Technologische Innovationen und sektoraler Wandel

Eingriffstiefe, Adaptionsfähigkeit, Transformationsmuster: Ein analytischer Ansatz

Technological Innovations and Sectoral Change

Transformative Capacity, Adaptability, Patterns of Change: An Analytical Framework

Ulrich Dolata*

Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, Paulstr. 3, 50676 Köln, Germany
E-Mail: du@mpifg.de
und
Universität Bremen, artec – Forschungszentrum Nachhaltigkeit, Postfach 330440, 28334 Bremen, Germany
E-Mail: dolata@artec.uni-bremen.de

Zusammenfassung: In diesem Text wird ein analytischer Ansatz vorgestellt, mit dem das Ausmaß und die typischen Muster technikinduzierten sektoralen Wandels empirisch untersucht und erklärt werden können. Dazu werden zwei wesentliche Konzepte herausgestellt und aufeinander bezogen: Zum einen die spezifische sektorale Eingriffstiefe neuer Technologien, also die substanzielle oder inkrementelle Bedeutung, die diese für das jeweilige sektorale System haben (können); zum anderen die sektorale Adaptionsfähigkeit der dort etablierten sozioökonomischen Strukturen, Institutionen und Kernakteure, die mit neuen technologischen Möglichkeiten konfrontiert werden. Mit Hilfe des ersten Konzepts – sektorale Eingriffstiefe neuer Technologien – lässt sich der sektorale Anpassungs- und Veränderungsdruck, den neue Technologien bzw. Technologiefelder erzeugen, identifizieren. Mit dem zweiten komplementären Konzept – sektorale Adaptionsfähigkeit – lassen sich die sektorale Aufnahmebereitschaft und Verarbeitungskapazität dieses Drucks, die durch die jeweils bestehenden sektoralen Strukturen, Institutionen und Handlungsorientierungen geprägt werden, analysieren. Aus dem spezifischen Zusammenspiel beider Einflussfaktoren ergeben sich unterscheidbare sektorale Transformationsmuster, die sich im Spektrum antizipativer Anpassung und krisenhafter Reaktion bewegen.

Summary: This paper introduces a heuristic framework for analyzing and explaining distinct patterns of technology-based sectoral change. The concept is based on two interrelated pertinent factors. The first is the sectoral-specific transformative capacity of new technologies themselves: What kind of substantial or incremental impact do they have on socio-economic and institutional change in a given sectoral system? The second is the sectoral adaptability of socio-economic structures, institutions and actors confronted with the opportunities presented by new technologies. The first factor – the sectoral transformative capacity of new technologies – enables us to identify the technology-driven pressure to change and adjust the structural and institutional architectures of the sectoral system. The second, complementary factor – sectoral adaptability – helps us to discern the distinct social patterns of anticipation and absorption of this technology-based pressure. The specific interplay between these two pertinent factors leads to distinguishable modes of sectoral transformation ranging from anticipative and smooth adjustments to reactive and crisis-ridden patterns of change.

1. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technik: Eingangsüberlegungen

Seit dem Übergang von den siebziger zu den achtziger Jahren befinden sich die hoch entwickelten kapitalistischen Gesellschaften in einer anhaltenden Phase signifikanter technologischer Veränderungen, die vor allem anderen durch die Verbreitung einer Vielzahl neuer Informations- und Kommunikationstechnologien, daneben auch durch die Etablierung neuer Biotechnologien geprägt wird. Im Zuge der Entstehung, Diffusion und Nutzung, also der

* Dieser Text ist im Zusammenhang des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts *Internet und Biotechnologie. Technologische Innovationen und ihre Auswirkungen auf Akteurfigurationen, Kooperationsbeziehungen und Konkurrenzmuster in vergleichender Perspektive* entstanden. Für instruktive Kommentierungen möchte ich neben den Gutachtern der ZfS Renate Mayntz, Raymund Werle und Martin Höpner vom MPI für Gesellschaftsforschung danken.

sozialen Formung und Institutionalisierung neuer Technologien verändern sich sukzessive auch die Handlungsorientierungen der involvierten Akteure und mit ihnen die sozioökonomischen und institutionellen Bedingungen, unter denen sie agieren. Neue Technologien wirken, ähnlich wie soziale Strukturen und Institutionen, als kontingente Ergebnisse akteurgetragener sozialer Prozesse zugleich in Form neuer Handlungsermöglichungen und -rahmungen restrukturierend auf soziale (ökonomische, politische, zivilgesellschaftliche) Zusammenhänge zurück: Sie tragen zur Veränderung von Organisationsmustern und interorganisationalen Beziehungen bei, eröffnen Spielräume für neue Akteure, konstituieren neue Marktsegmente und Konkurrenzkonstellationen, erfordern zum Teil weit reichende Neujustierungen politisch-regulativer Rahmensetzungen, modifizieren Lebensstile und Konsummuster und provozieren nicht selten scharf geführte gesellschaftliche Diskurse und Technikkontroversen (Dolata/Werle 2007).

Dieser allgemeine Zusammenhang von technologischem, sozioökonomischem und institutionellem Wandel ist mittlerweile vor allem in verschiedenen Konzepten der Ko-Evolution von Technologien und Institutionen oder im Rahmen neuerer soziotechnischer Systemansätze durchaus präsent (Rammert 2007: 11ff.). Sie werfen in der einen oder anderen Weise die Frage auf, „how technology is shaped by social, economic, and political forces alike; and how, in the same process, technologies and technology systems shape human relations and societies." (Rip/Kemp 1998: 328; auch Kemp et al. 2001, Kitschelt 1991, Nelson 1994, Lynn et al. 1996, Geels 2005) Obgleich damit das Wechselverhältnis von Technologien und Gesellschaft im Allgemeinen oder auch das von Technologien, sozioökonomischen Strukturen und Institutionen in den Blick genommen wird, zielen diese Ansätze allerdings vornehmlich auf die Untersuchung und Erklärung der Verlaufsformen und Varianten des *technologischen Wandels*. Demgegenüber gibt es bislang kaum Antworten auf den in diesem Aufsatz interessierenden zweiten Teil der Frage, welchen sozialen Veränderungs- und Anpassungsdruck neue Technologien im Prozess ihrer Genese, Diffusion und Nutzung erzeugen und wie dieser gesellschaftlich verarbeitet wird, wie sich also, anders gesagt, durch neue technologische Möglichkeiten angestoßene Prozesse *sozioökonomischen und institutionellen Wandels* vollziehen und welche typischen Verlaufsmuster sie annehmen (Werle 2005).

Dieser Frage wird im Folgenden mit Blick auf den sich unter dem Eindruck neuer technologischer Möglichkeiten vollziehenden *Wandel sektoraler Systeme* nachgegangen. Mit einer solchen Fokussierung auf die Mesoebene von Wirtschaftssektoren wird dem Umstand Rechnung getragen, dass insbesondere neue Querschnittstechnologien, die verschiedene Sektoren berühren, dies in sehr unterschiedlicher Weise tun (können): Sie üben in aller Regel einen spezifischen Veränderungsdruck auf die bestehenden sektoralen Strukturen, Institutionen und Akteure aus, der dort zudem in unterschiedlicher Weise wahrgenommen und verarbeitet werden kann.

Ausgehend von dieser Überlegung wird im Folgenden ein *analytischer Ansatz* vorgestellt und an empirischen Beispielen konkretisiert, mit dem sich das Ausmaß und die typischen Muster technikinduzierten sektoralen Wandels als Zusammenspiel von zwei wesentlichen und aufeinander bezogenen Einflussfaktoren untersuchen und erklären lassen (Abb. 1):

- der spezifischen *sektoralen Eingriffstiefe* der neuen Technologien bzw. Technologiefelder, um die es geht, also der substanziellen bzw. funktional ergänzenden Bedeutung, die sie für das jeweilige sektorale System haben (können),
- und der *sektoralen Adaptionsfähigkeit* der etablierten sozioökonomischen Strukturen, Institutionen und Kernakteure, die mit neuen technologischen Möglichkeiten konfrontiert werden.

Mit Hilfe des ersten Konzepts – *sektorale Eingriffstiefe neuer Technologien* – lässt sich der sektorale Anpassungs- und Veränderungsdruck, den neue Technologien bzw. Technologiefelder erzeugen, identifizieren (Abschnitt 3). Und mit dem zweiten komplementären Konzept – *sektorale Adaptionsfähigkeit* – lassen sich die sektorale Aufnahmebereitschaft und Verarbeitungskapazität dieses Drucks, die durch die jeweils bestehenden sektoralen Strukturen, Institutionen und Handlungsorientierungen geprägt werden, analysieren. Aus dem spezifischen Zusammenspiel beider Einflussfaktoren ergeben sich, so die daran anschließende Überlegung, unterscheidbare *sektorale Transformationsmuster*, die sich im Spektrum antizipativer Anpassung und krisenhafter Reaktion bewegen (Abschnitt 4). Die Verläufe derartiger Transformationsprozesse zeichnen sich in der Regel nicht durch radikale Brüche innerhalb kurzer Fristen aus, sondern konkretisieren sich in einer Vielzahl eher gradueller sozioökonomischer und institutioneller Veränderungen, die sich über einen längeren Zeitraum erstrecken (Abschnitt 5).

