

# Soziotechnischer Wandel, Nachhaltigkeit und politische Gestaltungsfähigkeit

*Ulrich Dolata*

In: Hellmuth Lange (Hrsg.), Nachhaltigkeit als radikaler Wandel. Die Quadratur des Kreises? Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2008, 261-286.



# **Soziotechnischer Wandel, Nachhaltigkeit und politische Gestaltungsfähigkeit**

*Ulrich Dolata*

Die Befassung mit den (politischen) Gestaltungsmöglichkeiten des soziotechnischen Wandels ist für die Suche nach Ansatzpunkten einer nachhaltigen 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 institutionellen Transformationen oder der Veränderung von Lebensstilen – 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 Suche nach Ansatzpunkten einer ökologisch nachhaltigen Technikentwicklung nutzen?

## **1 Technik**

Zur Beantwortung dieser Fragen ist zunächst zu klären, was Technik selbst heute alles sein kann.

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 hervorgebracht und von vergleichsweise ergebnisoffenen sozialen Konstruktions-, Definitions- und Aushandlungsvorgängen geprägt werden

(klassisch: Bijker et al. 1987, Bijker/Law 1992, auch: Dierkes/Hoffmann 1992). Technologische Veränderungen und neue Techniken wirken allerdings 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 tief greifenden Einfluss auf vorhandene gesellschaftliche Institutionen und Systemstrukturen aus (Nelson 1994, Werle 2005; Dolata/Werle 2007). Das Auto beispielsweise prägt nicht nur die Verkehrsinfrastrukturen, Mobilitätsmuster und Lebensstile moderner Gesellschaften, sondern auch etwa deren städtische und ländliche Raumordnung oder deren Industriestrukturen. Die Globalisierung der Finanzmärkte wäre ohne avancierte Informations- und Kommunikationstechniken nicht denkbar. Die Gentechnik hat weit reichende (inter-)organisationale Restrukturierungen der Pharmaindustrie und neuartige politische Regelungsbedarfe angestoßen. 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. Technik ist also nicht nur soziales Konstrukt, sondern zugleich ein prägender Einflussfaktor des sozioökonomischen Wandels und wirkt als solcher in zum Teil sehr weit reichender Weise (re-)strukturierend auf soziale Handlungsbedingungen und -erfordernisse zurück.

Technik kann heute freilich vieles Verschiedenes sein. Dazu zählen neben einzelnen Artefakten zum Teil weitläufig vernetzte technische (Infrastruktur-) Systeme, großtechnologische Anlagen und neue Querschnittstechnologien, aber auch Methoden, Verfahren und Programme. Moderne Techniken differieren allerdings nicht nur in ihren technischen Ausprägungen substantiell voneinander, sondern unterscheiden sich zugleich in den jeweils möglichen Formen ihrer sozialen Organisation, in ihren institutionellen und regulativen Erfordernissen und ihren sozioökonomischen Wirkungen voneinander. Großtechniken, technische Infrastruktursysteme, neue Querschnittstechnologien oder individuell nutzbare Alltagstechniken tragen schon aufgrund ihres je spezifischen technologischen Profils zur Ausprägung unterscheidbarer Akteurfigurationen und Interaktionsformen, Organisationsmuster und Regelungsstrukturen bei (Perrow 1984, 1986, Kitschelt 1991, Rip/Kemp 1998).

Dies legt es auch mit Blick auf ihre politische Mitgestaltung und soziale Beherrschbarkeit nahe, Techniken zu klassifizieren und Techniktypen mit distinkten Eigenheiten und sozioökonomischen Strukturierungsleistungen voneinander zu unterscheiden – und zwar entlang der folgenden offen kombinierbaren Klassifizierungsmerkmale (Dolata 2003):

- *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 eingrenzbaeren Entstehungs- und Funktionsbezug oder um eine heterogen strukturierte Querschnittstechnologie, die in verschiedenen Zusammenhängen entsteht und in verschiedenen Sektoren jeweils spezifisch genutzt werden kann?
- *Wissensbasis.* Handelt es sich um ein auf akademischer Grundlagenforschung aufbauendes wissensbasiertes Technikfeld oder um eine praxisorientierte, auf anwendungsnahem Ingenieurwissen gründende Technik?
- *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 weit reichenden 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. Entlang dieser Klassifizierungsmerkmale lassen sich für jede Technik Strukturmerkmale identifizieren, 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 kleinformatige 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, können die Akteurfigurationen und Interaktionsbeziehungen, Regelungsbedarfe und Institutionalisierungsmuster sich signifikant voneinander unterscheiden. Die spezifischen Strukturmerkmale einer Technik lassen zwar Spiel-Räume für soziale Suchprozesse nach geeigneten Organisations-, Interaktions-, und Institutionalisierungsformen, konstituieren zugleich jedoch distinkte sozioökonomische Handlungs-, Organisations- und Institutionalisierungskorridore und begrenzen die Wahlmöglichkeiten der involvierten Akteure zwischen grundsätzlich vorhandenen Gestaltungsoptionen und -alternativen.

