

Ulrich Dolata

**Soziotechnischer Wandel, Nachhaltigkeit
und politische Gestaltungsfähigkeit**

**artec-paper Nr. 124
Sept. 2005**

ISSN 1613-4907



artec - Forschungszentrum Nachhaltigkeit
Enrique-Schmidt-Str. 7
Postfach 330 440
28334 Bremen
<http://www.artec.uni-bremen.de>

Forschungszentrum Nachhaltigkeit (artec)

Universität Bremen
Seminar- und Forschungsverfügungsgebäude (SFG)
Enrique-Schmidt-Str. 7
Postfach 33 04 40

D-28334 Bremen
Telefon: +49-421-218-2435
Telefax: +49-421-218-4449

e-Mail: sek@artec.uni-bremen.de
www.artec-uni-bremen.de

Ansprechpartnerin: Andrea Meier Tel: +49-421-218-4501
e-Mail: andrea.meier@artec.uni-bremen.de

Das Forschungszentrum Nachhaltigkeit ist eine Zentrale Wissenschaftliche Einrichtung der Universität Bremen. Es wurde 1989 zunächst als Forschungszentrum **Arbeit** und **Technik** (artec) gegründet. Seit Mitte der 90er Jahre werden Umweltprobleme und Umweltnormen in die artec-Forschung integriert. Das Forschungszentrum bündelt heute ein multidisziplinäres Spektrum von - vorwiegend sozialwissenschaftlichen - Kompetenzen auf dem Gebiet der Nachhaltigkeitsforschung. „artec“ wird nach wie vor als ein Teil der Institutsbezeichnung beibehalten.

Das Forschungszentrum Nachhaltigkeit gibt in seiner Schriftenreihe „artec-paper“ in loser Folge Aufsätze und Vorträge von MitarbeiterInnen sowie ausgewählte Arbeitspapiere und Berichte von durchgeführten Forschungsprojekten heraus.

Inhalt

1. Technik	6
2. Wandel	9
3. Akteure	13
4. Politik	16
5. Nachhaltigkeit	20
Literatur	26

Dieser Text ist für den artec-Workshop „Change! Gerichteter Wandel zur Nachhaltigkeit“ geschrieben worden, der am 20. Juni und 1. Juli 2005 an der Universität Bremen stattgefunden hat. Er wird in der Publikation zum Workshop erscheinen.

Die Befassung mit den (politischen) Gestaltungsmöglichkeiten des technischen Wandels ist für die Suche nach Ansatzpunkten einer ökologisch nachhaltigeren Entwicklung in zweierlei Hinsicht interessant. Zum einen stehen Technikentwicklung und Nachhaltigkeit in einer engen Wechselbeziehung zueinander: Vorhandene und neue Techniken sind oft nicht nur wesentliche (Mit-)Verursacher ökologischer Problemlagen; technische Innovationen können – neben der Veränderung von Lebensstilen und sozioökonomischen Transformationen – zugleich auch einen wichtigen Beitrag zu ihrer Abschwächung oder Überwindung liefern. Und zum anderen ist Wandel ein exponiertes Thema der sozialwissenschaftlichen Technik- und Innovationsforschung: Sie befasst sich ‚naturgemäß‘ weniger mit Zuständen und Gleichgewichten als mit soziotechnischen Dynamiken und Umbrüchen und kann Hinweise dazu beisteuern, wie sich Wandlungsprozesse vollziehen und welche Möglichkeiten eines gezielten politischen Einwirkens auf deren Dynamiken und Richtungen es gibt.

Wie also verlaufen Prozesse soziotechnischen Wandels? Lassen sie sich zielgerichtet gestalten oder gar steuern? Welche Rolle spielen in diesem Zusammenhang politische Initiativen, Instanzen und Institutionen? Und: Inwiefern lassen sich die Erkenntnisse zum soziotechnischen Wandel und zur politischen Technikgestaltung für die Frage nach Ansatzpunkten einer ökologisch nachhaltigeren Technikentwicklung nutzen?

Ausgehend von diesen Fragen möchte ich in diesem Aufsatz ein Puzzle aus fünf Teilen zusammensetzen. Ich werde zunächst (1.) versuchen zu klären, was Technik selbst heute alles sein kann – und wie ihre Genese und Diffusion auf Prozesse des sozioökonomischen Wandels zurückwirkt. Daran anschließend werde ich (2.) verschiedene Varianten soziotechnischen Wandels voneinander unterscheiden und deren typische Charakteristika und Verlaufsformen skizzieren. In einer weiteren Vorabklärung nehme ich (3.) wesentliche soziale Träger des Wandels in den Blick: ihre Ausdifferenzierung, Handlungsorientierungen und Interaktionsmuster. Auf dieser Grundlage werde ich (4.) anhand der staatlichen Technologie- und Innovationspolitik herausarbeiten, über welche Einwirkungs- und Gestaltungsmöglichkeiten die Politik in der ‚dizzy atmosphere‘ außerordentlicher technologischer Dynamiken und unübersichtlicher sozialer Handlungsträgerschaften heute noch verfügt. Schließlich – darauf läuft alles hinaus – werde ich (5.) danach fragen, wie sich die technologie- und innovationspolitischen Gestaltungsmöglichkeiten und -erfahrungen für die politische Mitgestaltung einer nachhaltigkeitsorientierten Technikentwicklung nutzen und weiterentwickeln lassen.

1. Technik

Seit der Verabschiedung vom Technikdeterminismus ausgangs der achtziger Jahre (Lutz 1987) wird Technikentwicklung mit einigem Recht als sozialer Prozess begriffen, dessen konkrete Ausformungen maßgeblich von gesellschaftlichen Akteuren hervorgerufen und von vergleichsweise ergebnisoffenen sozialen Konstruktions-, Definitions- und Aushandlungsvorgängen geprägt werden (klassisch: Bijker et al. 1987; Bijker/Law 1992; auch: Dierkes/Hoffmann 1992). Technik ist freilich, dies wurde mit der sozialkonstruktivistischen Wende in der Technikforschung lange Zeit unterschätzt, nicht bloß das kontingente Ergebnis sozialer Prozesse. Technologische Veränderungen und neue Techniken wirken zugleich in vielfältiger Weise (re-)strukturierend auf soziale Zusammenhänge, auf gesellschaftliche und auch auf ökologische Reproduktionsmuster zurück: Sie prägen Organisationsmuster und interorganisationale Beziehungen, begründen neue Regulierungserfordernisse und üben einen mehr oder minder tiefgreifenden Veränderungsdruck auf vorhandene gesellschaftliche Institutionen und Systemstrukturen aus (Kitschelt 1991; Nelson 1994; Werle 2003; Dolata 2003).¹ Technik ist also, dies ist als erstes festzuhalten, nicht nur soziales Konstrukt, sondern zugleich ein prägender Einflussfaktor des sozioökonomischen Wandels und wirkt als solcher in z.T. sehr weitreichender Weise (re-)strukturierend auf soziale Handlungsbedingungen und -erfordernisse zurück.

Technik kann allerdings, dies ist als zweites zu berücksichtigen, vieles Verschiedenes sein. Technik – das sind heute nicht nur einzelne Artefakte oder zum Teil weitläufig vernetzte technische Systemarchitekturen, sondern auch Methoden, Verfahren oder Programme. Viele avancierte Techniken – Roboter, Software-Techniken oder Multiagentensysteme – lassen sich überdies nicht mehr auf eine passive Objektrolle festlegen, sondern ‚handeln‘ in der einen oder anderen Weise mit: Sie sind aktiv, interaktiv oder intelligent geworden und nicht mehr gänzlich in ihren Abläufen vorab festgelegt und kontrollierbar. Werner Rammert und Ingo Schulz-Schaeffer (2002; Rammert 2003) unterscheiden in ihrem Konzept gradualisierten Handelns dementsprechend verschiedene Techniken nach dem Grad ihres Mithandelns im Rahmen soziotechnischer Zusammenhänge.

Moderne Techniken differieren allerdings nicht nur in ihren technischen Ausprägungen und im Grad technischen Mithandelns substanziell voneinander, sondern variieren zugleich in ihren möglichen sozialen Organisationsformen, Regulierungserfordernissen und Wirkungen. Großtechniken, technische Infrastruktursysteme, wissensbasierte Querschnittstechnologien oder individuell nutzbare Alltagstechniken unterscheiden sich in ihren technischen Spezifikationen wie in ihren sozioökonomischen Organisationsformen und Wirkungen signifikant voneinander. Dies legt, auch mit Blick auf ihre politische Mitgestaltung und soziale Beherrschbarkeit, ebenfalls nahe, Techniken zu klassifizieren und Techniktypen mit distinkten Eigenheiten und sozioökonomischen Rückwirkungen voneinander zu unterscheiden.

¹ Das Auto beispielsweise prägt nicht nur die Verkehrsinfrastrukturen, Mobilitätsmuster und Lebensstile moderner Gesellschaften, sondern auch etwa deren städtische und ländliche Raumstrukturen oder deren Industriestrukturen. Die Globalisierung der Finanzmärkte wäre ohne avancierte Informations- und Kommunikationstechniken nicht denkbar. Die Gentechnik hat weitreichende (inter-)organisationale Restrukturierungen der Pharmaindustrie und neuartige politische Regelungsbedarfe ausgelöst. Das Internet schließlich wirkt restrukturierend auf den Handel und auf gesellschaftliche Konsummuster ebenso wie auf die Organisation staatlicher Verwaltungsprozesse, auf den sektoralen Wandel oder auf rechtliche Rahmensetzungen zurück.

Charles Perrow (1984, 1986) etwa hat in seinen Untersuchungen zu komplexen Organisationen und zur Störanfälligkeit von technischen Systemen eine einfache zweidimensionale Typologie vorgelegt, die technische Systeme nach dem Grad ihrer Kopplung (lose vs. eng) und ihrer Komplexität (komplexe vs. lineare Interaktion) unterscheidet – und ihnen unterschiedliche, jeweils ‚passende‘ Governance-Strukturen zugewiesen.² Ähnlich wie Perrow betont auch Herbert Kitschelt (1991), dass es eine enge Wechselbeziehung zwischen den charakteristischen Eigenheiten voneinander unterscheidbarer Techniktypen und jeweils dazu passenden (nationalen und sektoralen) Governance-Strukturen gibt. Die konkreten Verlaufsformen und Ausprägungen von neuen Techniken werden seines Erachtens zwar von den jeweiligen nationalen und sektoralen Bedingungen beeinflusst, unter denen sie entstehen und angeeignet werden. Gleichzeitig üben neue Techniken allerdings einen mehr oder minder weitreichenden Veränderungsdruck auf die vorfindlichen institutionellen Strukturen aus, da sie zu ihrer effizienten Entwicklung und Nutzung nach neuen adäquaten Governance-Mustern verlangen. Seine vor allem auf sektorale Wandlungsprozesse bezogene These ist folglich, „that technological features are one of the major factors shaping the institutions of industrial sectors“ (492): „Industrial sectors, identified by core technologies, efficiently operate only if governance structures match technological constraints.“ (468)

An diese Überlegungen anknüpfend verfolge ich selbst seit geraumer Zeit die Idee, die soziökonomischen Wirkungen und Strukturierungsleistungen, die von der jeweiligen Technik ausgehen, über eine offen kombinierbare Typisierung mit den folgenden Klassifizierungsmerkmalen zu erfassen (Dolata 2003: 93-102):

- *Größenordnungen, Komplexität und Kopplung.* Handelt es sich um eine organisations- und kapitalintensive Großtechnik, um ein großräumig vernetztes technisches (Infrastruktur-)System oder um ein kleinformatiges und dezentral prozessierendes Technikfeld?
- *Reichweiten, Homogenität/Heterogenität.* Handelt es sich um eine Technik mit einem klar eingrenzbaaren Entstehungs- und Funktionsbezug oder um eine heterogen strukturierte Querschnittstechnologie, die in verschiedenen Zusammenhängen entsteht und in verschiedenen Sektoren jeweils spezifisch genutzt werden kann?
- *Grad der Wissensbasiertheit.* Handelt es sich um ein auf akademischer Grundlagenforschung aufbauendes wissensbasiertes Technikfeld oder um eine praxisorientierte, auf anwendungsnahem Ingenieurwissen gründende Technik?
- *Grad des technischen Mithandelns.* Handelt es sich um eine passive, auf ihre reine Objektrolle reduzierbare Technik oder um eine aktive, interaktive oder transaktive Technologie, in der Handlungsträgerschaft auf menschliche und nichtmenschliche Instanzen verteilt ist?

² Während seines Erachtens eng gekoppelte Systeme mit linearen Interaktionen (z.B. der Schienen- und Schiffstransport, der Betrieb von Staudämmen) zentralisierte Organisationsformen nahe legen, verlangen lose gekoppelte Systeme mit komplexen Interaktionen (z.B. industrielle Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten) nach dezentralisierten Koordinationsnetzwerken. Vergleichsweise offen, sowohl zentralisier- als auch dezentralisierbar, sind die Organisationsmuster in lose gekoppelten Systemen mit linearer Interaktion (z.B. Fließbandproduktion oder Produktionsprozesse in verarbeitenden Industrien). Organisatorisch kaum adäquat beherrschbar und mit einem entsprechend hohen Katastrophenpotential ausgestattet sind dagegen seines Erachtens eng gekoppelte Systeme mit komplexen Interaktionen (z.B. Kernkraftwerke oder großchemische Anlagen).

- *Nutzungsmuster und -voraussetzungen.* Handelt es sich um eine individuell und eigenwillig nutzbare Alltagstechnik, eine nur industriell verwendbare Investitionsgütertechnik oder eine Großtechnik, die sich individueller Handhabung und Umnutzung völlig entzieht?
- *Eingriffstiefe und Entwicklungsdynamik.* Handelt es sich um ein paradigmatisch neues Technikfeld, in dessen Umfeld radikale Innovationen mit weitreichenden sozioökonomischen Wirkungen hervorgebracht werden, oder um eine bereits etablierte Technik mit inkrementellen Verlaufsformen?