Analytische Ansätze sind, wenn sie sich nicht in summarischen Auflistungen verschiedener einfach

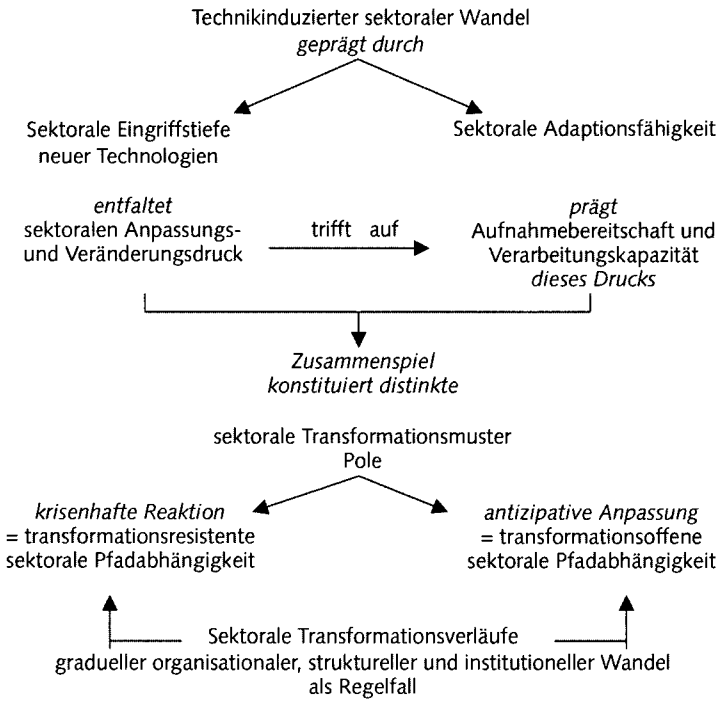

Abb. 1 Technikinduzierter sektoraler Wandel: Analytische Kernkategorien.

abzurufender Komponenten und Einflussfaktoren erschöpfen sollen, immer auch Beiträge zur inhaltlichen Strukturierung und theoretischen Erklärung des Zusammenhangs, auf den sie sich beziehen. Insofern sind die folgenden Ausführungen nicht bloß als Anleitung zur Erstellung sektoraler Fallstudien zu lesen, sondern zugleich ein theoretisch-konzeptioneller Beitrag zum Zusammenhang von technologischem und sektoralem Wandel.

2. Soziotechnische Systeme und *periods of mismatch*

Sektorale Systeme wie die Automobilindustrie, die Luft- und Raumfahrtindustrie, die chemische und pharmazeutische Industrie oder die Musik- und Medienindustrie sind keine reinen Sozialsysteme, sondern soziotechnische Gebilde. Sie zeichnen sich nicht nur durch jeweils spezifische sozioökonomische Strukturen und Institutionen, Akteurfigurationen und Interaktionsbeziehungen aus, sondern werden auch von den Technologien mitgeprägt, die dort entwickelt, hergestellt und genutzt werden.

Großtechnologien, technische Infrastruktursysteme, neue Querschnittstechnologien oder individuell nutzbare Alltagstechnologien tragen schon aufgrund ihrer je spezifischen technologischen Eigenheiten zur Ausprägung jeweils typischer (sektoraler) Akteurfigurationen und Interaktionsformen, Organisationsmuster und Regelungsansätze bei (Dolata 2003: 93ff.). So lassen sich kapital- und organisationsintensive Großtechnologien (etwa in der Luft- und Raumfahrtindustrie) nicht derart dezentral und marktförmig entwickeln, organisieren und nutzen wie kleinformatige und anwendungsoffene neue Querschnittstechnologien (z. B. die Biotechnologie). Auch der Dezentralisierung und Liberalisierung großer technischer Infrastruktursysteme wie der Energieversorgung oder der Telekommunikation waren bis in die achtziger Jahre technologisch bedingte Grenzen gesetzt. Für Sektoren, die durch neue wissensbasierte Technologiefelder geprägt werden (wie z. B. die Pharmaindustrie) sind akademisch-industrielle Interaktionsbeziehungen konstitutiv – für solche, die wesentlich auf anwendungsorientiertem Wissen basieren (wie z. B. im Maschinenbau) gilt dies nicht. Sektoren schließlich, in denen individuell verwendbare Alltagstechnologien entwickelt, hergestellt oder genutzt werden (wie z. B. im Bereich der Unterhaltungselektronik oder der Musik- und Medienindustrie), werden in weit stärkerem Maße von deren eigenwilliger (Um-)Nutzung durch private Konsumenten mitgeprägt als solche, die Groß- und Investitionsgütertechnologien produzieren (wie z. B. im Großanlagenbau).

Das jeweilige technologische Profil eines Sektors prägt also als wichtiger eigenständiger Einflussfaktor die dortigen sozioökonomischen Strukturen, Regelungsmuster, Akteurfigurationen und Interaktionsbeziehungen mit. Christopher Freeman und Carlota Perez (1988) haben diesen Zusammenhang als *match* bezeichnet: Soziotechnische Systeme welcher Art auch immer müssen sich demnach durch eine Kompatibilität zwischen den Eigenheiten der vorhandenen Technologien, den sozioökonomischen Strukturen und den Institutionen auszeichnen, wenn sie funktionieren sollen. Auch Renate Mayntz (1993) weist in ihren Arbeiten zu großen technischen Systemen auf die starke Abhängigkeit der herausgebildeten Strukturen und Institutionen von den jeweils vorhandenen technischen (System-)Eigenschaften hin. Herbert Kitschelt (1991: 468) betrachtet diesen *match* als ein Effizienzerfordernis: „Industrial sectors, identified by core technologies, efficiently operate only if governance structures match technological constraints."

Während inkrementelle oder vereinzelte radikale Innovationen in aller Regel ohne größere sozioökonomische und institutionelle Anpassungsleistungen in bereits bestehende Kontexte integrierbar sind und den vorhandenen soziotechnischen *match* nicht grundsätzlich in Frage stellen, geraten die spezifischen, oft über Jahrzehnte eingespielten Zusammenhänge zwischen den etablierten technologischen Profilen und den vorhandenen Strukturen, Institutionen, Akteurkonstellationen und Handlungsorientierungen in Zeiten größerer und radikaler technologischer Umbrüche ins Wanken. Grundlegend neue, aber auch substanzielle Weiterentwicklungen vorhandener Technologien stellen die Funktionsfähigkeit bestehender soziotechnischer Konstellationen mehr oder minder stark in Frage, erfordern zum Teil weit reichende sozioökonomische und institutionelle Anpassungsprozesse und werden damit zu eigenständigen Impulsgebern des sozioökonomischen und institutionellen Wandels. Freeman und Perez bezeichnen derart einschneidende Umbruchsituationen als *periods of mismatch*: Als längere Phasen der Suche nach, des Experimentierens mit und der interessegeleiteten Auseinandersetzung um neue Strukturen und institutionelle Arrangements, welche zu den neuen Technologien passen. Im Ergebnis derartiger Anpassungsprozesse kommt es schließlich zu einem neuen Gleichgewicht zwischen Technologien, sozioökonomischen Strukturen und Institutionen: „Social and institutional changes are necessary to bring about a better ‚match' between the new technology and the system of social management of the economy – or ‚regime of regulation'" (Freeman/Perez 1988: 38, Perez 2002; ähnlich Rip/Kemp 1998, Kemp et al. 2001).

Diese allgemeine Stilisierung soziotechnischer Transformationsprozesse durch Freeman und Perez bildet einen wichtigen Ausgangspunkt der Untersuchung technikinduzierten sektoralen Wandels – und bleibt gleichwohl für den hier interessierenden Zusammenhang unbefriedigend. Das Konzept bezieht sich vornehmlich auf die Meta-Ebene von Wirtschaftssystemen oder Gesellschaften und bildet auch den Leitgedanken von Manuel Castells (1996) Analyse des durch neue Informationstechnologien geprägten Aufstiegs der Netzwerkgesellschaft. Differenzierende sektorale Wirkungen neuer Technologien geraten damit aus dem Blick. Darüber hinaus teilt es ein Problem mit den eher programmatischen Ansätzen einer Ko-Evolution von Technologien und Institutionen (Nelson 1994; zusammenfassend Geels 2004): Es bleibt vage in seinen Aussagen zu den mit der Entwicklung neuer Technologien einhergehenden konkreten Mustern, Varianten und Verlaufsformen sozioökonomischer und institutioneller Restrukturierungen.

Wenn technikinduzierter Wandel auf der sektoralen Ebene analysiert werden soll, dann ist demgegenüber zum einen zu berücksichtigen, dass auch universell, wirtschafts- bzw. gesellschaftsweit nutzbare neue Technologien sehr verschiedene Auswirkungen auf die strukturellen und institutionellen Gefüge unterschiedlicher Sektoren haben können. Der durch das Internet ausgelöste sektorale Veränderungs- und Anpassungsdruck ist beispielsweise im Musik- und Mediensektor weit größer als in der Automobilindustrie (BRIE-IGCC E-conomy Project 2001, Dolata 2005). Ähnliches gilt etwa für die sehr verschiedenen (potenziellen) sektoralen Wirkungen der Nanotechnologie (Heinze 2006). Zum anderen ist zu bedenken, dass dieser technologische Anpassungs- und Veränderungsdruck je nach den etablierten strukturellen und institutionellen Gegebenheiten eines Sektors und den dominierenden Handlungsorientierungen seiner Akteure sehr verschieden wahrgenommen und verarbeitet werden kann. Die Entwicklung und Nutzung der neuen Biotechnologie im Pharmasektor zum Beispiel traf Ende der siebziger, Anfang der achtziger Jahre in den Vereinigten Staaten auf wesentlich antizipations- und adaptionsfähigere sektorale Strukturen, Institutionen und Akteure als in Westeuropa (und namentlich in Deutschland). Dies hat sich in der Folgezeit in national unterschiedlichen Transformationsbedarfen und -mustern desselben Sektors niedergeschlagen (für die pharmazeutische Biotech-

nologie: Henderson et al. 1999, Barben 2007; allgemein auch: Hollingsworth/Streeck 1994).

3. Neue Technologien und ihre sektorale Eingriffstiefe

Der Einfluss neuer Technologien auf den sozioökonomischen und institutionellen Wandel macht sich, folgt man dem match/mismatch-Konzept, als Veränderungs- und Anpassungsdruck auf bestehende Strukturen, Institutionen und Handlungsorientierungen bemerkbar. Wenn der Blick auf die Meso-Ebene einzelner Wirtschaftssektoren gerichtet wird, dann zeigt sich schnell, dass dieser Druck sektorspezifisch stark variiert (Mowery/Nelson 1999).

Mit Hilfe des Konzepts der sektoralen Eingriffstiefe kann die (potenzielle) sektorale Bedeutung neuer Technologien oder Technologiefelder und der Veränderungs- bzw. Anpassungsdruck, den sie auf die dort bestehenden Strukturen, Institutionen und Akteure ausüben, identifiziert und analysiert werden – dies freilich nicht über eindeutig quantifizierbare Indikatoren und in Form deterministischer Ableitungen, sondern mit Hilfe qualitativer Kriterien, die die typischen Eigenheiten neuer Technologien und ihre möglichen Wirkungen auf bestehende sektorale Systeme ins Verhältnis zueinander setzen.

