999, S. 200-214.
- Wehling, P./Böschen, S.: *Wissenschaft zwischen Folgenverantwortung und Nichtwissen. Aktuelle Perspektiven der Wissenschaftsforschung*. Wiesbaden: VS-Verlag, 2004.

Whitley, R.: Competition and pluralism in the public sciences: The impact of institutional frameworks on the organisation of academic science. In: *Research Policy* 32 (2003), S. 1015-1029.

Wissenschaftsrat: *Strategische Forschungsförderung. Empfehlungen zu Kommunikation, Kooperation und Wettbewerb im Wissenschaftssystem*. Köln: Drs. 5654/03, 2003.

Zweck, A. u. a.: Nanotechnology in Germany: from forecasting to technological assessment to sustainability studies. In: *Journal of Cleaner Production* 16 (2008), S. 977-987.

Von der Mikroelektronik zur Nanoelektronik

DORIS SCHMITT-LANDSIEDEL, CHRISTOPH FRIEDERICH

Mikroelektronik findet sich heute in allen Lebensbereichen: von der allgegenwärtigen Kommunikationstechnik über Maschinen und Fahrzeuge bis hin zur medizinischen Anwendung im Körper, die über den klassischen Herzschrittmacher schon weit hinausgeht. Nanoelektronik stellt sich begrifflich als eine Fortsetzung der Mikroelektronik dar, d. h. als Integration von elektronischen Bauelementen mit immer kleineren Dimensionen und damit immer höherer Integrationsdichte. Somit stellt sich die Frage, in wie weit die Nanoelektronik eine „Neue“ Technologie ist. Bei detaillierter Betrachtung zeigt es sich, dass „die Nanoelektronik“ als eine einheitliche Technologie nicht existiert. Schon der Blick auf die Anfänge der Mikroelektronik macht deutlich, dass die Entwicklung dieser Technik eine kontinuierliche Geschichte ständiger Innovationen war.

EINE KURZE GESCHICHTE DER MIKROELEKTRONIK

Grundlegende Erfindungen datieren schon aus der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts, beispielsweise die Erfindung eines dem heutigen Transistor entsprechenden steuerbaren elektrischen Widerstands¹ durch Julius Edgar Lilienfeld im Jahre 1925. Es folgte die systematische Erforschung der elektronischen Eigenschaften der Halb-

1 Lilienfeld 1930.

leiter, welche das Ausgangsmaterial aller integrierten Elektronik bilden. In der heutigen Wahrnehmung wird als Geburtsstunde der Mikroelektronik zumeist die Herstellung des ersten Transistors 1947 in den Bell Labs gesehen werden. Aber es dauerte weitere zehn Jahre, bis erste integrierte Schaltkreise, bestehend aus mehreren dieser noch makroskopischen Schalter, nahezu zeitgleich von Jack Kilby bei Texas Instruments und von Robert Noyce bei Fairchild Semiconductor vorgestellt wurden. Eine wesentliche Voraussetzung dafür waren die großen Fortschritte in der Herstellungstechnik für das Siliziumgrundmaterial, bei denen die Halbleiterexperten um Eberhard Spence im Forschungslabor von Siemens in Schloss Pretzfeld wesentliche Beiträge erarbeitet haben.

Das so genannte „Moore'sche Gesetz“, welches 1965 von Gordon Moore, einem der Gründer der Firma Intel, formuliert wurde, sagt die Verdoppelung der Integrationsdichte von integrierten Schaltungen alle 18 bis 24 Monate voraus (Abbildung 1).² Als Beispiel nahmen 1972 bei den ersten Prozessoren 125 Transistoren eine Fläche von einem Quadratmillimeter in Anspruch. Neue Fertigungstechnologien, die zur Verbesserung der optischen Auflösung und der Genauigkeit der chemischen Prozesse führten, ermöglichten die immer feinere Strukturierung der Halbleiteroberflächen. Heute passen auf die gleiche Fläche drei Millionen Transistoren, also fast 30.000 Mal so viele. Die kleinsten Transistoren, die heute verwendet werden, haben eine Länge von 0,03 Mikrometern oder anders gesagt von 30 Nanometern.³ Das Moore'sche Gesetz ist somit für die Halbleiterindustrie eine selbsterfüllende Prophezeiung geworden. Der Ausgangspunkt für die Formulierung dieser Gesetzmäßigkeit waren wirtschaftliche Erwägungen: Eine integrierte Schaltung weist die geringsten Fertigungskosten ihrer Bauelemente auf, wenn sie eine bestimmte Anzahl dieser Komponenten enthält (Abbildung 2). Bei einer geringeren Anzahl überwiegen die Nebenkosten der Herstellung (zum Beispiel Chipgehäuse). Bei einer größeren Anzahl erhöht sich die Ausfallwahrscheinlichkeit, und damit vermindert sich die Anzahl der verkäuflichen Exemplare.

2 Vgl. den Beitrag von Kehrt in diesem Band.

3 Ein Nanometer ist eine physikalische Längeneinheit, sie entspricht einem milliardsten Teil eines Meters. Ein Nanometer ist der ungefähre Durchmesser eines C_{60} Moleküls, welches 100 Millionen mal kleiner als ein Apfel ist. Dieser ist wiederum 100 Millionen mal kleiner als der Planet Erde.

Abbildung 1: Das „Moore'sche Gesetz“: Eine Verdoppelung der Bauelemente einer Schaltung erfolgt alle 18 bis 24 Monate. Hier sind die Anzahl der Transistoren von Mikroprozessoren und das Jahr ihrer Einführung dargestellt.

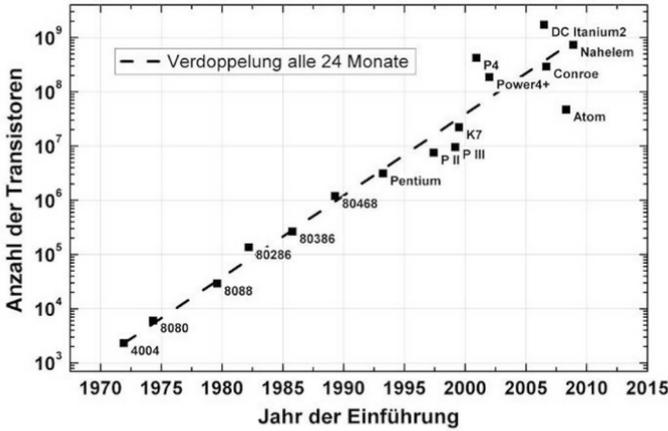
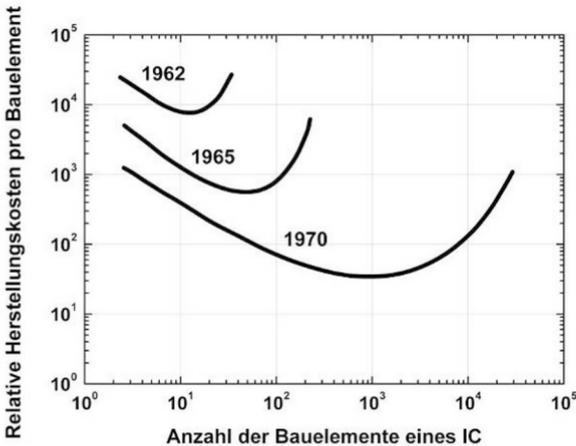


Abbildung 2: Das „Moore'sche Gesetz“ in seiner ursprünglichen Formulierung: Die Anzahl der Bauelemente eines integrierten Schaltkreises (IC) mit minimalen Herstellungskosten (Kostenoptimum) verdoppelt sich etwa alle zwei Jahre.⁴



4 nach Moore 1965, S. 114-117.

Bessere Fertigungstechnologien ermöglichten, immer größere (und damit günstigere) Schaltungen in diesem Kostenoptimum zu fertigen. Diese Kostenreduktion, bei gleichzeitig immer leistungsfähigeren Schaltungen, erzeugte nun wiederum eine erhöhte Nachfrage, die ihrerseits zur weiteren Technologieentwicklung (Kostenreduktion) motivierte. Aufgrund dieser Marktdynamik vergeht in kaum einem anderen Bereich der Technik zwischen der Grundlagenforschung, der Entwicklung darauf basierender Technologien und der Verwendung in neuen Produkten ein so geringer Zeitraum. Gerade diese Konvergenz der drei traditionell getrennten Entwicklungsstufen schafft ein besonders fruchtbares Umfeld für Innovationen und Visionen.

Die seit den frühen 1960er Jahren beständig fortschreitende Miniarisierung der elektronischen Bauelemente in integrierten Schaltungen ging also immer mit dem Einsatz Neuer Technologien einher. Dabei ist die Mikroelektronik wie kaum ein anderer Bereich der Technikwissenschaften von einem rasanten Entwicklungsfortschritt gekennzeichnet. Dies betraf in der Vergangenheit sowohl die Herstellungstechnologie als auch neue Schaltungskonzepte, die immer leistungsfähigere informationsverarbeitende Systeme ermöglichten. Ein prominentes Beispiel ist die Entwicklung der dynamischen Speicherzelle durch Robert Dennard von IBM, die integrierte Speicher mit extrem hoher Speicherdichte ermöglichte. Diese Speicherzelle wurde wiederum erst praktisch nutzbar in Kombination mit einem speziell dafür erforderlichen Ausleseverstärker, der von Karl-Ulrich Stein bei Siemens entwickelt wurde.⁵ So ist in der Mikroelektronik immer eine ganze Kette von Innovationen und Neuen Technologien erforderlich, um die nächste Stufe der Integration zu erreichen.

NEUE ANWENDUNGEN – NEUE RISIKEN?

Neue Technologien finden oft Einsatz, ohne von den Nutzern in der Gesellschaft als solche wahrgenommen zu werden. Erst wenn sie neue Anwendungsfelder erschließen bzw. elektronische Systeme mit ganz neuen Eigenschaften ermöglichen, kommt es zu einem bewussten Wahrnehmen des technischen Fortschritts.⁶ Dabei sind es oft stetige Verbesserungen bestehender Systeme, welche in der Summe die neuen

5 Vgl. Schaffer 2005.

6 Vgl. den Beitrag von Kornwachs in diesem Band.

Anwendungen erst ermöglichen und die damit verbundene Wahrnehmungsschwelle überwinden. Gerade diese Anwendungen, die neue Märkte erschließen oder zumindest bestehende Märkte einer erweiterten Nutzergruppe erschließen, erleichtern die Kommunikation des technischen Fortschritts.

So lassen sich in der Vergangenheit viele Beispiele für neue Anwendungen finden, die den Einsatz Neuer Technologien in der Mikroelektronik in das gesellschaftliche Bewusstsein gerufen haben, so z. B. ab den 1980er Jahren die Durchdringung der Arbeitswelt durch datenverarbeitende Systeme. Beispiele aus jüngerer Zeit mit großem gesellschaftlichem Einfluss sind das Internet und die Mobilkommunikation. Sie haben Art und Form der menschlichen Kommunikation im privaten wie auch beruflichen Umfeld beeinflusst und damit Veränderungsprozesse angestoßen, deren Auswirkungen wir heute noch nicht abschließend bewerten können. Neue elektronische Geräte der Unterhaltungselektronik haben unser privates Umfeld verändert. Die CD und nun der MP3-Spieler sind kaum mehr aus einem Haushalt wegzudenken. Die Digitalisierung von Musik wurde zwar bereits in den 1970er Jahren demonstriert, aber erst 1992 wurde der ISO MPEG Audio Layer 3, kurz MP3, als eine Erfindung des Fraunhofer Instituts für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen, vorgestellt. Viele Hürden, sowohl technische als auch ökonomische, waren von den Forschern am IIS für die Kommerzialisierung dieser Technologie zu überwinden.⁷ Es dauerte schließlich bis 1998, bis erste mobile MP3-Abspielgeräte verfügbar waren.

Dieses Beispiel zeigt, dass Technologien zu dem Zeitpunkt, zu dem sie öffentlich als neu wahrgenommen werden, bereits eine evolutionäre Entwicklung unter Fachleuten hinter sich gebracht haben und in diesen Kreisen schon als „alt“ gelten können. Daher ist es auch Aufgabe der Fachleute, die Wahrnehmungsschwelle so zu senken dass eine öffentliche Diskussion früher einsetzen kann, wenn Neue Technologien mit neuen Risiken einhergehen⁸ und einen gesellschaftlichen Diskurs erfordern. Dabei sind mit der Nanoelektronik vergleichsweise geringe Risiken verbunden. Durch die Verkapselung in makroskopischen Bauteilen ist die Verwendung von nanostrukturierten Elementen auf den Herstellungsprozess (und möglicherweise die Entsorgung) beschränkt. Auch dort treten bis heute keine isolierten Nanopartikel

7 Vgl. Fraunhofer 2009.

8 Vgl. den Beitrag von Renn in diesem Band.

auf, sondern nanostrukturierte leitende und isolierende Materialstrukturen, die innerhalb eines makroskopischen Bauelementes integriert sind. Die Nanoelektronik birgt hinsichtlich der Toxizität der eingesetzten Materialien genauso wenige Risiken wie die Mikroelektronik.

Grundlegend neue ethische Aspekte werden durch die Nanoelektronik aus heutiger Sicht nicht aufgeworfen, wenngleich neue Anwendungen, die durch die Fortschritte der Nanoelektronik ermöglicht werden, diesbezüglich neue Herausforderungen bedeuten können. Ein Beispiel ist die zunehmende Vernetzung und Verfügbarkeit von Daten, die hinsichtlich des Schutzes der eigenen Persönlichkeitsrechte und des Datenschutzes einer erhöhten Aufmerksamkeit bedürfen. Dies ist aber eher eine Fragestellung der verantwortungsvollen Nutzung neuer Technologien als der Technologie selbst.

WAS IST DAS NEUE AN DER NANOELEKTRONIK?

Was also macht den Übergang von der Mikroelektronik zur Nanoelektronik aus, wenn die Mikroelektronik schon immer gekennzeichnet ist durch die beständige Verkleinerung der Bauelemente und der einhergehenden Kostenreduktion? Im Gegensatz zu anderen Bereichen ist für die Elektronik der Austausch der Vorsilbe „Mikro-“ durch „Nano-“ durch die Skalierung der zugrundeliegenden Bauelemente und durch die physikalische Größeneinheit ihrer geometrischen Dimensionen gegeben. Bezüglich dieser Skalierung wird der Übergang von der Mikroelektronik zur Nanoelektronik heute beim Übergang zu Strukturen unter 100 Nanometern lateraler Abmessung angesetzt werden. Dies ist nicht reine Willkür oder der Förderpolitik geschuldeter Opportunismus,⁹ sondern verdankt sich der Tatsache, dass unterhalb von 100 Nanometern Neue Technologien erforderlich werden. Die Erzeugung der lateralen Strukturen erfolgt durch Fotolithografie. Unterhalb dieser Strukturgröße, die schon deutlich kleiner als die verwendeten Lichtwellenlänge ist, werden komplizierte Verfahren unter gezielter Ausnutzung von Beugungseffekten nötig, die zudem immer striktere Einschränkungen hinsichtlich der Regularität und der zulässigen Formen der einzelnen Strukturen bedingen.

9 Vgl. den Beitrag von Blümel in diesem Band.

Innerhalb der Bauelemente treten noch wesentlich kleinere Strukturdimensionen auf. So ist die Isolationsschicht in einem Transistor heute nur noch etwa 1 Nanometer, das heißt nur noch wenige Atomlagen dick. Damit ergeben sich auch neue physikalische Effekte in den Bauelementen. Ein Beispiel sind Tunnelströme durch Isolationsschichten, die mit der quantenmechanischen Unschärferelation zusammenhängen. Die ist sich neben dem reinen Skalieren ein weiteres qualitatives Merkmal der Nanoelektronik. Die quantenmechanisch bedingten, bei kleinen Strukturen auftretenden Phänomene erfordern es, über das reine Skalieren der Strukturgröße hinaus auch die Konstruktion der Prozesse und Bauelemente zu verändern, mit der Folge von immer komplexeren und kostenintensiveren Herstellungsverfahren.