Die Beantwortung dieser Fragen lässt erste Rückschlüsse auf die sozioökonomische Konstitution neuer Techniken zu. Meine These ist, dass sich entlang dieser Klassifizierungsmerkmale für jede Technik distinkte Strukturmerkmale identifizieren lassen, die in unterscheidbarer Weise filternd und sortierend auf die dort möglichen Organisationsalternativen, Interaktionsformen und Institutionalisierungsmuster zurückwirken. So lassen sich z.B. kapital- und organisationsintensive Großtechniken oder große technische Infrastruktursysteme nicht derart dezentral und marktförmig entwickeln, organisieren und betreiben wie kleinformatische und anwendungsoffene neue Querschnittstechnologien. In neuen wissensbasierten Technikfeldern sind akademisch-industrielle Interaktionsbeziehungen weitaus typischer als in Technikfeldern, die vornehmlich auf anwendungsorientiertem Ingenieurwissen basieren. Anders als in bereits etablierten Technikfeldern provozieren paradigmatisch neue Technikfelder in aller Regel nicht nur signifikante industrielle Anpassungs- und Restrukturierungsprozesse, sondern verlangen auch nach neuartigen rechtlichen Regelungen und politischen Gestaltungsansätzen. Individuell verwendbare Alltagstechniken schließlich werden in weit stärkerem Maße von ihrer eigenwilligen (Um-)Nutzung durch die privaten Konsumenten mitgeprägt als etwa konsumferne Groß- oder Investitionsgütertechniken.

Kurzum: Je nach dem Typ der Technik, um den es geht, variieren die Akteurfigurationen und Interaktionsbeziehungen, Regelungsbedarfe und Institutionalisierungsmuster signifikant voneinander. Die spezifischen Strukturmerkmale einer Technik tragen zur Ausprägung distinkter sozioökonomischer Handlungs-, Organisations- und Institutionalisierungskorridore bei und begrenzen die Wahlmöglichkeiten der involvierten Akteure zwischen grundsätzlich vorhandenen Gestaltungsoptionen und -alternativen.³ Dem hat auch die politische Einflussnahme auf neue Techniken und den technischen Wandel Rechnung zu tragen: Sie muss, soll sie nicht ins Leere laufen, zur Technik, um die es jeweils geht, passen.

³ Mit dem Begriff des Korridors wird freilich zugleich betont, dass spezifische Techniktypen dies keineswegs in determinierender Weise tun. Sie lassen Spiel-Räume für soziale Suchprozesse nach geeigneten Organisations-, Interaktions-, und Institutionalisierungsformen, die immer auch innerhalb eines Technikfeldes, etwa von Unternehmen zu Unternehmen oder von Land zu Land, variieren – wenn auch nicht in völlig beliebiger Weise. Hinzu kommt, dass Techniktypen keine statischen und ahistorischen Gebilde sind, sondern selbst einem permanenten, von Fall zu Fall mehr oder minder ausgeprägten technischen und sozialen Veränderungsdruck unterliegen. Sie entstehen, werden reproduziert und modifiziert über rekursive Wechselspiele zwischen neuen technischen Möglichkeiten und sozioökonomischen Such-, Selektions- und Aneignungsprozessen. Mit den insbesondere im Zuge tiefgreifender technologischer Umbrüche ausgelösten Veränderungen charakteristischer Eigenheiten eines Techniktyps modifizieren sich daher zugleich die durch sie mitkonstituierten Akteurfigurationen, Handlungs-, Organisations- und Interaktionskorridore.

2. Wandel

Technik ist also nicht gleich Technik. Und technischer Wandel ist nicht gleich technischer Wandel. Auch dessen Reichweiten und Verlaufsformen können beträchtlich variieren. In der innovationsökonomischen Forschung werden daher verschiedene Typen technischen und damit verbundenen sozioökonomischen Wandels voneinander unterschieden, von denen in unserem Zusammenhang die letzten beiden besonders interessant sind (Freeman/Perez 1988; Henderson/Clark 1990):

- *Inkrementelle Innovationen* (incremental innovations), die kontinuierlich in jedem Industrie- bzw. Dienstleistungssektor entstehen und deren Produkte verbessern bzw. Produktivität erhöhen, allerdings nur geringe Effekte sowohl auf den Wandel der vorhandenen Produkte und Verfahren als auch auf die etablierten Industriestrukturen, Regulierungserfordernisse und Governancemuster haben. Der Katalysator für Autos ist hierfür eins von zahllosen Beispielen.
- *Architektonische Innovationen* (architectural innovations), die die Gesamtarchitektur vorhandener Produkte neu konfigurieren, deren einzelne technische Komponenten dagegen nicht oder nur geringfügig verändern, damit etablierte Marktführer unter Anpassungsdruck setzen und zugleich Spielräume für neue Unternehmen schaffen. Der Wandel von Kopiergeräten zu Massenprodukten ist ein solcher Fall.
- *Radikale Innovationen* (radical innovations), die eher diskontinuierlich entstehen, ungleich über verschiedene Sektoren verteilt sind, durchaus strukturelle Effekte, etwa in Form der Entstehung neuer Märkte oder Firmen auslösen, die allerdings, solange sie sich nicht zu einem größeren Cluster an Innovationen verdichten, in ihren sozioökonomischen Wirkungen begrenzt bleiben. Die Entwicklung von Nylon oder der Anti-Babypille sind Beispiele für derartige Innovationen.
- *Wandel technologischer Systeme* (changes of technology system), deren Ausgangspunkte weitreichende Umbrüche eines Technikfeldes durch eine größere Zahl radikaler Innovationen sind, welche die Strukturen mehrerer Industriesektoren berühren oder die Herausbildung neuer Sektoren begünstigen und die involvierten Akteure zu signifikanten organisationalen, strategischen und institutionellen Anpassungsprozessen zwingen. Petrochemische Innovationen, m.E. aber auch die neue Biotechnologie zählen dazu.
- *Technologische Revolutionen* (changes in techno-economic paradigm) schließlich, die in ihren Wirkungen so weitreichend sind, dass sie nicht nur zu einer Vielzahl neuer Produkte, Dienstleistungen und Industrien führen, sondern direkt oder indirekt nahezu jeden Industriezweig berühren und zu ihrer Entwicklung und Nutzung eines neuen Set an (inter)organisationalen, regulativen und institutionellen Governancemustern benötigen. Neue universell einsetzbare Informations- und Kommunikationstechnologien gelten hierfür als paradigmatischer Fall.

Seit dem Übergang von den siebziger zu den achtziger Jahren wird der soziotechnische Wandel von einer solchen Phase tiefgreifender technologischer Umbrüche mit weitreichenden sozioökonomischen Rückwirkungen geprägt. In ihrem Zentrum stehen zwei paradigmatisch neue Technologiecluster: Zum einen und vor allem anderen neue, universell verwend- und vernetzbare digitale Informations- und Kommunikationstechnologien, die dem seltenen Typ technologischer Revolutionen zuzurechnen sind, welche „not only revolutionize just one leading economic sector but transform the entire eco-

onomy and ultimately the rest of society as well“ (BRIE-IGCC E-conomy Project 2001: 3). Und zum anderen die neue Biotechnologie, mit deren Methoden und Verfahren die zuvor nicht denkbare gezielte Rekombination biologischen Materials ermöglicht wird, deren sozioökonomische Wirkungen allerdings längst nicht so weitreichend und bislang auf die medizinische Forschung und Pharmaindustrie, die Landwirtschaft, Agrochemie und Lebensmittelproduktion begrenzt sind (Dolata 1996). Pervasive Informatisierung der Gesellschaft und gezielte Rekombination der Natur – dies sind die m.E. wesentlichen Signaturen des gegenwärtigen soziotechnischen Wandels.

Welche Charakteristika und Verlaufsformen sind typisch für derartige Phasen radikalen Wandels?

Für beide Technologiecluster lassen sich wie für jede andere Technik auch historisch verschiedene soziotechnische Entwicklungsstadien mit jeweils distinkten wissenschaftlich-technischen Prägefaktoren und sozioökonomischen Kernkonstellationen identifizieren (Weyer et al. 1997). Die Genese beider Technikfelder reicht bis in die vierziger Jahre zurück; der Übergang von den siebziger zu den achtziger Jahren markiert in beiden Fällen den entscheidenden Entwicklungssprung: In dieser Zeit beginnt sowohl die fulminante ökonomischen Diffusion und gesellschaftliche Verbreitung neuer Informations- und Kommunikationstechniken als auch die anwendungsorientierte kommerzielle Nutzung neuer biotechnologischer Methoden und Verfahren. Die Entwicklungsgeschichte neuer Technikfelder lässt sich allerdings nicht als lineare und zeitlich sequenzialisierbare, von klaren Schnittstellen geprägten Abfolge von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung und experimentelle Entwicklung bis hin zur industriellen Diffusion modellieren, wie sie traditionelle Kaskadenmodelle unterstellt haben (Bush 1945). Oft basiert auch radikaler technischer Wandel gar nicht auf grundlagenorientiertem Wissen. In vielen Fällen ist es typischer, „that the technology, or a primitive version of it, came first, and the ‚science‘ or engineering discipline developed to support it.“ (Nelson 1993: 7; Mokyr 2002)⁴ Und auch in neuen hochgradig wissensbasierten Technologiefeldern (wie der Bio- oder auch der Nanotechnologie) gibt es keine klaren Schnittstellen und Übergabepunkte etwa zwischen akademischer Forschung, industrieller Entwicklung, politischer Regulierung und gesellschaftlicher Nutzung: Die sukzessive industrielle Erschließung und Aneignung neuer technischer Möglichkeiten geht hier auch über längere Zeiträume mit einer anhaltend hohen Bedeutung grundlagenorientierter Forschung, einer entsprechend hohen Intensität akademisch-industrieller Kooperationsbeziehungen, einer permanenten Neujustierung ihrer regulativen Einfassung durch die Politik und vergleichsweise verlaufsoffenen Suchprozessen nach gesellschaftlichen Verwendungsmöglichkeiten einher (Schmoch 1996). Nicht lineare Stufenabfolgen mit klaren Übergabepunkten, sondern unsaubere Schnittstellen, intensive In-terpenetrationen und rekursive Schleifen zwischen den verschiedenen Ebenen des

⁴ Benn Steil, David G. Victor und Richard R. Nelson (2002: 9) betonen, „that science played essentially no role in the emergence of steam power and the technological revolution that it caused in the late eighteenth century; nor did basic science play much role in the emergence of industrial steelmaking in the nineteenth century and the industrial revolution that it gave rise to in areas such as railroad transport. Rather, science and technology often ran in the opposite direction – the invention of the steam engine, for example, helped to create the field of modern thermodynamics. Today, even though organized science is playing a central role in biotechnology, medicine, chemicals, and semiconductors, a good deal of technological change in these fields is the byproduct of incremental tinkering and engineering rather than changes in fundamental knowledge.“

Forschungs-, Innovations-, Institutionalisierungs- und Verwendungsprozesses prägen die Verlaufsformen des Wandels (Braun-Thürmann 2005).⁵

Hinzu kommt, dass auch qualitative technologische Entwicklungssprünge keineswegs mit einmaligen und radikalen sozioökonomischen Umbrüchen in kurzen Fristen einhergehen, sondern längere „periods of mismatch“ (Dosi et al. 1988: 11) anstoßen, in denen sich etablierte Unternehmen und Industriesektoren sukzessive rekonfigurieren, neue Firmen, Branchen und Marktsegmente entstehen, Organisationsstrukturen, Kooperations- und Konkurrenzmuster verändern, Konsumpräferenzen verschieben und politische Förder- und Regulierungsansätze erneuern. Am Ende eines solchen, mehrere Jahrzehnte umspannenden Prozesses sind die mit ihm einhergegangenen technischen und sozioökonomischen Veränderungen außerordentlich – allerdings nicht als Ergeb-

⁵ Ich möchte dies für die Biotechnologie konkretisieren, für die sich m.E. bislang drei soziotechnische Entwicklungsphasen voneinander unterscheiden lassen (Dolata 2003). In der ersten Phase zwischen Mitte der vierziger und Ende der sechziger Jahre wurden die theoretischen Grundlagen für den praktischen Einsatz neuer Techniken genetischer Manipulation geschaffen. Diese Phase wurde eindeutig dominiert von der akademischen Grundlagenforschung, die vor allem in den Vereinigten Staaten sehr früh durch entsprechende staatliche Förderprogramme im Rahmen der Gesundheitsforschung unterstützt wurde. Industrielle Akteure und kommerzielle Interessen spielten in dieser Periode noch keine nennenswerte Rolle. In der zweiten Phase (die siebziger Jahre) begann der Übergang von rein grundlagenorientierter Forschung zur experimentellen Praxis genetischer Manipulation. Damit einher gingen (vornehmlich wiederum in den USA) erste innerakademische Diskussionen über die möglichen Risiken der Technik, erste staatliche Rechtsetzungsaktivitäten und – ab der zweiten Hälfte des Jahrzehnts – eine erste Gründungswelle spezialisierter Biotechnologiefirmen. Anfang der achtziger Jahre schließlich begann die dritte Phase der kommerziellen Erschließung und Diffusion des neuen Technikfeldes – allerdings nicht in der Form einer schlichten Ablösung grundlagenorientierter Forschungsaktivitäten und Abschöpfung akkumulierter akademischer Wissensbestände durch die Industrie, sondern als rekursiver Prozess, der auch heute noch von intensiven Interpenetrationen und Rückkoppelungen zwischen Grundlagenforschung, Anwendungsorientierung und Kommerzialisierung geprägt ist. Neben zahllosen neugegründeten Biotechnologiefirmen haben sich seit den achtziger Jahren die etablierten Konzerne der pharmazeutischen und agrochemischen Industrie zu wesentlichen Trägern des Kommerzialisierungsprozesses entwickelt. Die Förderung der biotechnologischen Forschung und Innovationstätigkeit sowie die Etablierung rechtlicher Rahmenbedingungen sind ins Zentrum der staatlichen Technologie-, Innovations- und Rechtsetzungspolitik gerückt. Die akademische Wissenschaft hat ihren zuvor autonomen, von Industrie und Gesellschaft weitgehend abgeschotteten Status verloren. Und die kontroversen Beurteilungen dieser Technik haben langanhaltende gesellschaftliche Auseinandersetzungen um die Chancen und Risiken dieses Technikfeldes ausgelöst. Im Zuge des Diffusionsprozesses haben neue biotechnologische Methoden, Verfahren und Techniken allerdings keineswegs konventionelle Techniken, Forschungs- bzw. Entwicklungsmethoden und Herstellungsverfahren abgelöst und zu einer radikalen Entwertung bestehenden know-hows geführt, sondern sind als neue Forschungswerkzeuge und Produktionsverfahren sukzessive in bestehende Abläufe integriert worden. Nicht die Ablösung alter durch neue Technik oder – weiter formuliert – eines alten durch ein neues Paradigma prägt den Innovationsprozess in den wichtigen Anwendungsbereichen der neuen Biotechnologie, sondern ihre Integration und Kumulation. Darüber hinaus hat die industrielle Nutzung des Technikfeldes mit der Etablierung einer großen Zahl neuer Biotechnologiefirmen, weitreichenden organisationalen und strategischen Neuausrichtungen etablierter Großunternehmen oder dem signifikanten Wachstum neuartiger Formen innerindustrieller und akademisch-industrieller Kooperationsbeziehungen zwar beträchtliche Restrukturierungsprozesse in den betroffenen Industriebranchen, vor allem in der Pharmaindustrie ausgelöst. Sie hat jedoch keinen eigenständigen neuen Industriezweig mit neuen Akteuren und neuen Märkten etabliert. Und sie hat auch die etablierten Industriestrukturen weder in der Pharma- noch in der Agrochemieindustrie radikal verändert: Die etablierten Großunternehmen sind seit den achtziger Jahren zwar unter einem beträchtlichen Restrukturierungsdruck geraten, haben ihre dominante Marktposition allerdings keineswegs an neugegründete Biotechnologiefirmen verloren.