Die sektorale Eingriffstiefe neuer Technologien bzw. Technologiecluster lässt sich über zwei aufeinander bezogene Spektrenbildungen präzisieren, innerhalb derer es jeweils graduelle Abstufungen gibt. Zum einen ist danach zu fragen, inwieweit die sektoralen Entstehungs- und Nutzungszusammenhänge neuer technologischer Möglichkeiten zusammen- bzw. auseinanderfallen: Sind sie vornehmlich im Rahmen des sektoralen Systems selbst entstanden (*endogene Technik*) oder maßgeblich außerhalb des die Technik nutzenden Sektors entwickelt worden (*exogene Technik*)? Zum anderen ist nach Hinweisen für die sektorale Wirkmächtigkeit neuer Technologien zu suchen: Haben sie eher mittelbare, ergänzende und funktional unterstützende sektorale Wirkungen (*geringe Eingriffstiefe*)? Oder üben sie einen unmittelbaren, einschneidenden und seine Funktionsweise insgesamt erfassenden Druck auf das vorhandene sektorale System, seine Strukturen, Institutionen und Akteure aus (*große Eingriffstiefe*)?

3.1 Präzisierung I: Endogene vs. exogene Technologien

Technologien spielen in verschiedenen sektoralen Systemen unterschiedliche Rollen. Die technologischen Profile sektoraler Systeme werden in aller Regel nicht ausschließlich durch systemintern entstandene und produzierte, sondern oft durch Kombinationen von intern wie extern entwickelten oder auch durch vornehmlich außerhalb des Systems entstandene Technologien geprägt. Wenn der Einfluss neuer Technologien auf den sektoralen Wandel untersucht werden soll, dann sind *zwei Grundtypen sektoraler Systeme* voneinander zu unterscheiden: Sektoren, die sich durch die Entwicklung und Produktion von Technologien und also durch eine eigenständige Innovationstätigkeit auszeichnen, und solche, in denen vornehmlich systemextern entwickelte Technologien systemspezifisch genutzt werden.

Ersteres ist etwa für die Chemie- und Pharmaindustrie, die Luft- und Raumfahrtindustrie, die Automobilindustrie, den Energiesektor oder die Telekommunikations-, Computer- und Halbleiterindustrie typisch (Malerba 2004). In solchen Sektoren können Prozesse sozioökonomischer, institutioneller und organisationaler Restrukturierung sowohl durch systemintern entwickelte und produzierte neue Technologien als auch durch die breite Einführung neuer systemextern entstandener und auf die spezifischen Bedürfnisse des Sektors zugeschnittener Informations- und Kommunikationstechnologien angestoßen werden (Stobbe/Just 2006). Dies ist zum Beispiel für den derzeitigen Wandel von Energiesystemen typisch: Er wird geprägt sowohl durch die Entwicklung neuer systemintern entwickelter Energieerzeugungstechnologien, die dezentral und flexibel einsetzbar sind, wie auch durch neue systemextern entstandene Informations- und Kommunikationstechnologien, die zugleich die Möglichkeiten eines zentralen Managements komplexer und verteilter Energiesysteme nachhaltig erweitern (Rohracher 2007).

Viele andere Wirtschaftssektoren lassen sich dagegen nicht als sektorale Innovationssysteme, in denen typischerweise neue Technologien entwickelt und produziert werden, bezeichnen. Sie werden vielmehr vornehmlich oder ausschließlich durch außerhalb des Systems entstandene Technologien geprägt, die dort als sektorextern entwickelte neue technologische Angebote funktionsspezifisch eingesetzt, genutzt und weiterentwickelt werden (Greenstein/Prince 2006, Goldfarb 2005, Oudshoorn/Pinch 2003). Dies ist typisch etwa für den Banken-,

Versicherungs- und Finanzdienstleistungssektor, für die Musik- und Medienindustrie oder den Handel. Als Technik nutzende Sektoren können auch sie in ihrer Funktionsweise gravierend durch neue technologische Möglichkeiten berührt werden. Es sind wiederum vor allem die Anwendungspotenziale und der sektorspezifische Einsatz avancierter Informations- und Kommunikationstechnologien, die dort zum Teil substanzielle Restrukturierungsprozesse auslösen können (Benkler 2006: 383ff., Currah 2006, Mayer 1998).

Wenn man den Entstehungs- und Verwendungskontext neuer Technologien bzw. Technologiefelder aufeinander bezieht, dann lässt sich die Bedeutung intern bzw. extern entstandener Innovationen und Technologien für den Wandel sektoraler Systeme herausarbeiten.

Neue Technologien können zum einen ein wesentlich sektorimmanentes Phänomen sein. Sie werden in diesem Fall nicht nur sektoral spezifisch genutzt, sondern sind auch wesentlich im Rahmen des sektoralen Systems, um das es geht, entwickelt worden. Die pharmazeutische Biotechnologie ist ein solches Beispiel wesentlich endogener Technik. Sie ist in den siebziger Jahren zwar an den Rändern des Systems – im Umfeld akademischer Forschungstätigkeit und neu gegründeter Start-up-Firmen – entstanden, wird seit den achtziger Jahren allerdings weitgehend im Rahmen des um Biotechnologiefirmen und akademische Forschungseinrichtungen erweiterten sektoralen Systems entwickelt und genutzt. Das Zusammenspiel von technologischen Innovationen, sozioökonomischem und institutionellem Wandel, das in den vergangenen zwanzig Jahren zu einer weit reichenden Restrukturierung des Pharmasektors und seiner Akteure geführt hat, lässt sich als wesentlich sektorimmanenter Prozess abbilden (Dolata 2003: 145ff.).

Neue Technologien können zum anderen aber auch wesentlich systemextern entwickelt worden sein und eine vornehmlich funktional-unterstützende Bedeutung erlangen, ohne die strukturellen und institutionellen Grundlagen eines sektoralen Systems oder die Stellung seiner Kernakteure in einschneidender Weise zu beeinflussen. Die sukzessive Ersetzung von Electronic-Data-Interchange-Systemen (EDI-Systeme) zur Koordination unternehmensinterner bzw. -übergreifender Austauschbeziehungen in der Automobilindustrie durch internetbasierte Technologien ist ein solcher Fall. Die schrittweise Einführung und zunehmende Nutzung neuer internetbasierter Vernetzungstechnologien geht auch hier zweifellos mit der Modifikation von Produktions-, Logistik- und Distributionsprozessen einher und verändert etwa das Verhältnis von Herstellern und Zulieferern, löst allerdings keinen umfassenden sektoralen Restrukturierungsdruck aus (e-business watch 2005).

Schließlich können systemextern entwickelte Technologien auch in den Rang neuer Basistechnologien hineinwachsen, deren Nutzung für die künftige Reproduktion eines Sektors konstitutiv ist und die damit zu zentralen Impulsgebern einer weit reichenden sektoralen Restrukturierung werden können. Die Transformation der Musikindustrie als wesentlich extern entwickelte Technologien nutzender Sektor ist ein solcher Fall. Digitalisierung, Datenkomprimierung und das Internet haben hier eine den gesamten Sektor erfassende Restrukturierungsdynamik angestoßen, die geprägt wird durch die Suche nach neuen Geschäftsmodellen und Distributionsformen der Kernakteure, durch das Eindringen mächtiger branchenexterner Akteure (wie Computer- und Softwareunternehmen, Telekommunikations- und Mobilfunkkonzernen) und eine signifikante Verschiebung der sektoralen Konkurrenz- bzw. Kooperationsverhältnisse sowie durch weit reichende Neujustierungen rechtlich-regulativer Rahmensetzungen. Dieser Fall zeigt auch, dass neue technologische Möglichkeiten wie ein exogener Schock auf das sektorale System wirken und eine weit reichende Neustrukturierung und Öffnung des Sektors anstoßen können (Tschmuck 2006: 149ff.).

3.2 Präzisierung II: Geringe vs. große Eingriffstiefe

Wenn man nun, den Gedanken anhand der vorgebrachten Beispiele weiterspinnend, die (potenziellen) sektoralen Verwendungsmöglichkeiten wo immer entstandener neuer Technologien bzw. Technologiefelder und die zu ihrer Entwicklung, Einführung und Nutzung erforderlichen sektoralen Restrukturierungen aufeinander bezieht, dann lässt sich deren sektorale Eingriffstiefe präzisieren.

Egal ob sie wesentlich systemintern oder -extern entstanden sind, können neue Technologien einen unmittelbaren, einschneidenden und ihre Funktionsweise insgesamt berührenden Veränderungsdruck auf vorhandene sektorale Systeme, auf deren Strukturen, Institutionen und Akteure ausüben.

Dies gilt etwa für die Wirkungen der neuen Biotechnologie auf den Pharmasektor. Dieses paradigmatisch neue Technikfeld hat nicht nur das technologische Profil des Sektors, seine Wissensbasis und die Organisationsformen von Forschung und Entwicklung signifikant verändert – von der chemischen Synthese zur Biotechnologie –, sondern da-

mit einhergehend auch seine Leitorientierungen – von der Chemie zur Life-Sciences-Orientierung. Seine grundlagenorientierten, multidisziplinären und dezentralen Dynamiken haben die Bedeutung der akademischen Wissenschaft für die Reproduktion des Sektors signifikant erhöht, das Aufkommen spezialisierter Biotechnologiefirmen, die es zuvor nicht gab, begünstigt, den Zwang zur innerindustriellen bzw. akademisch-industriellen Kooperation nachhaltig erhöht und die etablierten Pharmakonzerne gezwungen, sich strategisch neu zu positionieren, sich kulturell zu öffnen und sich auf für sie neue Modi kooperativer Forschung und Entwicklung einzulassen. Und es hat schließlich auch die Etablierung eines neuen rechtlich-regulativen Rahmens notwendig gemacht (Orsenigo 1989, 1993, McKelvey et al. 2004). Diese substanziellen strukturellen und institutionellen Veränderungen des Pharmasektors sind wesentlich auf neue wissenschaftliche und technologische Möglichkeiten selbst zurückzuführen – ein Fall großer sektoraler Eingriffstiefe eines neuen Technologiefeldes. Gleiches gilt für die skizzierten, durch technologische Dynamiken ausgelösten strukturellen und institutionellen Veränderungen im Umfeld der Musik- und Medienindustrie.

Neue Technologien können aber auch eher mittelbare, ergänzende und funktional-unterstützende sektorale Wirkungen haben, die ein sektorales System und die dort etablierten Strukturen, Institutionen und Akteurfigurationen nicht grundsätzlich in Frage stellen oder in größerem Umfang herausfordern.