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 passen, um die es jeweils geht.

## 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 immer verbundenen sozioökonomischen Wandels voneinander unterschieden (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 selbst 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 weit reichende 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, aber auch die neue Biotechnologie zählen dazu.
- *Technologische Revolutionen* (changes in techno-economic paradigm) schließlich, die in ihren Wirkungen so weit reichend sind, dass sie nicht nur zu einer Vielzahl neuer Produkte, Dienstleistungen und Industriesegmenten führen, sondern direkt oder indirekt nahezu jeden Industriezweig berühren und zu ihrer Entwicklung und Nutzung eines neuen Sets an (inter)organisationalen, regulativen und institutionellen Strukturen benötigen. Neue universell einsetzbare Informations- und Kommunikationstechnologien gelten hierfür als paradigmatischer Fall.

Seit dem Übergang von den siebziger zu den achtziger Jahren wird der sozio-technische Wandel von einer solchen Phase tief greifender technologischer Umbrüche mit weit reichenden sozioökonomischen Rückwirkungen geprägt. In ihrem Zentrum stehen 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 economy and ultimately the rest of society as well“ (BRIE-IGCC E-conomy Project 2001: 3). Darüber hinaus hat sich mit der neuen Biotechnologie, mit deren Methoden und Verfahren die zuvor nicht denkbare gezielte Rekombination biologischen Materials ermöglicht wird, ein weiteres paradigmatisch neues Technikfeld entwickelt, dessen sozioökonomische Wirkungen allerdings längst nicht so weit reichen und bislang auf die medizinische Forschung und Pharmaindustrie, die Landwirtschaft, Agrochemie und Lebensmittelproduktion begrenzt sind (Dolata 1996).

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 Diffu-

sion 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 von klaren Schnittstellen geprägte 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, auch: Steil/Victor/Nelson 2002) 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 soziale 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 Interpenetrationen und rekursive Schleifen zwischen den verschiedenen Ebenen des Forschungs-, Innovations-, Institutionalisierungs- und Verwendungsprozesses prägen die Verlaufsformen soziotechnischen Wandels (Braun-Thürmann 2005).

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 können die mit ihm einhergegangenen technischen und sozioökonomischen Veränderungen außerordentlich sein – allerdings nicht als Ergebnis eines einmaligen und radikalen Bruchs, sondern als Resultat langgestreckter, uneindeutiger und fehlerbehafteter technischer, ökonomischer und sozialer Such-, Selektions- und Readjustierungsvorgänge (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 und verfestigen sich neue soziotechnische Entwicklungspfade.

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 (Dolata 2007).

Bezogen auf die Frage nach den politischen Gestaltungsmöglichkeiten des Wandels heißt all dies: Entscheidungen über künftige forschungs- und technologiepolitische Förderschwerpunkte und 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. Sie unterliegen 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 er-

neut auf den Prüfstand setzt und nicht selten von gesellschaftlichen Debatten mit oft ungeraden und zum Teil schnell wechselnden Frontverläufen begleitet wird.

### 3 Akteure und Strukturen

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. Sie werden mitbefördert und reguliert durch staatliche Technologie- und Rechtsetzungspolitiken oder durch öffentlich geförderte Großprojekte. Sie unterliegen mehr denn je dem kritischen Blick der Öffentlichkeit und werden von ihren Nachfragern – vor allem industriellen Anwendern, staatlichen Instanzen 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 im Zeitablauf zahlreiche Akteure in wechselnden Figurationen beteiligt. Die strukturellen Rahmenbedingungen, unter denen sie agieren, haben sich in den vergangenen zwanzig Jahren signifikant verändert.

Die Innovationsverläufe und die industrielle Innovationstätigkeit haben sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten substanziell internationalisiert und den vormaligen 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 ange-

passt 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).