nis eines einmaligen und radikalen Bruchs, sondern als Resultat langgestreckter, uneindeutiger und fehlerbehafteter technischer, ökonomischer und sozialer Such-, Selektions- und Readjustierungsvorgänge, die alles andere als voraussehbare Verlaufsformen annehmen (Mokyr 2002).

Unsicherheit und Uneindeutigkeit prägen dementsprechend nicht nur frühe Phasen der Technikgenese (z.B. in der Informations-, der Bio- oder der Nanotechnologie), die sich typischerweise eher durch diffuse Technikleitbilder und -visionen als bereits durch präzise Herstellungs- und Verwendungsmuster auszeichnen (Hellige 1993): In ihnen wird noch gar nichts geschlossen oder verfestigt, sondern im Gegenteil zunächst ein weites, unübersichtliches, noch weniger an technischen Machbarkeiten als an allgemeinen Wünschbarkeiten ausgerichtetes Feld möglicher Anwendungen und Entwicklungsrichtungen eröffnet. Auch in späteren Phasen der Technikentwicklung und -diffusion werden ihre weiteren Ausformungen nicht nur allgemein von fortbestehenden Uneindeutigkeiten, sondern auch sehr konkret von oft substanziellen Veränderungen im Design und der Verwendung neuer Produkte und Verfahren noch während ihres Entwicklungs-, Herstellungs- und Verwendungsprozesses geprägt (Freeman 1994). Erst spät, über konkrete Technisierungsprojekte und selektierende Teilschließungen stabilisieren sich funktionierende Produktions- und Nutzungsmuster, verfestigen sich neue soziotechnische Entwicklungspfade und verstärken sich „effects of irreversibility“ (Wieland 2000: 4; David 2000).

Auch wenn sich im Lauf der Zeit neue Technologiecluster mit erkennbaren Richtungen, Pfadabhängigkeiten und Irreversibilitäten herausbilden, lassen sich die hier skizzierten Verlaufsformen des Wandels kaum als gerichtet oder planbar im Sinne einer intentionalen Steuerung bezeichnen. Die sukzessive Verfestigung und zunehmende Irreversibilität neuer soziotechnischer Entwicklungspfade ist vielmehr das kontingente Ergebnis langgestreckter Such- und Selektionsvorgänge, die von uneindeutigen wissenschaftlich-technischen Dynamiken geprägt und von zahlreichen gesellschaftlichen Akteuren mit je eigenen Interessen und eigenwilligen Handlungslogiken getragen werden. Und selbst bei diesen lock-ins handelt es sich, nimmt man wiederum die Entwicklung neuer Querschnittstechnologien in den Blick, oft um labile und temporäre Verfestigungen, die immer wieder durch neue Öffnungen und Alternativen, überraschende technische Sackgassen oder Durchbrüche, aber auch etwa durch aufbrechende gesellschaftliche Kontroversen in Frage gestellt werden können.

Bezogen auf die Frage nach den politischen Gestaltungsmöglichkeiten des Wandels heißt all dies: Entscheidungen über künftige forschungs- und technologiepolitische Förderschwerpunkte, institutionelle oder rechtliche Rahmensetzungen sind unter Bedingungen zu treffen, die nicht bloß uneindeutig sind – sowohl die weitere Entwicklung neuer Technikfelder als auch die mit seiner Nutzung möglicherweise verbundenen (ökologischen und sozialen) Folgewirkungen sind alles andere als valide prognostizierbar –, sondern zudem einem dynamischen Wandel unterliegen, der auch unterhalb der Grundsatzentscheidung, ein Technikfeld zu fördern, permanent neue Themen und Entscheidungszwänge konstituiert, immer wieder bereits getroffene Entscheidungen erneut auf den Prüfstand setzt und überdies von gesellschaftlichen Debatten mit oft ungeraden und z.T. schnell wechselnden Frontverläufen begleitet wird.

3. Akteure

Es ist eine Binsenwahrheit, dass in die Genese, Entwicklung, Regulierung und Nutzung neuer Technikfelder zahlreiche soziale Akteure mit je spezifischen Kompetenzen, Interessen und Handlungsorientierungen involviert sind. Neue Techniken können in den Nischen subkultureller Communities, im Rahmen militärischer Projekte, in akademischen Forschungszusammenhängen oder auch in der Industrie entstehen, entwickeln sich zu marktgängigen und realitätsmächtigen Artefakten, Systemen, Verfahren oder Programmen vor allem im Zusammenhang industrieller Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionsprozesse, werden mitbefördert und reguliert durch staatliche Technologie- und Rechtsetzungspolitiken oder durch staatlich geförderte Großprojekte, unterliegen mehr denn je dem kritischen Blick der Öffentlichkeit und werden von ihren Nachfragern – v.a. industriellen Anwendern und privaten Konsumenten – oft sehr eigenwillig verwendet und umgenutzt. Auch in der akteurzentrierten Betrachtung lassen sich wirkmächtige, intentional steuernde Zentren des soziotechnischen Wandels heute weniger denn je ausmachen: An der Ausprägung neuer Techniken und neuer soziotechnischer Entwicklungspfade sind zahlreiche Akteure in im Zeitablauf wechselnden Figureationen beteiligt.

In den vergangenen zwanzig Jahren haben sich die involvierten außerstaatlichen Akteure ausdifferenziert, ihre Interaktionsbeziehungen verdichtet und ihre Handlungsorientierungen z.T. signifikant gewandelt. Ich möchte, schon mit Blick auf die anschließend zu erörternden Möglichkeiten (und Grenzen) einer politischen Mitgestaltung des soziotechnischen Wandels, fünf meines Erachtens besonders relevante Veränderungen, die diese ‚period of mismatch‘ hervorgebracht hat, hervorheben und kurz skizzieren.

1. Internationalisierung. Die Innovationsverläufe und die industrielle Innovationstätigkeit haben sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten substanziell internationalisiert und den vormals engen Zusammenhang von (groß-)industrieller Technikentwicklung, nationalen Referenzrahmen und nationalstaatlichen Politiken zwar noch keineswegs aufgelöst, aber doch erkennbar gelockert (Rammert 1997). Der Innovationswettbewerb erfolgt vor allem in neuen Hochtechnologiesektoren zunehmend im Rahmen international ausgetragener Konkurrenzen um Forschungs-, Entwicklungs-, Produktions- und Vermarktungsvorsprünge. Technikbezogene Kooperationsbeziehungen haben heute ebenfalls oft einen dezidiert internationalen Zuschnitt. Und auch die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit der Unternehmen selbst hat sich sukzessive international ausdifferenziert. Insbesondere Großunternehmen betreiben im Ausland heute auch Spitzenforschung in konzerneigenen Forschungs- und Entwicklungszentren – und nicht mehr vornehmlich Entwicklungsarbeiten, mit denen im Heimatland entwickelte Produkte und Verfahren lediglich an die spezifischen Erfordernisse der jeweiligen Zielmärkte angepasst werden (Belitz 2004). Internationalisierung meint allerdings auch in neuen Hochtechnologiesektoren nicht umstandslose Globalisierung, sondern Clusterbildung, also starke (und zunehmende) regionale Konzentration entsprechender Aktivitäten auf sehr wenige internationale Spitzenzentren der Forschung und Lead Markets (Gerybadze et al. 1997; Asheim/Gertler 2005).

2. New Entrants. Forschungsintensive und technologieorientierte start-up-Firmen, lange Zeit vornehmlich ein US-amerikanisches Phänomen, haben sich in den neunziger Jahren auch in Westeuropa neben international tätigen Großunternehmen als eigenständiger neuer Unternehmenstyp etablieren können, der aus dem industriellen Inno-

vationsprozess vor allem im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik und der Biotechnologie nicht mehr wegzudenken ist (Mowery/Nelson 1999). Obgleich der weit überwiegende Teil der industriellen Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen nach wie vor auf die Großunternehmen entfällt und nur ein sehr geringer Teil neuer Firmen tatsächlich erfolgreiche Spitzenforschung betreibt, sind New Entrants oft die Pioniere und frühen Impulsgeber, die die kommerzielle Nutzung neuer technologischer Möglichkeiten anstoßen. Als risikobereite, forschungsintensive und nach unkonventionellen Verwertungsmöglichkeiten suchende Einheiten stimulieren die innovativen Kernfirmen dieses Unternehmenstyps nicht nur den industriellen Innovationsprozess selbst, sondern sind zugleich zu wichtigen externen Impulsgebern und flexibel handhabbaren Kooperationspartnern der Großindustrie geworden (Parker 1999).

3. Kooperationsorientierung und Vernetzung. Die außerordentlichen Dynamiken der Wissensgenerierung, die enge Kopplung und zunehmende Grenzverwischung von Grundlagen- und Anwendungswissen, die wachsende Multidisziplinarität und Heterogenität der Wissensgenerierung und Technikentwicklung, die limitierten und oft komplementären Ressourcen innovierender Unternehmen, der schnelle technische Wandel und die damit verbundenen hohen unternehmensstrategischen Unsicherheiten und Marktintransparenzen lassen sich auch im Organisationsrahmen von Großunternehmen, allein über den Aufbau starker inhouse-Kapazitäten, heute kaum noch verarbeiten – und haben zu einer systematischen Kooperationsorientierung des Wirtschaftssektors geführt (Hagedoorn et al. 2000). Die kann, je nach Branche und Technikfeld, sehr verschiedene Ausprägungen annehmen: Dazu zu zählen sind etwa Kooperationen zwischen Herstellern, Zulieferern und Anwenderunternehmen (wie z.B. in der Automobilindustrie oder dem Maschinenbau), großindustrielle Konsortien mit zahlreichen Unterauftragnehmern (in der Luft- und Raumfahrtindustrie) sowie Kooperationen zwischen Großunternehmen und technologieorientierten start-ups oder akademisch-industrielle Zusammenarbeiten (in neuen Hochtechnologiesektoren wie der Biotechnologie). Typisch ist allemal: Industrielle Forschung, Technikentwicklung und -produktion findet in wachsendem Maße „in the interstices between firms, universities, research laboratories, suppliers, and customers“ statt: „The locus of innovation will be found in networks of learning, rather than in individual firms.“ (Powell et al. 1996: 118, 116; Freeman 1991; Rammert 1997; mit Blick auf die Grenzen von Netzwerken: Dolata 2001; Hirsch-Kreinsen 2002)

4. Außerstaatliche Selbstorganisation. Typisch für die kooperative industrielle Technikentwicklung, aber auch für wissenschaftliche Forschungszusammenhänge ist, dass es sich in der Regel um Formen industrieller, akademischer oder auch akademisch-industrieller Selbstorganisation handelt, in deren Entstehung, Organisation und Arbeitsweise staatliche Instanzen nicht oder nur marginal involviert sind. Dies ist wiederum besonders augenfällig in den neuen Hochtechnologiesektoren, in denen die Forschung und Technikentwicklung von den Aktivitäten einer großen Zahl außerstaatlicher Akteure in schnell wechselnden Konstellationen vorgebracht wird: dezentral, international, kooperationsintensiv, marktbezogen und staatsfern. Anders als bei der Förderung von Großtechnologien tritt der Staat in diesen Fällen weder als unabkömmlicher Finanzier und Förderer noch als koordinierende Klammer oder als (exklusiver) Großabnehmer dieser Technologien auf. Und er hat es in den meisten der neuen Fälle nicht mehr mit einer überschaubaren Zahl gut eingeführter außerstaatlicher Akteure als Adressaten seiner Politik zu tun, sondern mit einer unübersichtlichen Gemengelage heterogener Akteure und fluider Netzwerke (Grande 1994).