Die Wirkungen internetbasierter Technologien auf den Automobilsektor sind ein solcher Fall. Internetbasierte Technologien ersetzen hier sukzessive bestehende EDI-Systeme zur Geschäftsabwicklung und Koordination der Hersteller-Zulieferer-Beziehungen, ermöglichen den Aufbau neuer elektronischer Beschaffungsmarktplätze und werden zunehmend zur Unternehmenspräsentation oder im Autohandel eingesetzt, berühren jedoch weder das technologische Profil noch die Strukturgefüge und die institutionellen Rahmenbedingungen des Sektors, die Handlungsorientierungen seiner fokalen Akteure oder die sektoralen Leitorientierungen in gravierender Weise (Helper/Mac Duffie 2001, e-business watch 2005). Internetbasierte Technologien werden hier vergleichsweise unprätentiös in bestehende Marktprozesse, Geschäftsbeziehungen und Vernetzungsstrukturen eingepasst – ein Beispiel eher geringer sektoraler Eingriffstiefe neuer, in diesem Fall extern entstandener technologischer Möglichkeiten.

Quantitativ eindeutig messen lässt sich die sektorale Eingriffstiefe neuer Technologien nicht. Es handelt sich um eine heuristische Kategorie, die sich allerdings entlang qualitativer Kriterien präzisieren lässt. Darüber hinaus ist die sektorale Eingriffstiefe keine autonome, allein aus der Technologie herleitbare, sondern eine relationale Kategorie: Sie bestimmt sich sowohl aus den Merkmalen der Technologie, um die es geht, als auch aus der strukturellen und institutionellen Beschaffenheit des Sektors, auf den sie einwirkt.

Natürlich lassen sich anhand von Klassifizierungsmerkmalen für jede neue Technologie ihre typischen technologischen Eigenheiten herausarbeiten. Dazu zählt vor allem die Bestimmung des allgemeinen Typs der Technologie: Dies können z. B. neue organisations- und kapitalintensive Großtechnologien oder kleinformatige und dezentral prozessierende Technologien, neue technische Infrastruktursysteme, sektorspezifische Technologien oder sektorübergreifend verwendbare neue Querschnittstechnologien sein. Darüber hinaus lassen sich neue Technologien entlang ihrer distinkten Nutzungsmuster und -voraussetzungen, des Grades ihrer Wissensbasiertheit sowie ihrer (inkrementellen oder radikalen) Entwicklungsperspektive typisieren (Dolata 2003: 93ff.). Ihre jeweils spezifische sektorale Eingriffstiefe wird allerdings erst erfassbar, wenn ihre allgemeinen technologischen Merkmale in Bezug zu den etablierten sozioökonomischen und institutionellen Charakteristika der Sektoren, die sie berühren, gesetzt werden.

Wenn technikinduzierter sektoraler Wandel empirisch untersucht werden soll, dann ist dementsprechend danach zu fragen, in welchem Ausmaß neue technologische Möglichkeiten mit den ihnen zugeschriebenen typischen Eigenheiten

- das technologische Profil des Sektors verändern, vorhandene Wissensgrundlagen und Kompetenzen erweitern bzw. zerstören,
- die bestehenden Forschungs- und Entwicklungs-, Produktions-, Distributions- und Marktbedingungen beeinflussen,
- das Entstehen neuer Akteure begünstigen, die etablierten Akteure unter Anpassungsdruck setzen und die sektoralen Akteurfigurationen insgesamt verschieben,
- neue Formen kooperativer Interaktion und Konkurrenz ermöglichen bzw. erzwingen,
- institutionelle Neujustierungen (z. B. in Gestalt rechtlich-regulativer Rahmensetzungen oder in Form veränderter Leitorientierungen) anstoßen, sowie

- die bisherigen Grenzen des sektoralen Systems öffnen bzw. erweitern und eine stärkere Interpenetration verschiedener Systeme auslösen.

Mit dem Konzept der Eingriffstiefe kommt die Technik als aktiver Einflussfaktor des sozioökonomischen und institutionellen Wandels auf der Ebene sektoraler Systeme zu ihrem Recht. Neue, für einen Sektor relevante technologische Möglichkeiten verändern, so der *erste Kerngedanke*, im Zuge ihres Entstehungs- und Aneignungsprozesses sukzessive den dort bestehenden *match* zwischen Technologien, Strukturen und Institutionen. Insbesondere universell verwendbare neue Querschnittstechnologien (wie z. B. das Internet), aber auch neue Technologiefelder, die die soziotechnischen Profile mehrerer Sektoren berühren (wie die neue Biotechnologie), eröffnen unterhalb der ihnen allgemein zuschreibbaren typischen Eigenheiten jeweils spezifische sektorale Nutzungshorizonte. Je relevanter die neue Technologie für die Reproduktion eines sektoralen Systems wird und je weniger sie im Rahmen der dort etablierten Strukturen und Institutionen noch verarbeitet werden kann, desto größer ist ihre sektorale Eingriffstiefe und desto weiter reicht der sektorale Anpassungs- und Veränderungsdruck, den sie auf die bestehenden sozioökonomischen Strukturen, Institutionen und Handlungsorientierungen ausübt.

4. Neue Technologien und sektorale Adaptionsfähigkeit

Damit ist noch nichts darüber gesagt, wie dieser Anpassungs- und Veränderungsdruck im sektoralen System tatsächlich verarbeitet wird. Er löst dort Irritationen aus und erhöht die Handlungsunsicherheit, stößt Suchprozesse nach strukturellen, institutionellen und (inter-)organisationalen Neujustierungen an, zwingt die involvierten Akteure zu außergewöhnlichem Handeln jenseits bestehender Leitorientierungen, Regeln, Normen und Routinen (Ortmann 2003) – und konstituiert mit alldem auch auf sektoraler Ebene jene mehr oder minder ausgreifenden *periods of mismatch*, von denen bereits die Rede war. Er führt jedoch nicht – dies wäre ein deterministischer Kurzschluss – folgerichtig und zwangsläufig zur Herausbildung neuer adäquater bzw. effizienter Strukturen, Institutionen und Handlungsorientierungen, sondern trifft dort zunächst auf verfestigte soziotechnische Entwicklungspfade und muss von den beteiligten Akteuren aufgenommen, interpretiert und verarbeitet werden.

Dies kann auf sehr unterschiedliche Weise geschehen. Bestehende sektorale Systeme und ihre Akteure können sich durch eine strukturelle, institutionelle und kognitive Offenheit und Adaptionsfähigkeit auszeichnen, durch die Spiel- und Suchräume geöffnet werden, welche eine frühe Wahrnehmung und Verarbeitung neuer technologischer Möglichkeiten fördern. Sie können aber auch – dies ist das andere Ende des Möglichen – durch Persistenzen und Strukturkonservatismen auf der System- und der Akteurebene geprägt sein, die einen frühzeitigen und gerichteten sektoralen Wandel behindern und stattdessen krisenhafte Anpassungsprozesse auslösen.

Wie mit dem Anpassungs- und Veränderungsdruck, der sich mit dem Aufkommen neuer technologischer Möglichkeiten aufbaut, in einem sektoralen System umgegangen wird, auf welche Weise er sich in strukturellen und institutionellen Neujustierungen sowie in veränderten Handlungsorientierungen niederschlägt und welche Verlaufsmuster *periods of mismatch* annehmen können – dies hängt, so der *zweite Kerngedanke*, von der sektoralen Adaptionsfähigkeit ab: vom Grad der strukturellen und institutionellen Offenheit des Sektors für die Aufnahme und Verarbeitung neuer technologischer Möglichkeiten jenseits etablierter soziotechnischer Entwicklungspfade und von der strategischen Antizipationsfähigkeit der dort etablierten Akteure.

4.1 Präzisierung I: Geringe Adaptionsfähigkeit

Es ist keineswegs untypisch, dass die Potenziale und Struktureffekte neuer technologischer Möglichkeiten, die nicht in das etablierte soziotechnische Profil eines Sektors passen, dort erst spät wahrgenommen und verarbeitet werden – sowohl auf der Systemebene als auch durch deren Kernakteure (Christensen 1997). Drei prominente Beispiele mögen dies zunächst illustrieren.

Bis Ende der siebziger Jahre wurde die Computerindustrie eindeutig geprägt und dominiert durch einen mächtigen Anbieter: IBM. Obgleich der Konzern bis dahin der marktbeherrschende und Standard setzende Technologieführer des Sektors war, hat sein Management zu dieser Zeit die Entwicklung und Vermarktungsmöglichkeiten des Personal Computer, der das darauf folgende Jahrzehnt beherrschen sollte, eklatant unterschätzt und entschieden, wesentliche Komponenten – Mikroprozessoren und Betriebssysteme – nicht selbst zu entwickeln oder exklusiv einzukaufen, sondern einzulizensieren. Intel und Microsoft als Anbieter von

Mikroprozessoren und Betriebssystemen stand es damit offen, ihre Produkte auch an andere Unternehmen zu verkaufen. Das unerwartete Ergebnis dieser Entscheidung von IBM war nicht nur ein substanzieller Kontrollverlust des Monopolisten über die weitere Entwicklung der PC-Standards. Sie markiert zugleich den Startpunkt der fulminanten Erfolgsgeschichte von Microsoft und Intel als neuen Standard setzenden Akteuren der Software- und Halbleiterindustrie sowie den Beginn einer einschneidenden Restrukturierung des Sektors selbst, der sich seither durch die Etablierung neuer Computerhersteller (wie Compaq, Dell oder Hewlett-Packard) und eine anhaltend intensive kompetitive Dynamik zwischen ihnen auszeichnet (Ichbiah/Knepper 1991, Langlois/Robertson 1992, Kenney/Curry 2001). In diesem Fall hat ein bis dahin überaus erfolgreicher und mächtiger Kernakteur einen technologischen Entwicklungssprung mitsamt seinen sozioökonomischen und gesellschaftlichen Implikationen nicht rechtzeitig antizipiert – und damit einen tief greifenden Restrukturierungs- und Ausdifferenzierungsprozess des Sektors angestoßen, der ihn zwar nicht hinweggefegt, seine Macht jedoch deutlich relativiert hat.