Dies führte dazu, dass die Forschung, aber auch die Entwicklung zunehmend in internationalen Konsortien erfolgt. In ihnen arbeiten Firmen gemeinsam an den Herstellungsverfahren von morgen und teilen sich die Entwicklungskosten, die von einer einzelnen Firma während der Produktionsphase nicht mehr erwirtschaftet werden könnten. Im Vordergrund der fortschreitenden Skalierung steht also nicht ausschließlich die technische Machbarkeit, sondern in immer größerem Maße die ökonomische Perspektive. Das bereits erwähnte Moore'sche Gesetz betont ja in seiner ursprünglichen Formulierung gerade die Kostenreduktion pro Transistor bei einer gleichzeitig immer größeren Anzahl von Transistoren einer integrierten Schaltung. Technologische Entscheidungen sind dabei Folge ökonomischer Betrachtungen. Mit den oben genannten Wechsel der Herstellungstechnologien fand und findet auch heute noch ein Wechsel in den Geschäftsmodellen der Unternehmen und in der Art und Weise der Kooperation statt. Die Nanoelektronik stellt sich hier also als Neue Technologie im Sinne eines neuen sozio-technischem Systems dar, bestehend aus neuen Produkten, Herstellungsverfahren und Handlungsmustern der beteiligten Akteure.¹⁰

10 Vgl. den Beitrag von Schummer in diesem Band.

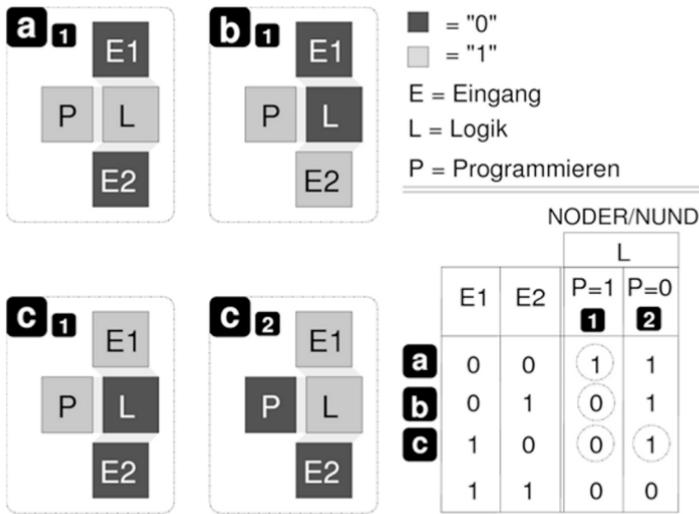
NEUE EFFEKTE UND SYSTEMKONZEPTE

Ein zusätzliches Umdenken in der Entwicklung von nanoelektronischen integrierten Schaltungen ist darin begründet, dass ein vollkommen wohldefiniertes Verhalten der einzelnen Komponenten nicht mehr vorausgesetzt werden kann. Bei diesen kleinen Strukturen und Milliarden von integrierten Einzelbauelementen treten zunehmend Fertigungsfluktuationen auf, die zu Schwankungen im Verhalten der Funktionsblöcke bis hin zu einzelnen Ausfällen führen. Zudem ist es nicht möglich, bei einem hochkomplexen System das Verhalten jedes einzelnen Knotens in Abhängigkeit von jeder möglichen Kombination von Eingangsgrößen zu verifizieren. Begriffe wie statistische Timing-Analyse, fehlertolerantes Design und selbstreparierende Schaltungen halten Einzug in die Entwurfstechnik. Dies bedeutet eine grundlegende Änderung der „Entwurfsphilosophie“ – statt vollständiger Kontrolle und Perfektion des Entwurfs ist das Leben mit der Unvollkommenheit der Natur angesagt.

Insbesondere für neue nanoelektronische Bauelemente ist hier auch eine Chance zu sehen.¹¹ So ermöglicht das Vordringen in Bereiche, in denen Quanteneffekte technisch zugänglich und in gewisser Weise kontrolliert einsetzbar sind, auch die Nutzung von neuen physikalischen Funktionsprinzipien und Bauelementen. Immer mehr solcher Effekte werden im Labor entdeckt und demonstriert. Eingeschränkt wird deren technische Verwendung jedoch einerseits durch die Auswirkung der quantenmechanischen Unschärferelation, andererseits und vor allem wiederum durch die Schwierigkeit, eine große Zahl solcher Bauelemente mit exakt gleichen Eigenschaften herzustellen und unter gleichen Bedingungen zu betreiben, wie es beispielsweise bestimmte Funktionsprinzipien des „Quantum Computing“ erfordern würden. Hier liegt aber auch die Chance, durch ein Umdenken bezüglich der Funktionsweise von integrierten Schaltungen zu innovativen Lösungen zu kommen. Mit neuen Bauelementen kann es schwierig werden, wie gewohnt zwei unterschiedliche Zustände für die Digitaltechnik darzustellen oder eine möglichst perfekt lineare Abhängigkeit zweier Größen für die Analogtechnik. Stattdessen weisen sie komplexe Wechselwirkungen und Nichtlinearitäten auf, die für die klassischen Schaltungstechniken ungünstig sind, aber Anlass zum Erfinden neuer Archi-

11 Vgl. Schmitt-Landsiedel/Werner 2009.

Abbildung 3: Logik von Nanomagneten: Die drei Eingänge treffen eine Mehrheitsentscheidung über den Ausgang. Dies ermöglicht rekonfigurierbare (programmierbare) Logik. Abhängig von dem Programmiereingang P wird eine NICHT-ODER bzw. eine NICHT-UND Verknüpfung der Eingänge E1 und E2 auf den Ausgang L realisiert.



tekturen geben. Ein Beispiel sind nanomagnetische Bauelemente, die als natürliches Wirkprinzip eine „Mehrheitsentscheidung“ realisieren, eine Funktion, die zum Beispiel für Neuro-, Fuzzy- oder evolutionäre Algorithmen benötigt wird (Abbildung 3). In solchen „intelligenten“ von Vorbildern aus der Natur abstrahierten Verfahren zur Informationsverarbeitung ist wohl der größte Bedarf an neuartiger Nanoelektronik im Sinne eines neuen technischen Regimes zu erwarten, denn die Leistungsfähigkeit natürlicher Organe etwa in der Bild- und Sprachverarbeitung ist noch lange nicht erreicht. Im Gegensatz zur früheren Kybernetik¹² geht es dabei nicht um die Nachbildung und Verbesserung des natürlichen Vorbilds mittels Software auf „unfehlbaren“ digitalen Prozessoren. Denn möglicherweise kommt es in diesen Anwendungen auf eine „Pixel-genaue“ Präzision nicht an, so dass die neu entwickelten nanoelektronischen Systeme die erwähnten Variationen der Bauelemente tolerieren können.

12 Vgl. den Beitrag von Aumann in diesem Band.

Somit kann die Nanoelektronik auch als längerfristige Technologievision verstanden werden. Dabei löst man sich von dem strengen Bezug zur Längeneinheit Nanometer und von der bis dato als erforderlich angesehenen Gesetzmäßigkeit der fortschreitenden Skalierung. Man kehrt stattdessen zur ursprünglichen, altgriechischen Wortbedeutung – νανος: Zwerg – zurück. Der „Zwerg“ steht hierbei für eine neue, kleinere technische Realisierung, die sich durch effizientere und kompaktere Gestaltung von einer Umsetzung mit Hilfe alter Technologien absetzt. Somit muss der Übergang von der Mikroelektronik zur Nanoelektronik nicht nur immer teurere Fabriken zur Herstellung von Bausteinen mit gigantischer Komplexität bedeuten, sondern sollte auch verstanden werden als Herausforderung, neue Funktionsprinzipien, Architekturen und insgesamt eine ganz neue Herangehensweise an die Systemkonzeption zu entwickeln. Manches deutet darauf hin, dass dabei viel von Mutter Natur abgeschaut werden kann.

NEUE TECHNOLOGIEN: WAS GESCHIEHT MIT DEN ALTEN?

Eine Frage, die sich stellt, ist: Wenn die Nanotechnologie eine Neue Technologie ist, was ist dabei die alte Technologie, und kann man auf diese nun verzichten? Ist die Mikroelektronik nun obsolet? In den typischen Produkten, die dem Mooreschen Gesetz folgen und in denen bestimmte Funktionen, z. B. Datenverarbeitung mit Prozessoren oder Datenspeicherung, mit nanoelektronischen Komponenten immer billiger zu realisieren sind, stellt sich die Frage nicht, da hier die neuen Produktgenerationen die alten sehr schnell verdrängen. Es gibt jedoch auch wichtige Bereiche, in denen das Skalieren nicht möglich oder nicht sinnvoll ist. So sind in der Leistungselektronik der Verkleinerung der Strukturen durch Durchbruchphänomene unumgehbare Grenzen gesetzt. Als weiteres Beispiel sind in der integrierten Sensorik aufgrund des Funktionsprinzips gewisse Mindestabmessungen erforderlich. Dennoch findet auch in solchen Bereichen der Mikroelektronik eine ständige Innovation statt, um immer bessere Komponenten für energieeffiziente und kostengünstige Elektronik bereit stellen zu können. Dabei können Neue Technologien, die unter dem Mooreschen Skalierungsdruck unter hohen Kosten von den entsprechenden Firmen entwickelt wurden, oft in der zweiten Generation für solche Produkte

übernommen werden, die nicht an der vordersten Front der Miniaturisierung konkurrieren müssen. Hier finden sich vorteilhafte Märkte für Firmen, die ohne die hohen Erstinvestitionskosten der Nanoelektronik durch spezifische Kenntnis und ständige Fortentwicklung ihrer hoch komplexen Bauteile sehr gut am Markt bestehen und für die Industrie ebenfalls strategisch wichtige Komponenten bereitstellen.

Die öffentliche Einschätzung der Nanoelektronik wird davon abhängig sein, wie ihre Beiträge zu Lösungen für die gesellschaftlichen Herausforderungen der Zukunft wahrgenommen werden. Hier könnte gerade eine ihrer Stärken, nämlich die unauffällige Allgegenwärtigkeit,¹³ die adäquate öffentliche Wahrnehmung als eine der Schlüsseltechnologien für den technischen Fortschritt in einer Vielzahl von Anwendungen und Industriezweigen verhindern. Es ist daher wichtig, dass ihre Bedeutung als Innovationsmotor für die Industrie ebenso wie ihre Beiträge zu den gesellschaftlichen Bedürfnissen an Energieeffizienz, Mobilität, Gesundheitsfürsorge und Umweltschutz genügend sichtbar gemacht werden.

NANOELEKTRONIK: FÖRDERUNG, PRODUKTE, PERSPEKTIVEN

Dies führt uns zum Abschluss zur wirtschaftspolitischen Betrachtung der Nanoelektronik. Die hohen Kosten der Fertigung für hoch integrierte Nanoelektronik werden in absehbarer Zeit dazu führen, dass nur noch wenige Hersteller in eigene Fertigungen für neueste Technologiegenerationen investieren können. Dies sind vor allem die großen Hersteller von Mikroprozessoren und Speichern, die vorwiegend in Südostasien und USA beheimatet sind. Die meisten anderen Halbleiterfirmen bauen keine eigenen Fertigungen in den Technologien unterhalb 65 Nanometer Strukturgröße, sondern konzentrieren sich auf die Entwicklung von Produkten, die dann bei einem Auftragsfertiger, einer so genannten „Foundry“ hergestellt werden. Dies birgt natürlich die Gefahr, in eine Abhängigkeit vom Lieferanten zu geraten. Dennoch ist eine eigene Fertigung nicht mehr wirtschaftlich. Daraus könnte man schließen, dass in Europa die Nanoelektronik als Gegenstand von Forschung und Entwicklung abnehmende Bedeutung haben wird, da

13 Vgl. den Beitrag von Herzog in diesem Band.

die meisten Foundries in Südostasien zu finden sind. Dabei würde man aber übersehen, dass zur Entwicklung der elektronischen Bausteine, auch wenn sie in Auftrag gefertigt werden, eine intensive Kenntnis der Herstelltechnologie, der Bauelementeparameter und der oben beschriebenen Variationseffekte erforderlich sind, um Produkte mit optimaler Geschwindigkeit, niedriger Verlustleistung und hoher Fertigungsausbeute zu entwerfen. Deshalb sind beispielsweise Ingenieurinnen und Ingenieure mit solchem Wissen nach wie vor gesuchte Experten. Ein Vorteil des europäischen Standortes wird ferner darin gesehen, dass eine enge Zusammenarbeit von Halbleiterfirmen mit führenden Unternehmen aus Maschinen- und Anlagenbau, Automobilbau und Medizintechnik zur gemeinsamen Entwicklung von wettbewerbsfähigen Gesamtsystemen genutzt werden kann. Diese Bedeutung der Nanoelektronik über die reine Komponentenfertigung hinaus sollte in der öffentlichen Wahrnehmung nicht untergehen.

Eine wirtschaftspolitische Dimension betrifft auch die Förderpolitik. In vielen Gegenden der Welt wird die Halbleiterindustrie als Schlüsseltechnologie für die gesamte Industrieentwicklung mit sehr hohen Fördermitteln unterstützt. Dies führt zu einer internationalen Wettbewerbsverzerrung, die die Existenz der Halbleiterindustrie an Standorten mit weniger günstigen Bedingungen sogar in ihrer Existenz gefährden kann. Wegen der Bedeutung der Mikro- und Nanoelektronik als Innovationsmotor für alle Hochtechnologien ist besonderes Augenmerk auf eine strategische Industriepolitik zu legen.

Hier gilt es, an die erfolgreichen EU-weiten Maßnahmen der 1980er und 1990er Jahre anzuknüpfen. Gerade im Zeitalter der Globalisierung muss die Wettbewerbsfähigkeit der eigenen europäischen Halbleiterindustrie erhalten bleiben, um ihren essenziellen Beitrag für andere Industriezweige zu sichern.

ZUKÜNFTIGE NEUE WEGE DER NANOELEKTRONIK

Abschließend soll noch einmal der Blick in die Zukunft gerichtet werden. Die Nanoelektronik in ihrer Ausprägung jenseits des reinen Skalierens hat das Potenzial, als wahrhaft Neue Technologie mit neuartigen Bauelementen und Architekturkonzepten ganz neue elektronische Komponenten und Systeme hervorzubringen. Dazu ist eine inter-

disziplinäre, kreative und langfristig angelegte Forschung und Entwicklung erforderlich. Denken wir an neue Ansätze für kognitive Funktionen wie Bild- und Spracherkennung oder entsprechende Implantate, so wird neben der Physik und Elektrotechnik auch Fachkenntnis aus der (Neuro-)Psychologie, Biologie, Medizin und schließlich auch der Gesellschaftswissenschaft benötigt, um funktionsgerechte Produkte und deren Akzeptanz zu erzielen. Hier bedarf es einer fachübergreifenden Ausbildung, die wir in Europa durchaus besitzen. Es bedarf zudem langfristiger und fokussierter Forschungsförderung, für die wir in Europa die nötigen Instrumente haben. Und es bedarf des Muts, um diese hoch riskanten, aber auch große Chancen versprechenden Vorhaben mit der nötigen Stringenz anzugehen.

LITERATUR

- Lilienfeld, J. E.: Method and apparatus for controlling electric currents. *US Patent 1,745,175 USA*, 18. Januar 1930.
- Moore, G.: Cramming more components onto integrated circuits. In: *Electronics* 19 Nr. 3, 1965, S. 114-117.
- Schaffer, B.: Die Silizium-Pioniere. In: *Pictures of the future* (Siemens AG, München) 2005.
- Schmitt-Landsiedel, D./Werner, C.: Innovative devices for integrated circuits – a design perspective. In: *Solid-state-electronics*, Band. 53, 4. 2009.
- Fraunhofer IIS: mp3 – Forschung, Entwicklung und Vermarktung in Deutschland, 2009. [Http://www.iis.fraunhofer.de/Images/mp3_Broschuere_A4_16S_Low_tcm97-135298.pdf](http://www.iis.fraunhofer.de/Images/mp3_Broschuere_A4_16S_Low_tcm97-135298.pdf) [Stand: 26.10.2010].

„Mit Molekülen spielen“. Die Nanotechnologie als forschungspolitische Strategie der universitären Grundlagenforschung

CHRISTIAN KEHRT

Die Entstehung nanotechnologischer Netzwerke und die damit einhergehenden Motive, Strategien und Akteure werden am Fallbeispiel Münchens betrachtet. Die Isarmetropole verfügt mit dem Center for Nanoscience (CeNS) und dem daraus hervorgegangenen Exzellenzcluster Nano-Initiative-Munich (NIM) über ein international renommiertes Forschungsnetzwerk, das vorwiegend im Bereich der experimentellen Halbleiter- und Biophysik zu verorten ist. Aus Sicht der universitären Grundlagenforschung, die im Folgenden im Vordergrund steht, ermöglicht die Teilnahme am Nanodiskurs, dem wachsenden Druck nach gesellschaftlicher Nützlichkeit zu entsprechen, ohne notwendigerweise direkt an technischen Entwicklungen und Innovationsprozessen beteiligt zu sein.

Die Verheißungen der Nanotechnologie basieren auf technikzentrierten Wunschvorstellungen, die weit ins 20. Jahrhundert zurückreichen und zur stereotypen Begleitmusik Neuer Technologien gehören. Gleichzeitig bleibt diese forschungspolitisch motivierte und medial inszenierte Zukunftstechnologie im Unterschied zur Biotechnologie oder auch zur Mikroelektronik eigentümlich unbestimmt.¹ Wie lässt sich die Nanotechnologie gegenüber anderen Technikfeldern und wis-

1 Decker 2006, S. 42; Schummer 2004, S. 426; vgl. Schummer 2003, S. 15.

senschaftlichen Disziplinen abgrenzen, und aus welchen Gründen nehmen die beteiligten Akteure am Nanodiskurs teil? Während die politische und mediale Dimension der Nanotechnologie von Seiten der Begleitforschung bereits mehrfach untersucht und teilweise unkritisch reproduziert wurde, gibt es bis dato nur wenige Fallstudien, die konkrete Akteure, Innovationsprozesse oder Forschungspraktiken der „Nanotechnologie“ in den Blick nehmen. Kritische Vorsicht gegenüber den Verheißungen der Nanotechnologie ist angebracht, da allgemeine Verlautbarungen einer größeren Anwendungsorientierung nicht automatisch gleichzusetzen sind mit dem Forschungsalltag im Labor.

DIE VERGANGENE ZUKUNFT DER MIKROELEKTRONIK

Will man die Visionen der Nanotechnologie und die damit einhergehenden Motive der Akteure verstehen, ist aus mehreren Gründen ein Blick zurück in die vergangene Zukunft der Mikroelektronik erforderlich.² Ein Schlüssel zum Verständnis jener spannungsvollen und prägenden Erwartungsstrukturen, die sich heute mit der Nanotechnologie verbinden, liegt sicherlich in jener mittlerweile über 40 Jahre alten Trenddiagnose aus den 1960er Jahren begründet, die als Moores Law Berühmtheit erlangen sollte.³ Als Gordon E. Moore im Jahr 1965 seinen Aufsatz in der populären Zeitschrift *Electronics* für ca. 65.000 Leser veröffentlichte, ging es ihm darum, die Zukunft des Mikrochips gegen seine Kritiker zu verteidigen und vor allem das ökonomische Potenzial dieser Neuen Technologie aufzuzeigen.⁴ Moores Law gilt heutzutage als Indikator für die Pfadabhängigkeiten und das Tempo der auf Silizium basierten Mikroelektronik. Charakteristisch für die Zukunftsantizipationen ist hierbei, dass die weiteren Entwicklungsschritte auf der Basis eines bereits existierenden Technologiepfades inkrementell als schrittweise Verbesserungen antizipiert werden und nicht als Sprung in eine völlig neuartige Technologie. Im historischen

2 Vgl. Choi/Mody 2009, S. 11-50.

3 Vgl. den Beitrag von Schmitt-Landsiedel/Friederich in diesem Band.

4 Gordon Moore war zu diesem Zeitpunkt Leiter der Forschungs- und Entwicklungsabteilung bei Fairchild Semiconductors. 1968 gründete er zusammen mit Robert Noyce und Andy Grove den Halbleiterproduzenten Intel. Vgl. Brock 2006, S. 25.