5. *Öffentlichkeit*. Schließlich hat sich auch die öffentliche Wahrnehmung neuer Technologien in den vergangenen zwei Jahrzehnten bemerkenswert gewandelt: Nahezu jede neue Technik wird heute als ambivalent wahrgenommen, auf die eine oder andere Weise öffentlich diskutiert und eigenwillig genutzt (vgl. Bauer 1995; Bauer/Gaskell 2002; Hampel/Renn 1999). Typisch ist, dass sowohl das gesellschaftliche Unbehagen an neuer Technik als auch ihre eigenwillige Nutzung heute nicht mehr nur von klar fokussierten und gut organisierten Massenbewegungen (wie etwa im Rahmen der Anti-AKW- oder der Ökologiebewegung der siebziger und achtziger Jahre), Nichtregierungsorganisationen oder Verbänden (wie z.B. Verbraucher- oder Umweltschutzorganisationen), sondern oft von nicht-organisierten und kaum institutionalisierten kollektiven Akteuren getragen wird. Dies sind Bürger und Wähler, Nutzer und Verbraucher, die als Individuen bedeutungslos und als Organisationen nichtexistent sind, die jedoch dann, wenn sie wie auch immer motivierte, als Massenphänomen auftretende gemeinsame Problemperezeptionen oder Nutzungspräferenzen ausbilden, nicht mehr bloß passive Adressaten neuer technischer Angebote bleiben, sondern zu aktiven Einflussfaktoren auf Technisierungsprozesse oder technikbezogene politische Regelungsbedarfe werden können: Entweder als eigenwillige Nutzer und selektierende Konsumenten neuer technischer Angebote oder als technikskeptische Bürger, die neue wissenschaftlich-technische Entwicklungsrichtungen mehrheitlich und stabil nicht (oder nur eingeschränkt) akzeptieren.

Unter den hier skizzierten Bedingungen läuft die lange Zeit von der Politik (und auch von der politikwissenschaftlichen Forschung) gepflegte „Konzeption des kohärenten und von außen in Wirtschaft und Gesellschaft intervenierenden Staates“ (Simonis 1992: 18) und mit ihr die „Vorstellung, der Staat würde den technischen Fortschritt gar ‚steuern‘“ (Meyer-Krahmer 1999: 45), ins Leere (Grimmer et al. 1992; Martinsen/Simonis 1995; Grimmer et al. 1999; Simonis et al. 2001). Der Staat ist im technologischen Geschehen ganz offenkundig nur ein Mitspieler neben gewichtigen anderen. Seine gestaltenden Eingriffsmöglichkeiten sind heute mehr denn je darauf beschränkt, Rahmen zu setzen für in weiten Teilen selbstorganisierte und eigendynamische, wesentlich durch außerstaatliche Akteure geprägte Forschungs-, Entwicklungs-, Produktions- und Verwendungskontexte neuer Technologien. Den Gang der technischen Entwicklung selbst, die Richtungen der akademischen Forschung oder die industriellen Innovationsprozesse substanziell beeinflussen oder gar gezielt steuern – das kann die Politik nicht. Das war aber schon immer eine große Illusion: Auch die siebziger und achtziger Jahre lassen sich, betrachtet man die Handlungsebene, nicht als Ära aktiver und impulssetzender politischer Techniksteuerung beschreiben (Stucke 1993).

Die Denationalisierung von Innovationsverläufen, die sich vor allem als auf wenige Regionen konzentrierte Internationalisierung der industriellen Innovationsaktivitäten und -konkurrenzen darstellt, wirkt zudem in hohem Maße fokussierend auf die verbliebenen Gestaltungsmöglichkeiten der staatlichen Politik zurück. Im Zuge der Internationalisierung verzahnen sich nationale und regionale Standorte nicht nur miteinander, sondern werden zugleich in ausspielbare Konkurrenzverhältnisse zueinander gesetzt. Unter diesen Bedingungen stehen die Nationalstaaten unter Druck, in erster Linie als Wettbewerbsstaaten zu agieren, die mit anderen Ländern um Investitions- und Standortentscheidungen heimischer wie ausländischer Unternehmen (und auch Wissenschaftler) konkurrieren (Jessop 2002) und ihnen dazu möglichst attraktive Innovationsumfelder – exzellente Forschungsbedingungen, hoch entwickelte Produktionsstrukturen und zukunftsweisende Märkte – anzubieten haben (Archibugi/Iammarino 1999).

Hinzu kommt, dass der Staat es heute zwar auch noch, aber nicht mehr ausschließlich mit einer überschaubaren Zahl heimischer Konzerne und Mittelständler als Adressaten seiner Politik zu tun hat. Er hat vielmehr politische Anreize und Rahmenbedingungen für die Standortwahl zunehmend international operierender heimischer wie ausländischer Großunternehmen zu schaffen, für die sich traditionelle Standortbindungen z.T. erkennbar relativiert haben. Er hat überdies Förderstrategien für neue, instabile und verbandspolitisch oft kaum visible Sektoren junger Technologiefirmen zu entwickeln, deren Bedeutung sowohl für den Innovationsprozess selbst als auch als Standortfaktor zugenommen hat. Und er hat dem Umstand Rechnung zu tragen, dass industrielle Innovationsprozesse (und auch die akademische Forschung) heute nicht mehr von einzelnen Organisationen getragen werden, sondern zunehmend im Rahmen weitgehend selbstorganisierter, oft über nationale Zusammenhänge hinausreichender Kooperationsbeziehungen stattfinden (Grande 1994).

Schließlich ist die Politik (und auch die Industrie) heute mit einer kritischen Öffentlichkeit konfrontiert, die den technologischen Wandel nicht mehr per se akzeptiert, sondern neue Techniken kontrovers diskutiert, eigenwillig nutzt und z.T. auch zurückweist. Die Politik ist damit nicht nur als Förderin attraktiver Rahmenbedingungen für die Wirtschaft und Wissenschaft am eigenen Standort gefordert, sondern steht zugleich als Moderatorin gesellschaftlicher Technikkontroversen in der Pflicht. Und sie hat darüber hinaus insbesondere in kontrovers beurteilten und mit (potenziellen) Risiken behafteten Technikfeldern für Transparenz, hohe Sicherheitsstandards, Verbraucherschutz und Bürgerbeteiligung an umstrittenen Vorhaben zu sorgen, wenn sie nicht politische Legitimationsprobleme heraufbeschwören will (Hennen 1996).

4. Politik

Das bis hierhin entfaltete Puzzle eines ebenso tiefgreifenden wie uneindeutigen soziotechnischen Wandels, der zunehmend international verläuft, von einer Pluralisierung sozialer Handlungsträgerschaften geprägt ist und sich maßgeblich im Rahmen selbstorganisierter außerstaatlicher Prozesse konkretisiert, wirft zwangsläufig die Frage auf, in welchem Maße, mit welchen Gestaltungskonzepten und -instrumenten die Politik heute noch mitgestaltenden Einfluss nehmen kann.

Dass die technologie- und innovationspolitischen Einwirkungsmöglichkeiten auf den soziotechnischen Wandel begrenzt sind ist nach dem bisher Gesagten offenkundig und auch andernorts vielfach konstatiert worden. Gleichwohl kann, so meine These, von einem Rückzug, einer (Selbst-)Abwicklung oder gar einer Ohnmacht der Politik gegenüber den außerstaatlichen Akteuren und Eigendynamiken des Wandels keine Rede sein. Nimmt man die Technologie- und Innovationspolitiken führender Industrieländer oder der Europäischen Union in den Blick, dann lassen sich zwei prominente und komplementär verwendete Gestaltungsvarianten identifizieren, mit denen die Politik auch heute durchaus aktiv und strukturbildend in den soziotechnischen Wandel eingreifen kann (und dies auch tut): Die klassische Form staatsmonopolistischer Konzertierung, die vor allem bei Großtechnologieprojekten nach wie vor präferiert wird sowie neue Formen einer indirekten Kontextgestaltung, die vor allem im Umfeld neuer Schlüsseltechnologien und zur Restrukturierung infrastruktureller, institutioneller und regulativer Rahmenbedingungen des Forschungs- und Innovationsprozesses seit der zweiten Hälfte der neunziger Jahre Bedeutung gewonnen haben (Dolata 2005).

Vor allem im Bereich der Großtechnologien (z.B. Transrapid, Weltraumforschung, Verkehrstelematik, Rüstung), denen auch heute in den führenden Ländern ein beträchtliches Gewicht im staatlichen Förderprofil zukommt, ist (etwa in Deutschland oder Frankreich) die Persistenz klassischer Muster der Innovationsförderung und Industriepolitik offenkundig. Der Staat agiert hier in seiner traditionellen Rolle als Technologietreiber und industriepolitisch aktive Gestaltungsinstanz, die für das Zustandekommen und die Stabilisierung großtechnologischer Referenz- und Prestigeprojekte nach wie vor von entscheidender Bedeutung ist. Und er setzt dazu auch heute auf klientelistische Beziehungen mit der Großindustrie und das klassische Repertoire der direkten Intervention, der direkten Projektförderung, der Marktabschottung, der Förderung nationaler Großunternehmen und des Einsatzes von Nachfragemacht (Weyer 2004, 2005; Monopolkommission 2004).

Die Gestaltungseffekte, die die staatliche Politik im Zusammenhang großtechnologischer Vorhaben erzielen kann, sind vergleichsweise unmittelbar, risikobehaftet und irreversibel: Ohne das umfangreiche Engagement des Staates, allein getragen von industriellen Initiativen, wären entsprechende Projekte zumeist gar nicht durchführbar. Sie werden oft industriepolitisch begründet, zum Teil aber auch aus nationalen Prestigegründen verfolgt. Wie immer sie auch motiviert sind: Politische Förderentscheidungen gehen in diesen Fällen mit weitreichenden Festlegungen auf technologische bzw. industriepolitische Entwicklungspfade und mit entsprechenden Ressourcenbindungen einher. Dies ist eine riskante Strategie, die in der Vergangenheit oft nicht aufgegangen ist – die Atomtechnik und der Schnelle Brüter, die Raumfahrtforschung oder der Transrapid lassen sich als Beispiele für eine ebenso ressourcenintensive wie fehlgeschlagene Politik der Großtechnologieförderung ins Feld führen. Aber immerhin: Ohne industriepolitische Flankierung und staatliche Subventionen wären z.B. die Erfolge von EADS und Airbus als deutsch-französische Kooperationsprojekte nicht möglich gewesen. Und keineswegs ausgeschlossen ist, dass sich das deutsche Mautsystem für LKW nicht doch zum auf dem Referenzmarkt Deutschland erfolgreich erprobten Exportschlager entwickeln wird. Insoweit verfügt der Staat im Bereich der direkten Technologieförderung über beträchtliche Gestaltungsmöglichkeiten, ist freilich zugleich mit dem hohen Risiko großer und in der Folge nur schwer korrigierbarer Fehlschläge konfrontiert.

Eine Ausweitung dieses klassischen Gestaltungsansatzes staatsmonopolistischer Konzertierung auch auf die Förderung neuer Querschnittstechnologien wurde in Deutschland (und auch etwa in Frankreich) vor allem im Umfeld neuer Informations- und Kommunikationstechnologien immer wieder versucht – in den achtziger Jahren etwa als staatlich geschützter Aufbau nationaler Computer-Industrien und noch bis in die zweite Hälfte der neunziger Jahre hinein als industriepolitisch motivierte und auf die Förderung weltmarktfähiger nationaler Champions zielende Entwicklung nationaler Internet-Technologien (Mowery/Simcoe 2002; Werle 2005). Entsprechende Versuche sind allerdings weithin erfolglos geblieben: Zum einen, weil sie nicht zum Typ dieser neuen Technologien passen, deren Dynamiken sich am besten im Umfeld intensiver Wettbewerbs- und Konkurrenzkonstellationen entfalten können. Und zum anderen, weil sich auch die sie tragenden Akteurfigurationen signifikant vom überschaubaren Klientelismus großtechnologischer Projekte unterscheiden (Breshanan/Malerba 1999). Hinzu kommt, dass mit der zunehmenden Internationalisierung der Wirtschaft die Attraktivität eines Landes bzw. einer Region für transnationale Konzerne heute nicht mehr primär von der dort betriebenen direkten Technologieförderung abhängt: Unverwechselbare nationale, regionale und sektorale Innovationsstärken, ein für Industrie und Wissenschaft attraktives infrastrukturelles und institutionelles Umfeld sowie die Existenz zu-

kunftsfähiger Lead Markets sind zu den entscheidenden Faktoren industrieller Standortentscheidungen geworden (Meyer-Krahmer 2005).

Unter diesen veränderten Bedingungen hatte die Politik sich neu zu orientieren: Sie hatte zum einen passfähige Förderansätze und -instrumente für ein neues Set von Querschnittstechnologien – I&K-, Bio- oder Nanotechnologien – zu entwickeln, die sich deutlich von klassischen Großtechnologien unterscheiden: Sie prozessieren wie gesehen wesentlich staatsferner, marktförmiger und internationaler, werden von den Aktivitäten einer unübersichtlichen Zahl außerstaatlicher Akteure vorangebracht und entziehen sich direkter staatlicher Einflussnahme. Und zum anderen musste die Politik auf die skizzierten Veränderungen der industriellen Innovationsmuster konzeptionell und instrumentell reagieren: insbesondere auf die sehr selektiv betriebene und weltweit auf wenige Standorte konzentrierte Internationalisierung großindustrieller Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, aber auch auf die z.T. sprunghafte Zunahme technologisch motivierter industrieller Kooperationsbeziehungen sowie auf den Bedeutungszuwachs technologieorientierter start-up-Firmen im Innovationsgeschehen. Der klassische Gestaltungsansatz staatsmonopolistischer Konzertierung mit seiner Fokussierung auf Großtechnologien und auf die Förderung nationaler Champions wurde damit zwar nicht obsolet, aber doch zunehmend zu eng.