Der zögerliche Umgang der deutschen Chemie- und Pharmaindustrie mit der Gentechnologie in der zweiten Hälfte der siebziger und der ersten Hälfte der achtziger Jahre ist demgegenüber ein Fall nicht nur mangelnder Antizipationsfähigkeiten seiner Kernakteure, sondern zugleich der einer geringen Adaptionsfähigkeit des Sektors selbst. Zum einen gab es bis weit in die achtziger Jahre hinein in der Bundesrepublik keine systematische Verklammerung der sehr qualifizierten Grundlagenforschung auf diesem neuen Gebiet mit industriellen Forschungs- und Entwicklungsprozessen. Zum anderen ließen sowohl das unterentwickelte System risikokapitalbasierter Finanzierung als auch das vorherrschende akademische Selbstverständnis des Wissenschaftsbetriebs wenig Raum für die Herausbildung biotechnologischer Start-up-Firmen, die damit als wichtige Innovationsträger und als Seismographen neuer technologischer Möglichkeiten weitgehend ausfielen. Darüber hinaus zeichneten sich die etablierten deutschen Chemie- und Pharmaunternehmen bis in die achtziger Jahre hinein durch ein bemerkenswertes Desinteresse und Unverständnis gegenüber den potenziellen Möglichkeiten der Gentechnologie aus. Vor allem ihre international starke Position in der organischen Chemie hat, gekoppelt mit einer tiefen Skepsis der in den Unternehmensleitungen dominierenden Chemiker gegenüber der Denk- und Arbeitsweise der Biologen, den Blick für die Dynamiken und sozioökonomischen Restrukturierungspotenziale der neuen Biotechnologie getrübt (Buchholz 1979, Dolata 1996, 2003, Briken/Kurz 2006). Das Fehlen von Start-up-Firmen und Risikokapital, eine nur schwach ausgeprägte akademisch-industrielle Transferorientierung und geringe Erfahrungen der Großunternehmen mit externen wissensbasierten Kooperationsbeziehungen haben zusammen mit autoritär-hierarchischen Konzernstrukturen und der Fixierung der Unternehmensführungen auf die Chemie dazu geführt, dass die neuen Möglichkeiten der Gentechnik und die zu ihrer Nutzung notwendigen organisationalen und institutionellen Restrukturierungen erst spät wahrgenommen wurden und der Wandel sich sowohl auf der sektoralen als auch auf der Unternehmensebene zögerlich und als krisenhafter Anpassungsprozess Bahn gebrochen hat.

Ein ähnliches Muster geringer Antizipations- und Adaptionsfähigkeit findet sich seit Ende der neunziger Jahre in der Musikindustrie. Die jahrzehntelang stabilen Koordinaten des Sektors – die Dominanz einer handvoll vertikal integrierter Musikkonzerne, die Stars entdecken und promoten, Platten bzw. CDs in eigenen Studios produzieren und diese über weltweite Distributionssysteme vertreiben, mit ihnen eng verbundene Handelsunternehmen, die die Produkte verkaufen sowie eine strenge und funktionierende Urheberrechtsgesetzgebung – erodieren seither. Dieser Erosionsprozess wird maßgeblich vorangetrieben durch drei komplementäre technologische Entwicklungen: Musik ist mittlerweile ein digitales Gut, das sich beliebig und ohne Qualitätsverlust kopieren lässt. Das Internet hat sich als ideales Medium des weltweiten Austauschs derartiger Produkte etabliert. Neue Standards der Datenkomprimierung schließlich ermöglichen den problemlosen Austausch und Download auch datenintensiver Produkte. Auch in diesem Fall haben die Kernakteure des Sektors, insbesondere die Musikkonzerne, diese technologischen Herausforderungen für den Sektor zunächst ignoriert und dann vornehmlich als zu bekämpfende Gefahr wahrgenommen, anstatt frühzeitig die neuen Möglichkeiten eines digitalen Marketings und Vertriebs von Musik auszuloten und sich rechtzeitig als führende Mitspieler in einem restrukturierten Sektor zu positionieren. Dies hat dazu geführt, dass die wesentlichen Impulse für den digitalen Vertrieb von Musik via Internet nicht aus dem Sektor selbst, sondern von sektorexternen Akteuren kamen. Dies waren zunächst nichtkommerzielle Musiktauschbörsen, die das neue Fenster auf subversive Weise öffneten, in das mittlerweile bekannte Unterneh-

men aus anderen Sektoren eingestiegen sind: Apple, Microsoft, T-Online und Mobilfunkbetreiber wie Vodafone gehören dazu (Tschmuck 2006, Benkler 2006; zu ähnlichen Entwicklungen in der Filmindustrie: Currah 2006). Der durch die neuen technologischen Möglichkeiten angestoßene sektorale Wandel verläuft auch in diesem Fall als krisenhafter Anpassungsprozess, in dem die bestehenden sektoralen Strukturen und Institutionen wie z. B. die Konkurrenz- und Kooperationsbeziehungen, die Distributionsmuster oder das Urheberrecht vor allem durch sektorexterne Entwicklungen und Akteure als dysfunktional und obsolet in Frage gestellt und restrukturiert werden.

Dies sind Beispiele einer hohen sektoralen Eingriffstiefe neuer Technologien bei einer gleichzeitig geringen Antizipations- und Adaptionsfähigkeit der sektoralen Strukturen, Institutionen und Kernakteure. Die bestehenden sozioökonomischen Strukturen und Institutionen, die den Sektor charakterisieren und dessen Funktionsfähigkeit über längere Zeiträume garantiert haben – die ihn prägenden Unternehmenstypen und -konstellationen, Interaktionsbeziehungen und Machtgefüge, die Ausrichtung und Organisation der Forschung und Entwicklung, die rechtlich-regulative Einfassung des Sektors, die dort akzeptierten Regeln, Normen, Routinen und Leitorientierungen – sind in der Vergangenheit sehr stabil und erfolgreich gewesen, erweisen sich allerdings unter dem Druck neuer technologischer Möglichkeiten, die nicht ins System passen, nicht nur als zunehmend dysfunktional, sondern zugleich als persistent und veränderungsresistent. Sie verfügen über keine oder nur schwach ausgeprägte strukturelle und institutionelle ‚Frühwarnmechanismen', Such- und Spielräume, über die sich technologische Umbrüche und der sich mit ihnen aufbauende sozioökonomische Veränderungsdruck zeitig wahrnehmen und verarbeiten ließe. Die fokalen Akteure des Sektors richten sich in ihrem strategischen Verhalten stark an den bereits bestehenden Strukturen, Regeln und Leitvorstellungen des Sektors aus, sind in ihren Handlungsorientierungen durch die erfolgreiche Vergangenheit geprägt, reagieren auf neue Entwicklungen oft zunächst mit Blockadehaltungen oder *cartels of fear* und beginnen sich in der Regel erst vor dem Hintergrund eines massiven und unabweisbaren Veränderungsdrucks in größerem Umfang strategisch neu aufzustellen.

All dies ist in den Debatten um die Pfadabhängigkeit von Technologien oder Institutionen ausgiebig diskutiert worden (Werle 2007, Beyer 2006, Thelen 2003). Daran anknüpfend lässt sich das hier skizzierte Muster geringer sektoraler Adaptionsfähigkeit als *transformationsresistente sektorale Pfadabhängigkeit* interpretieren, bei der es weder auf der Systemebene noch auf der Ebene der Kernakteure ausgeprägte sektorimmanente Transformationsmechanismen gibt, durch die soziotechnische Pfadabweichungen oder -wechsel befördert würden. Die Stabilitätsneigung solcher Sektoren ist hoch und gleichwohl (oder besser: gerade deshalb) anfällig für einschneidende und krisenhafte Transformationen (Beyer 2006). Technikinduzierter sektoraler Wandel ist in derartigen Fällen kein gerichteter und von den Kernakteuren kontrollierter Prozess, sondern vollzieht sich in Form krisenhafter Umbrüche, die maßgeblich von sektorexternen oder sich an den Rändern des Sektors aufbauenden Dynamiken und Akteuren angestoßen und geprägt werden: von technologischen Veränderungen, die nicht im Zentrum des sektoralen Systems entstanden sind, seine bisherige Funktionsfähigkeit aber gleichwohl in Frage stellen, von Outsidern an der Peripherie des Systems (wie z. B. subversiven *subcommunities* oder Start-up-Firmen), die als erste die neuen Technologien nutzen und kommerzialisieren oder von mächtigen externen Akteuren, die in den Sektor eindringen und die dort bestehenden Akteur- und Machtkonstellationen zum Teil signifikant verändern. Auf der Akteursebene derart transformationsresistenter Sektoren ist die Adaptionsfähigkeit also unterschiedlich ausgeprägt: Während die saturierten Kernakteure des Systems in diesen Fällen eine geringe Adaptionsfähigkeit aufweisen, zeichnen sich andere, nicht etablierte Akteure durch eine hohe Sensibilität und Aufnahmebereitschaft gegenüber den neuen technologischen Möglichkeiten aus, begreifen sie als Opportunitätsstruktur und werden zu wesentlichen Treibern des sektoralen Wandels.

4.2 Präzisierung II: Hohe Adaptionsfähigkeit

Es geht allerdings auch anders. Sektorale Strukturen, Institutionen und Kernakteure können sich auch durch eine hohe Adaptions- und Antizipationsfähigkeit auszeichnen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn in die bestehenden, das System und die Handlungsorientierungen seiner Akteure prägenden Strukturen und Institutionen starke Wettbewerbs-, Innovations- und Experimentiermechanismen eingelagert sind, durch die sowohl Zwänge wie Mentalitäten der Aufgeschlossenheit und Sensibilität auch gegenüber pfadabweichenden technischen Möglichkeiten und dem damit verbundenen sozioökonomischen und institutionellen Restrukturierungsdruck befördert werden. Was dies

heißt soll zunächst wiederum beispielhaft erläutert werden.