Rückblick zeigt sich zumindest, dass der Pfad der Siliziumhalbleiter sich robuster und zukunftsfähiger erweist als viele seiner Vertreter dies angenommen haben: „Perhaps the broadest implication of Moore's Law is that it has become an almost universal guide for an entire industry that has not broken stride in exponential growth rates for almost four decades now.“⁵

In der Halbleiterindustrie spielt das Szenario einer „Red Brick Wall“, auf die man in nächster Zukunft treffen werde, eine ausschlaggebende Rolle, wenn es darum geht, Forschungsanstrengungen zu intensivieren und nach alternativen Entwicklungspfaden Ausschau zu halten.⁶ Bereits zu Beginn der Miniaturisierung machten sich Physiker wie Rolf Landauer oder Richard Feynman Gedanken über die prinzipiellen Grenzen des Miniaturisierungsprozesses.⁷ So kam Landauer zu dem Ergebnis, dass es definitive Grenzen gebe, die durch die Anzahl der Atome und Elektronen für ein zu speicherndes Bit und die in diesem Prozess freigesetzte Hitze bestimmt werden. Ähnliche Überlegungen führten Richard Feynman zu jenen weit in die Zukunft weisenden Gedankenexperimenten, mit Hilfe von Atomen und Molekülen völlig neuartige Technologien zu entwickeln.⁸ Diese Visionen eines molekularen Engineerings, die mit dem Hype um die Nanotechnologie wiederbelebt wurden, reichen weit zurück in die wechselvolle Geschichte der Miniaturisierung:

„If there was anything constant during the past half century of microelectronics, it was the recurrence of radical rhetoric promising rosy futures for the ‚next generation‘ of electronic miniaturization. Long before contemporary nanotechnology, many scientists and engineers predicted the future using colorful neologisms such as ‚atomic electronics‘ and ‚angstronics‘.“⁹

Insbesondere das amerikanische Militär war im Kontext des Kalten Krieges an leistungsstarken Alternativen zur Siliziumtechnologie wie

5 Schaller 2004, S. 389.

6 Choi/Mody 2009, S. 14.

7 Vgl. Landauer 1961, S. 183-191.

8 Dieses Gedankenexperiment Richard Feynmans aus dem Jahr 1958 wurde zum Gründungsmythos der Nanotechnologie stilisiert. Hierbei spielte sicherlich die große Popularität und das Renommee des Nobelpreisträgers eine wichtige Rolle. Vgl. Junk/Riess 2006, S. 825-830.

9 Choi/Mody 2009, S. 11.

etwa Josephson-Bauelementen, Strukturen aus Gallium-Arsenid oder organischen Halbleitern interessiert, die im internationalen Wettlauf eine technologische Führungsposition in Aussicht stellten. Als sich dann mit dem Ende des Kalten Kriegs die Förderrolle des Militärs für grundlagenwissenschaftliche Ansätze reduzierte, und auch in der Industrie ein enormer Kostendruck vorherrschte, waren neue Legitimationsstrategien gefragt, um jene verheißungsvollen und physikalisch neuartigen Phänomene zu erforschen, die zwar eine höhere Leistung versprachen, jedoch lange Forschungs- und Entwicklungsphasen ohne unmittelbaren Profit oder direkte technologische Anwendung notwendig machten: „Right now, however, these structures look more promising as vehicles for studying the physics of confined electrons than as the basis of future technologies because they are complex and expensive to make.“¹⁰

In einem Vortrag über die Grenzen der Mikroelektronik hat der Nobelpreisträger Klaus von Klitzing sich mit den zukünftigen Möglichkeiten der Nanoelektronik befasst und sie explizit in die Kontinuitätslinien seines Forschungsfeldes eingebunden. Von Klitzing, dessen Entdeckung des Quanten-Hall-Effekts als ein grundlagenwissenschaftlicher Triumph der experimentellen Festkörperphysik gilt, geht es in seinem öffentlichen Vortrag darum, den Wert der Grundlagenforschung zu betonen. Unter Bezugnahme auf Richard Feynman betont der am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart tätige Forscher, dass in Größenbereichen unter 100 Nanometern in Halbleitern Quantenphänomene auftreten, die es unmöglich machten, einfach der Logik der fortschreitenden Miniaturisierung zu folgen. Ziel sei es, die Grundlagen für eine zukünftige Informationstechnik und Chip-technologie zu entwickeln, die auf Quantenstruktur-Bauelementen basieren:

„Die große Chance, die in der Qualität von Quantenstruktur-Bauelementen steckt, wird hauptsächlich in Japan wahrgenommen. Alle großen Halbleiterhersteller in Japan unterhalten Forschungslabors, die intensiv Grundlagenforschung für neuartige Bauelemente des kommenden Jahrhunderts betreiben. Die Forschungsmanager dieser Firmen sind davon überzeugt, dass die Grenzen der klassischen Physik durch die Nutzung von Quantenphänomenen überwunden werden können und eine Blütezeit der Nanoelektronik zu erwarten ist, bevor

10 Graff 1991, S. 1306.

die endgültigen Grenzen bei der Verkleinerung erreicht werden, d. h. einzelne Atome Schalt- und Speicherfunktionen durchführen.“¹¹

Von Klitzing kritisiert die kurzfristige ökonomische Orientierung der europäischen und amerikanischen Halbleiterproduzenten, die lediglich die bestehenden Bauelemente verbessern wollen und im Unterschied zu Japan einen physikalisch möglichen „Quantensprung“ in eine neue Chiptechnologie aufgrund der hohen ökonomischen Risiken ablehnen. Angesichts der Robustheit des Siliziumpfades stellt sich allerdings die Frage, wie plausibel die nanotechnologischen Visionen sind und worin ihre eigentliche Funktion liegt. Die Betrachtung der vergangenen Zukunft der Mikroelektronik zeigt zumindest, dass zur Begleitmusik der Halbleitertechnologie stets auch alternative Entwicklungsszenarien jenseits des Siliziumpfades gehörten, wenn es darum ging, zukünftige Leistungsgrenzen zu antizipieren und hinauszuschieben. Die Erforschung quantenphysikalischer Phänomene in Halbleitern war bislang primär grundlagenwissenschaftlich motiviert. Die experimentelle Halbleiterphysik befasst sich seit den 1970er Jahren intensiv mit Quantenphänomenen in ultradünnen „Nanostrukturen“. Die Bezeichnung dieser seit langem etablierten Forschungstradition als „Nanotechnologie“ erfolgte erst im Zuge des Nano-Hypes gegen Ende der 1990er Jahre und war primär forschungspolitisch motiviert.

DER ENTSCHEIDENDE IMPULS DER FORSCHUNGSPOLITIK

Die lokalen nanotechnologischen Forschungsprojekte in München lassen sich nur verstehen, wenn man den Prozess der Globalisierung mit seinen Auswirkungen auf das nationale Innovationssystem und die damit einhergehenden Verschiebungen zwischen Staat, Wissenschaft und Wirtschaft berücksichtigt. Die entscheidenden Impulse zur Förderung und öffentlichen Wahrnehmung der Nanotechnologie kamen aus dem Bereich der Forschungs- und Technologiepolitik.¹² Ohne die massive staatliche Förderung und Steuerung würde die Nanotechnologie vermutlich als eigenständiges, zukunftsorientiertes Technologiefeld nicht wahrgenommen werden. Aus deutscher Sicht eröffnete die

11 Von Klitzing 1995, S. 26.

12 Vgl. Beitrag von Blümel in diesem Band.

Nanotechnologiestrategie die Chance, Fehler im Umgang mit älteren Neuen Technologien zu vermeiden und das nationale Innovationssystem insgesamt zu stärken, so ein führender Mitarbeiter des Bundesministeriums für Forschung und Bildung:

„Es ist eigentlich ein Technologiefeld, wo wir in Deutschland mit an der Spitze sind und zwar durchgehend. Das ist übrigens auch das, was ich spannend finde, weil es eigentlich sich klassisch vom IT-Desaster und vom partiellen Desaster der Bio- und Gentechnik unterscheidet.“¹³

Die mit der Nanotechnologie verbundenen überbordenden Erwartungen und die damit einhergehenden forschungspolitischen Begehrlichkeiten sind vor dem Erfahrungsraum der 1990er Jahre zu verorten. Nach der Wiedervereinigung diagnostizierten Innovationsforscher eine Strukturkrise des nationalen Innovationssystems, und die Rede vom Reformstau war omnipräsent. Das Ende des Kalten Krieges sowie der enorme Wettbewerbsdruck auf das nationale Innovationssystem haben schließlich zu einem Wandel der Forschungspolitik geführt.¹⁴ Nun konnte nicht mehr die kommunistische Bedrohung als Legitimationsmuster für Grundlagenforschung dienen. Vielmehr rückte die Frage der globalen Wettbewerbsfähigkeit in den Blickpunkt der Forschungs- und Technologiepolitik.¹⁵ Auch aus Sicht der Universitäten machte sich eine tiefgreifende Krise bemerkbar, die sich vor allem an einem Mangel an finanziellen Ressourcen festmachen lässt:

„To sum up, German university research has been victim of a silent decline of research conditions caused by the scarcity of resources and the universities lacking the capacity to redistribute these resources according to scientific quality and societal relevance.“¹⁶

In den 1990er Jahren ist die Grundlagenforschung aus mehreren Gründen unter Rechtfertigungsdruck geraten. Zum einen hat die Industrie

13 Ehemaliger führender Mitarbeiter des BMBF, Interview 11.12.2007 Berlin. [Die Interviews für diesen Beitrag wurden im Rahmen des von der VW Stiftung geförderten Forschungsprojektes „Knowledge-production and innovation at the nanoscale. Instruments, images and visions in the practice of nanotechnology“ geführt.]

14 McCray 2005, S. 184.

15 Ebd., S. 185.

16 Schimank 1996, S. 116.

ihre Kapazitäten im Bereich der Grundlagenforschung im Zuge eines wachsenden globalen Wettbewerbes abgebaut. Zweitens wuchs auch für akademische Wissenschaftler der Druck, ihre Forschung nach außen hin zu rechtfertigen.¹⁷ Offensichtlich reicht im Zuge einer zunehmenden Anwendungsorientierung und gesellschaftlichen Kopplung der Wissenschaften der Verweis auf den akademischen Lehrauftrag und die Autonomie der universitären Forschung allein nicht mehr aus. Die Wissenschaftshistorikerin Ann Johnson nimmt einen kulturellen Wandel wahr, der das Wissenschaftssystem unter die Prämisse der Nutzenorientierung stellt: „Science may be important to scientists for exposing fundamental knowledge about the world, but it is important to politicians and the public for generating products and jobs.“¹⁸

Der signifikante Rückgang der Grundlagenforschung lässt sich auch im Bereich der Halbleiterindustrie aufzeigen.¹⁹ Im Zuge der Globalisierung kam es zu einem Strukturwandel, der gerade in der Industrieforschung dazu führte, dass Forschungskapazitäten abgebaut oder ausgelagert wurden.²⁰ Die strategische Neuausrichtung der Industrieforschung auf kurze Innovationszyklen und die damit einhergehende Streichung von auf Grundlagenforschung ausgerichteten Projekten bestätigten mehrere Interviewpartner, die bei Siemens und später Infineon in der Forschung und Entwicklung tätig waren:

„[...] im Zuge dieses enormen Kostendrucks und Wettbewerbs haben wir aber unsere zentrale Forschung sehr stark beschnitten. Und die Leute aus diesem Bereich versetzt in die Geschäftsgebiete, um eine schnellere Innovation, eine schnellere Umsetzung dieser Innovationen, die zum geschäftlichen Erfolg führen sollen, zu bewerkstelligen. D. h. die längerfristige Grundlagenentwicklung oder angewandte Forschung wurde ein bisschen zurückgestellt bei uns, auch aus Kostengründen, zugunsten einer stärker innovationsorientierten und umsetzungsorientierten Arbeit in den Geschäftsgebieten.“²¹

Diese Reduzierung der Grundlagenforschung im Bereich der Halbleitertechnologie machte sich auch in München bemerkbar, das durch die

17 Mayntz 1992, S. 109.

18 Johnson 2004, S. 225.

19 Angel 1994, S. 3.

20 Gerybadze/Meyer-Krahmer/Reger 1997, S. 20.

21 Interview mit einem Infineon-Mitarbeiter im Bereich Roadmap and Marketing, 19.11.2008

hohe Dichte wissenschaftsbasierter Unternehmen im Bereich der Mikroelektronik geprägt ist.²² Siemens war und ist ein wichtiger Arbeitgeber und Auftraggeber für eine Fülle von kleineren und mittleren Unternehmen und beschäftigt eine Großzahl der Physikabsolventen im Raum München.²³ Ein Professor bestätigt die lokale Bedeutung des Standortes München für Absolventen der Halbleiterphysik, die am Walter-Schottky-Institut forschen:

„Vom Schottky-Institut sind in den letzten 20 Jahren etwa die Hälfte der Mitarbeiter zu Siemens und Infineon gegangen, hier im Münchner Raum. Und ich würde sagen, dass allein von meinem Lehrstuhl, mit etwa 80 oder 90 Doktoranden in den letzten 20 Jahren, mindestens 35 bis 40 in die Industrie zu Siemens, Infineon oder Osram gegangen sind.“²⁴

Das Walter-Schottky-Institut wurde gegen Ende der 1980er Jahre als Transferstelle zwischen Universität und Industrie gegründet. Die Fokussierung auf kurze Innovationszyklen und der Abbau der Grundlagenforschung in den 1990er Jahren hat sich jedoch auch auf das Schottky-Institut sowie die an der TU und LMU tätigen Wissenschaftler ausgewirkt. Der enge, über die Jahre gewachsene Kontakt zur Industrie lockerte sich, und damit reduzierten sich auch die Jobchancen für Universitätsabsolventen.

„Und bei den Informationstechnologien, Halbleitertechnologien, da gibt's praktisch keine Forschung, das ist für mich reine Entwicklung und da was Neues rein zu bringen ist extrem schwierig. Es gibt eine Roadmap und dann muss ich einem Jahr das erreichen und alles daran setzen. Es wird kein neues Grundprinzip erforscht, sondern es geht nur um das Umsetzen von bereits bestehendem Wissen.“²⁵

Der am Walter-Schottky-Institut tätige Professor spricht damit ein strukturelles Problem für technologienahe Grundlagenforschung an. Aufgrund der kurzfristigen Innovationsorientierung verringerte sich das Interesse der Industrie an der längerfristig orientierten physikali-

22 Sternberg/Tamásy 1999, S. 173; Heßler 2007, S. 67; Gall 1999, S. 135 ff.

23 Peschel 1991, S. 45.

24 Professor Walter Schottky-Institut, Interview 22.11.2007.

25 Professor Walter-Schottky-Institut, Interview 22.11.2007.

schen Grundlagenforschung.²⁶ Hinzu kommt, dass in den 1990er Jahren die Physik als Leitwissenschaft durch die aufkommenden Lebenswissenschaften abgelöst wurde und eine neue Leitvision gefragt war: „No vision, no funding. In the 1990s physicists in particular have become accustomed to cuts in funding, and this may well be related to the lack of a compelling vision.“²⁷ In diesem Zusammenhang bedeutete die Teilnahme am Nanodiskurs auch eine neue Chance für die längerfristig orientierte physikalische Grundlagenforschung, sich neue Ressourcen und Karrierechancen zu erschließen.

MÜNCHNER NANONETZWERKE: CENS UND NIM

Erste allgemeine Charakteristika nanotechnologischer Forschungskontexte lassen sich mit Hilfe bibliometrischer Methoden erzielen.²⁸ Nimmt man die Zitationshäufigkeit nanotechnologischer Aufsätze in den beiden renommierten Wissenschaftszeitschriften *Science* und *Nature* zum Maßstab, dann steht Deutschland hinter den USA auf dem zweiten Rang.²⁹ Auch auf nationaler Ebene lässt sich auf der Basis der repräsentativen *Science*- und *Nature*-Publikationen zeigen, dass München eine führende Position einnimmt und damit insgesamt ein gutes Fallbeispiel für die Nanotechnologie im nationalen wie auch internationalen Maßstab darstellt.³⁰ Nanotechnologische Forschung findet weltweit vorrangig (zu zwei Dritteln) an Universitäten statt.³¹ Eindeutig steht dabei der Grundlagen-Forschungs-Charakter im Vordergrund, da nur 13 Prozent in den Bereich der Ingenieurs- und Technikwissenschaften fallen, 47 Prozent reine Grundlagenforschung und 39 Prozent anwendungsorientierte Grundlagenforschung sind.³²

26 Deutsche Physikalische Gesellschaft 2001, S. 223.

27 Hessenbruch 2004, S. 142.

28 Eine der ersten Studien, die den Präfix „nano“ in wissenschaftlichen Zeitschriften als Grundlage für die Erhebung nahm, attestierte dem Feld der Nanotechnologie eine exponentielle Wachstumsrate mit einer Verdopplung alle 1,6 Jahre: Braun/Schubert/Zsindely 1997, S. 322.