Seit der zweiten Hälfte der neunziger Jahre reagieren die führenden Industrieländer auf die skizzierten Veränderungen mit in der Grundausrichtung durchaus ähnlichen Neujustierungen ihrer Technologie- und Innovationspolitiken (Larédo/Mustar 2001). Sie zielen – bei allen fortbestehenden nationalen Unterschieden in den institutionellen Voraussetzungen, den konkreten Akzentsetzungen und den präferierten Instrumentensets – konzeptionell auf die Etablierung international anschlussfähiger, sowohl wettbewerbsintensiver als auch kooperationsfähiger nationaler bzw. regionaler Innovationsräume und die damit verbundene Restrukturierung innovationsrelevanter Institutionen und Infrastrukturen. Dies geht einher mit einer sukzessiven Relativierung direkter, industriepolitisch motivierter und technikbezogener Gestaltungsambitionen zugunsten einer Aufwertung indirekter, kontextorientierter Gestaltungsansätze, die sich insbesondere auf die Veränderung institutioneller, infrastruktureller und rechtlicher Rahmensetzungen des Forschungs- und Innovationsprozesses und auf den verstärkten Einsatz staatlicher Wettbewerbs- und Vernetzungsinitiativen konzentrieren.

Die Schwerpunkte dieser kontextorientierten Gestaltungsvariante sind in Deutschland (und mit Variationen auch in anderen hochentwickelten Ländern) (Rammer et al. 2004; BMBF 2004; Dolata 2005 sowie die Beiträge in Dolata 2005a)

- *erstens* die vorrangige programmatische und finanzielle Förderung neuer Schlüsseltechnologien, mit der der Strukturwandel in der technologischen Spezialisierung hin zu neuen forschungs- und wissensintensiven Technologien und Wirtschaftszweigen unterstützt werden soll;
- *zweitens* die verstärkte Förderung innovativer und für die Großunternehmen kooperationsfähiger Sektoren von technologieorientierten start-up Firmen, deren Bedeutung sich für den Innovationsprozess selbst und als Standortfaktor mit dem Aufkommen neuer Schlüsseltechnologien erhöht hat;
- *drittens* die vor allem über staatliche Wettbewerbe stimulierte Entwicklung neuer regionaler High-Technology-Cluster (z.B. in der Biotechnologie), die zu einem wich-

tigen Element nationaler Innovationssysteme und zu einer wesentlichen Voraussetzung ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit geworden sind;

- *viertens* die Restrukturierung der öffentlichen Forschungs- und Wissenschaftssysteme mit den vorrangigen Zielen einer stärkeren innerakademischen Wettbewerbs- und akademisch-industriellen Transferorientierung, der Bündelung der Spitzenforschung in Leitprojekten und Kompetenzzentren und der aktiven Unterstützung anwendungsorientierter Kooperationsverbände aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen;
- *fünftens* die dynamische, angesichts des schnellen soziotechnischen Wandels oft allerdings eher nach- als vorsorgende Anpassung der technologiebezogenen Rechtsetzung an neue Entwicklungen, die zunehmend im Rahmen europäischer Aushandlungs- und Abstimmungsprozesse stattfindet (z.B. Gentechnik- und Chemikalienrecht, Internetregulierung, Softwarepatentierung, Urheberrecht);
- *sechstens* schließlich die Anreicherung des kooperativen Staates um neue deliberative Elemente – Kommissionen, Räte, Anhörungen, Abstimmungsrunden, Diskursprojekte –, in denen politische Entscheidungen mit außerstaatlichen Akteuren vorverhandelt, externe Expertise eingeholt, Meinungsbilder erstellt oder strittige Zukunftsfragen erörtert werden.

Mit diesen Schwerpunktsetzungen werden Konturen einer neujustierten Technologie- und Innovationspolitik sichtbar, die erkennbar über den klassischen Rahmen einer selektiven Forschungsförderung, der Finanzierung von Großprojekten und der Förderung nationaler Champions hinausreicht. Sie zielt im Kern auf eine auch für ausländische Interessenten attraktive infrastrukturelle und institutionelle Restrukturierung des eigenen Innovationsraums, die vor allem über Wettbewerbs-, Vernetzungs- und Fokussierungsinitiativen betrieben wird. Die Adressaten dieser Politik sind nicht mehr bloß einzelne bedeutende Akteure (wie Großunternehmen), sondern zunehmend auch neue Akteure und Akteurnetzwerke, die sich im Zuge staatlicher Initiativen oft erst formieren und sich im Wettbewerb mit anderen durchzusetzen haben.

Auch mit diesen neuen kontextorientierten Gestaltungsansätzen kann die Politik durchaus Struktureffekte erzeugen. So hat deren Einsatz in Deutschland und in anderen westeuropäischen Ländern die Herausbildung visibler Sektoren von start-up Firmen befördern können, die es zuvor nicht gab. Er hat auch etwa die regionale Vernetzung relevanter Akteure und die Herausbildung neuer High-Technology-Cluster stimuliert. Und er hat eine weit reichende Restrukturierung der öffentlichen Forschungs- und Wissenschaftssysteme in Richtung Wettbewerb und Ressourcenkonkurrenz, Schwerpunktbildung und Transferorientierung in Gang gesetzt. Was zunächst wie eine Rücknahme staatlicher Gestaltungsansprüche und -möglichkeiten aussieht – eine unmittelbare politische Einwirkung auf neue Techniken wird damit im Gegensatz zur ersten Variante kaum mehr angestrebt –, entpuppt sich bei genauerer Betrachtung als zwar indirekte, aber doch impulssetzende und im Prinzip korrekturfähige Einflussnahme auf die infrastrukturellen, institutionellen und regulativen Rahmenbedingungen des Innovationsgeschehens.

Auch damit können natürlich dysfunktionale Nebenwirkungen einhergehen. So besteht z.B. die Gefahr einer asymmetrischen Regionenentwicklung durch staatliche Wettbewerbsinitiativen, die dem ‚picking the winners‘-Prinzip folgen und die ohnehin besten Regionen zusätzlich fördern (Dohse 2005). Auch die zunehmende Fokussierung der

deutschen Forschungs- und Wissenschaftspolitik auf die industrielle Verwertbarkeit der akademischen Forschung, auf nationale Leitprojekte und Kompetenzzentren kann kontraproduktive Wirkungen nach sich ziehen: Die staatlichen Initiativen und Förderkonzepte orientieren sich in hohem Maße an der Leitorientierung der außerwissenschaftlichen ökonomischen Relevanz, Anwendungs- und Transferorientierung der akademischen Forschung – und unterschätzen, dass die Entwicklung neuer wissenschaftlicher Technikfelder nicht nur in ihrer Frühphase, sondern auch mit ihrer zunehmenden Anwendungsnähe über längere Zeiträume stark von den zweckfreien Spielräumen der Grundlagenforschung abhängt und geprägt wird. Zudem konzentrieren sich die staatlichen Initiativen und Fördermittel zunehmend auf Leitprojekte und (nationale) Kompetenzzentren der Forschung – und können damit vor dem Hintergrund zugleich sehr restriktiver öffentlicher Finanzrahmen das stark differenzierte, dezentral strukturierte und auch in der Breite qualitativ sehr gute deutsche Forschungssystem aus der Balance bringen (Meyer-Krahmer 2000).

Unbeantwortet ist schließlich die Frage, wie sich ambivalente Technikhaltungen, gesellschaftliche Technikkontroversen und technikkritischer Sachverstand systematisch auch in entscheidungsrelevante politische Gremien institutionell einfließen und produktiv nutzen lassen. Bei aller Ausdifferenzierung ist der kooperative Staat an seiner Spitze nach wie vor ein korporatistisch eingefasster Staat, der ‚harte‘ Themen wie forschungs- und technologiepolitische Grundsatzentscheidungen, wirtschafts- und innovationspolitische Initiativen oder rechtliche Regelungsbedarfe mit einem exklusiven Kreis aus Vertretern der Großunternehmen, der Wirtschafts- und der Wissenschaftsverbände vorverhandelt. Neue industrielle oder zivilgesellschaftliche Akteure, die gesellschaftliche Technikkontroversen repräsentieren, spielen in diesen Kernbereichen politischer Entscheidungsfindung dagegen auch heute noch keine nennenswerte Rolle (Saretzki 1997).⁶

5. Nachhaltigkeit

Die skizzierten Gestaltungsvarianten, die die staatliche Politik aktuell einsetzt, legen zwei Schlussfolgerungen nahe: Sie widerlegen zum einen die verbreitete Diagnose einer Entzauberung, Erosion und Ohnmacht des Staates (Willke 2001). Der Staat verfügt auch heute durchaus über Ansatzpunkte und Instrumente für eine strukturbildende Politik – auf der europäischen Ebene, aber auch im Rahmen nationaler Innovations- und Politiksysteme. Seine technologie- und innovationspolitischen Gestaltungsmöglichkeiten sind allerdings – dies ist die andere Seite – begrenzt und klar fokussiert: Der Staat ist keine zentrale Steuerungsinstanz des soziotechnischen Wandels, sondern nur ein Mitspieler im technologischen Geschehen, der in seiner Entscheidungsfindung zudem systematisch auf externe Beratung, Expertise und Einflussnahme angewiesen ist. Und er hat seine Gestaltungsziele und -aktivitäten unter dem Druck der ökonomischen Internationalisierung an einer alles andere dominierenden Leitorientierung ausgerichtet: Dem Ausbau der technologischen Wettbewerbsfähigkeit und der Profilierung des eigenen Wirtschafts- und Innovationsraums in der internationalen Konkurrenz der Standorte, dem soziale oder ökologische Zielsetzungen eindeutig untergeordnet werden (exemplarisch BMBF 2000: 13-34).

⁶ Auch der Anfang 2004 vom deutschen Bundeskanzler einberufene Innovationsrat steht in dieser Tradition korporatistischer Entscheidungsfindung: Seine Mitglieder setzten sich ausschließlich aus Vertretern der Regierung, der Industrie, der Wissenschaftsverbände und der Gewerkschaften zusammen.

Wie könnte unter diesen Bedingungen eine Technologie- und Innovationspolitik aussehen, die einer aktiven Mitgestaltung ökologisch nachhaltiger soziotechnischer Entwicklungspfade verpflichtet wäre? Wie könnte sie konzeptionell angelegt, instrumentell untersetzt und politisch relevant werden? Ich möchte dazu zunächst einige grundsätzliche Bemerkungen machen, die an das bisher Gesagte anschließen und dann ein paar Konkretisierungen vornehmen, die an in der Diskussion befindliche Ansatzpunkte einer nachhaltigkeitsorientierten Technologie- und Innovationspolitik anknüpfen.

Ich habe im ersten Kapitel darauf hingewiesen, dass Technik nicht gleich Technik ist. Diese Differenzierung gilt nicht nur für die distinkten technischen Charakteristika einer jeden Technik und ihre (un-)möglichen sozioökonomischen Organisationsformen und Institutionalisierungskorridore, sondern auch für ihr gesellschaftliches und ökologisches Problemprofil. Die Kernenergie oder die automobilen Verkehrstechnik, die Gentechnologie oder die Nanotechnologie, das Internet oder andere neue Kommunikationstechniken weisen jeweils spezifische sozial-ökologische Problem- und Risikodimensionen, Eingriffstiefen und Beherrschbarkeiten auf – und legen es nahe, auch unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten jeweils spezifische politische Förder- und Regulierungsansätze zu entwickeln, die zum Typ der Technik, um den es jeweils geht, passen.

Dies reicht freilich nicht. Technischer und sozioökonomischer Wandel stehen, wie ich im zweiten Kapitel gezeigt habe, in einem engen Wechselverhältnis zueinander. Konkrete technische Entwicklungsdynamiken und -pfade werden nicht nur geprägt durch die jeweils vorhandenen sozioökonomischen und institutionellen Strukturen; technologische Umbrüche üben zugleich einen mehr oder minder einschneidenden Veränderungsdruck auf sie aus. Technikzentrierte politische Nachhaltigkeitsstrategien greifen daher zu kurz. Sie müssen begleitet und untersetzt werden von Neujustierungen infrastruktureller und institutioneller Arrangements, unter denen eine nachhaltigkeitsorientierte Technikentwicklung und -nutzung erfolgreich sein kann. Nachhaltigkeitsorientierte Technologie- und Innovationspolitik ist also kein technikzentriertes, sondern ein sozio-technisches Projekt.

Um die Reichweiten nachhaltigkeitsbezogener Wandlungsprozesse abzustecken möchte ich auf die ebenfalls im zweiten Kapitel vorgestellte Typologie zurück kommen. Auch unter Nachhaltigkeitsaspekten lassen sich verschiedene Varianten in diesem Fall allerdings nicht emergierenden, sondern aus sozial-ökologischen Problemidentifizierungen normativ hergeleiteten notwendigen soziotechnischen Wandels voneinander unterscheiden. Die drei meines Erachtens wesentlichen Typen möchte ich kurz skizzieren:

1. Inkrementeller Wandel. Damit ist das ‚greening‘ vorhandener Technologien oder Technikfelder über graduelle Innovationen gemeint, mit denen sich z.B. die ökologische und energetische Effizienz bestehender Produktionsprozesse und Produkte verbessern lassen, ohne dass damit vorherrschende Technologiepfade oder sie tragende sozioökonomische Strukturen grundsätzlich in Frage gestellt würden. Der Einsatz etwa additiver Umwelttechnologien oder verbesserter Antriebstechnologien für Kraftfahrzeuge zählen hierzu. Über das kontinuierliche greening vorhandener Technologien ist es durchaus möglich, etwa die Emission von Massenschadstoffen oder Ressourcenverbräuche zu reduzieren. Diese Variante des Wandels ist zudem vergleichsweise einfach politisch zu gestalten: Etwa über den Einsatz ökonomischer Anreizinstrumente (wie Ökosteuern oder Emissionszertifikate) oder über rechtliche Maßnahmen (wie die Festlegung von Emissionsgrenzwerten oder Ressourceneffizienzstan-

dards). Die Reichweiten des dadurch angestoßenen Wandels sind allerdings in zweierlei Hinsicht begrenzt: Sie werden dem Ausmaß notwendiger Reduktionen von Umweltbelastungen, wie sie etwa der globale Klimawandel erfordert, nicht gerecht und tragen, indem sie vorhandene soziotechnische Strukturen mit erheblichen negativen Umwelteffekten nicht grundsätzlich in Frage stellen, eher zu deren Stabilisierung als zu ihrer substanziellen Transformation bei (Coenen 2002).