Darüber hinaus haben sich forschungsintensive und technologieorientierte start-up-Firmen, die lange Zeit vornehmlich ein US-amerikanisches Phänomen waren, in den neunziger Jahren auch in Westeuropa neben den dominierenden und international tätigen Großunternehmen als eigenständiger neuer Unternehmenstyp etablieren können, der aus dem industriellen Innovationsprozess 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 sie oft die Pioniere und frühen Impulsgeber der kommerziellen Nutzung neuer technologischer Möglichkeiten. Die innovativen Kernfirmen dieses Unternehmenstyps (wie Microsoft und Intel anfangs der achtziger Jahre oder Google heute) stimulieren als risikobereite, forschungsintensive und nach unkonventionellen Verwertungsmöglichkeiten suchende Einheiten nicht nur den industriellen Innovationsprozess selbst. Sie sind etwa in der pharmazeutischen Biotechnologie zugleich zu wichtigen externen Impulsgebern und flexibel handhabbaren Kooperationspartnern der Großindustrie geworden (Parker 1999).

Des Weiteren lassen sich 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 Markttransparenzen heute auch im Organisationsrahmen von Großunternehmen, allein über den Aufbau starker inhouse-Kapazitäten, kaum noch verarbeiten. Alles das hat zu einer systematischen Kooperationsorientierung des Wirtschaftssektors geführt (Hagedoorn et al. 2000). 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).

Typisch für die kooperative industrielle Technikentwicklung, aber auch für wissenschaftliche Forschungszusammenhänge ist zudem, dass es sich in der Regel um Formen industrieller, akademischer oder auch akademisch-industrieller Selbstorganisation handelt, in deren Entstehung, Organisation und Arbeitsweise staatliche Instanzen oft nicht oder nur marginal involviert sind. Dies ist wiederum besonders augenfällig in neuen Hochtechnologisektoren wie der pharmazeutischen Biotechnologie oder der Computer- und Halbleiterindustrie, in denen die Forschung und Technikentwicklung von den Aktivitäten einer großen Zahl außerstaatlicher Akteure in schnell wechselnden Konstellationen vorangebracht wird: dezentral, international, kooperationsintensiv, marktbezogen und staatsfern (Mowery/Nelson 1999). Anders als bei der Förderung von Großtechnologien tritt der Staat in diesen Fällen weder als unabhkömmlicher 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).

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 (Dolata 2003). Dies sind Bürger, Wähler und Verbraucher, die als Individuen bedeutungslos und als Organisationen nichtexistent sind, die jedoch dann, wenn sie wie auch immer motivierte, als Massenphänomen auftretende gemeinsame Problemperzeptionen 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. Ersteres ist typisch für viele neue kommunikations- und medientechnische Angebote (Handys, Internet), die von den Konsumenten oft signifikant anders als erwartet und zudem sehr

selektiv genutzt werden. Letzteres ist z.B. in der grünen Gentechnik (Pflanzen- und Tierzucht; Lebensmittel) zu beobachten, deren Entwicklung in Westeuropa von einer hohen und anhaltenden gesellschaftlichen Inakzeptanz begleitet wird.

#### 4 Politik

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. Und sie sind überdies klar fokussiert: Unter den Bedingungen der Internationalisierung der industriellen Innovationsaktivitäten und -konkurrenzen stehen die Nationalstaaten zunehmend unter Druck, vor allem anderen als Wettbewerbsstaaten zu agieren, die mit anderen Ländern um Investitions- und Standortentscheidungen heimischer wie ausländischer Unternehmen (und auch Wissenschaftler) konkurrieren (Jessop 2002). Sie haben ihnen dazu möglichst attraktive Innovationsumfelder – exzellente Forschungsbedingungen, hoch entwickelte Produktionsstrukturen und zukunftsweisende Märkte – anzubieten (Archibugi/Iammarino 1999).

Gleichwohl kann von einem Rückzug, einer (Selbst-)Abwicklung oder gar einer Ohnmacht der Politik gegenüber den außerstaatlichen Akteuren und Eigendynamiken des Wandels (Willke 2001) auch unter diesen Bedingungen 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 genutzte Gestaltungsvarianten identifizieren, mit denen die Politik auch heute durchaus aktiv und strukturbildend in den sozio-technischen Wandel eingreifen kann (und dies auch tut) (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 staatsmonopo-