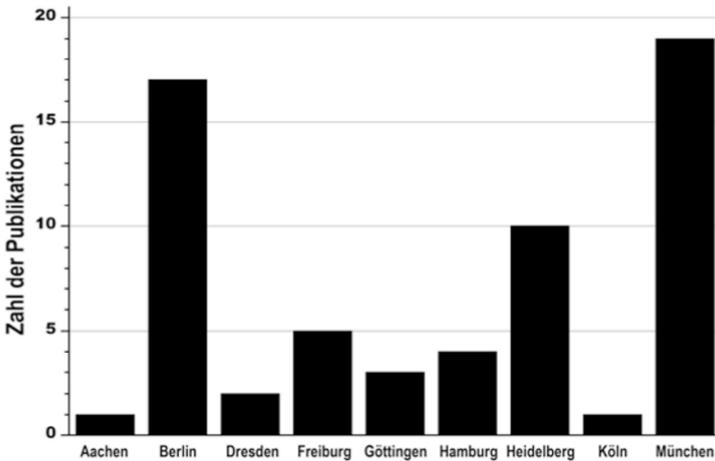
29 Kostoff/Koytcheff/Lau 2007, S. 600.

30 Vgl. Heinze 2006, S. 293.

31 Kostoff/Koytcheff/Lau 2007, S. 576.

32 Heinze 2006, S. 113.

Abbildung 1: Publikationen mit dem Präfix „nano“ im Titel oder Abstract in Science oder Nature im regionalen Vergleich, 1991-2007.

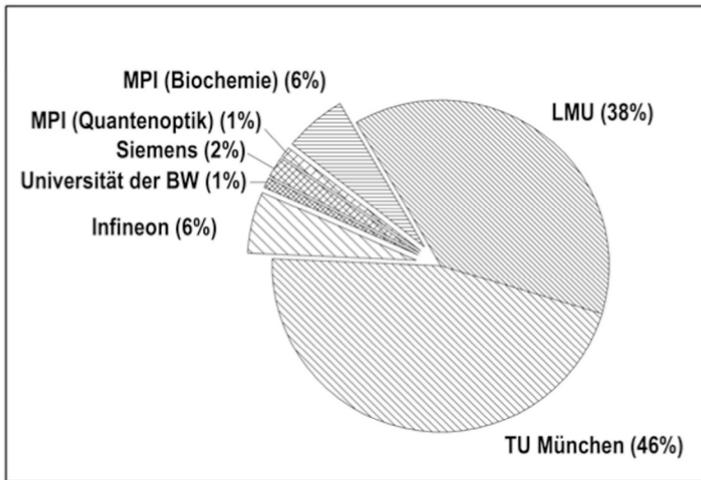


Dieser Befund bestätigt sich auch am Beispiel der Münchner Wissenschaftslandschaft. Die beiden großen Universitäten der TU München und der Ludwigs-Maximilians-Universität dominieren die lokalen Nanopublikationen, während lediglich 6 Prozent aus dem Bereich der Industrieforschung stammen (vgl. Abbildung 2).

München verfügt über ein aktives nanowissenschaftliches Netzwerk von schätzungsweise 200 Wissenschaftlern, insbesondere im Bereich der experimentellen Physik. Diese nanotechnologischen Netzwerke basieren auf einer gewachsenen Forschungslandschaft, die sich in den letzten 30 Jahren durch langjährige Kooperationen auch über Fächergrenzen hinweg ausgeprägt hat.

Einen maßgeblichen Einfluss hatte in diesem Zusammenhang der Experimentalphysiker Jörg Kotthaus, der seit Ende der 1980er Jahre an der Ludwig-Maximilians-Universität München lehrte. Er bildete eine große Zahl von Studenten für die lokale Münchner Halbleiterindustrie aus und betreibt Grundlagenforschung zum Elektronentransport in niedrigdimensionalen, nanoskaligen Systemen. 1998 initiierte er dann zusammen mit mehreren an der LMU tätigen Professoren der Experi-

Abbildung 2: Münchner Institutionen mit Publikationen, die den Präfix „nano“ im Titel oder Abstract führen.³³



mentalphysik das Münchner Center for Nanoscience (CeNS), just zu jener Zeit, als das BMBF eine Reihe von Nano-Kompetenz-Zentren gründete und in den USA die Nanoinitiative der Clinton-Regierung vorbereitet wurde. CeNS ist allerdings nur indirekt auf diese bundespolitischen Aktivitäten bezogen und verfolgt eine eigenständige Strategie, um neue Kommunikationsräume und wissenschaftlichen Austausch auf lokaler Ebene zu ermöglichen. Das Münchner Nanonetzwerk wollte vor allem den wissenschaftlichen Nachwuchs dazu motivieren, jene neuen Forschungsgebiete zu bearbeiten, die sich mit der Nanotechnologie gerade jenseits der etablierten Disziplinengrenzen von Physik, Chemie und Biologie eröffnen. Zu diesem Zweck wurde vor allem das transdisziplinäre Gespräch und das primär wissenschaftlich motivierte Spiel mit Molekülen und neuartigen Experimentalsystemen im Nanometerbereich gefördert.

Aus diesem nahe an den Bedürfnissen der Forschung, mit geringem finanziellem Aufwand sehr erfolgreich gestarteten lokalen Netzwerk entstand schließlich das Münchner Exzellenzcluster Nanoinitiative Munich (NIM). Im Unterschied zu CeNS verfügt es über ein großes

33 Im Zeitraum 1997-2006 gab es insgesamt 1251 Nanopublikationen, die mit dem Term „nano“ im Titel oder Abstract auf der Grundlage des Science Citation Indexes identifiziert wurden.

Budget, um teure Instrumente zu finanzieren sowie gezielt neue Professuren für Nachwuchswissenschaftler zu schaffen. So konnten mehrere in München ausgebildete Spitzenforscher gehalten oder zurückgeholt und auf diesem Weg der Forschungsstandort München gestärkt werden.

Die Gründung der Münchener Nanonetzwerke ist vor den gewandelten Rahmenbedingungen universitärer Grundlagenforschung zu betrachten. Die an sich wissenschaftsferne Forderung nach gesellschaftlichem Nutzen und technischer Anwendbarkeit grundlagenwissenschaftlicher Forschungen und die gleichzeitig zunehmende Abhängigkeit von externen Ressourcen schränken die Autonomie der Wissenschaftler ein und erfordern neue strategische Allianzen und Orientierungen.³⁴ CeNS und NIM sind neue Organisationsformen, die den internationalisierten, transdisziplinären und medialisierten Voraussetzungen von Spitzenforschung besser entsprechen sollen. Hierfür bedurfte es keiner großartigen finanziellen Ausstattungen, sondern vielmehr einer neuartigen organisatorischen Vernetzung und einer verbesserten Außendarstellung der Forschungsergebnisse. So verstehen sich die Mitglieder von CeNS als Teil einer durchaus subversiven Struktur, die sich gegen die Bürokratisierung der Forschung wendet:

„Programmforschung ist meines Erachtens der Tod für die Innovation. Weil, Programmforschung heißt ja, man schreibt ein Programm und das heißt, man weiß im Grunde genommen schon, was hinten raus kommt. Wirkliche Innovation ist aus meiner Sicht nicht planbar und ist eher zufällig und kann nur dadurch geschaffen werden, dass man Randbedingungen schafft, also Spielwiesen, Sandkästen für erwachsene Wissenschaftler.“³⁵

Flexibilität, unbürokratisches Vorgehen und Spaß am freien Spiel mit Molekülen waren dabei ausschlaggebend, so der Tenor der interviewten Gründungsmitglieder. CeNS stellt sich als ein flexibles und hoch effektives Netzwerk dar, das mit geringen infrastrukturellen Mitteln neuartige Kooperationsformen und Allianzen und eine vor allem hohe mediale Außenwirkung entfaltet. Seine wesentliche Aufgabe besteht darin, Freiräume für kreative Arbeit und Gedankenaustausch zu schaffen. Daraus folgt im Umkehrschluss, dass es im Rahmen der bestehen-

34 Vgl. Forman 2007; Johnson 2004; Gibbons u. a. 1994; Weingart 1999; Böhme 1978.

35 Interview CeNS-Mitglied, 19.01.2006.

den Universitätsstrukturen offensichtlich nicht in hinreichendem Maße möglich, Anschluss an internationale Trends zu halten, die quer zu den Disziplinengrenzen liegen.

In diesem Zusammenhang ist auch die Betonung der Anwendungsorientierung zu berücksichtigen. Das Innovationsversprechen, das zum Maßstab und Leitbild auch eher grundlagenorientierter universitärer Forschungsarbeiten avancierte, zeigt sich an der Außendarstellung von CeNS und NIM, die das große Innovationspotenzial ihrer Forschungsprojekte hervorheben:

„CeNS fosters the transfer of results from basic research to industrial applications. CeNS members cooperate with industry partners in the framework of joint research projects. Furthermore, creation of spin-off companies by researchers is strongly encouraged and supported by CeNS. The strong connections between the spin-off companies and their colleagues at CeNS provide a solid basis for lasting joint research projects.“³⁶

Vergleicht man die Forschungsprojekte bei CeNS und NIM mit stärker technologieorientierten Ansätzen in den Fakultäten der Elektrotechnik und Halbleiterproduktionstechnik, zeigt sich sehr deutlich, dass die Technikorientierung eine andere ist als im Bereich der Ingenieurwissenschaften. Trotz der Betonung der Anwendungsrelevanz grenzen sich CeNS und auch NIM als wissenschaftsnahe Netzwerke ab von unmittelbaren Innovationsversprechen:

„Nano finden sie auf jeder Schuhcreme heute. Es ist einfach so, unter nano können sie so viele Dinge verstehen, dass man einfach aufpassen muss, dass es nicht irgendwo lächerlich wird. Und es gibt eben eine ganz klare Unterscheidung zwischen Nanowissenschaften und Nanotechnologie. Wir sagen nie Nanotechnologie hier bei NIM, sondern es geht um Nanosystems, es geht um Nanoscience und nicht um jede Nanotechnologie, die es gilt, sozusagen, an den Markt zu bringen. Was ja in den Ingenieurwissenschaften natürlich oder bei Infineon an vorderster Front dann eine große Rolle spielt. Das würde auch zu weit gehen für uns. Sondern es geht letztlich um wissenschaftliche Fragestellungen, die wir damit behandeln wollen.“³⁷

36 <http://www.cens.de/about-cens.html> [Stand: 01.10.2008].

37 Interview CeNS und NIM Mitglied, 14.01.2009.

An dieser Stelle zeigt sich ein Dilemma der eher beliebigen Verwendbarkeit des Nanolabels. Einerseits ermöglicht die fehlende Abgrenzung der Nanotechnologie die Technologierelevanz der Grundlagenforschung zu unterstreichen, ohne dass die an den Universitäten tätigen Physiker unmittelbar in Innovationsprozesse involviert sein müssen. Andererseits werden Forscher durch die mangelnde Abgrenzung der Nanotechnologie mit allgemeinen Problemstellungen des öffentlichen Nanodiskurses konfrontiert, wie etwa der Toxizität von Nanopartikeln, die von Seiten der chemischen Industrie produziert werden, die an sich in keinem unmittelbaren Zusammenhang mit ihren eigenen Forschungsfeldern im Bereich der Halbleiterphysik stehen. So gesehen ist der Rekurs auf einen breiten und recht diffusen Nanotechnologiebegriff längerfristig durchaus riskant im Hinblick auf das Renommee und das öffentliche Vertrauen in jene Wissenschaftler, die am allgemeinen Nano-Hype teilnehmen. Denn im Falle des Ausbleibens der versprochenen Innovationen oder gar dem Auftreten eines „Nano-Skandals“ wird es schwierig, der Öffentlichkeit den Unterschied zur eigenen Forschungsrichtung zu erläutern, z. B. im Bereich der Halbleiterphysik, die aufgrund der forschungspolitischen Attraktivität ebenfalls als „Nanotechnologie“ bezeichnet wird.

FAZIT

Der Titel „Mit Molekülen spielen“ ist vor dem Hintergrund einer zunehmenden Verschränkung von Wissenschaft, Politik und Wirtschaft und der damit einhergehenden Forderung nach einer größeren Anwendungsorientierung und Nützlichkeit der universitären Forschung zu verstehen. Die an den Münchner Universitäten mit der Nanotechnologie sich identifizierenden und aktiv in Nano-Netzwerken engagierten Forscher spielen, wie dies für grundlagenwissenschaftlich orientierte Forschung charakteristisch ist, frei und ohne fest vorgegebene Ziele mit Molekülen. Zudem ist der Bezug der vorwiegend aus dem Bereich der experimentellen Halbleiterphysik stammenden Akteure zur Nanotechnologie bei Weitem unbestimmter und vager als dies noch bei der Mikroelektronik der Fall war. Die Teilnahme am Diskurs der Nanotechnologie und damit die Betonung der Technologierelevanz dieses neuen Wissens hat jedoch für die universitären Grundlagenforscher deutliche Vorteile, da sie sich dadurch neue finan-

zielle Ressourcen und auch neue Forschungsfelder jenseits der etablierten Disziplinengrenzen erschließen können. Diese primär forschungspolitisch motivierten Strategien markieren einen deutlichen Wandel des Wissenssystems, wenn man sich vor Augen hält, dass der institutionelle Auftrag der Universitäten an sich in der freien Forschung und Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und gerade nicht in der Entwicklung Neuer Technologien oder der unmittelbaren Verwertung von Wissen liegt.

Insgesamt zeigt damit die Analyse der lokalen Netzwerke von Wissenschaftlern im Bereich der experimentellen Halbleiter- und Biophysik, welche neuen Anforderungen an Wissenschaften um die Jahrtausendwende gestellt wurden. Der Erfolg von CeNS und NIM erklärt sich nicht allein durch innerwissenschaftliche Prozesse, sondern durch das Vermittlungspotenzial gegenüber verschiedenen, auch nicht-wissenschaftlichen Teilöffentlichkeiten. CeNS vermag auf neue Weise die Forschungsleistung der beteiligten Akteure sowohl gegenüber einer breiteren Öffentlichkeit als auch gegenüber der Forschungspolitik darzustellen. Auf diesem Wege werden neue Karrierechancen, finanzielle Ressourcen und jenes symbolische Kapital erschlossen, das die massive mediale Aufmerksamkeit und politische Förderung der Nanotechnologie mit sich brachten. Ob mittel- oder längerfristig diese Forschungsansätze die technologischen Grenzen der siliziumbasierten Halbleitertechnologien erweitern und möglicherweise eine völlig neuartige Nanoelektronik etablieren werden oder die Nanotechnologie lediglich einer von vielen unrealisierten Technologie-Hypes bleibt, wird sich in Zukunft zeigen.

LITERATUR

- *ITRS Roadmap Executive Summary 2007*. URL: <http://www.itrs.net/Links/2007ITRS/ExecSum2007.pdf> [Stand: 17.07.2010].
- Angel, D. P.: *Restructuring for innovation. The remaking of the U.S. semiconductor industry*, New York/London: The Guildord Press, 1994.
- Baird, D./Nordmann, A./Schummer, J. (Hrsg.): *Discovering the nanoscale*, Amsterdam: IOS Press, 2004.

- Böhme, G. (Hrsg.): *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1978.
- Braun, T./Schubert, A./Zsindely, S.: „Nanoscience and nanotechnology on the balance“. In: *Scientometrics* 38 (1997), Nr. 2, S. 321-325.
- Brock, D. C.: „A clear voice. The origins of Gordon Moore's 1965 paper“. In: Brock, D. C. (Hrsg.): *Understanding Moore's Law. Four decades of innovation*, Philadelphia/PA: Chemical Heritage Press, 2006, S. 25f.
- Choi, H./Mody, C.: „The long history of molecular electronics. The microelectronics origins of nanotechnology“. In: *Social Studies of Science* 39 (2009), Nr. 1, S. 11-50.
- Decker, M.: „Eine Definition von Nanotechnologie: Erster Schritt für ein interdisziplinäres Nanotechnology Assessment“. In: *Nordmann, A./Schummer, J./Schwarz, A. (Hrsg.): Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven*, Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft 2006, S. 33-48.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (Hrsg.): *Physik. Themen, Bedeutung und Perspektiven der Forschung. Ein Bericht an Gesellschaft, Politik und Wirtschaft*, 3. Aufl., Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft, 2001.
- Forman, P.: „The primacy of science in modernity, of technology in postmodernity, and of ideology in the history of technology“. In: *History and Technology*, 23 (2007) 1, S. 1-152.
- Gall, A.: „Von „IBM“ zu „Silicon Valley“. Leitbilder der Forschungspolitik zur Mikroelektronik in den siebziger und achtziger Jahren“. In: Ritter, G. A. u. a. (Hrsg.): *Antworten auf die amerikanische Herausforderung. Forschung in der Bundesrepublik und in der DDR in den „langen“ siebziger Jahren*, Frankfurt am Main/New York: Campus, 1999, S. 135-155.
- Gerybadze, A./Meyer-Krahmer, F./Reger, G. (Hrsg.): *Globales Management von Forschung und Innovation*, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997.
- Gibbons, M. u. a.: *The new production of knowledge*, London: Sage 1994.
- Graff, G.: „Materials scientists put the squeeze on electrons“. In: *Science* 254 (1991), Nr. 5036, S. 1306-1307.
- Heinze, T.: *Die Kopplung von Wissenschaft und Wirtschaft. Das Beispiel der Nanotechnologie*, Frankfurt am Main: Campus, 2006.