2. Experimenteller Wandel. Diese Variante nachhaltigkeitsorientierten Wandels bezieht sich auf neue, im Entstehen befindliche Technikfelder, deren weitere Entwicklung noch vergleichsweise verlaufsoffen ist und von uneindeutigen, oft experimentellen technischen wie sozioökonomischen Such- und Selektionsprozessen getragen wird. Die Bio- oder die Nanotechnologie lassen sich dafür als typische Fälle anführen. Sie sind weder wissenschaftlich-technisch noch sozioökonomisch bereits geschlossen und verfestigt, sondern zeichnen sich durch dynamische und vergleichsweise ergebnisoffene Suchprozesse nach wissenschaftlichen Durchbrüchen, technischen Anwendungsmöglichkeiten, ökonomischen Verwertungsfeldern und sozialen Nutzungsmustern aus. Damit geht die Suche nach neuen, passenden Organisations-, Regulierungs- und Institutionalisierungsmustern einher, die von früh einsetzenden gesellschaftlichen Debatten um die Chancen und Risiken dieser Technologien begleitet wird. Dieser experimentelle Charakter neuer Technologiefelder, die den gegenwärtigen soziotechnischen Wandel prägen, unterscheidet sich signifikant von den verfestigten und persistenten Strukturen bereits etablierter Technikgebiete und eröffnet Möglichkeiten, mit nachhaltigkeitsorientierten Akzentsetzungen proaktiv und zeitnah in ihren Genese- und Formierungsprozess einzugreifen – nicht erst nach, sondern bereits „vor Vollendung der Tatsachen“ (Hack 1988).

3. Radikaler Wandel. Mit diesem Typ des Wandels schließlich, der in seiner Reichweite dem technologischer Revolutionen entspricht, sind substanzielle Transformationen bereits etablierter, über Jahrzehnte verfestigter technologischer Regime mit besonders umweltbelastenden Effekten und – damit verbunden – entsprechend weitreichende Umbrüche in den sie tragenden sozioökonomischen Strukturen gemeint. Der Ausstieg aus der Kerntechnik und der Umbau der Energieversorgung oder die Entwicklung und Durchsetzung grundlegender Alternativen zur automobil-zentrierten Verkehrstechnik und Mobilitätsinfrastruktur lassen sich als prominente Beispiele eines notwendigen radikalen Wandels anführen. Sie zeigen zugleich, dass dieser Typ des Wandels außerordentlich voraussetzungsvoll ist. Er erfordert nicht nur die Entwicklung grundlegend anderer technologischer Optionen, die technisch tragfähig, ökonomisch erfolgversprechend und gesellschaftlich anschlussfähig sind. Er ist zudem mit weitreichenden sozioökonomischen Implikationen verbunden: Er erfordert nicht weniger als eine weitreichende Restrukturierung volkswirtschaftlich tragender Industriesektoren und Infrastrukturen, verbunden mit einschneidenden Veränderungen in Lebensstilen und Konsummustern. Und er ist schließlich mit beachtlichen Struktur-Persistenzen konfrontiert: Mit ökonomisch erfolgreichen Industriesektoren, die wesentliche Säulen nationaler Wirtschafts- und Innovationssysteme sind (wie z.B. die Autoindustrie mit ihren Zulieferern, Händlern und Dienstleistern, Kraftstoffherstellungs- und -distributionssystemen), mit funktionsfähigen Infrastrukturen (Straßennetze und Siedlungsformen) und auch mit verfestigten Lebensstilen und Konsummustern (Dolata 1992: 362-370).

Alle drei (normativ begründeten) Varianten nachhaltigkeitsorientierten soziotechnischen Wandels sind keine Selbstläufer, die sich quasi-evolutionär im Rahmen von konkurrenzgetragenen Marktprozessen und außerstaatlicher Selbstorganisation entfalten.

ten, sondern müssen politisch angestoßen und akzentsetzend mitgestaltet werden. Schon das greening vorhandener Technologien ist ohne entsprechende politische Rahmensetzungen kaum denkbar; dies gilt erst Recht für die Einleitung experimentellen (z.B. förderpolitische und regulative Einfassung der Gentechnik) oder radikalen Wandels (z.B. Ausstieg aus der Atomenergie oder Umbau des Verkehrssystems). Nachhaltigkeitsorientierter soziotechnischer Wandel ist also ein originär politisches Gestaltungsprojekt, das freilich anschlussfähig sein, also von außerstaatlichen Akteuren angenommen und von ihnen auch wesentlich umgesetzt werden muss.

Welche Rolle könnte die Politik als Impulsgeber und Koordinator eines nachhaltigkeitsorientierten Wandels spielen? Ich möchte abschließend vier politische Gestaltungsebenen einer nachhaltigkeitsorientierten Technologie- und Innovationspolitik skizzieren und sie auf ihre (möglichen) Gestaltungseffekte prüfen.⁷ Dabei ist zu bedenken, dass Nachhaltigkeit als Zielvorgabe in den Technologie- und Innovationspolitiken vieler Länder zwar mittlerweile eine Rolle spielt, allerdings nach wie vor eindeutig im Schatten der wettbewerbs- und standortorientierten Förderung von Technologien, Infrastrukturen und Institutionen steht.

1. Rechtliche Rahmensetzungen. Mit rechtlichen Instrumenten lässt sich zum einen die Umweltverträglichkeit bestehender Technologien und technologischer Systeme im Rahmen inkrementellen Wandels erhöhen: Etwa über die bereits erwähnte Festlegung von sukzessiv zu verschärfenden Ressourceneffizienzstandards und Emissionsgrenzwerten oder über rechtliche Bestimmungen zur Erfassung, Kontrolle, Verwendungseinschränkung und Entsorgung von gesundheitsgefährdenden und mit Umweltrisiken verbundenen Produkten und Stoffen. Über rechtliche Rahmensetzungen lassen sich zum anderen aber auch Prozesse experimentellen Wandels politisch beeinflussen. Neue Technologiefelder wie die Biotechnologie oder die Nanotechnologie erfordern z.T. grundsätzlich neue Rechtsrahmen, die angesichts der dynamischen technologischen Entwicklung zudem permanent neujustiert werden müssen. Dies bietet Möglichkeiten, über rechtliche Rahmensetzungen nicht bloß Rechts- und Planungssicherheit für Industrie und Wissenschaft herzustellen, sondern sie zugleich nachhaltigkeitsorientiert auszugestalten. Ein Beispiel hierfür ist die rechtliche Einfassung der grünen Gentechnik (die in ihrer heutigen Form freilich nur vor dem Hintergrund anhaltender gesellschaftlicher Inakzeptanzen zustande gekommen ist): Sie sieht unter anderem die Kennzeichnungspflicht und Rückverfolgbarkeit von gentechnisch veränderten Lebensmitteln vor und formuliert restriktive Vorschriften für die absichtliche Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen, für die befristete Genehmigung und für das kontinuierliche Monitoring von Freisetzungsversuchen.

2. Ökonomische Anreize und strukturpolitische Maßnahmen. Zu den mittlerweile klassischen ökonomischen Ansatzpunkten einer nachhaltigkeitsorientierten Technikentwicklung und -nutzung gehören indirekte, über den Preis steuernde Instrumente, vor allem ökologische Steuern und Emissionszertifikate. Dazu lassen sich aber auch direkter wirkende, strukturorientierte Maßnahmen und Instrumente zählen: Zum einen die staatlich subventionierte und geschützte Entwicklung und Markteinführung von neuen umweltschonenden und ressourcensparenden Technologien im Rahmen eines ‚strategische niche management‘. Die dahinterstehende Idee ist es, für neue, noch unfertige und un-

⁷ Die folgenden Überlegungen zum Experimentierfeld ‚Nachhaltige Technologie- und Innovationspolitik‘ sind auf die eine oder andere Weise inspiriert worden durch Rip/Kemp 1998; Kemp 2002; Rip 2002; Coenen 2002; Kuhlmann 2003; Grupp et al. 2004: 87-97; Voß et al. 2005. Ein respektables Standardwerk zum Thema liegt meines Wissens bislang nicht vor.

erprobte Technologien, die mit der Wirtschaftlichkeit und Qualität vorhandener Technologien (noch) nicht konkurrieren können, befristet Nischen oder geschützte Räume zu schaffen „in which new variations are exposed to selection pressure in a controlled way and thus protected against excessively harsh selection“ (Rip/Kemp 1998: 382; auch: Geels 2004).⁸ Damit einhergehen könnte zum anderen die bevorzugte staatliche Förderung neuer avantgardistischer Wirtschaftsakteure, die technologisch ambitionierte und nachhaltigkeitsorientierte Projekte verfolgen, welche quer zu etablierten technologischen Entwicklungspfaden stehen. Die Instrumente, die zur Unterstützung technologieorientierter start-up-Firmen seit der zweiten Hälfte der neunziger Jahre entwickelt worden sind, ließen sich dazu (um-)nutzen.

3. *Technologie- und innovationspolitische Gestaltungsmöglichkeiten.* Die erfolgreiche Geschichte der staatlichen Förderung der Umwelt(system)forschung und Umweltschutztechnik in Deutschland zeigt, dass auch mit im engeren Sinne forschungs- und technologiepolitischen Initiativen neue sozial-ökologische und nachhaltigkeitsorientierte Forschungsthemen und -gebiete politisch initiiert, die Entwicklung, Erprobung und Anwendung alternativer Technologien gefördert sowie institutionelle und infrastrukturelle Restrukturierungen stimuliert werden können.

Spezifische Umweltforschungs- und Nachhaltigkeitsprogramme können technologieübergreifende Querschnittsthemen und neue Aktionsfelder definieren und deren Bearbeitung stimulieren sowie zur Konstituierung und Vernetzung sie tragender akademischer und industrieller Communities beitragen (BMBF 2004a). Sie bleiben allerdings unzureichend, wenn sie allein in der forschungs- und innovationspolitischen Landschaft stehen und nicht durch eine substanzielle und passfähige Integration umwelt- und nachhaltigkeitsorientierter Themen und Projekte in die technologiespezifische Förderung untersetzt werden. Die steht freilich noch aus.

Ähnliches gilt für den Fokus der Forschungsförderung: Dezidiert anwendungsorientierte Projekte und die Förderung akademisch-industrieller Verbundvorhaben mit einer klaren Transferorientierung haben zweifellos ihre Berechtigung, geht es doch um die Einleitung konkreter Schritte in die Richtung eines nachhaltigkeitsorientierten Wandels. Sie bleiben allerdings zu eng, wenn sie, wie derzeit zu beobachten ist, als bevorzugte politische Option eingesetzt werden – und nicht als notwendige Ergänzung grundlagenorientierter Forschung und experimenteller Entwicklung, die für die Genese noch nicht marktgängiger wissenschaftlich-technischer Alternativen und die Offenhaltung verschiedener Innovationspfade und technologischer Alternativen konstitutiv sind.

Auch die Förderung vieler klein- und mittelformatiger Projekte ist schon aus Gründen der Sicherung von Varietät sinnvoll. Gleichwohl wäre es insbesondere mit Blick auf Einstiegspunkte in einen radikalen Wandel durchaus überlegenswert, ob sie nicht stärker als bislang ergänzt werden sollten durch nationale bzw. europäische Großprojekte der Nachhaltigkeitsforschung – z.B. zur Erforschung und (experimentellen) Erprobung gangbarer technischer, infrastruktureller und sozioökonomischer Alternativen zur automobilen Gesellschaft.

Schließlich bleiben die Struktureffekte der programmatischen und drittmittelfinanzierten Förderung flüchtig und instabil, wenn sie nicht durch eine deutliche Aufwertung der in-

⁸ Im Bereich der großtechnologischen Forschungs- und Industriepolitik ist dies seit jeher gang und gäbe. Kerntechnik und Schneller Brüter, Transrapid oder Verkehrstelematik haben sich in derartigen staatlich garantierten „niches or protected spaces“ (fehl-)entwickelt.

stitutionellen Förderung ergänzt wird. Zum einen bleibt nachhaltigkeitsorientierte Forschung und Technikentwicklung selbst solange Desiderat, wie ihre institutionelle und infrastrukturelle Basis nicht signifikant ausgeweitet wird – und zwar sowohl in der Breite, als Ausbau nachhaltigkeitsorientierter Zentren an Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und außerstaatlichen Instituten, als auch in der Spitze, in Gestalt nationaler Kompetenzzentren der Nachhaltigkeitsforschung.⁹ Und zum anderen ist die Konzipierung und Umsetzung einer nachhaltigkeitsorientierten Technologie- und Innovationspolitik, mit der Prozesse weitreichenden Wandels angestoßen werden sollen, in besonderer Weise auf die methodische und instrumentelle Weiterentwicklung und Anwendung von Verfahren der soziotechnischen Vorausschau (sustainability foresight), der Evaluation und des benchmarking innovationsrelevanter Programme und Maßnahmen sowie der konstruktiven Technikbewertung angewiesen. Auch dazu ist der Ausbau stabiler institutioneller Strukturen erforderlich; mit einer Politik der Kurzhaltung oder gar Auflösung darauf spezialisierter Einrichtungen (wie der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg) ist dies nicht zu haben.

4. Institutionelle Einfassung gesellschaftlicher Technikkontroversen. Eine letzte politische Gestaltungsebene betrifft die Erweiterung des kooperativen Staates selbst. Ich habe darauf verwiesen, dass die Politik in ihrer Entscheidungsfindung systematisch auf externe Expertise und Beratung angewiesen ist. Der Staat agiert nicht autonom und anweisend, sondern als kooperativer Staat, der im Vorfeld von Entscheidungsfindungen auf den Sachverstand außerstaatlicher Akteure zurückgreift und deren Interessen – in der Regel nach Macht, Einfluss und Standortrelevanz gewichtet – berücksichtigt. Er hat sich dazu im Laufe der Zeit in ein dichtes Geflecht von Gremien und Verfahren ausdifferenziert, in denen Handlungsbedarfe vor allem mit Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft identifiziert und vorverhandelt werden und in denen Experten strittige Zukunftsthemen erörtern. Demgegenüber finden die produktiven Ressourcen, Anregungen und Alternativen, die sich im Umfeld von Technikkontroversen entwickeln,¹⁰ oft erst nachträglich, im Zuge veritabler Krisen, öffentlichen Protests oder gesellschaftlicher Inakzeptanzen Eingang in politische Zielorientierungen, Programmatiken und Entscheidungsprozesse. Dies ist ein starkes Argument dafür, mit Nachdruck nach Ansatzpunkten zu suchen, wie sich ambivalente Technikhaltungen, gesellschaftliche Technikkontroversen und technikkritischer Sachverstand jenseits ihrer Auslagerung in partizipative Verfahren systematisch auch in entscheidungsrelevante politische Gremien institutionell einfassen und produktiv nutzen lassen.