Obgleich sehr machtasymmetrisch strukturiert, zeichnet sich die Automobilindustrie durch einen hohen Wettbewerbs- und Innovationsdruck aus – sowohl auf der Hersteller- wie auf der Zuliefererebene. Der Wettbewerb wird auch über Preispolitiken, vor allem anderen aber über Technologie- und Innovationskonkurrenzen ausgetragen: auf der Produktebene durch die Einführung neuer Modelle, deren Entwicklung heute stark durch die Verwendung elektronischer Bauelemente geprägt wird, und auf der Prozessebene durch die Rationalisierung und Effektivierung von unternehmensinternen, vor allem aber unternehmensübergreifenden Koordinationsprozessen mit Hilfe avancierter informationstechnischer Vernetzungsinfrastrukturen (Jürgens/Meißner 2005, Pries/Hertwig 2005). Der hohe Wettbewerbs- und Innovationsdruck, der den Sektor prägt, hat zu einer großen Aufgeschlossenheit und Aufnahmebereitschaft seiner Kernakteure gegenüber neuen, auch sektorextern entwickelten Produkt- und Prozesstechnologien geführt. Die frühe und bei allen auch hier vorhandenen erratischen Suchdynamiken vergleichsweise friktionslose Einfassung des Internet in die Geschäftspraktiken und Kooperationsbeziehungen des Automobilsektors passt in dieses Bild. Eine hohe und gewachsene Kompetenz der großen Hersteller und Systemzulieferer bei der Einführung und beim Einsatz elektronischer Vernetzungstechnologien hat zusammen mit ihren langjährigen Erfahrungen in der Organisation komplexer Kooperationsbeziehungen dazu beigetragen, dass die Einführung und Nutzung internetbasierter Technologien als gerichteter Top-down-Prozess durch die Kernakteure des Sektors erfolgt und nicht als krisenhafter Anpassungsprozess (Helper/MacDuffie 2001, e-business watch 2005) – ein Fall einer hohen sektoralen Adaptionsfähigkeit und einer ebenso hohen Antizipationsfähigkeit seiner Kernakteure.

Auch die unumstrittene internationale Dominanz der US-amerikanischen Pharmaindustrie in der Nutzung und Kommerzialisierung der neuen Biotechnologie ist auf eine ausgeprägte Adaptions- und Antizipationsfähigkeit der dortigen sektoralen und – mitlaufend – nationalen Strukturen und Institutionen zurückzuführen. Dazu zählt eine lange, bis in die vierziger Jahre zurückreichende Tradition staatlicher Forschungsförderung im Gesundheitsbereich; diese wird bis heute vor allem von den fachlich sehr kompetenten National Institutes of Health (NIH) getragen und durch deren Programme konnten sich die Universitäten sehr früh zu Zentren der biomedizinischen Grundlagenforschung entwickeln. Hinzu kommt eine traditionell starke kommerzielle Orientierung des US-amerikanischen Universitätssystems, die den akademisch-industriellen Technologietransfer begünstigt hat. Des weiteren gab es bereits in den siebziger Jahren eine aus der Computer- und Informationstechnologie bekannte Tradition von Start-up-Firmen als frühen Impulsgebern von Innovationsprozessen, die zusammen mit funktionierenden Risikokapital-Märkten und einer ausgeprägten unternehmerischen Mentalität führender akademischer Wissenschaftler die frühe Gründung spezialisierter Biotechnologiefirmen begünstigt hat. Die bereits Ende der siebziger Jahre beginnende Herausbildung von Biotechnologieregionen konnte ebenfalls auf den Infrastrukturen und Kommunikationsmustern bereits existierender High-Technology-Cluster aus den Zeiten der Computer- und Mikroelektronikindustrie aufbauen. Dieses strukturelle und institutionelle Umfeld begünstigte schließlich auch die vergleichsweise frühe Öffnung großer Pharmaunternehmen für die Potenziale der Biotechnologie, eine entsprechende Restrukturierung der Unternehmen und die Etablierung von Kooperationsbeziehungen zwischen der Großindustrie und Start-up-Firmen (Kenney 1986, Orsenigo 1989, Giesecke 2001, Barben 2007). Eine große sektorale Eingriffstiefe eines neuen Technikfeldes traf anders als im oben skizzierten deutschen Fall hier auf eine hohe Adaptions- und Antizipationsfähigkeit der sektoralen (und nationalen) Strukturen, Institutionen und Akteure.

Verallgemeinernd formuliert zeichnen sich antizipations- und adaptionsfähige Sektoren dadurch aus, dass die bestehenden soziotechnischen Strukturen und Institutionen nicht nur die Kontinuität und Stabilitätsneigung des Systems stützen (das tun sie auch), sondern zugleich mit starken und verallgemeinerbaren, nicht bloß situativ und zufällig wirkenden Transformationsmechanismen ausgestattet sind, die pfadabweichenden sektoralen Wandel erleichtern. Entsprechende strukturelle und institutionelle Transformationsmechanismen, die zu einer hohen Antizipations- und Adaptionsfähigkeit beitragen können, variieren von Sektor zu Sektor (und auch von Land zu Land) und lassen sich kaum sektorübergreifend generalisieren. Gleichwohl können auf der Basis der hier skizzierten Beispiele die folgenden Transformationsmechanismen als fallweise besonders relevant hervorgehoben werden.

Hohe Innovations- und Wettbewerbsintensität: Sektoren, die sich durch starke und anhaltende technologische Innovations- und ökonomische Wett-

bewerbsdynamiken auszeichnen, eröffnen immer wieder *first-mover-advantages*, die von nonkonformen und regelabweichenden Akteuren genutzt werden können, und zwingen alle Beteiligten zur permanenten Überprüfung und Neujustierung ihrer Strategien, Organisationsstrukturen, interorganisationalen Beziehungen und institutionellen Arrangements. Struktureller und institutioneller Wandel ist in solchen Umgebungen, wie sie heute etwa für die Pharma-, die Halbleiter- oder die Computerindustrie typisch sind, kein außergewöhnliches Phänomen, sondern eine permanente Herausforderung (Lüthje 2007, Breshanan/Malerba 1999).

Transformationsoffene Industriestrukturen: Sektoren, die durch eine Koexistenz verschiedener Unternehmenstypen – Großunternehmen, mittelständische Firmen und Start-ups – geprägt sind, in denen es institutionell abgesicherte Spielräume für Innovatoren und neue Akteure in Technologienischen gibt – etwa in Form risikokapitalbasierter Unternehmensfinanzierungssysteme oder gezielter staatlicher Förderung – und die sich durch starke informelle bzw. formalisierte Vernetzungsmuster zwischen heterogenen Akteuren auszeichnen (z. B. zwischen Industrie und Akademia, zwischen Großunternehmen und start-ups, zwischen Herstellern und Zulieferern oder zwischen Produzenten und Verbrauchern) verfügen über strukturelle und institutionelle Frühwarnmechanismen. Diese stimulieren die Adaptionsfähigkeit und erleichtern den Umgang mit den strukturellen und institutionellen Herausforderungen neuer technologischer Möglichkeiten (Hall/Soskice 2001).

Horizontal strukturierte und kooperativ eingefasste Kernakteure: Sektoren, die geprägt sind durch vertikal integrierte und inhouse-orientierte Konzerne (wie bis Mitte der achtziger Jahre in der deutschen Pharmaindustrie oder bis in die jüngste Vergangenheit in der Musikindustrie), zeichnen sich aufgrund der hohen Selbstbezüglichkeit ihrer fokalen Akteure durch eine geringere Antizipationsfähigkeit und Offenheit für technologische Innovationen aus als Sektoren, die geprägt sind durch horizontal strukturierte Großunternehmen mit ausgreifenden und beständig neu zu justierenden Kooperationsbeziehungen (wie dies für die Automobil-, Computer- oder Halbleiterindustrie typisch ist). Letzteres erfordert eine hohe Koordinations- und (Re-)Strukturierungskompetenz der Kernakteure, die positiv auch auf ihre Sensibilität und Offenheit gegenüber neuen technologischen Möglichkeiten und deren kontinuierliche Einpassung in die (inter-)organisationalen Strukturen zurückwirkt (Christensen 1997).

Institutionalisierte akademisch-industrielle Transfermechanismen: Die Adaptionsfähigkeit wissensbasierter Sektoren, deren Dynamiken in hohem Maße von der industriellen Aufnahme und Verarbeitung grundlagenorientierten Wissens abhängen, ist um so höher, je ausgeprägter die Durchlässigkeiten und Kooperationsbezüge zwischen Akademia und Industrie sind und je besser sie institutionell abgesichert sind. Dies betrifft sowohl formalisierte Regeln und Normen akademisch-industrieller Zusammenarbeit als auch informelle Mechanismen der Interpenetration von Akademia und Industrie (Kenney 1996).

Transformationsorientierte Mentalitäten und Leitorientierungen: Sektorale Systeme werden, wie andere Systeme auch, geprägt durch historisch gewachsene institutionelle Arrangements – durch geteilte Regeln, Normen, Mentalitäten und Leitorientierungen. Je stärker diese institutionellen Arrangements auch ihre eigenwillige Neuinterpretation und kreative Regelabweichungen positiv sanktionieren – etwa durch die Anerkennung von Entrepreneurship oder nichtkonformen Verhaltens innovativer Akteure –, desto größer wird die soziotechnische Antizipations- und Adaptionsfähigkeit des Systems und seiner Akteure (Henderson/Orsenigo/Pisano 1999).

Industrie-, Innovations- und Regulierungspolitik: Auch originär politische Rahmensetzungen schließlich können die Antizipations- und Adaptionsfähigkeit sektoraler Systeme erhöhen. Dazu kann z. B. eine Industrie- und Innovationspolitik beitragen, die nicht auf die Förderung nationaler Champions fokussiert ist, sondern gezielt strategische Technologienischen und avantgardistische (Wirtschafts-)Akteure fördert, eine Kartellrechtspolitik, die Monopolbildungen effektiv verhindert, oder eine Mediations- und Diskurspolitik, die systematisch auch die Ressourcen und Kompetenzen privater Nutzer und innovativer subcommunities unterstützt und in politische Entscheidungsfindungsprozesse einbezieht (Dolata 2006, Larédo/Mustar 2001).

Das Vorhandensein entsprechender struktureller und institutioneller Transformationsmechanismen erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass der sich mit der Entwicklung neuer technologischer Möglichkeiten aufbauende sektorale Anpassungs- und Veränderungsdruck das System und seine Akteure nicht überrascht, sondern dort früh wahrgenommen und proaktiv verarbeitet wird. Sektoraler Wandel erfolgt nicht als späte und krisenbehaftete Reaktion auf einen exogenen Schock, sondern als aufgeschlossene Nutzung und Weiterentwicklung neuer technologischer Möglichkeiten, die begleitet

wird von einer ebenso aufgeschlossenen Suche nach dazu passenden strukturellen und institutionellen Arrangements. Dies kann als *transformationsoffene sektorale Pfadabhängigkeit* bezeichnet werden.