- Hessenbruch, A.: „Nanotechnology and the negotiation of novelty“. In: Baird/Nordmann/Schummer, *Nanoscale*, S. 135-144.
- Heßler, M.: *Die kreative Stadt. Zur Neuerfindung eines Topos*, Bielefeld: transcript, 2007.
- Johnson, A.: „The end of pure science: Science policy from Bayh-Dole to the NNI“. In: Baird/Nordmann/Schummer, *Nanoscale*, S. 217-230.
- Junk, A./Riess, F.: „From an idea to a vision: There’s plenty of room at the bottom“. In: *American Journal of Physics* 74 (2006), Nr. 9, S. 825-830.
- Kostoff, R. N./Koytcheff, R. G./Lau, C. G. Y.: „Global nanotechnology research metrics“. In: *Scientometrics* 70 (2007), Nr. 3, S. 565-601.
- Landauer, R.: „Irreversibility and heat generation in the computing process“. In: *IBM Journal of Research and Development* 5 (1961), Nr. 3, S. 183-191.
- McCray, P.: „Will small be beautiful? Making policies for our nanotechnology future“. In: *History and Technology* 21 (2005), Nr. 2, S. 177-203.
- Mayntz, R.: „Förderung und Unabhängigkeit der Grundlagenforschung im internationalen Vergleich“. In: *Forscher und Forschungspolitik: Der Beitrag der Forscher zur forschungspolitischen Diskussion*, Max-Planck-Gesellschaft, Berichte und Mitteilungen, 1 (1992) (Symposium der Max-Planck-Gesellschaft Schloß Ringberg/Tegernsee), S. 108-126.
- Peschel, I.: *Physik-Handbuch*, Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft, 1991.
- Schaller, R. R.: *Technological innovation in the semiconductor industry. A case study of the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)*, Diss. University of Maryland 2004. http://www.xecu.net/schaller/schaller_dissertation_2004.pdf [Stand: 17.07.2010].
- Schimank, U.: „Universities and extra-university research institutes: tensions within stable institutional structures“. In: Krull, W./Meyer-Krahmer, F. (Hrsg.): *Science and technology in Germany*, London: Cartermill, 1996, S. 11-124.
- Schummer, J.: „Multidisciplinarity, interdisciplinarity, and patterns of research collaboration in nanoscience and nanotechnology“. In: *Scientometrics* 59 (2004) Nr. 3, S. 425-465.

- Schummer, J.: „Interdisciplinary issues in nanoscale research“. In: Baird/Nordmann/Schummer, *Nanoscale*, S. 9-20.
- Sternberg, R. C./Tamásy, C.: „Munich as Germany’s No. 1 high technology region: empirical evidence, theoretical explanations and the role of small firm relationships“. In: *Regional Studies* 33 (1999), Nr. 4, S. 367-377.
- von Klitzing, K.: *Grenzen der Mikroelektronik: Quantenphänomene in mikrostrukturierten Halbleitern* (Schriftenreihe Ernst-Abbe-Kolloquium Jena) Jena: Univ.-Verl., 1995.
- Weingart, P.: „From ‚finalization‘ to ‚mode 2‘: old wine in new bottles?“ In: *Social Science Information*, 36 (1997) 4, S. 591-613.

„Tools to Increase Mass Engagement for Nanotechnology“ – Instrumente der Öffentlichkeitsarbeit staatlicher Nanotechnologie-Initiativen

PETER SCHÜSSLER

DIE RHETORIK NEUER TECHNOLOGIEN

Im Jahr 2000 stand die Menschheit nach Einschätzung der Befürworter der damals geplanten US National Nanotechnology Initiative (NNI) angesichts der bereits rasanten Entwicklungen im Bereich der Nanotechnologie und hinsichtlich der enormen zukünftigen technischen Möglichkeiten direkt vor einer neuen industriellen Revolution.¹ Durch die Nanotechnologie würden Wirtschaft und Gesellschaft in ähnlichem Maße verändert wie im 19. Jahrhundert durch die Erfindung der Dampfmaschine und durch die Mechanisierung der Handarbeit. In der breiten Öffentlichkeit wurde die Nanotechnologie seither in zunehmendem Maße als *die* Neue Technologie des 21. Jahrhunderts schlechthin wahrgenommen. Da nanotechnologische Anwendungen bislang nur selten bis fast gar nicht realisiert worden sind, erscheint diese öffentliche Wahrnehmung zunächst übertrieben, wirft man jedoch den Blick zurück auf die Geschichte früherer Neuer Technologien, so zeigt sich, dass sich auch diese, insbesondere in ihrer Frühphase, durch weitreichende Visionen auszeichneten. So versprach

1 Quelle: NNI Pressemitteilung National Nanotechnology Initiative: Leading to the next industrial revolution. 2000.

die Kernforschung während ihres Hypes in den 1950er Jahren für die nahe Zukunft sowohl einen bislang unvorstellbaren medizinischen Fortschritt als auch die Lösung aller Energieprobleme der Weltbevölkerung und damit die Schaffung von Sicherheit und Frieden.² Ein Jahrzehnt später, in den 1960er Jahren, war die Kybernetik in aller Munde, indem sie von sich behauptete, in ebenso naher Zukunft die Steuerung sowie die Funktions- und Regelungsprozesse komplexer Systeme mit mathematischen Methoden beschreibbar und damit planbar zu machen, unabhängig davon, ob diese Systeme künstlicher, organischer oder gesellschaftlicher Art wären.³ Als die Nanotechnologie mit dem Versprechen „to change the way almost everything from vaccines to computers to automobile tires to objects not yet imagined is designed and made“⁴ um das Jahr 2000 erstmals für die breite Öffentlichkeit sichtbar in Erscheinung trat, fügte sie sich rhetorisch nahtlos in die Reihe Neuer Technologien ein, die mit dem umfassenden Versprechen operieren, die Welt unmittelbar verbessern zu können.⁵ Von der Nanotechnologie wurden fundamental neue Techniken zwar ebenso wenig erwartet wie zuvor von der Kybernetik, als revolutionär wurde jedoch erachtet, dass sie quer zu fast allen bestehenden Technikbereichen die Gestaltung der Produkte grundlegend verändern und die Produktion von von top-down zu bottom-up-Verfahren umstellen würde. Die Rhetoriken Neuer Technologien gleichen sich dahingehend, dass sie in der Frühphase ihrer Entwicklung, wenn ihre Zukunft noch weitgehend offen ist, auf ein großes technisches Potenzial und die daraus resultierenden, unmittelbar bevorstehenden positiven gesellschaftlichen Veränderungen verweisen. Die Arbeitsgemeinschaft der Bayerischen Forschungsverbände *abayfor* versucht beispielsweise die Sprengkraft der Nanotechnologie zu unterstreichen, indem sie in einer Broschüre zur Nanotechnologie in Bayern den amerikanischen

-
- 2 Am 8. Dezember 1953 hielt US Präsident Eisenhower eine Rede mit dem Titel, Atome für den Frieden, vor der Generalversammlung der Vereinten Nationen, in der er in der friedlichen Nutzung der Kernenergie und der Nichtverbreitung von Kernwaffen ein neues Zeitalter identifizierte.
 - 3 Vgl. Aumann 2009. Aumann in diesem Band.
 - 4 Quelle: NNI Pressemitteilung National Nanotechnology Initiative: Leading to the next industrial Revolution. 2000.
 - 5 Vgl. Berube 2004.

Autor Truman Capote zitiert: „Heute ist die Utopie vom Vormittag die Wirklichkeit vom Nachmittag.“⁶

BEGLEITFORSCHUNG ALS MITTEL STRATEGISCHER NANOTECHNOLOGIE-ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Mit Gründung der US National Nanotechnology Initiative (NNI) in den Jahren 2000 und 2001 entwickelte sich der zuvor selbst unter Naturwissenschaftlern fast unbekannt Begriff der Nanotechnologie quasi über Nacht zum Inbegriff des technologischen Fortschritts im 21. Jahrhundert. Innerhalb weniger Jahre wurden weltweit nationale Förderprogramme nach dem Vorbild der NNI ins Leben gerufen. Dabei wurden in zunehmendem Maße astronomische Budgets genannt, die laut Joachim Schummer vor allem in der mangels eindeutiger Definitionen gegebenen Möglichkeit einer Subsumierung immer neuer Bereiche der Natur- und Ingenieurwissenschaften unter den Begriff Nanotechnologie begründet lagen.⁷ Das jüngste Beispiel dafür stellt die Verleihung des Nobelpreises für Physik des Jahres 2010 an Andre Geim und Konstantin Novoselov dar. Die beiden Forscher erhielten den Preis für ihre Experimente an einer neuartigen Modifikation von Kohlenstoff, dem Graphen. Dabei handelt es sich um eine Graphitschicht, die aus einer einzigen Lage Atome besteht und perfekte zweidimensionale Kristalle bildet. Bereits am Tag der Bekanntgabe der Preisträger verkündeten Kommunikatoren der Nanotechnologie, dass der Nobelpreis für Physik für nanotechnologische Forschung vergeben worden sei. In der Presseerklärung des Nobelkomitees wurde die Nanotechnologie als Forschungsfeld hingegen mit keinem Wort erwähnt.⁸

Der Wissenschaftsphilosoph Schummer zeichnet ein Bild der Nanotechnologie als einer globalen sozialen Bewegung, die nicht aus der Forschung selbst heraus gewachsen ist, sondern mit großem forschungspolitischem Willen in den USA ins Leben gerufen wurde.

6 Quelle: Nanotechnologie in Bayern. Profile, Portraits, Perspektiven. Herausgegeben von media mind, München 2006, S.14.

7 Vgl. Schummer 2009 sowie seinen Beitrag im vorliegenden Band.

8 Eric Drexler betitelte den entsprechenden Eintrag in seinem persönlichen weblog mit „The 2010 Nobel Prize for Graphene Nanotechnology“. Quelle: <http://metamodern.com/2010/10/05/the-2010-nobel-prize-for-graphene-nanotechnology/> [Stand: 11.11.2010].

Betrachtet man die Entwicklung seit dem Jahr 2001, so zeigt sich Schummer zufolge, dass die Höhe der Nanotechnologieförderung letztendlich zum Gradmesser der Quantität sowie der Qualität der Forschungsförderung von einem Land und dessen Regierung wurde: „Binnen weniger Jahre sind die ursprünglichen Budgets auf ein Vielfaches, oft auf das Hundertfache, angewachsen. Für die wissenschaftspolitische Idee der Nanotechnologie blieb es dabei unbedeutend, ob die Zuwächse durch Umverteilung oder schlicht durch Begriffserweiterung geleistet wurde.“⁹ So oder so präsentierte sich das Forschungsfeld als kontinuierlich wachsend und damit als zukunftsweisend und erfolgreich.

Die Gründer der U.S. National Nanoinitiative planten bereits im Jahr 2001 den prognostizierten weit reichenden gesellschaftlichen Auswirkungen der Nanotechnologie Rechnung zu tragen. Sie erachteten es als Aufgabe der Sozial- und Geisteswissenschaften, die Gesellschaft auf die bevorstehenden Veränderungen vorzubereiten. Zukünftig sollten zirka 4 Prozent der staatlichen Nanotechnologieförderung für so genannte ELSI-Studien sowie zur Kommunikation der Nanotechnologie gegenüber der Bevölkerung verwendet werden. ELSI steht für das Feld der ethical, legal and social issues. Es sollte erforscht werden, wie sich die nanowissenschaftliche Forschung organisiert und wie die Bevölkerung über die Nanotechnologie denkt.¹⁰ Insbesondere europäische aber auch andere staatliche Nanoinitiativen weltweit haben den Ansatz der NNI übernommen und fördern ebenfalls die Arbeit so genannter Begleitforscher. Nicht nur hierdurch ist die Zahl der Sozial- und Geisteswissenschaftler, die sich mit Themen der Nanotechnologie beschäftigen, ab dem Jahr 2001 rasant angewachsen, sondern auch nicht-staatliche Förderinitiativen sehen hier ein aktuelles Forschungsfeld für Philosophen, Soziologen oder Historiker. Gab es beispielsweise auf der alle zwei Jahre stattfindenden Konferenz der European Association for the Study of Science and Society (EASST) im Jahr 2004 in Paris nur eine einzige Session zum Thema Nanotechnologie, so befassten sich zwei Jahre später auf der Konferenz des Jahres 2006 in Lausanne bereits ganze sieben Sessions mit gesellschaftlichen Aspekten des Feldes.¹¹ Im Jahr 2008 wurde die Society for the Study of Nanoscience and Emerging Technologies (S.NET) ins

9 Schummer 2009, S. 25.

10 Vgl. Bennett/Sarewitz 2006, Cobb 2005, Lee u. a. 2005, Mody 2008.

11 <http://www.easst.net> [Stand: 11.11.2010].

Leben gerufen, die ihre Aufgabe selbst folgendermaßen beschreibt: „S.NET is an international organization to promote open intellectual exchange towards the advancement of knowledge and understanding of nanotechnology in society, including its connections with social and other technological developments.“¹² In der Folge veranstaltete die Organisation in den Jahren 2009 und 2010 bereits zwei größere Konferenzen in Washington und Darmstadt, auf denen Begleitforscher, mehrheitlich aus den USA und Europa, zusammentrafen.¹³

Die Förderung der Begleitforschung wird häufig als Reaktion der Forschungspolitik auf die immer lauter werdende „gesellschaftliche Forderung nach der Untersuchung der ‚möglichen andern Seite der Medaille‘ der Nanotechnologie“¹⁴ beschrieben. Kritische Stimmen sehen in der massiven Förderung der Begleitforschung durch staatliche Initiativen hingegen eine Strategie, der Bevölkerung das Bild einer sich aufgrund nanotechnologischen Fortschritts tatsächlich im Wandel befindlichen Gesellschaft zu vermitteln. Indem Ethiker mit Soziologen oder Politologen über die Nanotechnologie diskutieren und das Feld zum Gegenstand ihrer Forschung machen, verstärken sie nicht nur den Eindruck der Öffentlichkeit, dass die Neue Technologie unser Leben verändern wird, sondern sie liefern gleichzeitig den Beweis für die Weitsicht der Forschungspolitik der jeweiligen Regierungen.¹⁵

„TOOLS TO INCREASE MASS ENGAGEMENT FOR NANOTECHNOLOGY“

Um die breite Öffentlichkeit mit der Zukunftstechnologie überhaupt erst in Kontakt zu bringen und mit ihren Inhalten vertraut zu machen, wurden von der NNI neben der Begleitforschung auch Programme zur Kommunikation der Nanotechnologie gegenüber der Bevölkerung ins Leben gerufen.

12 <http://www.thesnet.net/TheSociety.html> [Stand: 11.11.2010].

13 Wie stark das Feld der Nano-Begleitforschung mittlerweile ist, wird auch durch die wachsende Zahl der Publikationen deutlich. Beispiele hierfür sind Baird/Nordmann/Schummer 2004 oder Schummer/Baird 2006.

14 Fiedeler u. a. 2009, S. 1.

15 Schummer 2009.

Im Dezember 2004 umriss die NNI in einem strategischen Plan zur Nanotechnologie in den USA auch die Öffentlichkeitsarbeit und legte dar, auf welchen Wegen diese sich zukünftig vollziehen sollte:

„The NNI plans to foster and encourage forums for dialogue with the public and other stakeholders. Such forums include museums and other science centers, various programs organized by NNI-funded research centers, the USDA extension program, and other agency outreach mechanisms“.¹⁶

Geplant wurde die Entwicklung neuer Instrumente zur Verbesserung der Kommunikation von Nanowissenschaft und -technologie. Die öffentliche Wahrnehmung und Bewertung der Nanotechnologie sollte zukünftig in periodischen Abständen gemessen werden und die Ergebnisse dieser Evaluierung sollten unter anderem das National Nanotechnology Coordination Office (NNCO), die Wissenschaftler des Feldes sowie die Forschungspolitik bei ihrer weiteren Arbeit unterstützen. Mit dem Strategiepapier wurde die Basis zu einer umfangreichen Nanotechnologie-Kampagne gelegt.

Kurz nach der Veröffentlichung des Strategic Plan der NNI wurde das Nanoscale Informal Science Education Network (NISE network) ins Leben gerufen, ein nationaler Verbund von Forschern und Wissenschaftskommunikatoren, denen die Aufgabe gestellt wurde, das öffentliche Bewusstsein und das Wissen zur Nanowissenschaft und -technologie zu fördern und die Bevölkerung zu motivieren, sich verstärkt mit dem Thema auseinanderzusetzen.¹⁷ Auf der Homepage des Netzwerks wird beschrieben, dass sich im Jahr 2005 das Museum of Science in Boston, das Exploratorium in San Francisco und das Science Museum of Minnesota mit anderen Partnern und mit Beratern zusammenfanden, um NISE zu gründen. Das Netzwerk war jedoch nicht nur das Produkt einer Initiative der genannten Wissenschaftsmuseen, wie von diesen hervorgehoben wird, sondern es ist insbesondere Teil der forschungspolitischen Strategie der NNI.

NISE bietet in einem online-Katalog vorgefertigte Ausstellungselemente für Museen und Science Center sowie komplette Programme und Aktivitäten, die während so genannter Nanodays einem Publikum präsentiert sowie mit diesem durchgeführt werden können. Dabei handelt es sich beispielsweise um hands-on-Aktivitäten, einfache

16 <http://www.nisenet.org/> [Stand: 11.11.2010].