Kontrastiert man die hier vorgestellten politischen Gestaltungspotenziale mit den zuvor skizzierten Varianten notwendigen Wandels, dann zeigt sich, dass die Politik durchaus über realistische Möglichkeiten verfügt, inkrementellen Wandel zu stimulieren und experimentellen Wandel mit nachhaltigkeitsorientierten Elementen anzureichern. Schon

⁹ Ein solches Zentrum bildet seit 2004 die Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren mit ihrem seither laufenden Programm ‚Nachhaltigkeit und Technik‘.

¹⁰ Leonard Hennen (1996: 229) hat dieses produktive Potenzial gesellschaftlicher Technikkontroversen pointiert zusammengefasst: „Kontroversen um die negativen Folgen neuer Technologien für Umwelt, Gesundheit und gesellschaftliche Entwicklung haben in Form umwelt-, sozial- und technologiepolitischer Zielorientierungen Eingang in die Programme politischer Parteien, in die Forschungs- und Umweltpolitik der Bundesregierung, die Arbeit zahlreicher Enquete-Kommissionen des Deutschen Bundestages und in die Rechtsprechung gefunden. Umweltverträglichkeits- und Sozialverträglichkeitsprüfungen, Grenzwerte für Emissionen und Immissionen, Sicherheitstechnik, Gesundheitsschutz, Umweltschutz, Verbraucherschutz sind nur einige Stichworte, die zeigen, dass Technikkontroversen als inhaltliche Ressourcen, Anreger oder Katalysatoren für staatliche und auch unternehmerische Politik gedient haben.“

deren Wirkungen sind freilich begrenzt: Es handelt sich um (potenzielle) Ansatzpunkte für einen kleinschrittigen Wandel, die im übrigen selbst in ihrer gemäßigten Form auf beträchtliche industrielle und gesellschaftliche Widerstände stoßen – die Auseinandersetzung um eine ökologische Steuerreform etwa zeigt dies sehr deutlich. Vor allem aber sind die politischen Möglichkeiten, Prozesse eines radikalen Wandels vorherrschender soziotechnischer Regime einzuleiten und durchzusetzen, eng begrenzt: Auch eine willige und zu allem entschlossene Politik träfe hier nicht nur auf mächtige (industrielle) Gegenspieler mit hohem Obstruktionspotenzial, sondern auch auf über Jahrzehnte verfestigte soziotechnische Strukturen mit zum Teil herausragender volkswirtschaftlicher Bedeutung, deren Umbau tiefe Einschnitte in das technologische, institutionelle und ökonomische Profil, die Konsummuster und Lebensstile der Gesellschaft mit sich bringen würde. Radikaler nachhaltigkeitsorientierter Wandel wird sich, auch wenn er sich noch so gut begründen lässt, wenn, dann wohl nur über eine Vielzahl inkrementeller Schritte und in langfristiger Perspektive durchsetzen (lassen). Aber immerhin: Die Politik könnte sowohl die Erforschung alternativer technologischer Optionen und sozio-ökonomischer Transformationsszenarien frühzeitig und konzentriert fördern als auch die gesellschaftliche Sensibilisierung für die Notwendigkeit radikaler Wandlungsprozesse vorantreiben – mit der Perspektive, im Fall kommender, soziotechnischen Readjustierungsbedarf auslösender Krisen auf bereits entwickelte Alternativen und die zu ihrer Durchsetzung notwendige gesellschaftliche Akzeptanz zurückgreifen zu können.

Literatur

- Archibugi, Daniele; Iammarino, Simona (1999), The policy implications of the globalisation of innovation, in: *Research Policy* 28, 317-336
- Asheim, Björn; Gertler, Meric S. (2005), The Geography of Innovation: Regional Innovation Systems, in: Fagerberg, Jan; Mowery, David C.; Nelson, Richard R. (Eds.): *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford, 291-317
- Bauer, Martin (Ed.) (1995), *Resistance to new technology*, Cambridge
- Bauer, Martin W.; Gaskell, George (Eds.) (2002), *Biotechnology – The Making of a Global Controversy*, Cambridge, UK
- Belitz, Heike (2004), *Forschung und Entwicklung in multinationalen Unternehmen*, Berlin (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung: Studien zum deutschen Innovationssystem 8-2004)
- Bijker, Wiebe E.; John Law (Eds.) (1992), *Shaping Technology / Building Society*. Studies in sociotechnical Change, Cambridge / London
- Bijker, Wiebe E.; Hughes, Thomas P.; Pinch, Trevor (Eds.) (1987), *The Social Construction of Technological Systems*. New Directions in the Sociology and History of Technology, Cambridge
- BMBF (Hg.) (2000), *Bundesbericht Forschung 2000*, Bonn
- BMBF (Hg.) (2004), *Bundesbericht Forschung 2004*, Bonn
- BMBF (Hg.) (2004a), *Forschung für die Nachhaltigkeit*. Rahmenprogramm des BMBF für eine zukunftsfähige innovative Gesellschaft, Bonn
- Braun-Thürmann, Holger (2005), *Innovation*, Bielefeld
- Bresnahan, Timothy F.; Malerba, Franco (1999), Industrial Dynamics and the Evolution of Firms' and Nations' Competitive Capabilities in the World Computer Industry, in: Mowery/Nelson 1999, 79-132
- BRIE-IGCC E-economy Project (Eds.) (2001), *Tracking a Transformation*. E-commerce and the Terms of Competition in Industries, Washington D.C.
- Bush, Vannevar (1945), *Science. The Endless Frontier*. A report to the President (on a program for postwar scientific research), Washington D.C.

- Coenen, Reinhard (2002), Umlenken auf nachhaltige Technologiepfade, in: Grunwald, Armin (Hg.), Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung. Von der Konzeption zur Umsetzung, Berlin, 389-405
- David, Paul A. (2000), Path dependence, its critics and the quest for 'historical economics', Oxford (Working Paper)
- Dierkes, Meinolf; Hoffmann, Ute (Eds.) (1992), New Technology at the Outset. Social Forces in the Shaping of Technological Innovations, Frankfurt / Boulder
- Dohse, Dirk (2005), Clusterorientierte Technologiepolitik in Deutschland: Konzepte und Erfahrungen, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 1, 33-41
- Dolata, Ulrich (1992), Weltmarktorientierte Modernisierung. Die ökonomische Regulierung des wissenschaftlich-technischen Umbruchs in der Bundesrepublik, Frankfurt / New York
- Dolata, Ulrich (1996), Politische Ökonomie der Gentechnik. Konzernstrategien, Forschungsprogramme, Technologiewettläufe, Berlin
- Dolata, Ulrich (2001), Risse im Netz. Macht, Konkurrenz und Kooperation in der Technikentwicklung und -regulierung, in: Simonis/Martinsen/Saretzki 2001, 37-54
- Dolata, Ulrich (2003), Unternehmen Technik. Akteure, Interaktionsmuster und strukturelle Kontexte der Technikentwicklung: Ein Theorierahmen, Berlin
- Dolata, Ulrich (2005), Reflexive Stimulation or Disjointed Incrementalism? Readjustments of National Technology and Innovation Policy, in: Science, Technology & Innovation Studies 1, 59-76
- Dolata, Ulrich (Red.) (2005a), Nationale Politiken unter den Bedingungen der Globalisierung, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 1, 3-94
- Dosi, Giovanni; Freeman, Christopher; Nelson, Richard; Silverberg, Gerald; Soete, Luc (Eds.) (1988), Technical Change and Economic Theory, London / New York
- Freeman, Christopher (1991), Networks of innovators: A synthesis of research issues, in: Research Policy 20, 499-514
- Freeman, Christopher (1994), The economics of technical change, in: Cambridge Journal of Economics 18, 463-514
- Freeman, Christopher; Perez, Carlota (1988), Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour, in: Dosi et al. 1988, 38-66
- Geels, Frank W. (2004), From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory, in: Research Policy 33, 897-920
- Gerybadze, Alexander; Meyer-Krahmer, Frieder; Reger, Guido (1997), Globales Management von Forschung und Innovation, Stuttgart
- Grande, Edgar (1994), Die Erosion des staatlichen Steuerungspotentials in der Forschungs- und Technologiepolitik, in: Fricke, Werner (Hg.), Jahrbuch Arbeit und Technik 1994, Bonn, 243-253
- Grimmer, Klaus; Häusler, Jürgen; Kuhlmann, Stefan; Simonis, Georg (Hg.) (1992), Politische Techniksteuerung, Opladen
- Grimmer, Klaus; Kuhlmann, Stefan; Meyer-Krahmer, Frieder (Hg.) (1999), Innovationspolitik in globalisierten Arenen, Opladen
- Grupp, Hariolf; Legler, Harald; Licht, Georg (2004), Technologie und Qualifikation für neue Märkte. Ergänzender Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2003-2004, Bonn
- Hack, Lothar (1988), Vor Vollendung der Tatsachen. Die Rolle von Wissenschaft und Technologie in der dritten Phase der Industriellen Revolution, Frankfurt
- Hagedoorn, John; Link, Albert N.; Vonortas, Nicholas S. (2000), Research partnerships, in: Research Policy 29, 567-586
- Hampel, Jürgen; Renn, Ortwin (Hg.) (1999), Gentechnik in der Öffentlichkeit. Wahrnehmung und Bewertung einer umstrittenen Technologie, Frankfurt / New York
- Hellige, Hans Dieter (1993), Von der programmatischen zur empirischen Technikgeneseforschung. Ein technikhistorisches Analyseinstrument für die prospektive Technikbewertung, in: Technikgeschichte 60, 186-223

- Henderson, Rebecca M.; Clark, Kim B. (1990), Architectural Innovation. The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms, in: Administrative Science Quarterly 1, 9-30
- Hennen, Leonard (1996), Wissenschaft und Technik in der öffentlichen Diskussion: Über die Unvermeidbarkeit von Technikkontroversen in modernen Gesellschaften, in: Kerner, Max (Hg.), Aufstand der Laien. Expertentum und Demokratie in der technisierten Welt, Aachen, 227-248
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2002), Unternehmensnetzwerke – revisited, in: Zeitschrift für Soziologie 2, 106-124
- Jessop, Bob (2002), The Future of the Capitalist State, Cambridge
- Kemp, René (2002), Environmental Protection through Technological Regime Shifts, in: Jamison, A.; Rohracher, Harald (Eds.), Technology Studies and Sustainable Development, Munich / Vienna, 95-126
- Kitschelt, Herbert (1991), Industrial Governance Structures, Innovation Strategies, and the Case of Japan: Sectoral or Cross-National Comparative Analysis?, in: International Organization 4, 453-493
- Kuhlmann, Stefan (2003), Evaluation as a source of „strategic intelligence“, in: Shapira, Ph.; Kuhlmann, Stefan (Eds.), Learning from Science and Technology Policy Evaluation: Experiences from the United States and Europe, Cheltenham, UK / Northampton, US, 352-379
- Larédo, Philippe; Mustar, Philippe (2001), Research and Innovation Policies in the New Global Economy. An International Comparative Analysis, Cheltenham
- Lutz, Burkhard (1987), Das Ende des Technikdeterminismus und die Folgen – soziologische Technikforschung vor neuen Aufgaben und Problemen, in: Technik und sozialer Wandel. Verhandlungen des 23. Deutschen Soziologentages in Hamburg 1986, Frankfurt 1987, 34-52
- Martinsen, Renate; Simonis, Georg (Hg.) (1995), Paradigmenwechsel in der Technologiepolitik?, Opladen
- Meyer-Krahmer, Frieder (1999), Was bedeutet Globalisierung für Aufgaben und Handlungsspielräume nationaler Innovationspolitiken?, in: Grimmer/Kuhlmann/Meyer-Krahmer 1999, 43-73
- Meyer-Krahmer, Frieder (2000), Forschungs- und Innovationsförderung in der Bundesrepublik Deutschland: Stärken und Schwächen im europäischen und internationalen Vergleich, in: Institut für Weltwirtschaft und Internationales Management (Hg.), Innovation als Schlüsselfaktor eines erfolgreichen Wirtschaftsstandortes, Münster, 113-136
- Meyer-Krahmer, Frieder (2005), Handlungsspielräume und Modernisierungserfordernisse nationaler Technologie- und Innovationspolitik, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 1, 12-17
- Mokyr, Joel (2002), Innovation in an Historical Perspective: Tales of Technology and Evolution, in: Steil/Victor/Nelson 2002, 23-46
- Monopolkommission (2004), Wettbewerbspolitik im Schatten „Nationaler Champions“. Fünfzehntes Hauptgutachten der Monopolkommission 2002/2003, Berlin: BT-Drucksache 15/3610 v. 14.7.2004
- Mowery, David C.; Nelson, Richard R. (Eds.) (1999), Sources of Industrial Leadership. Studies of Seven Industries, Cambridge
- Mowery, David C.; Simcoe, Timothy (2002), The Internet, in: Steil/Victor/Nelson 2002, 229-264
- Nelson, Richard R. (1993), Technical Innovation and National Systems, in: Ders. (Ed.), National Innovation Systems. A Comparative Analysis, New York / Oxford, 3-21
- Nelson, Richard R. (1994), The Co-evolution of Technology, Industrial Structure, and Supporting Institutions, in: Industrial and Corporate Change 1, 47-63
- Parker, Rachel (1999), From National Champions to Small and Medium Sized Enterprises: Changing Policy Emphasis in France, Germany and Sweden, in: Journal of Public Policy 1, 63-89
- Perrow, Charles (1984), Normal Catastrophes, New York
- Perrow, Charles (1986), Complex Organizations: A Critical Essay, 3d ed., New York