listischer Konzertierung, 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 zu meist gar nicht durchführbar. Sie werden oft industriepolitisch begründet, zum Teil aber auch aus nationalen Prestige Gründen verfolgt. Wie immer sie auch motiviert sind: Politische Förderentscheidungen gehen in diesen Fällen mit weit reichenden Festlegungen auf technologische bzw. industriepolitische Entwicklungspfade und mit entsprechenden Ressourcenbindungen einher. Dies ist eine riskante Strategie, die in der Vergangenheit oft nicht aufgegangen ist – 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 wäre z.B. die bis in 2006 international sehr erfolgreiche Entwicklung von EADS und Airbus als deutsch-französische Kooperationsprojekte nicht möglich gewesen. Und keineswegs ausgeschlossen ist, dass sich das deutsche Mautsystem für LKW zum auf dem Referenzmarkt Deutschland erfolgreich erprobten Exportschlager entwickelt. Insoweit verfügt der Staat im Bereich der direkten Technologieförderung auch weiterhin über beträchtliche Gestaltungsmöglichkeiten, ist freilich zugleich mit dem hohen Risiko großer und in der Folge nur schwer korrigierbarer Fehlschläge konfrontiert.

Daneben haben sich seit der zweiten Hälfte der neunziger Jahre in allen führenden Industrieländern neue Formen einer indirekter wirkenden Kontextgestaltung herausgebildet, die erkennbar über den klassischen Rahmen der Finanzierung von Großprojekten und der Förderung nationaler Champions hinausreichen. Dazu zählen insbesondere die gezielte Förderung innovativer und für die Großunternehmen kooperationsfähiger start-up-Firmen und die vor allem über staatliche Wettbewerbe stimulierte Entwicklung neuer regionaler High-Technology-Cluster. Hinzu kommen Aktivitäten zur Restrukturierung der öffentlichen Forschungs- und Wissenschaftssysteme in die Richtung einer stärkeren innerakade-

mischen Wettbewerbs- und akademisch-industriellen Transferorientierung, einer stärkeren Bündelung der Spitzenforschung in Leitprojekten und Kompetenzzentren sowie einer aktiven Unterstützung anwendungsorientierter Kooperationsverbände aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Die entsprechenden politischen Initiativen zielen 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 (Larédo/Mustar 2001, Rammer et al. 2004, Dolata 2006, BMBF 2004).

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 sichtbarer 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 regionaler 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 wirkmächtige Einflussnahme auf die infrastrukturellen, institutionellen und regulativen Rahmenbedingungen des Innovationsgeschehens.

Auch damit können 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 führenden Regionen zusätzlich fördern (Dohse 2005). Auch die zunehmende Fokussierung etwa 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 mittlerweile 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 Spiel-Räumen der Grundlagenforschung abhängt und geprägt wird (Stifterverband für die deutsche Wissenschaft 2005). 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). Politisch unbeantwortet ist schließlich die Frage, wie sich ambivalente Technikhaltungen, gesellschaftliche Technikkontroversen und technikkritischer Sachverstand systematisch auch in entscheidungsrelevante politische Gremien institutionell einfassen und produktiv nutzen lassen.

## 5 Nachhaltigkeit

Die skizzierten politischen Gestaltungsvarianten und -effekte widerlegen zum einen die verbreitete Diagnose einer weit reichenden 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. 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).

Wie könnte vor diesem Hintergrund eine Technologie- und Innovationspolitik aussehen, die einer aktiven Mitgestaltung ökologisch nachhaltiger soziotechnischer Entwicklungspfade verpflichtet wäre? Wie könnte sie konzeptionell angelegt, instrumentell umgesetzt und politisch relevant werden?

Ich habe im ersten Abschnitt darauf hingewiesen, dass Technik nicht gleich Technik ist. Diese Differenzierung gilt nicht nur für die distinkten technischen Charakteristika einer jeden Technik und ihre 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 Nachhaltigkeitsgesichts-

punkten jeweils spezifische politische Förder- und Regulierungsansätze zu entwickeln, die zum Typ der Technik passen, um den es jeweils geht.

Dies reicht freilich nicht. Technischer und sozioökonomischer Wandel stehen, wie ich im zweiten Abschnitt 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 soziotechnisches Projekt.

Darüber hinaus ist es notwendig, sich der Dimensionen und Reichweiten nachhaltigkeitsbezogenen soziotechnischen Wandels zu vergewissern. Auch unter Nachhaltigkeitsaspekten lassen sich verschiedene Varianten in diesem Fall allerdings nicht real existierenden, sondern aus sozial-ökologischen Problemidentifizierungen normativ hergeleiteten notwendigen Wandels voneinander unterscheiden.