Konfliktfrei und harmonisch verläuft der sektorale Wandel auch in solchen Fällen freilich nicht. Im Gegenteil: er wird geprägt durch eine hohe Innovations- und Wettbewerbsintensität, er ist durchsetzt von scharfen Machtauseinandersetzungen und Domänenkämpfen, er wirkt hochselektiv, und er trägt in zum Teil gravierender Weise zur Veränderung der Konkurrenzkonstellationen und Akteurfigurationen bei, die den Sektor bis dahin geprägt haben.

5. Neue Technologien und sektorale Transformationsverläufe

Mit Hilfe der hier vorgestellten Konzepte – sektorale Eingriffstiefe neuer Technologien und sektorale Adaptionsfähigkeit – wird technikinduzierter sektoraler Wandel als iteratives Zusammenspiel technologischer Dynamiken und damit einhergehender sozialer Strukturations- bzw. Institutionalisierungsprozesse empirisch abbildbar. Mit dem ergänzenden *Konzept gradueller Tranformationsverläufe* wird technikinduzierter sektoraler Wandel darüber hinaus als vielschrittiger Prozess organisationaler, struktureller und institutioneller Neujustierungen im weiten Zwischenbereich zwischen pfadgeprägten Kontinuitäten und radikalen Brüchen analytisch handhabbar.

Dies ist relevant, weil technikinduzierter sektoraler Wandel seit der zweiten Hälfte der siebziger Jahre nicht mehr die Ausnahme bildet, die lange Phasen soziotechnischer Kontinuitäten vergleichsweise selten unterbricht, sondern zu einer die Reproduktion vieler sektoraler Systeme prägenden Normalität geworden ist. Auch gravierender sektoraler Wandel zeichnet sich allerdings nicht durch einmalige und eruptive soziotechnische Umbrüche in kurzen Fristen aus, die schnell in eine neue Phase der Stabilität mit dann eher marginalen weiteren Anpassungen münden. Und er wird in aller Regel auch nicht geprägt durch die Sprengung, den Zusammenbruch oder einen radikalen Austausch der bestehenden Strukturen, Institutionen und Akteure. Typisch für technikinduzierten sektoralen Wandel sind heute vielmehr längere Phasen der Diskontinuität, die sich durch eine Vielzahl gradueller Transformationen auszeichnen, in denen sich die organisationalen, strukturellen und institutionellen Grundlagen eines Sektors allerdings nicht bloß schrittweise in die Richtung neuer dominanter Designs erneuern, sondern auch neue Designs durch die anhaltende technologische Innovationsdynamik immer wieder erneut auf dem Prüfstand stehen.

5.1 Präzisierung I: Graduelle Transformationen

Mit Hilfe dichotomer Typisierungen, die lediglich zwischen langen Perioden struktureller und institutioneller Stabilität und seltenen, durch exogene Schocks ausgelösten und ebenso radikalen wie abrupten Umbrüchen unterscheiden (Pempel 1998, Krasner 1988), lassen sich die realen Verläufe technikinduzierten sektoralen Wandels ganz offenkundig nicht angemessen analysieren. Sie blenden das eigentlich interessante Zwischenfeld zwischen struktureller und institutioneller Stabilität einerseits und radikalen Systembrüchen andererseits aus.

Hier setzt das von Kathleen Thelen und Wolfgang Streeck entwickelte Konzept gradueller institutioneller Transformationen an (Thelen 2003, Streeck/Thelen 2005). Ihr Untersuchungsgegenstand sind die seit den achtziger Jahren beobachtbaren institutionellen Veränderungen hochentwickelter kapitalistischer Gesellschaften in Richtung Liberalisierung, die sich dadurch auszeichnen, dass „the current transformation of modern capitalism (...) unfolds by and large incrementally, without dramatic disruptions like the wars and revolutions that were characteristic of the first half of the twentieth century." (Streeck/Thelen 2005: 4) Vielschrittige und graduelle Transformationen sind in ihrer Kumulation oft freilich alles andere als unbedeutend und können über die Zeit zu signifikanten Veränderungen in den institutionellen Grundlagen kapitalistischer Systeme führen. Ähnlich wie im hier verhandelten Zusammenhang des soziotechnischen Wandels sektoraler Systeme werden nicht radikale Brüche, sondern Muster eines „incremental change with transformative results" (ebd.: 9) als im Großen und Ganzen typisch für die Transformationsverläufe moderner kapitalistischer Gesellschaften herausgestellt.

Streeck und Thelen (2005: 18ff.) arbeiten auf der Basis empirischer Fallstudien typische Modi derartiger gradueller institutioneller Transformationen heraus. Die institutionellen Arrangements, die ein System prägen, können sich erstens ändern, indem zuvor unter- oder nachgeordnete Institutionen allmählich dominant werden und die alten sukzessive verdrängen (*displacement*). Institutioneller Wandel kann sich zweitens vollziehen, indem neue institutionelle Elemente an bereits bestehende Sets von Institutionen angefügt werden und diese dadurch verändern (*layering*). Drittens können die Ziele, Funktionen und Zwecksetzungen bestehender In-

stitutionen vor dem Hintergrund neuer Herausforderungen und veränderter Interessenlagen auch umdefiniert werden (*conversion*). Bestehende Institutionen können viertens dadurch erodieren oder verkümmern, dass Anpassungsprozesse an veränderte Bedingungen unterbleiben (*drift*). Während in diesem Fall die Institution, obwohl sie an Bedeutung verliert, formal bestehen bleibt, zeichnet sich die fünfte Variante institutionellen Wandels durch den sukzessiven Kollaps und Zusammenbruch bestehender Institutionen aus, deren Zwecke sich erschöpft haben (*exhaustion*).

5.2 Präzisierung II: Sektorale Transformationsverläufe

Auf diese Typisierung gradueller Transformationen lässt sich auch in Untersuchungen zum technikinduzierten sektoralen Wandel zurückgreifen.

Größere *technologische Umbrüche* zeichnen sich zwar immer durch historisch identifizierbare Entwicklungssprünge aus – etwa durch den Wechsel von Groß- zu Mikrocomputern Ende der siebziger Jahre, durch die Digitalisierung von Telekommunikationsinfrastrukturen in der ersten Hälfte der achtziger Jahre, durch den Durchbruch gentechnologischer Methoden und Verfahren in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre oder durch den Aufschwung des *world wide web* und des Internet als neuem Informations- und Kommunikationsmedium seit der zweiten Hälfte der neunziger Jahre. Derartige Umbruchsituationen münden allerdings nicht innerhalb kurzer Fristen in neue und stabile technologische Entwicklungspfade. Typisch für neue Querschnittstechnologien – I&K-Technologien, die Biotechnologie oder die Nanotechnologie – sind vielmehr ihre anhaltende technologische Dynamik, Zweckoffenheit und vielseitige Verwendbarkeit, was ihnen ein fluides Profil verleiht: Sie sind nicht einmal fertig und einsatzbereit, sondern werden auch über längere Zeiträume geprägt durch nicht selten überraschende und zum Teil gravierende neue Entwicklungsrichtungen und Anwendungsprofile. Unterhalb sehr allgemeiner paradigmatischer Charakterisierungen – der Digitalisierung im Fall von I&K-Technologien oder der gezielten Rekombination von Naturprozessen in der Biotechnologie – zeichnen sich diese Technikfelder nicht durch frühe und einmalige Schließungsvorgänge aus, die einen neuen und stabilen technologischen Standard und Entwicklungspfad konstituieren, sondern durch anhaltende technologische Dynamiken, Revisionen, neue Öffnungen und auch überraschende Sackgassen (Dolata 2003).

Technologische *lock-ins* und Pfadabhängigkeiten sind unter diesen Bedingungen heute, wie zahllose Beispiele aus der Computer- und Halbleitertechnologie, der Kommunikationstechnologie, der Biotechnologie oder der Nanotechnologie zeigen, alles andere als dauerhaft und irreversibel. ‚Qwerty', also die Entwicklung eines zwar suboptimalen, gleichwohl über alle technischen Weiterentwicklungen erhabenen und über einen langen Zeitraum stabilen Standards für Schreibmaschinentastaturen (David 1985), hat als viel zitiertes Paradigma und Modellvorstellung einer langanhaltenden technologischen Pfadabhängkeit zwar nicht ausgedient – Microsofts Windows kann hier als prominentes Beispiel angeführt werden –, aber doch an Erklärungswert verloren. Wesentlich typischer sind heute temporäre *lock-ins*, die in schneller Folge durch die technologische Entwicklung wieder aufgebrochen und durch neue ersetzt werden (Beyer 2006).

Dies wirkt auf die damit einhergehenden *sozioökonomischen und institutionellen Transformationsverläufe* zurück. Vor allem die permanente Weiterentwicklung neuer Querschnittstechnologien setzt die davon berührten sektoralen Systeme und ihre Akteure nicht bloß einmalig und disruptiv, sondern kontinuierlich unter Druck, ihre Strukturen, Institutionen und Handlungsorientierungen an neue technologische Möglichkeiten und Erfordernisse anzupassen. Zwar lassen sich auch hier historische Entwicklungsbrüche identifizieren, in denen die über längere Zeiträume stabilen strukturellen und institutionellen Koordinaten sektoraler Systeme in Frage gestellt werden. Die IBM-dominierte Computerindustrie, die staatsmonopolistisch organisierte Telekommunikationsindustrie, der chemisch ausgerichtete Pharmasektor oder die oligopolistisch strukturierte Musik- und Medienindustrie zeichneten sich über Jahrzehnte durch stabile soziotechnische Arrangements aus, die mit dem Aufkommen grundlegend neuer technologischer Möglichkeiten erodiert sind.

Der dadurch angestoßene sektorale Wandel verläuft allerdings auch dort, wo der Veränderungsdruck gravierend ist, nicht als drastischer Umbruch innerhalb kurzer Fristen, der dann wiederum durch eine Phase struktureller und institutioneller Kontinuität abgelöst wird. Zum einen hat auch gravierender sektoraler Wandel eine zeitliche Dimension: Die bestehenden strukturellen und institutionellen Grundlagen sektoraler Systeme werden nicht ausgetauscht, sondern erneuern sich sukzessive im Rahmen von Such- und Selektionsprozessen, von Konkurrenzauseinandersetzungen und Machtkämpfen. Und zum anderen führt die anhaltend hohe technologische

Entwicklungsdynamik selbst immer wieder zu neuen Möglichkeiten, Problemkonstellationen und Unsicherheiten: Sie eröffnet Spielräume für neue Akteure, setzt die etablierten unter Anpassungsdruck und verschiebt bestehende Konkurrenz- und Kooperationsmuster, konstituiert in schneller Folge neue Arenen, in denen Macht- und Einflusskämpfe ausgetragen werden, verlangt die regelmäßige Anpassung rechtlich-regulativer Rahmensetzungen und evoziert Veränderungen in den gesellschaftlichen Problemwahrnehmungen und Konsummustern.