17 Ebd.

Experimente, Elemente so genannter science-shows oder Theatervorführungen, in die das Publikum einbezogen werden kann. Die nach Meinung des Netzwerkes relevanten ELSI-Aspekte werden auf Postern angesprochen. NISE sieht vor, dass die Nanodays an Museen, Science Centern, Schulen oder Universitäten veranstaltet werden. Die Veranstalter werden damit Teil des Netzwerks und können über dessen Online-Katalog die genannten Elemente bis hin zum kompletten Layout inklusive vorgefertigter Banner, Plakate, Veranstaltungshinweise oder Pressemitteilungen beziehen, aber andererseits auch selbst entwickelte Aktivitäten einstellen und diese anderen Nutzern zur Verfügung stellen. Idealerweise bezieht der Veranstalter ein so genanntes Nanoday Kit, das alle notwendigen Utensilien zur unterhaltsamen Kommunikation der Nanotechnologie umfasst. Einen Nanoday zu veranstalten, ist somit jederzeit und ohne größere Vorbereitung möglich. Wissenschafts- und Technikmuseen sowie Science Center bietet NISE damit die Möglichkeit schnell und günstig Programme insbesondere für Schüler zu gestalten. Das Netzwerk versucht ferner, eine größere öffentliche Wahrnehmung der Nanotechnologie zu erreichen, indem es in jedem Jahr zwischen Ende März und Anfang April eine Woche benennt, in der die Nanodays stattfinden sollten. Heute zeigt sich der Erfolg dieser Strategie der NNI. Veranstaltet im Jahr 2008 US-weit während der genannten Woche etwa 100 Institutionen einen Nanoday, verdoppelte sich deren Zahl im Jahr 2009 auf etwa 200 (siehe Abbildung 1). Laut NISE nahmen im Jahr 2010 schließlich 450.000 US-Bürger an den Nanodays teil.¹⁸

Aufgrund der zu erwartenden weit reichenden gesellschaftlichen Umwälzungen durch die Nanotechnologie argumentiert die NNI, dass jeder US-Bürger über diese informiert werden müsse. In der Folge misst sich der Erfolg von NISE weit weniger an den vermittelten Inhalten oder am Feedback, das die NNI von Seiten der Öffentlichkeit während der Nanodays erhält, als vielmehr an den Teilnehmerzahlen der Nanodays und somit daran, wie viele Menschen das Netzwerk letztendlich erreichen konnte.

Weltweit entstanden in den folgenden Jahren ähnliche Initiativen, die von den Erfahrungen des Netzwerks profitieren konnten und heute einen großen Teil der von NISE öffentlich bereitgestellten Produkte für ihre eigenen Aktivitäten verwenden. In ihrem 7. Forschungsrahmenprogramm verfolgt die Europäische Union mit dem Projekt Na-

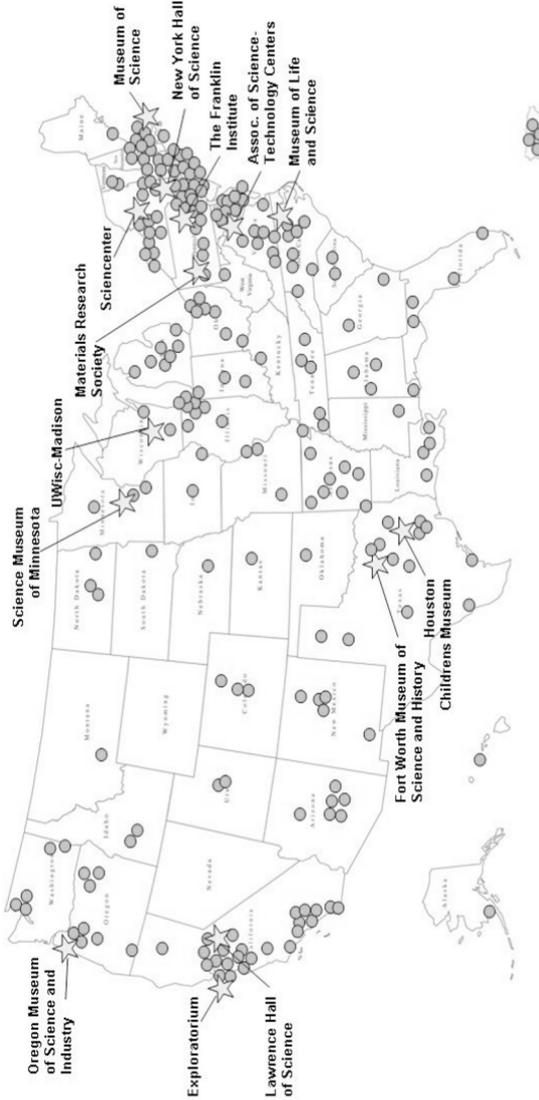
18 Ebd.

Abbildung 1: Teilnehmende Institutionen an den US-weiten NISE Nanodays vom 28. März bis zum 5. April 2009, © NISE Network PI Larry Bell, Museum of Science Boston.

NISE network
NANO SCALE
INFORMAL
SCIENCE
EDUCATION

NanoDays 2009 March 28-April 5

Kits have been shipped to these locations in 2008 or 2009



no for Youth (NANOYOU) das Ziel, „das grundlegende Verständnis junger Menschen von Nanotechnologie zu verbessern und einen Dialog über ihre ethischen, rechtlichen und sozialen Aspekte anzuregen.“¹⁹ Das Projekt, das sich vornehmlich an Schulen richtet, zielt laut eigener Darstellung darauf ab, junge Menschen dabei zu unterstützen, informierte Entscheidungen zu Themen der Nanotechnologie treffen zu können. NANOYOU will hierdurch letztendlich die soziale Akzeptanz der Neuen Technologie erhöhen. Ebenfalls im 7. Forschungsrahmenprogramm fördert die Europäische Union das Projekt TIME for NANO. Das Akronym steht für *Tools to Increase Mass Engagement for Nanotechnology*: „The Time for Nano Project aims at engaging the general public, with a special attention to young people, on benefits and risks related to nanoscale research, engineering and technology, through specific informal education products.“²⁰ Partner aus mehreren europäischen Ländern veranstalten Nanodays an Wissenschafts- und Technikmuseen wie dem Deutschen Museum in München, an Science Centern wie der Technopolis in Mechelen sowie an Schulen und verwenden dabei viele Elemente, die das NISE Network in seinem Online-Katalog anbietet. TIME for NANO verteilt zudem so genannte Nanokits an Schulen, mit deren Hilfe Lehrer den Schülern selbstständig die Nanotechnologie vermitteln und gemeinsam mit diesem gleichzeitig kritische Fragen an die Neue Technologie stellen können. Die im Kit enthaltenen Experimente bestehen wiederum nahezu ausschließlich aus von NISE bereitgestellten Elementen.

Nach mehreren Jahren des Hypes um die Nanotechnologie finden sich heute nur noch selten Wissenschafts- und Technikmuseen oder Science Center, die sich dem entziehen. Überall auf der Welt wird heute Nanotechnologie ausgestellt und kommuniziert. Beispiele für Ausstellungen sind das im Oktober 2009 eröffnete Zentrum Neue Technologien des Deutschen Museums in München oder die Sonderausstellung „Nano! Nutzen und Visionen einer neuen Technologie“ des Technoseums – Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim im Jahr 2010. In unzähligen Science Centern werden während Nanodays Buckybälle aus Papier gefaltet (siehe Abbildung 2), wird Ferrofluid mit Magneten manipuliert, Magic Sand auf Wasseroberflä

19 <http://nanoyou.eu/de/nanoyou-projekt.html?view=alphacontent> [Stand: 11.11.2010].

20 <http://www.timefornano.eu/> [Stand: 11.11.2010].

Abbildung 2: Nanoday der Columbia University und des City College New York im Jahr 2004: Der bekannte US-amerikanische Wissenschaftskommunikator und „Science Guy“ Bill Nye präsentiert einen Buckyball, © Diane Bondareff, New York.



Vorbild von Molekülen. Dabei gleichen sich die Präsentationsformen oft bis ins kleinste Detail, was Aktivitäten und Erläuterungen durch Wissenschaftskommunikatoren anbelangt. Die begleitenden Dialoge zur Nanotechnologie folgen ebenfalls vorgefertigten Fragen und führen oftmals auch zu vorgefertigten Antworten. Dabei ist für den einzelnen Museumsbesucher meist nicht ersichtlich, welches starke forschungspolitische Interesse an der Neuen Technologie hinter den Aktivitäten steht.

FAZIT

In zunehmendem Maße wird Nanotechnologie heute weltweit durch NISE-Network-Elemente kommuniziert. Was während Nanodays als Nanotechnologie vermittelt wird, ist damit, ganz im Gegensatz zur höchst vielfältigen und unübersichtlichen nanowissenschaftlichen Forschungslandschaft, stark begrenzt. Larry Bell vom Museum of Science in Boston, an dem die ersten Aktivitäten des Netzwerks in den Jahren 2005 bis 2007 gemeinsam mit vier weiteren Wissenschaftsmuseen und Science Centern entwickelt und getestet wurden, begriff die

von der NNI gewählte Form der Wissenschaftskommunikation als eine Chance, große Teile der im Alltag wenig mit Wissenschaft und Technik in Kontakt stehenden Bevölkerung zu unterrichten und in die Debatten um Neue Technologien einzubeziehen.²¹ Dieser positiven Beurteilung durch Bell kann jedoch mit der Frage begegnet werden, ob eine individuelle und kreative Auseinandersetzung von Wissenschafts- und Technikmuseen mit gegenwärtigen Trends in Forschung und Entwicklung die Debatten um die technologische und gesellschaftliche Zukunft nicht viel stärker beflügeln kann. Indem die Nanotechnologie als nicht eindeutiges Phänomen in unterschiedlichen Museen auf unterschiedliche Weise vermittelt würde, könnte der Vielfalt sowie der hohen Komplexität von nanotechnologischer Forschung und Technikentwicklung Rechnung getragen werden. Gleichzeitig wird der Öffentlichkeit verdeutlicht, dass es sich um eine Technologie mit zahlreichen Entwicklungslinien handelt, die eine differenzierte und anhaltende Debatte erfordert und dass längst nicht entschieden ist, wie wir uns die Nanotechnologie der Zukunft vorzustellen haben. Die Nanotechnologie stellt ein Feld laufender und zukünftiger Aushandlungsprozesse dar, an denen sich die Öffentlichkeit beteiligen sollte.

Indem die Unterstützer der Nanotechnologie das Bild gesellschaftlicher Umwälzungen zeichnen, die von den Entwicklungen der Nanotechnologie unausweichlich hervorgerufen werden, argumentieren sie technikdeterministisch. Entsprechend bleibt nur, die Auswirkungen zu erforschen, um die Bevölkerung rechtzeitig auf den Wandel vorbereiten zu können. Tatsächlich zeigen die im vorliegenden Beitrag dargestellten Strategien der Kommunikation von Nanotechnologie, dass den Unterstützern der Nanotechnologie sehr wohl bewusst ist, dass Technik und somit auch die Nanotechnologie sozial konstruiert sind.²² Sie wissen, dass ihr Projekt, eine Neue Technologie ins Leben zu rufen, nur mit der Unterstützung durch relevante Akteure möglich ist. Die Öffentlichkeit wird dabei längst als zentraler Akteur wissenschaftlicher und technologischer Entwicklungen wahrgenommen, die sich mit Macht gegen eine bestimmte Technologie wenden kann. Insbesondere Neue Technologien stehen aufgrund ihrer angeblich gesellschaftsverändernden Kraft früher oder später im Fokus vieler, oft gegensätzlicher Interessen. Mit Weitsicht hat die NNI schon früh damit begonnen, den Prozess in die Hand zu nehmen, das Interesse der

21 Bell 2008.

22 Vgl. Bijker/Hughes/Pinch 1987, MacKenzie/Wajcman 1985.

einzelnen Akteure an der Nanotechnologie zu wecken und ihnen ihre Rollen bei der Entwicklung der Nanotechnologie zuzuweisen. Soziologen wie Michel Callon und John Law beschreiben jedoch, wie sich Beteiligte eines solchen sozio-technischen Prozesses zu jedem Zeitpunkt verweigern können, indem sie ihre Identität, ihre Ziele, Projekte, Orientierungen, Motivationen oder Interessen auf eine andere Art formulieren, als dies von den treibenden Kräften des Entwicklungsprozesses vorgesehen wurde.²³ Angesichts der eingangs angesprochenen Brüche in der Entwicklung vergangener Neuer Technologien, in ihrer öffentlichen Wahrnehmung und in der Reaktionen durch Politik, Forschung und Wissenschaftskommunikation wäre es erstaunlich, wenn sich die Nanotechnologie wie von der Wissenschaftspolitik geplant, reibungslos und frei von Kontroversen zur breit akzeptierten Technologie des 21. Jahrhunderts entwickeln würde. Vielmehr ist zu erwarten, dass sich die Einstellung der Öffentlichkeit zur Nanotechnologie noch mehrfach ändern wird. Die Wissenschaftskommunikation wird hierauf flexibel reagieren müssen. Es stellt sich die Frage, welche Rolle Wissenschafts- und Technikmuseen dabei einnehmen können und sollen.²⁴ Werden sie, wie im vorliegenden Beitrag beschrieben, Raum für wissenschaftspolitisch motivierte Programme bieten, werden sie selbstständig Möglichkeiten gesellschaftlicher Debatten um die Neue Technologie entwickeln oder wollen sie selbst als Akteure der Nanotechnologie fungieren und sich aktiv an deren Ausgestaltung beteiligen?

23 Callon/Law 1982.

24 Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1409 „Wissenschaft und Öffentlichkeit: Das Verständnis fragiler und konfligierender wissenschaftlicher Evidenz“ werden Bedingungen und Prozesse des Grundverständnisses wissenschaftlicher Evidenzgewinnung und Evidenzsicherung der Öffentlichkeit empirisch untersucht und Theorien zum Wissenschaftsverständnis von Laien entwickelt. Außerdem werden begründete Gestaltungsprinzipien für die Vermittlung wissenschaftsbezogener Informationen erarbeitet. Am Deutschen Museum wird in Kooperation mit dem Institut für Wissensmedien / Knowledge Media Research Center (IMW/KMRC) die Rolle authentischer Objekte bei der Vermittlung konflikthafter naturwissenschaftlicher Sachverhalte in Museen und Ausstellungen erforscht.

LITERATUR

- Aumann, P.: *Mode und Methode. Die Kybernetik in der Bundesrepublik Deutschland*. Göttingen: Wallstein, 2009.
- Baird, D./Nordmann, A./Schummer, J. (Hrsg.): *Discovering the Nanoscale*. Amsterdam: IOS, 2004.
- Bell, L.: Engaging the public in technology policy. A new role for science museums. In: *Science Communication*, Vol. 29, No. 3, 2008. S. 386-398.
- Bennett, I./Sarewitz, D.: Too little, too late? Research policies on the societal implications of nanotechnology in the United States. In: *Science as Culture*, Vol. 15, No. 4, 2006. S. 309-325.
- Berube, D.: The rhetoric of nanotechnology. In: Baird, D./Nordmann, A./Schummer, J. (Hrsg.): *Discovering the nanoscale*. Amsterdam: IOS, 2004. S. 173-192.
- Bijker, W./Hughes, T./Pinch, T. (Hrsg.): *The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology*. Cambridge/MA: MIT Press, 1987.
- Callon, M./Law, J.: On interests and their transformation: enrolment and counter-enrolment. In: *Social Studies of Science*, Vol. 12, No. 4, 1982. S. 615-25.
- Cobb, M.: Framing effects on public opinion about nanotechnology. In: *Science Communication*, Vol. 27, No. 2, 2005. S. 221-239.
- Fiedeler, U. u. a.: Was ist eigentlich Begleitforschung zur Nanotechnologie? In: *Nano trust dossiers*, Nr. 011, 2009. S. 1-4.
- Johnson, A.: The end of pure science: Science policy from Bayh-Dole to the NNI. In: Baird, D./Nordmann, A./Schummer, J. (Hrsg.): *Discovering the nanoscale*. Amsterdam: IOS, 2004. S. 217-230.
- Lee, C.-J./Scheuffele, D. /Lewenstein, B.: Public attitudes toward emerging technologies. Examining the interactive effects of cognitions and affect on public attitudes toward nanotechnology. In: *Science Communication*, Vol. 27, No. 2, 2005. S. 240-267.
- MacKenzie, D./Wajzman, J. (Hrsg.): *The social shaping of technology*. Milton Keynes: Open University Press, 1985.
- Mody, C.: Small, but determined: Technological determinism in nanoscience. In: *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, Vol. 10, No. 2, 2004. S. 99-128.
- Mody, C.: The larger world of nano. In: *Physics Today*, October 2008, S. 38-44.

Schummer, J.: *Nanotechnologie. Spiele mit Grenzen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2009.

Schummer, J./Baird, D. (Hrsg.): *Nanotechnology Challenges. Implications for Philosophy, Ethics and Society*. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2006.

Neuer Wein in alten Schläuchen?

KLAUS KORNWACHS, HELMUTH TRISCHLER

Eine Anekdote vorab: Der Physiker Philipp von Jolly riet Max Planck einst, statt Physik Biologie zu studieren, weil in der Physik nichts Neues mehr zu erwarten wäre.¹ Bekanntlich war Max Planck einer der Ersten, der die klassische Physik revolutionierte, einen epochalen Wandel des naturwissenschaftlichen Verständnisses unserer Welt auslöste, der in der Quantentheorie der 1920er Jahre kulminierte. Der erstgenannte Verfasser dieses Artikels selbst, der 1972 sein Physikdiplom gemacht hatte, erhielt danach als freier Wissenschaftsjournalist die Gelegenheit, den Erfinder der Holografie (1947) und Nobelpreisträger von 1972, Denis Gabor, zu interviewen, der ihm ebenfalls riet, sich der Biologie zuzuwenden, weil in der Physik nichts Aufregendes mehr zu erwarten sei.