*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 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 Emissionszertifikaten) oder über rechtliche Maßnahmen (wie der Festlegung von Emissionsgrenzwerten oder von Ressourceneffizienzstandards). 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 sie 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 (potenziellen) Reichweite dem technologischer Revolutionen entspricht, sind substantielle Transformationen bereits etablierter, über Jahrzehnte verfestigter Technikfelder mit besonders umweltbelastenden Effekten und – damit verbunden – entsprechend weit reichende 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 automobilzentrierten 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 weit reichenden sozio-ökonomischen Implikationen verbunden: Er verlangt nicht weniger als eine substantielle 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 Infra-

strukturen (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 im Rahmen von konkurrenzgetragenen Marktprozessen und außerstaatlicher Selbstorganisation entfalten, 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 damit in besonderem Maße auf den Staat als Impulsgeber und Träger angewiesen und also ein originär politisches Gestaltungsprojekt, das freilich anschlussfähig sein, also von außerstaatlichen Akteuren angenommen und von ihnen auch wesentlich umgesetzt werden muss (SRU 2004).

Welche Rolle könnte die Politik als Impulsgeber und Träger eines nachhaltigkeitsorientierten soziotechnischen Wandels spielen? Ich möchte abschließend vier politische Gestaltungsebenen einer nachhaltigkeitsorientierten Technologie- und Innovationspolitik skizzieren und sie auf ihre (möglichen) Gestaltungseffekte prüfen.<sup>1</sup> 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 (BMU 2006).

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 zum Teil grundsätzlich neue Rechtsrahmen, die angesichts der dynamischen technologischen Entwicklung zudem permanent neujustiert werden müssen. Dies bietet Möglichkeiten, über

---

<sup>1</sup> 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; Köck 2005; Voß et al. 2005. Ein respektables Standardwerk zum Thema liegt meines Wissens bislang nicht vor.

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 in Europa (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 wie ökologische Steuern, aber auch regulative Ansatzpunkte wie z.B. 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 ‚strategic niche management‘. Die dahinter stehende Idee ist es, für neue, noch unfertige und unerprobte 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). 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 -arenen 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: Deziert 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 seit einiger Zeit 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 drittmitelfinanzierten Förderung flüchtig und instabil, wenn sie nicht durch eine deutliche Aufwertung der institutionellen 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. Und zum anderen ist die Konzipierung und Umsetzung einer nachhaltigkeitsorientierten Technologie- und Innovationspolitik, mit der Prozesse weit reichenden 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 erforder-

derlich; 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. 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, oft erst nachträglich, im Zuge veritabler Krisen, öffentlichen Protests oder gesellschaftlicher Inakzeptanzen Eingang in politische Zielorientierungen, Programmatiken und Entscheidungsprozesse (Hennen 1996). Dies ist ein starkes Argument dafür, mit Nachdruck nach neuen Ansatzpunkten dafür zu suchen, wie sich ambivalente Technikhaltungen, gesellschaftliche Technikkontroversen und technikkritischer Sachverstand jenseits ihrer Auslagerung in partizipative Verfahren systematisch auch in entscheidungsrelevante politische Gremien institutionell erfassen und produktiv nutzen lassen (Voß in diesem Band).

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. Freilich handelt es sich dabei um (potenzielle) Ansatzpunkte für einen kleinschrittigen und graduellen Wandel, die im übrigen selbst in ihrer gemäßigten Form auf beträchtliche industrielle und gesellschaftliche Widerstände stoßen – die Auseinandersetzungen um ökologische Steuerreformen etwa zeigen 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 träge 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 und disruptiver technologischer, institutioneller und struktureller Wandel in die Richtung einer nachhaltigkeitsorientierten Technikentwicklung, -regulierung und -nutzung ist nur in der Folge wirklich elementarer und existenzgefährdender sozial-ökologischer Problemaufwüchse und akuter Krisen wahrscheinlich, die gesellschaftsweit auch als solche wahrgenommen und verarbeitet werden. Der normale Gang der Dinge wird demgegenüber eher geprägt sein durch Muster einer „transformation without disruption“, also durch kontinuierliche und graduelle soziotechnische Transformationen, die sich in ihrer Aneinanderreihung und Kumulation mit der Zeit allerdings durchaus auch zu weit reichenden kognitiven, technologischen und institutionellen Veränderungen in Richtung Nachhaltigkeit verdichten können (Streeck/Thelen 2005, Quack 2005).