- Powell, Walter W.; Koput, Kenneth W., Smith-Doerr, Laurel (1996), Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Networks of Learning in Biotechnology, in: Administrative Science Quarterly, March, 116-145
- Rammer, Christian; Polt, Wolfgang; Engeln, Jürgen; Licht, Georg; Schibany, Andreas (2004), Internationale Trends der Forschungs- und Innovationspolitik. Fällt Deutschland zurück?, Baden-Baden
- Rammert, Werner (1997), Auf dem Weg zu einer post-schumpeterianischen Innovationsweise. Institutionelle Differenzierung, reflexive Modernisierung und interaktive Vernetzung im Bereich der Technikentwicklung, in: Bieber, Daniel (Hg.), Technikentwicklung und Industriearbeit. Industrielle Produktionstechnik zwischen Eigendynamik und Nutzerinteressen, Frankfurt / New York, 45-71
- Rammert, Werner (2003), Technik in Aktion: Verteiltes Handeln in soziotechnischen Konstellationen, in: Christaller, Thomas; Wehner, Josef (Hg.), Autonome Maschinen, Wiesbaden, 289-315
- Rammert, Werner; Schulz-Schaeffer, Ingo (2002), Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt, in: Rammert, Werner; Schulz-Schaeffer, Ingo (Hg.), Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik, Frankfurt / New York, 11-64
- Rip, Arie (2002), Co-Evolution of Science, Technology and Society, Twente (Working Paper)
- Rip, Arie; Kemp, René (1998), Technological change, in: Rayner, Steve; Malone, Elizabeth L. (Eds.), Human choice and climate change. Volume two: Resources and technology, Columbus, Ohio, 328-399
- Saretzki, Thomas (1997), Demokratisierung von Expertise? Zur politischen Dynamik der Wissensgesellschaft, in: Klein, Ansgar; Schmalz-Bruns, Rainer (Hg.), Politische Beteiligung und Bürgerengagement in Deutschland. Möglichkeiten und Grenzen, Baden-Baden, 277-313
- Schmoch, Ulrich (1996), Die Rolle der akademischen Forschung in der Technikgenese, in: Soziale Welt 2, 250-265
- Simonis, Georg (1992), Forschungsstrategische Überlegungen zur politischen Techniksteuerung, in: Grimmer et al. 1992, 13-50
- Simonis, Georg; Martinsen, Renate; Saretzki, Thomas (Hg.) (2001), Politik und Technik. Analysen zum Verhältnis von technologischem und staatlichem Wandel am Anfang des 21. Jahrhunderts (Politische Vierteljahresschrift: Sonderheft 31), Opladen
- Steil, Benn; Victor, David G.; Nelson, Richard R. (Eds.) (2002), Technological Innovation and Economic Performance, Princeton / Oxford
- Stucke, Andreas (1993), Institutionalisierung der Forschungspolitik. Entstehung, Entwicklung und Steuerungsprobleme des Bundesforschungsministeriums, Frankfurt / New York
- Voß, Jan-Peter; Truffer, Bernhard; Konrad, Kornelia (2005), Sustainability Foresight für Versorgungssysteme. Ein ko-evolutionärer Ansatz zur Analyse, Bewertung und Gestaltung nachhaltiger Entwicklung, in: Jahrbuch Ökologische Ökonomik 4, 175-200
- Werle, Raymund (2003), Institutionalistische Technikanalyse: Stand und Perspektiven, Köln (MPlfG Discussion Paper 03/8)
- Werle, Raymund (2005), Internetpolitik in Deutschland, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 1, 26-32
- Weyer, Johannes (2004), Innovationen fördern – aber wie? Zur Rolle des Staates in der Innovationspolitik, Dortmund (Soziologische Arbeitspapiere Nr. 3 / März 2004)
- Weyer, Johannes (2005), Staatliche Förderung von Großtechnikprojekten. Ein dysfunktionaler Anachronismus im Zeitalter der Globalisierung?, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 1, 18-25
- Weyer, Johannes; Kirchner, Ulrich; Riedl, Lars; Schmidt, Johannes F.K. (1997), Technik, die Gesellschaft schafft. Soziale Netzwerke als Ort der Technikgenese, Berlin
- Willke, Helmut (2001), Atopia. Studien zur atopischen Gesellschaft, Frankfurt

PD Dr. Ulrich Dolata

Senior Scientist am artec – Forschungszentrum Nachhaltigkeit der Universität Bremen und Research Affiliate am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, Köln

Ausgewählte Veröffentlichungen:

- (2005) Reflexive stimulation or disjointed incrementalism? Readjustments of national technology and innovation policy, in: Science, Technology & Innovation Studies 1, 59-76 [download: <http://www.sti-studies.de/articles/2005-01/dolata.htm>]
- (2005) (Gastredaktion), Schwerpunktthema ‚Nationale Politiken unter den Bedingungen der Globalisierung‘, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 1, 3-94 [download: <http://www.itas.fzk.de/tatup/051/inhalt.htm>]
- (2005) Nationale Politiken unter den Bedingungen der Globalisierung, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 1, 3-11 [download: <http://www.itas.fzk.de/tatup/051/dola05a.pdf>]
- (2005) Eine Internetökonomie?, in: WSI-Mitteilungen 1, 11-17
- (2003) Unternehmen Technik. Akteure, Interaktionsmuster und strukturelle Kontexte der Technikentwicklung: Ein Theorierahmen, Berlin: edition sigma
- (2003) International Innovative Activities, National Technology Competition and European Integration Efforts, in: Edler, Jakob; Kuhlmann, Stefan; Behrens, Maria (Eds.), Changing Governance of Research and Technology Policy. The European Research Area, Cheltenham: Edward Elgar, 271-289
- (2002) Strategische Netzwerke oder fluide Figurationen? Reichweiten und Architekturen formalisierter Kooperationsbeziehungen in der Biotechnologie, in: Herstatt, Cornelius; Müller, Christian (Hg.), Management-Handbuch Biotechnologie, Stuttgart: Schaeffer-Pöschel, 157-172
- (2001) Risse im Netz. Macht, Konkurrenz und Kooperation in der Technikentwicklung und -regulierung, in: Simonis, Georg; Martinsen, Renate; Saretzki, Thomas (Hg.), Politik und Technik. Analysen zum Verhältnis von technologischem, politischem und staatlichem Wandel am Anfang des 21. Jahrhunderts (Politische Vierteljahresschrift: PVS-Sonderband 31/2000), Opladen: Westdeutscher Verlag, 37-54
- (2000) Hot House. Konkurrenz, Kooperation und Netzwerke in der Biotechnologie, in: Barben, Daniel; Abels, Gabriele (Hg.), Biotechnologie – Globalisierung – Demokratie. Politische Gestaltung transnationaler Technologieentwicklung, Berlin: edition sigma, 181-204
- (2000) Allianzen, Kooperationen, Netzwerke. Formen und Funktionsweisen industrieller Zusammenarbeit in Hochtechnologiesektoren, in: Hickel, Rudolf et al. (Hg.), Politik des Kapitals – heute. Festschrift zum 60. Geburtstag von Jörg Huffschild, Hamburg: VSA, 279-289
- (1999) Innovationsnetzwerke in der Biotechnologie?, in: WSI-Mitteilungen 2, 132-141

web:

www.artec.uni-bremen.de/team/dolata

artec-paper im Zeitraum Oktober 2002 – September 2005

Ulrich Dolata

Soziotechnischer Wandel, Nachhaltigkeit und politische Gestaltungsfähigkeit, 29 S.

artec-paper Nr. 124, September 2005

auch als pdf erhältlich

Georg Müller-Christ, Bastian Behrens, Brigitte Nagler

Best-Practice, Kommunikation und Nachhaltigkeit, 81 S.

artec-paper Nr. 123, Mai 2005

Hellmuth Lange

Lebensstile. Der sanfte Weg zu mehr Nachhaltigkeit, 21 S.

artec-paper Nr. 122, Mai 2005

Eva Senghaas-Knobloch, Guido Becke

Forschung in Aktion - Betriebliche Veränderungen im Dialog, 81 S.

artec-paper Nr. 121, November 2004

Lucia A. Reisch

Nachhaltiger Konsum: Aufgabe der „Neuen Verbraucherpolitik?“, 15 S.

artec-paper Nr. 120, November 2004

Hellmuth Lange

Rapid Change in Agricultural Policies. The BSE-Crisis in Germany (2000-2001), 21 S.

artec-paper Nr. 119, Oktober 2004

Carsten Rachuy, Tobias Warden

Probleme und Chancen der Benutzerschnittstellen bei Wearable Computern, 25 S.

artec-paper Nr. 118, Oktober 2004

Guido Becke

German Works Councils under Pressure. Institutional Learning as a Pathway to Enhance Their Capacities of Action, 66 S.

artec-paper Nr. 117, September 2004

Guido Becke

Indirect Regulation: A Remedy to Cure the Defects of European Environmental Policy? – The EMAS-Regulation, 57 S.

artec-paper Nr. 116, September 2004

Wilhelm Bruns

Hyper-Bonds – Applications and Challenges, 16 S.

artec-paper Nr. 115, Juli 2004

auch als pdf erhältlich

Yong-ho Yoo

Bi-directional Mixed Reality Electric Circuit - Virtual Equivalence, 10 S.

artec-paper Nr. 114, Juli 2004

auch als pdf erhältlich

Eva Senghaas-Knobloch

Global Economic Structures and „Global Governance“ in Labour Regulation Policy, 24 S.

artec-paper Nr. 113, Juli 2004

William T. Markham

Überleben in schwierigen Zeiten. Deutsche Umweltorganisationen im 20. Jahrhundert, 15. S

artec-paper Nr. 112, Juni 2004

Jörg Richard, Wilhelm Bruns

Mensch und Maschine im Spielraum.

Technische Praxis und ästhetische Erfahrung, 24 S.

artec-paper Nr. 111, April 2004

Ulrich Dolata

Unfassbare Technologien, internationale Innovationsverläufe und ausdifferenzierte Politikregime. Perspektiven nationaler Technologie- und Innovationspolitiken, 35 S.

artec-paper Nr. 110, März 2004

auch als pdf erhältlich

Roland Bogun

„Umweltsünder“ oder „Vorreiter“? Über Bewertungs- und Motivationsprobleme im Umweltmanagement an Hochschulen, 38 S.

artec-paper Nr. 109, Februar 2004

auch als pdf erhältlich

Hans Dieter Hellige

Zur Genese des informatischen Programmbegriffs: Begriffsbildung, metaphorische Prozesse, Leitbilder und professionelle Kulturen, 30 S.

artec-paper Nr. 108, Dezember 2003

Hans Dieter Hellige

Die Geschichte des Internet als Lernprozess, 24 S.

artec-paper Nr. 107, November 2003

auch als pdf erhältlich

Eva Senghaas-Knobloch

Globale Wirtschaftsstrukturen und "Global Governance" im Politikfeld Arbeit - Auftrag und Möglichkeiten der Internationalen Arbeitsorganisation (IAO), 25 S.

artec-paper Nr. 106, November 2003

auch als pdf erhältlich

Guido Becke (Universität Bremen, artec), Brigitte Nagler (Universität Bremen, artec), Walter Punke (KDA, Stade), Eva Senghaas-Knobloch (Universität Bremen, artec), Gerhard Wegner (KDA, Hannover)

Balanceakt Begeisterung - mit Leib und Seele in der Arbeitswelt, 14 S.
artec-paper Nr. 105, November 2003
auch als pdf erhältlich

Hellmuth Lange, Julia Blinde (artec), Stefanie Böge (artec), Hiltrud Burwitz (ZWE), Günter Warsewa (ZWE)

"Informieren – Anbieten – Verordnen. Wege zu nachhaltigen Konsummustern zwischen Konflikt und Konsens", 159 S.
artec-paper Nr. 104, November 2003
auch als pdf erhältlich

Eva Senghaas-Knobloch

Interdependenz, Konkurrenz und Sozialstandards. Probleme und Strategien bei der internationalen Normendurchsetzung, 26 S.
artec-paper Nr. 103, Januar 2003
auch als pdf erhältlich

F. Wilhelm Bruns, Hauke Ernst, Martin Faust, Paulo Gata Amaral, Hermann Gathmann, Sven Grund, Ian Hadfield, Jürgen Huyer, Ulrich Karras, Rainer Pundt, Kai Schudlach

Distributed Real and Virtual Learning Environment for Mechatronics and Tele-service. Abschlussbericht zum EU-Forschungsprojekt DERIVE, 50 S.
artec-paper Nr. 102, Dezember 2002

Khaled Abdelrahimsai-Pjau, Vahit Bilmez, Denis Böhme, Frank Euhus, Marcus Fährer, Torsten Fröhling, Thomas Gnewuch, Mathias Liebert, Daniel Mutis, Jörn Raffel, Ersin Ürer, Oliver Weickmann

Theater der Maschinen: Ein studentisches Projekt, 140 S.
artec-paper Nr. 101, November 2002

Forschungszentrum Arbeit-Umwelt-Technik (artec) (Hg.)

Kooperation. Eine fach- und professionsübergreifende Gestaltungsaufgabe. Tätigkeitsbericht für den Berichtszeitraum 2000 – 2002, 170 S.
artec-paper Nr. 100, November 2002
auch als pdf erhältlich

Hans Dieter Hellige

Wissenschaftsgenese und Wissenschaftskonzepte der informatischen Disziplin Computerarchitektur: Modelle der Artefaktstruktur, des Designraums und der Designkonflikte, Bericht des Theorieprojektes, 132 S.
artec-paper Nr. 99, November 2002

Weitere „artec-paper“ sind unter www.artec.uni-bremen.de/paper/paper.php zu finden.