Warum stellen wir uns die Frage, was neu an den Neuen Technologien ist? Intuitiv weiß man doch längst, was neu ist: das, was die anderen schon haben, und man selbst noch nicht besitzt. Etwas seriöser betrachtet, verläuft die Motivation, sich diesem Diskurs zu stellen, in vier Hauptsträngen:

Erstens herrscht eine tief sitzende Furcht moderner, auf wissenschaftlichem und technischem Wissen basierender Gesellschaften, den technologischen Anschluss zu verpassen. *Zweitens* gibt es in der Technik einen Mitzieh-Effekt, wie bei parallelen Fahrspuren an einer Ampel, wenn eine der Spuren Grün erhält. Denselben Mitzieh-Effekt kann man bei Vogelschwärmen beobachten, und er scheint ein Konstituens

1 Planck 1948, S. 145; siehe auch Hoffmann 2008, S. 12.

für die Wissenschaft, die technische Entwicklung und den öffentlichen Diskurs über Technik und Innovationen zu sein. *Drittens* wächst die Unsicherheit darüber, welche Veränderungen in unserer gesellschaftlichen Lebenswelt und auch in unserer eigenen, je individuellen Lebenswelt auf uns zukommen werden. *Viertens* schließlich bleibt es ein vielfach geäußelter Wunsch, Technik aus ihrer Entwicklung heraus und in ihrer Vielfalt zu verstehen. Dieser Wunsch äußert sich in der Faszination für neue Entwicklungen und in der immer wieder gestellten Frage, wie „das Neue in die Welt kommt“² ebenso wie in dem Bestreben, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Entwicklungsverläufe von technischen Innovationen und der mit ihnen verbundenen Diskurskarrieren zu ergründen.

Die im vorliegenden Band diskutierten Technologien, die als Neue Technologien herausgegriffen wurden, waren Nanotechnologie, Bio- und Gentechnologie, Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Energietechniken. Es ging aber nicht nur um die Technik selbst, sondern auch um die gesellschaftliche Dynamik ihrer Entwicklung sowie um die jüngst mehrfach postulierte Konvergenz Neuer Technologien, denen man aber auch das Phänomen von divergenten Entwicklungen (Verzweigung) gegenüberstellen sollte. Es ging, insbesondere auch in der Diskussion, immer wieder um die historisch-sozialwissenschaftliche Kernfrage nach der Einbettung von Technik in unterschiedliche Kontexte, die in gewisser Weise der horizontalen Gliederung von Gesellschaft in Subsysteme entsprechen. Dass diese Kernfrage häufig im historischen Rekurs auf die Debatte um die Kerntechnik diskutiert worden ist, mag nicht allzu sehr verwundern, ist die Kernkraftkontroverse doch aus berufenem Munde als „der größte und gedankenreichste öffentliche Diskurs“ in der Geschichte der Bundesrepublik klassifiziert worden.³ Versteht man moderne Gesellschaften als funktional in Subsysteme ausdifferenziert und durch je eigene Handlungsmuster und Belohnungssysteme⁴ gekennzeichnet, so geht es in diesen Beiträgen vor allem um

2 Siehe u. a. von Pierer/von Oetinger 1997.

3 Radkau 1987, S. 307; siehe auch dessen Beitrag in diesem Band sowie allgemein Liebert/Weitze 2006.

4 Vgl. Kornwachs 2009, insbes. S. 113 ff.

- den ökonomischen Kontext, insbesondere im Hinblick auf wirtschaftliche Verwertungsinteressen an vergangenen und künftig zu erwartenden Neuen Technologien;
- den politischen Kontext, insbesondere um forschungs- und technologiepolitische und damit letztlich auch ordnungspolitische Zusammenhänge;
- den gesellschaftlichen Kontext, in dem wissenschaftliche Veränderungen, aber auch öffentliche Wahrnehmungsmuster und Einstellungen gegenüber der Technik einerseits als Rahmenbedingungen für die technische Entwicklung aufgefasst werden, in dem andererseits aber auch der tatsächliche Einsatz von Technik diese Rahmenbedingungen verändert;
- den kulturellen Kontext, in dem wir ähnliche Wechselwirkungen beobachten können. Hier ist einerseits auf den unterschiedlichen Umgang mit Techniken und der Rezeption des Neuen in unterschiedlichen Kulturen zu achten, andererseits ist von der These auszugehen, dass die neuen Informations- und Kommunikationstechnologien zu einer gewissen Nivellierung kultureller Unterschiede führen können;
- den ökologischen Kontext, der allerdings kaum angesprochen wurde. Dies war allerdings keine Missachtung des Themas; es hätte einer eigenen Tagung bedurft, um diesen Fragen gerecht zu werden.

Diskutiert wurde auch die Dynamik der Interpretation von Technologien, mit anderen Worten über die Verläufe von Debatten und Diskursen über vergangene, aktuelle und künftig zu erwartende Techniken. Dabei bestätigte sich die Ausgangsthese, dass sich Neue Technologien im Spannungsfeld von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Öffentlichkeit herausbilden und damit gesellschaftlich konstruiert sind. Als zielführend erwies es sich, auf eine positivistische Bestimmung, gar Definition der Neuen Technologien zu verzichten, und dies in der Erkenntnis, dass es sich bei den Neuen Technologien nicht um ein objektivierbares Phänomen, sondern um einen Reflexionsbegriff historischer und gesellschaftlicher Entwicklung handelt. Im Anschluss an Reinhart Koselleck lässt sich die These formulieren, dass sich in den Diskussionen um Neue Technologien „Erfahrungsräume“ und „Erwartungshorizonte“ einer Gesellschaft spiegeln.⁵ Umso fruchtbarer erweist sich die den Band konturierende Verschränkung eines systematischen

5 Koselleck 1979.

Vergleichs unterschiedlicher Technikfelder (Kybernetik beziehungsweise Künstliche Intelligenz, Bio- und Gentechnologie, Neue Energietechniken, Nanotechnologie) mit einem diachronen Vergleich. Die Wissenschafts- und Technikgeschichte und damit der Blick in vergangene Erfahrungsräume und Erwartungshorizonte hilft, den semantisch-diskursiven Konjunkturen Neuer Technologien sowie den Hypes und Flops, von denen die Innovationsgeschichte seit dem späten 19. Jahrhundert übervoll ist, auf die Spur zu kommen.⁶

Die Diskussionen der Beiträge selbst kreisen um die folgenden zentralen Problemkomplexe, die mithin einen Kern der Neuen Technologien bilden:

- um die Wertvorstellungen und Interessen der an der Produktion und Vernetzung von Technik beteiligten Akteure, vom Hersteller, Entwickler bis zum Nutzer. Dabei wird insbesondere auch betont, welche hohe Bedeutung Nutzerinnen und Nutzern für die Ausgestaltung und Durchsetzung Neuer Technologien am Markt zukommt, und dies nicht nur in Gestalt gleichsam passiver Nutzerkonstruktionen der Produzenten, sondern als aktive Ko-Konstrukteure von Technik an jener „consumption junction“, von der man hofft, dass an dieser Stelle die Verbrauchervorstellungen in die Technikentwicklung eingekoppelt werden;⁷
- um die Abgrenzung, aber auch die Verschmelzung von Grundlagenforschung, angewandter Forschung, technischer Entwicklung, Produktion und Anwendung von Technik. Hier sind die Übergänge fließend, ja das überkommene Kategorienschema zur Bestimmung unterschiedlicher Stufen eines linear gedachten Innovationsprozesses (Forschung, Erfindung, Investition, Entwicklung, Erprobung, Marktreife) wird der Rekursivität von Innovationsverläufen, bei denen wissenschaftliches Wissen und ökonomische Belange immer wieder in den Innovationsprozess eingekoppelt werden, nicht mehr gerecht. Nicht von ungefähr geht die historisch-sozialwissenschaftliche Technikforschung heute von Modellen der Technik- und Innovationsentwicklung aus, bei denen die Grenzen zwischen wissenschaftlichem und technischem Wissen durchlässig geworden sind. Ob es das Modell eines neuen Modus der Wissensproduktion ist, das durch eine Auflösung der Grenzen zwischen Wissenschaft, Politik und

6 Siehe dazu bes. Bauer 2006, sowie übergreifend Trischler/Steiner 2008.

7 Schwartz Cowan 1987; vgl. auch Zachmann 2002.

Wirtschaft gekennzeichnet ist, das Modell einer engen Koppelung von Wissenschaft, Wirtschaft, Staat und medial vermittelter Öffentlichkeit, das Modell einer Triple Helix von akademischer Wissenschaft, Wirtschaft und Politik oder das Modell einer Verschmelzung von Wissenschaft und Technik zu einer integrierten Technowissenschaft – stets werden die überkommenen, linear gedachten Kategorien als obsolet betrachtet. Hinzufügen könnte man noch, dass Kultur und Gesellschaft von bestehenden Technologien überfordert werden, umgekehrt aber auch die Kultur die Technikgestaltung mit beeinflusst. Diese kulturelle Fundierung findet sich aber nicht nur in der Technik, sondern auch in der Ökonomie, worauf jüngst noch einmal Nico Stehr hingewiesen hat,⁸

- um die inhärente Historizität von Technik und damit auch von Neuen Technologien. Jede Neue Technologie wird, in durchaus kurzen Zeitintervallen, zu veralteter Technik. Das gibt Anlass, über Zeithorizonte nachzudenken. Viele Techniken haben ihre Zukunft hinter sich, andere ihre Vergangenheit noch vor sich. Schaut man sich im diachronen Vergleich die vergangenen Zukünfte „alter“ Neuer Technologien an, stellt man nicht nur eine Wiederkehr von Bewertungs- und Akzeptanzdebatten aus der Vergangenheit mit häufig vergleichbaren Mustern fest, sondern auch argumentative Rekurse und damit eine enge semantische Verschränkung von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft;
- um den emphatischen Überschuss in der gesellschaftlichen Deutung Neuer Technologien. Die vielfach gehörte Rede vom strategischen Schlüsselcharakter Neuer Technologien für die Innovations- und Überlebensfähigkeit nationaler Wirtschaftssysteme in einer von Globalisierungsprozessen geprägten Zukunft sollte vielleicht etwas gelassener genommen werden – trotz der Ernsthaftigkeit, mit der sie vorgetragen wird. Ähnliches gilt für die Rhetorik der Begründung für die staatliche Forschungsförderung im Bereich der Neuen Technologien. Signifikant sind hier die Heiterkeit erregenden Bekenntnisse der Protagonisten, sich in ihrer Antragssemantik virtuos auf die inhaltlichen Konjunkturen staatlicher Forschungsförderung einzustellen und die Projektanträge mit förderpolitisch anschlussfähigen Leitbegriffen zu schmücken: Einige Zeit war alles Kybernetik, dann war alles Bio, und heute ist alles Nano. Hypes und Moden, Euphorie und Diskurskarrieren verlaufen denn auch, wenngleich zeit-

8 Stehr 2009.

versetzt, in verschiedenen Technologien und verschiedenen Bereichen recht ähnlich. In einem intertemporalen Lernprozess haben sich Muster der argumentativen Plausibilisierung und politischen Durchsetzung Neuer Technologien herausgebildet, wobei Technikentwicklung häufig auch zur Umgestaltung des soziopolitischen Raumes genutzt wird. Die Erkenntnis, dass der Technik inhärente Grenzen gesetzt sind – als signifikantes Beispiel wird häufig das Mooresche Gesetz der Mikroelektronik genannt –, führt zur Suche nach Alternativen, die aber nicht als Problemkonstellation wahrgenommen, sondern wiederum als Hoffnung auf Neue Technologien propagiert wird;

- um die Akteurkonstellation im Bereich der Neuen Technologien. Als Hauptakteure in den Debatten um Neue Technologien lassen sich Politik, Wissenschaft und Öffentlichkeit ausmachen, wobei letztere sich in der medialisierten Gesellschaft der Moderne nicht von ungefähr in den Medien konstituiert. Die nationalen Innovationssysteme, in deren eingeschränkten Feldern die Debatten um die Neuen Technologien sich immer noch weitgehend abspielen, stehen im Zeitalter der Globalisierung vor enormen Herausforderungen. Der Staat sieht sich unter Zugzwang, um im globalen Wettbewerb bestehen zu können. Dabei wird insbesondere im bundesdeutschen Fall oft übersehen, dass die herausragende Position des „Made in Germany“ auf den Weltmärkten weniger auf der Konkurrenzfähigkeit bei Neuen Technologien basiert, sondern auf der Fähigkeit zur Nutzung inkrementeller Innovationen. Hier liegt die Spezifik der deutschen Innovationskultur, deren Konturen erst im Blick auf lange, kulturell fundierte Entwicklungsprozesse hervortreten.⁹

Während im Innovationsgeschehen die Wirtschaft der dominante Akteur ist, fällt auf, dass ökonomische Akteure im Diskurs um die Neuen Technologien nur wenig in Erscheinung treten. Die weitgehende Absenz der Wirtschaft in den Inkubationsphasen Neuer Technologien ist für die Kerntechnik als diskursprägende Leittechnologie der späten 1950er ebenso nachgewiesen worden wie für die Kybernetik der 1960er Jahre. Sie lässt sich aber auch für die Bio- und Gentechnologie aufzeigen und heute für die Nanotechnologie beobachten. Hier gilt es, neue Modelle einer frühen Einbindung der Wirtschaft wie der

9 Vgl. dazu Trischler 2007.

Wirtschaftswissenschaften in die entsprechenden Diskussionen zu finden und zu erproben.

LITERATUR

- Bauer, R.: *Gescheiterte Innovationen. Fehlschläge und technologischer Wandel*, Frankfurt am Main: Campus 2006.
- Hoffmann, D.: *Max Planck. Die Entstehung der modernen Physik*, München: C. H. Beck 2008, S. 12.
- Kornwachs, K.: *Zuviel des Guten. Von Boni und falschen Belohnungssystemen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp 2009.
- Koselleck, R.: *Vergangene Zukunft. Zur Semantik geschichtlicher Zeiten*, Frankfurt am Main: Suhrkamp 1979.
- Liebert, W.-A./Weitze, M.-D. (Hrsg.): *Kontroversen als Schlüssel zur Wissenschaft. Wissenskulturen in sprachlicher Interaktion*, Bielefeld: transcript 2006.
- Planck, M.: *Physikalische Abhandlungen und Vorträge*, Band. 1., Braunschweig: Vieweg & Sohn 1948.
- Radkau, J.: Die Kernkraft-Kontroverse im Spiegel der Literatur. Phasen und Dimensionen einer neuen Aufklärung. In: Herrmann, A./Schumacher, R. (Hrsg.): *Das Ende des Atomzeitalters. Eine sachlich-kritische Dokumentation*, München: Moos & Partner 1987, S. 307-334.
- Schwartz Cowan, R.: The consumption junction. A proposal for research strategies in the sociology of technology. In: Bijker, W. u. a. (Hrsg.): *The social construction of technological systems. New directions in the sociology and history of technology*, Cambridge: MIT Press 1987, S. 261-280.
- Stehr, N.: *Die Moralisierung der Märkte. Eine Gesellschaftstheorie*, Frankfurt am Main: Suhrkamp 2009.
- Trischler, H.: „Made in Germany“: Die Bundesrepublik als Wissensgesellschaft und Innovationssystem, In: Hertfelder, T./Rödder, A. (Hrsg.): *Modell Deutschland. Erfolgsgeschichte oder Illusion?*, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 2007, S. 44-60.
- Trischler H./Steiner, K. J.: Innovationsgeschichte als Gesellschaftsgeschichte, In: *Geschichte und Gesellschaft* 34 (2008), S. 455-488.
- von Pierer, H./von Oetinger, B. (Hrsg.): *Wie kommt das Neue in die Welt?* München: Hanser, 1997.

Zachmann, K.: A socialist consumption junction. Debating the mechanization of housework in East Germany, 1956-1957. In: *Technology and Culture* 43 (2002), S. 73-99.

Autorenverzeichnis

Aumann, Philipp, Dr. phil., arbeitet als Wissenschaftshistoriker am Museum der Universität Tübingen. Neben Objektgeschichten und museumsspezifischen Fragen beschäftigt er sich mit der Wechselwirkung von Wissenschaft und Öffentlichkeit sowie dem Beitrag von Wissenschaft und Technik zur gesellschaftlichen Modernisierung. In diesem Bereich ist auch seine Dissertation zur Geschichte der Kybernetik in der Bundesrepublik Deutschland angesiedelt, die am Deutschen Museum angefertigt wurde.

Barben, Daniel, Prof. Dr. rer. pol., ist promovierter Politikwissenschaftler und habilitierter Soziologe. Seit April 2010 hat er die VDI-Professur für Zukunftsforschung am Institut für Politische Wissenschaft der RWTH Aachen inne. Forschungsschwerpunkte: Governance von Wissenschaft, Technik und Gesellschaft; reflexives und antizipatorisches Wissen/Regieren; Globalisierung, Transnationalität und Demokratie; Nachhaltigkeit. Gegenwärtige Forschungsinteressen in den Technologiefeldern: Biotechnologie, Nanotechnologie, Neurotechnologie, Biometrik, optische Technologien, Bauen, Energie, Geoengineering.

Behrendt, Frank, Prof. Dr., studierte Chemie in Aachen und Heidelberg, wo er 1989 promoviert wurde. 1999 folgte die Habilitation für das Fach „Technische Verbrennung“ an der Universität Stuttgart. Seit 2001 ist er Leiter des Fachgebiets „Energieverfahrenstechnik und Umwandlungstechniken regenerativer Energien“ an der TU Berlin. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die experimentelle Untersuchung reaktiver Zweiphasen-Strömungen sowie Modellierung und numerische Simulation derartiger Prozesse und ihre ökonomisch-ökologische

Bewertung. 2007 wurde er Sprecher des „Innovationszentrums Energie“ der TU Berlin. Er ist Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) und dort Sprecher des Themennetzwerkes „Energie und Ressourcen“.

Blümel, Clemens, Dipl.-Soz., studierte Soziologie, Psychologie und Kommunikationswissenschaften in Leipzig, Dresden und Berlin mit dem Schwerpunkt Wissenschafts- und Techniksoziologie. Zwischen 2007 und 2010 März war er wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung „Neue Technologien“ am Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung in Karlsruhe. Seit März 2010 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Humboldt-Universität Berlin. In seiner Doktorarbeit setzt er sich mit den Beziehungen und Anpassungsstrategien zwischen Förderorganisationen und Wissenschaftlern auseinander.