Freilich sollte deutlich geworden sein, dass auch derart graduelle Transformationsverläufe keine Selbstläufer sind. Der Politik kommt in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle zu. Sie könnte etwa die Erforschung alternativer technologischer Optionen und sozioökonomischer Transformationsszenarien konzentriert fördern, die institutionellen und infrastrukturellen Voraussetzungen einer nachhaltigkeitsorientierten Technikentwicklung- und -nutzung verbessern sowie die gesellschaftliche Sensibilisierung für die Notwendigkeit auch radikaler Wandlungsprozesse voranbringen – mit der Perspektive, im Fall kommender, größeren soziotechnischen Readjustierungsbedarf auslösender Krisen und sich öffnender ‚windows of opportunity‘ auf bereits entwickelte Alternativen und die zu ihrer Durchsetzung notwendige gesellschaftliche Akzeptanz zurückgreifen zu können.

## 6 Literatur

- Archibugi, D./Iammarino, S. (1999): The policy implications of the globalisation of innovation, In: *Research Policy* 28. 317-336
- Asheim, B./Gertler, M. S. (2005): The Geography of Innovation: Regional Innovation Systems, in: Fagerberg, J./Mowery, D. C./Nelson, R. R. (Eds.): *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford. 291-317
- Bauer, M. (Ed.) (1995): *Resistance to new technology*, Cambridge
- Bauer, M. W./Gaskell, G. (Eds.) (2002): *Biotechnology – The Making of a Global Controversy*. Cambridge, UK
- Belitz, H. (2004): *Forschung und Entwicklung in multinationalen Unternehmen*. Berlin (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung: Studien zum deutschen Innovationssystem 8-2004)
- Bijker, W. E./Law, J. (Eds.) (1992): *Shaping Technology / Building Society*. Studies in sociotechnical Change. Cambridge/London

- Bijker, W. E./Hughes, T. P./Pinch, T. (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
- BMU (Hg.) (2006): *Ökologische Industriepolitik – Memorandum für einen “New Deal“ von Wirtschaft, Umwelt und Beschäftigung*. Berlin
- Braun-Thürmann, H. (2005): *Innovation*. Bielefeld
- BRIE-IGCC E-conomy Project (Eds.) (2001): *Tracking a Transformation. E-commerce and the Terms of Competition in Industries*. Washington D.C.
- Bush, V. (1945): *Science. The Endless Frontier. A report to the President (on a program for postwar scientific research)*: Washington D.C.
- Coenen, R. (2002): *Umlenken auf nachhaltige Technologiepfade*. In: Grunwald, A. (Hg.): *Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung. Von der Konzeption zur Umsetzung*. Berlin. 389-405
- Dierkes, M./Hoffmann, U. (Eds.) (1992): *New Technology at the Outset. Social Forces in the Shaping of Technological Innovations*. Frankfurt a.M./Boulder
- Dohse, D. (2005): *Clusterorientierte Technologiepolitik in Deutschland: Konzepte und Erfahrungen*. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 1. 33-41
- Dolata, U. (1992): *Weltmarktorientierte Modernisierung. Die ökonomische Regulierung des wissenschaftlich-technischen Umbruchs in der Bundesrepublik*. Frankfurt a.M./New York
- Dolata, U. (1996): *Politische Ökonomie der Gentechnik. Konzernstrategien, Forschungsprogramme, Technologiewettläufe*. Berlin
- Dolata, U. (2001): *Risse im Netz. Macht, Konkurrenz und Kooperation in der Technikentwicklung und -regulierung*. In: Simonis, G./Martinsen, R./Saretzki, T. (2001). 37-54
- Dolata, U. (2003): *Unternehmen Technik. Akteure, Interaktionsmuster und strukturelle Kontexte der Technikentwicklung: Ein Theorierahmen*. Berlin
- Dolata, U. (2005): *Reflexive Stimulation or Disjointed Incrementalism? Readjustments of National Technology and Innovation Policy*. In: *Science, Technology & Innovation Studies* 1. 59-76
- Dolata, U. (2006): *Technologie- und Innovationspolitik im globalen Wettbewerb. Veränderte Rahmenbedingungen, institutionelle Transformationen und politische Gestaltungsmöglichkeiten*. In: *Zeitschrift für Politikwissenschaft* 16 (2). 427-455
- Dolata, U. (2007): *Technik und sektoraler Wandel. Technologische Eingriffstiefe, sektorale Adaptionfähigkeit und soziotechnische Transformationsmuster*. Köln (Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung: MPIfG discussion paper 07/3)
- Dolata, U./Werle, R. (Hg.) (2007): *Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung*. Frankfurt a.M./New York
- Dosi, G./Freeman, C./Nelson, R./Silverberg, G./Soete, L. (Eds.) (1988): *Technical Change and Economic Theory*. London/New York

- Freeman, C. (1991): Networks of innovators: A synthesis of research issues. In: *Research Policy* 20. 499-514
- Freeman, C. (1994): The economics of technical change. In: *Cambridge Journal of Economics* 18. 463-514
- Freeman, C./Perez, C. (1988): Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour. In: Dosi, G. et al. (1988). 38-66
- Geels, F. 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, A./Meyer-Krahmer, F./Reger, G. (1997): *Globales Management von Forschung und Innovation*. Stuttgart
- Grande, E. (1994): Die Erosion des staatlichen Steuerungspotentials in der Forschungs- und Technologiepolitik. In: Fricke, W. (Hg.): *Jahrbuch Arbeit und Technik 1994*. Bonn. 243-253
- Grimmer, K./Häusler, J./Kuhlmann, S./Simonis, G. (Hg.) (1992): *Politische Techniksteuerung*. Opladen
- Grimmer, K./Kuhlmann, S./Meyer-Krahmer, F. (Hg.) (1999): *Innovationspolitik in globalisierten Arenen*. Opladen
- Grupp, H./Legler, H./Licht, G. (2004): *Technologie und Qualifikation für neue Märkte. Ergänzender Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2003-2004*. Bonn
- Hack, L. (1988): *Vor Vollendung der Tatsachen. Die Rolle von Wissenschaft und Technologie in der dritten Phase der Industriellen Revolution*. Frankfurt a.M.
- Hagedoorn, J./Link, A. N./Vonortas, N. S. (2000): Research partnerships. In: *Research Policy* 29. 567-586
- Hampel, J./Renn, O. (Hg.) (1999): *Gentechnik in der Öffentlichkeit. Wahrnehmung und Bewertung einer umstrittenen Technologie*. Frankfurt a.M./New York
- Hellige, H. D. (1993): Von der programmatischen zur empirischen Technikgeneseforschung. Ein technikhistorisches Analyseinstrument für die prospektive Technikbewertung. In: *Technikgeschichte* 60. 186-223
- Henderson, R. M./Clark, K. B. (1990): Architectural Innovation. The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. In: *Administrative Science Quarterly* 1. 9-30
- Hennen, L. (1996): Wissenschaft und Technik in der öffentlichen Diskussion: Über die Unvermeidbarkeit von Technikkontroversen in modernen Gesellschaften. In: Kerner, M. (Hg.): *Aufstand der Laien. Expertentum und Demokratie in der technisierten Welt*. Aachen. 227-248
- Hirsch-Kreinsen, H. (2002): Unternehmensnetzwerke – revisited. In: *Zeitschrift für Soziologie* 2. 106-124
- Jessop, B. (2002): *The Future of the Capitalist State*. Cambridge
- Kemp, R. (2002): Environmental Protection through Technological Regime Shifts. In: Jamison, A./Rohracher, H. (Eds.): *Technology Studies and Sustainable Development*. Munich/Vienna. 95-126

- Kitschelt, H. (1991): Industrial Governance Structures, Innovation Strategies, and the Case of Japan: Sectoral or Cross-National Comparative Analysis?. In: *International Organization* 4. 453-493
- Köck, W. (2005): Governance in der Umweltpolitik. In: Schuppert, G. F. (Hg.): *Governance-Forschung. Vergewisserung über Stand und Entwicklungsperspektiven*, Baden-Baden. 322-345
- Kuhlmann, S. (2003): Evaluation as a source of „strategic intelligence“. In: Shapira, Ph./Kuhlmann, S. (Eds.): *Learning from Science and Technology Policy Evaluation: Experiences from the United States and Europe*. Cheltenham, UK/Northampton, US. 352-379
- Larédo, P./Mustar, P. (2001): *Research and Innovation Policies in the New Global Economy. An International Comparative Analysis*. Cheltenham
- Lutz, B. (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 a.M. 1987. 34-52
- Martinsen, R./Simonis, G. (Hg.) (1995): *Paradigmenwechsel in der Technologiepolitik?*. Opladen
- Meyer-Krahmer, F. (1999): Was bedeutet Globalisierung für Aufgaben und Handlungsspielräume nationaler Innovationspolitiken?. In: Grimmer, K./Kuhlmann, S./Meyer-Krahmer, F. (1999). 43-73
- Meyer-Krahmer, F. (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
- Mokyr, J. (2002): Innovation in an Historical Perspective: Tales of Technology and Evolution. In: Steil, B./Victor, D. G./Nelson, R. R. (2002). 23-46
- Monopolkommission (2004): *Wettbewerbspolitik im Schatten „Nationaler Champions“*. Fünfzehntes Hauptgutachten der Monopolkommission 2002/2003. Berlin: BT-Drucksache 15/3610 v. 14.07.2004
- Mowery, D. C./Nelson, R. R. (Eds.) (1999): *Sources of Industrial Leadership. Studies of Seven Industries*. Cambridge
- Mowery, D. C./Simcoe, T. (2002): The Internet. In: Steil/Victor/Nelson 2002. 229-264
- Nelson, R. R. (1993): Technical Innovation and National Systems. In: ders. (Ed.): *National Innovation Systems. A Comparative Analysis*. New York / Oxford. 3-21
- Nelson, R. R. (1994): The Co-evolution of Technology, Industrial Structure, and Supporting Institutions. In: *Industrial and Corporate Change* 1. 47-63
- Parker, R. (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, C. (1984): *Normal Catastrophes*. New York
- Perrow, C. (1986): *Complex Organizations: A Critical Essay*, 3d ed.. New York