Bognar, Kristina, Dipl.-Ing., studierte Media Studies/International Business an der University of San Francisco und schloss 2008 an der TU Berlin das Studium des Wirtschaftsingenieurwesens mit Schwerpunkt Verkehr ab. Seit 2009 arbeitet sie am Fachgebiet „Energieverfahrenstechnik und Umwandlungstechniken regenerativer Energien“ an der TU Berlin. Der Schwerpunkt ihrer Arbeit liegt auf der technischen Entwicklung und ökonomischen Bewertung autonomer Energieinfrastrukturen.

Broy, Manfred, Prof. Dr. rer. nat., ist Inhaber des Lehrstuhls für Software & Systems Engineering an der Fakultät für Informatik der TU München. Er forscht auf dem Gebiet der Modellierung und Entwicklung komplexer softwareintensiver Systeme auf wissenschaftlicher Grundlage. Ziel ist die Fundierung und Weiterentwicklung der Methoden des Software & Systems Engineering mit Fokus auf Qualitätssicherung und langfristiger Systemevolution. Manfred Broy ist Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech).

Dittmann, Frank, Dr. phil., ist seit 2005 Kurator am Deutschen Museum. Er studierte Elektrotechnik an der TU Dresden, seine Promotion schloss er 1993 in Technikgeschichte mit einer Arbeit zur Geschichte der elektrischen Antriebstechnik ebenfalls in Dresden ab. Seit 1996 ist

er im Museumsbereich tätig. Seine Forschungsschwerpunkte hier sind Geschichte der Energie- und Elektrotechnik sowie der Kybernetik, Künstlichen Intelligenz und Robotik.

Friederich, Christoph, Dipl.-Ing. (Univ.), studierte Nanostrukturtechnik in Würzburg. Er ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Technische Elektronik der TU München und Doktorand auf dem Gebiet der NAND Flash Speicher. Weitere Arbeitsschwerpunkte sind Innovationsabläufe der Halbleiterindustrie und kommerzielle Potenziale der Nanoelektronik.

Gill, Bernhard, Prof. Dr. phil., lehrt und forscht am Institut für Soziologie der LMU München. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Wissenschafts-, Technik- und Umweltsoziologie sowie der Politischen Ökonomie und Wirtschaftssoziologie.

Günter, Sibylle, Prof. Dr. rer. nat., ist Professorin für Theoretische Physik, Wissenschaftliches Mitglied der Max-Planck-Gesellschaft und Direktorin am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching/Greifswald. Sie unterrichtet seit 2001 als apl. Professorin an der Universität Rostock, seit 2006 als Honorarprofessorin an der TU München. Sie arbeitet auf dem Gebiet der theoretischen Plasmaphysik mit den Schwerpunkten Magnetohydrodynamik und kinetische Theorie suprathemischer Teilchen.

Herzog, Otthein, Prof. Dr. rer. nat., war viele Jahre bei der IBM Deutschland in Forschung und Produktentwicklung tätig. Er lehrt und forscht seit 1993 an der Universität Bremen, seit 2010 auch an der Jacobs University Bremen. Seine Forschungsschwerpunkte sind Mobile Systeme, spatio-temporale Wissensrepräsentationen und die semantische Analyse von Bildern und Bildfolgen. Er ist Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) und leitete zusammen mit Thomas Schildhauer, IEB Berlin, das acatech-Projekt „Intelligente Objekte“.

Heymann, Matthias, Prof. Dr. phil., ist Associate Professor für Technikgeschichte an der Universität Aarhus in Dänemark. Sein Forschungsinteresse gilt der Geschichte der Umweltwissenschaften und der Umwelttechnik im 19. und 20. Jahrhundert, insbesondere der Ge-

schichte von Energietechniken und der Geschichte der Atmosphären- und Klimaforschung. Er hat Bücher und Artikel zur Geschichte der Windenergienutzung im 20. Jahrhundert, der Erdgasverflüssigung, der Nutzung von Wasserstoff als Energieträger und der Konstruktionswissenschaft publiziert.

Högselius, Per, Dr. phil., forscht und lehrt als Associate Professor am Institut für Technik- und Wissenschaftsgeschichte der Königlichen Technischen Hochschule Stockholm. Forschungsschwerpunkte sind internationale Energiegeschichte, Infrastrukturstudien sowie Ost-West-Beziehungen im Bereich Technik und Wissenschaft.

Kehrt, Christian, Dr. phil., studierte Philosophie und Geschichte in Tübingen und Stony Brook, NY. Er ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg und arbeitet auf dem Gebiet der Wissenschafts-, Technik-, und Umweltgeschichte. Am Deutschen Museum untersuchte er als Postdoktorand die historischen Vorläufer der Nanotechnologie. Seine Dissertation über die Technikerfahrten von Militärpiloten wurde im Rahmen des Graduiertenkollegs "Technisierung und Gesellschaft" der TU Darmstadt verfasst.

Konrad, Kornelia, Dr. phil., ist Assistant Professor für Dynamik und Bewertung neu entstehender Technologien an der Universität Twente/NL. Sie studierte Soziologie, Physik und Mathematik an der Universität Freiburg i.Br. und promovierte im Graduiertenkolleg „Technisierung und Gesellschaft“ an der TU Darmstadt. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen auf dem Gebiet der Wissenschafts-, Technik- und Innovationsforschung, insbesondere Erwartungsdynamiken im Bereich Neuer Technologien, konstruktiver Technikfolgenabschätzung und Sektortransformationen.

Kornwachs, Klaus, Prof. Dr., ist seit 1992 Professor für Technikphilosophie an der BTU Cottbus und Honorarprofessor für Philosophie an der Universität Ulm. Er studierte Physik, Mathematik und Philosophie u. a. in Tübingen und Freiburg. 1987 habilitierte er an der Universität Stuttgart. Er war u. a. von 1979 bis 1992 Abteilungsleiter bei der Fraunhofer-Gesellschaft und ist Träger des SEL-Forschungspreises für Technische Kommunikation. Er ist Mitglied der Deutschen Akademie

der Technikwissenschaften (acatech) und dort Sprecher des Themen-
netzwerks „Grundfragen der Technikwissenschaften“.

Mainzer, Klaus, Prof. Dr., ist Professor für Philosophie und Wissen-
schaftstheorie und Direktor der Carl von Linde-Akademie der TU
München. Seine Forschungsschwerpunkte sind u. a. Philosophie und
Grundlagen von Wissenschaft und Technik, Komplexe Systeme in
Natur und Gesellschaft, Kognition in technischen Systemen sowie
Künstliche Intelligenz. Er ist Autor international übersetzter Bücher
u. a. *Thinking in Complexity* (Springer, 5. Aufl. 2007), *Zeit. Von der
Urzeit zur Computerzeit* (C. H. Beck, 5. Aufl. 2005).

Milch, Isabella, ist nach dem Studium der Physik und Germanistik als
Wissenschaftsjournalistin tätig. Sie leitet die Abteilung für Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik in
Garching/Greifswald.

Nordmann, Alfred, Prof. Dr., ist Professor für Philosophie der Wis-
senschaften an der Technischen Universität Darmstadt. Sein histori-
sches Interesse gilt der Entstehung neuer Disziplinen, etwa der Elektri-
zitätstheorie und Chemie im 18. Jahrhundert, der Evolutionsbiologie
und Soziologie im 19. Jahrhundert, der Pflegewissenschaft und Nano-
forschung im 20. Jahrhundert. Weitere Forschungsschwerpunkte sind
u. a. die Entwicklung einer Philosophie der Technowissenschaften.

Radkau, Joachim, Prof. Dr., ist seit 1980 Professor für Neuere Ge-
schichte mit besonderer Berücksichtigung der Technikgeschichte an
der Universität Bielefeld. Er veröffentlichte zahlreiche Bücher, u. a.
Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft (1983); *Technik in
Deutschland* (1989, Neufassung 2008); *Natur und Macht – Eine Welt-
geschichte der Umwelt* (2000; amerikanische, chinesische und japani-
sche Übersetzung); *Max Weber – Die Leidenschaft des Denkens*. Seine
Forschungen bewegen sich im Dreieck zwischen Technik-, Umwelt-
und Medizingeschichte.

Renn, Ortwin, Prof. Dr. Dr. h.c., ist Ordinarius für Umwelt- und
Techniksoziologie an der Universität Stuttgart und Direktor des Inter-
disziplinären Forschungsschwerpunkts „Risiko und Nachhaltige Tech-
nikentwicklung“ am Internationalen Zentrum für Kultur- und Technik-

forschung (ZIRN). Er leitet das Forschungsinstitut DIALOGIK, dessen Fokus auf der Erforschung und Erprobung innovativer Kommunikations- und Partizipationsstrategien in Planungs- und Konfliktlösungsfragen liegt. Ortwin Renn ist Mitglied des Präsidiums der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech).

Schmitt-Landsiedel, Doris, Prof. Dr., ist Inhaberin des Lehrstuhls für Technische Elektronik an der TU München. Ihre Forschungsschwerpunkte sind elektronische Bauelemente und Schaltungen in Neuen Technologien sowie Entwurf zuverlässiger, verlustleistungsarmer integrierter Schaltungen. Vor ihrer Lehrtätigkeit arbeitete sie in der Zentralen Forschung und Entwicklung von Siemens im Bereich Festkörperphysik und Mikroelektronik. Sie ist Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech).

Schummer, Joachim, PD Dr. phil., ist Philosoph und Chemiker. Nach zahlreichen Gastprofessuren im In- und Ausland lehrt er zurzeit historische Wissenschaftsforschung an der Universität Bielefeld. Zur Nanotechnologie publizierte er als Autor bzw. Herausgeber u. a. *Nanotechnology: Spiele mit Grenzen* (2009), *Regulating Nanotechnologies* (2008), *Discovering the Nanoscale* (2004), *Nanotechnologies im Kontext* (2006).

Schübler, Peter, Dipl.-Soz., studierte Soziologie, Volkswirtschaftslehre und Psychologie in München und Edinburgh mit dem Schwerpunkt Wissenschafts- und Techniksoziologie. Zwischen 2003 und 2005 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter des Zentralinstituts für Geschichte der Technik der TU München. Seit 2006 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter des Forschungsinstituts für Technik- und Wissenschaftsgeschichte des Deutschen Museums. Er promoviert zum Thema der sozio-technischen Konstruktion der Nanotechnologie durch ihre Laborpraxis.

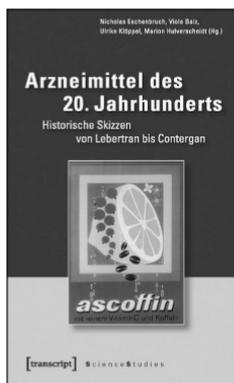
Trischler, Helmuth, Prof. Dr. phil., leitet den Bereich Forschung des Deutschen Museums und ist Professor für Neuere und Neueste Geschichte sowie Technikgeschichte an der LMU München. Seit 2009 ist er zudem Ko-Direktor des Rachel Carson Center for Environment and Society an der LMU München. Zu seinen Forschungsschwerpunkten

zählen die Wissenschafts- und Technikgeschichte des 19. und 20. Jahrhunderts sowie die historische Innovationsforschung.

Weitze, Marc-Denis, Dr. rer. nat., studierte Chemie, Physik und Philosophie. Er promovierte in Theoretischer Chemie an der TU München. Nach langjähriger Tätigkeit im Bereich der Wissenschafts- und Technikkommunikation am Deutschen Museum arbeitet er seit 2007 als wissenschaftlicher Referent in der Geschäftsstelle von acatech und betreut die Themennetzwerke Biotechnologie, Nanotechnologie sowie Materialwissenschaft und Werkstofftechnik.

Wieland, Thomas, Dr. rer. nat., studierte Mikrobiologie, Genetik, Biochemie und Geschichte der Naturwissenschaften. Als Stipendiat des Graduiertenkollegs „Wechselwirkungen zwischen Naturwissenschaften und Technik im deutschsprachigen Raum“ am Deutschen Museum in München promovierte er im Fach Geschichte der Naturwissenschaften an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Seit 1999 forscht und lehrt er am Münchner Zentrum für Wissenschafts- und Technikgeschichte. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die historisch informierte Innovationsforschung und die Geschichte der modernen Biowissenschaften.

Science Studies



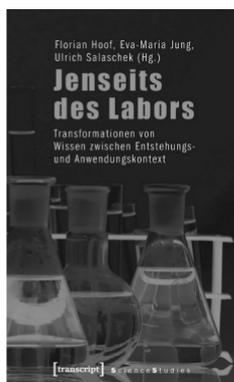
NICHOLAS ESCHENBRUCH,
VIOLA BALZ, ULRIKE KLÖPPEL,
MARION HULVERSCHEIDT (HG.)
Arzneimittel des 20. Jahrhunderts
Historische Skizzen
von Lebertran bis Contergan

2009, 344 Seiten, kart., zahlr. Abb., 19,80 €,
ISBN 978-3-8376-1125-0



JOCHEN HENNIG
Bildpraxis
Visuelle Strategien in der frühen
Nanotechnologie

Mai 2011, ca. 338 Seiten, kart.,
zahlr. z.T. farb. Abb., ca. 32,80 €,
ISBN 978-3-8376-1083-3



FLORIAN HOOF, EVA-MARIA JUNG,
ULRICH SALASCHEK (HG.)
Jenseits des Labors
Transformationen von Wissen zwischen
Entstehungs- und Anwendungskontext

Juli 2011, ca. 200 Seiten, kart., ca. 26,80 €,
ISBN 978-3-8376-1603-3

Leseproben, weitere Informationen und Bestellmöglichkeiten
finden Sie unter www.transcript-verlag.de

Science Studies



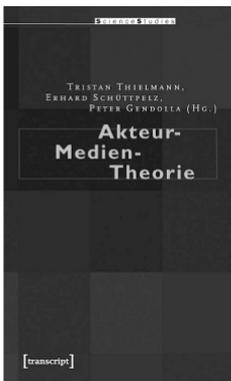
BERND HÜPPAUF,
PETER WEINGART (HG.)
Frosch und Frankenstein
Bilder als Medium der Popularisierung
von Wissenschaft

2009, 462 Seiten, kart.,
zahlr. z.T. farb. Abb., 32,80 €,
ISBN 978-3-89942-892-6



BIRGIT STAMMBERGER
Monster und Freaks
Eine Wissensgeschichte
außergewöhnlicher Körper
im 19. Jahrhundert

Februar 2011, 344 Seiten, kart., 32,80 €,
ISBN 978-3-8376-1607-1



TRISTAN THIELMANN,
ERHARD SCHÜTTPELZ,
PETER GENDOLLA (HG.)
Akteur-Medien-Theorie

Juni 2011, ca. 800 Seiten,
kart., zahlr. Abb., ca. 39,80 €,
ISBN 978-3-8376-1020-8

Leseproben, weitere Informationen und Bestellmöglichkeiten
finden Sie unter www.transcript-verlag.de

Science Studies

RALF ADELMANN,
JAN FRERCKS,
MARTINA HESSLER,
JOCHEN HENNIG
Datenbilder
Zur digitalen Bildpraxis
in den Naturwissenschaften
2009, 224 Seiten, kart.,
zahlr. z.T. farb. Abb., 25,80 €,
ISBN 978-3-8376-1041-3

VIOLA BALZ
**Zwischen Wirkung
und Erfahrung –
eine Geschichte
der Psychopharmaka**
Neuroleptika in
der Bundesrepublik
Deutschland, 1950-1980
2010, 580 Seiten, kart.,
zahlr. Abb., 36,80 €,
ISBN 978-3-8376-1452-7

CHRISTOPHER COENEN,
STEFAN GAMMEL,
REINHARD HEIL,
ANDREAS WOYKE (HG.)
**Die Debatte über
»Human Enhancement«**
Historische, philosophische
und ethische Aspekte
der technologischen
Verbesserung des Menschen
2010, 334 Seiten, kart., 31,80 €,
ISBN 978-3-8376-1290-5

MICHAEL EGGERS,
MATTHIAS ROTHE (HG.)
**Wissenschaftsgeschichte
als Begriffsgeschichte**
Terminologische Umbrüche
im Entstehungsprozess der
modernen Wissenschaften
2009, 274 Seiten, kart., 27,80 €,
ISBN 978-3-8376-1184-7

JOHANNES FEICHTINGER
**Wissenschaft als
reflexives Projekt**
Von Bolzano über Freud
zu Kelsen: Österreichische
Wissenschaftsgeschichte
1848-1938
2010, 636 Seiten, kart., 42,80 €,
ISBN 978-3-8376-1523-4

ENRIQUE FERNÁNDEZ DARRAZ,
GERO LENHARDT,
ROBERT D. REISZ,
MANFRED STOCK
**Hochschulprivatisierung
und akademische Freiheit**
Jenseits von Markt und Staat:
Hochschulen in der
Weltgesellschaft
2010, 200 Seiten, kart., 24,80 €,
ISBN 978-3-8376-1612-5

GABRIELE GRAMELSBERGER
Computerexperimente
Zum Wandel der Wissenschaft
im Zeitalter des Computers
2010, 316 Seiten, kart., 29,80 €,
ISBN 978-3-89942-986-2

WILFRIED HEINZELMANN
**Sozialhygiene als Gesundheits-
wissenschaft**
Die deutsch/deutsch-jüdische
Avantgarde 1897-1933. Eine
Geschichte in sieben Profilen
2009, 422 Seiten, kart.,
zahlr. Abb., 29,80 €,
ISBN 978-3-8376-1144-1

THOMAS KAILER
Vermessung des Verbrechers
Die Kriminalbiologische
Untersuchung in Bayern,
1923-1945
2010, 440 Seiten, kart., 35,80 €,
ISBN 978-3-8376-1614-9

**Leseproben, weitere Informationen und Bestellmöglichkeiten
finden Sie unter www.transcript-verlag.de**