- Powell, W. W./Koput, K. W./Smith-Doerr, L. (1996): Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Networks of Learning in Biotechnology. In: Administrative Science Quarterly. March. 116-145
- Quack, S. (2005): Zum Werden und Vergehen von Institutionen. Vorschläge für eine dynamische Governanceanalyse. In: Schuppert, G. F. (Hg.): Governance-Forschung. Vergewisserung über Stand und Entwicklungsperspektiven. Baden-Baden. 346-370
- Rammer, C./Polt, W./Engeln, J./Licht, G./Schibany, A. (2004): Internationale Trends der Forschungs- und Innovationspolitik. Fällt Deutschland zurück? Baden-Baden
- Rammert, W. (1997): Auf dem Weg zu einer post-schumpeterianischen Innovationsweise. Institutionelle Differenzierung, reflexive Modernisierung und interaktive Vernetzung im Bereich der Technikentwicklung. In: Bieber, D. (Hg.): Technikentwicklung und Industriearbeit. Industrielle Produktionstechnik zwischen Eigendynamik und Nutzerinteressen. Frankfurt a.M./New York. 45-71
- Rip, A. (2002): Co-Evolution of Science, Technology and Society. Twente (Working Paper)
- Rip, A./Kemp, R. (1998): Technological change. In: Rayner, S./Malone, E. L. (Eds.): Human choice and climate change. Volume two: Resources and technology, Columbus. Ohio. 328-399
- Schmoch, U. (1996): Die Rolle der akademischen Forschung in der Technikgenese. In: Soziale Welt 2. 250-265
- Simonis, G. (1992): Forschungsstrategische Überlegungen zur politischen Techniksteuerung. In: Grimmer, K. et al. (1992). 13-50
- Simonis, G./Martinsen, R./Saretzki, T. (Hg.) (2001): Politik und Technik. Analysen zum Verhältnis von technologischem und staatlichem Wandel am Anfang des 21. Jahrhunderts (Politische Vierteljahresschrift: Sonderheft 31). Opladen
- SRU – Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (2004): Umweltgutachten 2004. Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Baden-Baden
- Steil, B./Victor, D. G./Nelson, R. R. (Eds.) (2002): Technological Innovation and Economic Performance. Princeton/Oxford
- Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (Hg.) (2005): FuE-Info 2
- Streeck, W./Thelen, K. (2005): Introduction: Institutional Change in Advanced Political Economies. In: Streeck, W./Thelen, K. (Eds.): Beyond Continuity. Institutional Change in Advanced Political Economies. Oxford. 1-39
- Voß, J.-P./Truffer, B./Konrad, K. (2005): Sustainability Foresight für Versorgungssysteme. Ein ko-evolutionärer Ansatz zur Analyse, Bewertung und Gestaltung nachhaltiger Entwicklung. In: Jahrbuch Ökologische Ökonomik 4. 175-200
- Werle, R. (2005): Institutionalistische Analyse technischer Innovation. In: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie 2. 308-332
- Weyer, J. (2004): Innovationen fördern – aber wie? Zur Rolle des Staates in der Innovationspolitik. Dortmund (Soziologische Arbeitspapiere Nr. 3 / März 2004)
- Weyer, J. (2005): Staatliche Förderung von Großtechnikprojekten. Ein dysfunktionaler Anachronismus im Zeitalter der Globalisierung?. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 1. 18-25
- Weyer, J./Kirchner, U./Riedl, L./Schmidt, J. (1997): Technik, die Gesellschaft schafft. Soziale Netzwerke als Ort der Technikgenese. Berlin

Willke, H. (2001): *Atopia. Studien zur atopischen Gesellschaft*. Frankfurt a.M.