Auch sektoraler Wandel vollzieht sich im Regelfall über eine Vielzahl akteurgetragener und gradueller Transformationsschritte, durch die sich die Organisationen, Strukturen und Institutionen eines Sektors sukzessive verändern – entweder über endogene Prozesse, die wesentlich von den Akteuren des Systems selbst getragen und vorangebracht werden, oder (bzw. ergänzt) durch neue bzw. systemexterne Akteure, die mit eigenen Handlungsorientierungen in das System drängen. Die in diesem Text vorgebrachten Beispiele zeigen, dass sich die von Streeck und Thelen herausgearbeiteten Modi gradueller Transformationen in der Regel überlagern und im Zeitablauf verändern. Typisch für sektorale Systeme, die sich durch eine geringe Adaptionsfähigkeit auszeichnen, ist zunächst das, was dort als *drift* bezeichnet wird: eine unterentwickelte Wahrnehmungsfähigkeit sich verändernder technologischer Rahmenbedingungen durch die etablierten Akteure und Institutionen des Systems, gekoppelt mit einer beträchtlichen Veränderungsresistenz. Technikinduzierter sektoraler Wandel selbst erfolgt ganz wesentlich über die ersten drei Varianten: Durch die sukzessive Neudefinition organisationaler Handlungsorientierungen, kollektiver Regeln und sektoraler Leitorientierungen (*conversion*), durch Verschiebungen in den Akteurfigurationen, Konkurrenz- und Kooperationsmustern, Macht- und Einflussverhältnissen, die den Sektor bis dahin geprägt haben (*displacement*) sowie durch die Kopplung bestehender Strukturen und Institutionen mit neuen Elementen (*layering*).

Im Ergebnis eines solchen, oft mehrere Jahrzehnte umspannenden soziotechnischen Readjustierungsprozesses können die mit ihm einhergegangenen technischen, strukturellen und institutionellen Veränderungen gravierend sein – allerdings nicht als Ergebnis eines einmaligen und radikalen Bruchs, sondern als Resultat langgestreckter, uneindeutiger und fehlerbehafteter Such-, Selektions- und Anpassungsvorgänge. Für die Konzipierung empirischer Fallstudien zum sektoralen Wandel heißt dies, besondere Aufmerksamkeit zu richten

- auf sukzessive und oft erratische Veränderungen in den strategischen Orientierungen, Organisationsmustern und Leitvorstellungen der Akteure und der interorganisationalen Arrangements, die den Sektor prägen,
- auf Prozesse des schrittweisen Wandels der den Sektor charakterisierenden sozioökonomischen Strukturen – seiner Unternehmens- und Industriestrukturen, Konkurrenz- und Kooperationsmuster, Produktions-, Distributions- und Marktverhältnisse, sowie
- auf die permanente Neujustierung der regulativen, normativen und kognitiven Institutionen, die verobjektivierte Spielregeln sektoralen Handelns konstituieren.

6. Eingriffstiefe, Adaptionsfähigkeit, graduelle Transformationen: Ein analytischer Ansatz technikinduzierten sektoralen Wandels

Die drei hier vorgestellten Konzepte – sektorale Eingriffstiefe neuer Technologien, sektorale Adaptionsfähigkeit und graduelle Transformationsverläufe – bilden in ihrem Zusammenspiel einen analytischen Ansatz, der die empirische Untersuchung technikinduzierten sektoralen Wandels anzuleiten vermag – nicht im Sinne einer schematischen Abarbeitung empirischer Indikatoren, wohl aber als heuristischer Rahmen, der das zu untersuchende Feld mit Hilfe allgemeiner Kategorien und Zusammenhänge strukturiert.

Mit dem *Konzept der sektoralen Eingriffstiefe* kommt die Technik als wichtiger eigenständiger Einflussfaktor des sektoralen Wandels zu ihrem Recht: Technologische Innovationen üben einen spezifischen und identifizierbaren Anpassungs- und Veränderungsdruck auf bestehende sektorale Systeme aus, deren Akteure sich in der einen oder anderen Weise dazu zu verhalten haben.

Daraus lassen sich freilich keine eindeutigen strukturellen und institutionellen Transformationslogiken und -muster ableiten. Wie mit dem Anpassungs- und Veränderungsdruck umgegangen wird und auf welche Weise er sich in strukturellen und institutionellen Neujustierungen niederschlägt – das sind genuin akteurgetragene Such-, Selektions- und Readjustierungsvorgänge, die durch die jeweils bestehenden sektoralen Strukturen und Institutionen gerahmt und geprägt werden: Eingriffstiefe trifft auf Adaptionsfähigkeit. Mit dem komplementären *Konzept sektoraler Adaptionsfähigkeit* lassen

sich Varianten der sektoralen Wahrnehmung und Verarbeitung technologischer Veränderungen und Umbrüche identifizieren und verschiedene Muster sektoralen Wandels voneinander unterscheiden.

Mit dem *Konzept gradueller Transformationsverläufe* schließlich wird technikinduzierter sektoraler Wandel jenseits der Dichotomie von Kontinuität und Bruch als vielschrittiger Prozess organisationaler, struktureller und institutioneller Neujustierungen analysierbar. In den Blick geraten damit all die tastenden, erratischen und umkämpften sektoralen Restrukturierungsvorgänge, die sich über längere Zeiträume hinziehen und in der Regel auch für Sektoren typisch sind, die einem gravierenden Anpassungsdruck unterliegen.

Literatur

Barben, D., 2007: Politische Ökonomie der Biotechnologie. Innovation und gesellschaftlicher Wandel im internationalen Vergleich. Frankfurt a.M./New York: Campus.

Benkler, Y., 2006: The Wealth of Networks. How Social Production Transforms Marktes and Freedom. New Haven: Yale University Press.

Beyer, J., 2006: Pfadabhängigkeit. Über institutionelle Kontinuität, anfällige Stabilität und fundamentalen Wandel. Frankfurt a.M./New York: Campus.

Bresnahan, T.F. / Malerba, F., 1999: Industrial Dynamics and the Evolution of Firms' and Nations' Competitive Capabilities in the World Computer Industry. S. 79–132 in: D.C. Mowery / R.R. Nelson (Hrsg.), Sources of Industrial Leadership. Studies of Seven Industries. Cambridge: Cambridge University Press.

Briken, K. / Kurz, C., 2006: Innovationen in der deutschen Pharma- und Biotechindustrie. S. 39–63 in: H. Heine / M. Schumann / V. Wittke (Hrsg.), Wer den Ast absägt, auf dem er sitzt, kann deshalb noch längst nicht fliegen. Innovationen zwischen institutionellem Wandel und Pfadkontinuitäten. Berlin: Edition Sigma.

BRIE-IGCC E-conomy Project (Hrsg.), 2001: Tracking a Transformation. E-commerce and the Terms of Competition in Industries. Washington D.C.: Brookings Institution Press.

Buchholz, K., 1979: Die gezielte Förderung und Entwicklung der Biotechnologie. S. 64–116 in: W. van den Daele / W. Krohn / P. Weingart (Hrsg.), Geplante Forschung. Vergleichende Studien über den Einfluß politischer Programme auf die Wissenschaftsentwicklung. Frankfurt a.M.: Suhrkamp,.

Castells, M., 1996: The Information Age: Economy, Society and Culture I: The Rise of the Network Society. Oxford: Blackwell.

Christensen, C.M., 1997: The Innovator's Dilemma. Boston: Harvard Business School Press.

Currah, A., 2006: Hollywood versus the Internet: the media and entertainment industries in a digital and networked economy. Journal of Economic Geography 6: 439-468.

David, P.A., 1985: Clio and the Economics of QWERTY. American Economic Review 75: 332–337.

Dolata, U., 1996: Politische Ökonomie der Gentechnik. Konzernstrategien, Forschungsprogramme, Technologiewettläufe. Berlin: Edition Sigma.

Dolata, U., 2003: Unternehmen Technik. Akteure, Interaktionsmuster und strukturelle Kontexte der Technikentwicklung: Ein Theorierahmen. Berlin: Edition Sigma.

Dolata, U., 2005: Eine Internetökonomie? WSI-Mitteilungen 1: 11–17.

Dolata, U., 2006: Technologie- und Innovationspolitik im globalen Wettbewerb. Veränderte Rahmenbedingungen, institutionelle Transformationen und politische Gestaltungsmöglichkeiten. Zeitschrift für Politikwissenschaft 2: 427–455.

Dolata, U. / Werle, R. (Hrsg.), 2007: Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung. Frankfurt a.M./ New York: Campus.

e-business watch (Hrsg.), 2005: ICT and Electronic Business in the Automotive Industry. ICT adoption and e-business activity in 2005. Berlin/Brussels: European Commission.

Freeman, C. / Perez, C., 1988: Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour. S. 38–66 in: G. Dosi / C. Freeman / R. Nelson / G. Silverberg / L. Soete (Hrsg.), Technical Change and Economic Theory. London/New York: Pinter.

Geels, F.W., 2004: From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. Research Policy 33: 897–920.

Geels, F.W., 2005: Technological Transitions and System Innovations. A Co-Evolutionary and Socio-Technical Analysis. Cheltenham/Northampton: Edward Elgar.

Giesecke, S., 2001: Von der Forschung zum Markt. Innovationsstrategien und Forschungspolitik in der Biotechnologie. Berlin: Edition Sigma.

Goldfarb, B., 2005: Diffusion of general-purpose technologies: understanding patterns in the electrification of US manufacturing 1880-1930. Industrial and Corporate Change 14: 745–773.

Greenstein, S.M. / Prince, J., 2006: The Diffusion of the Internet and the Geography of the Digital Divide in the United States. NBER Working Paper No. W12182: http://ssrn.com/abstract=900088

Hall, P.A. / Soskice, D. (Hrsg.), 2001: Varieties of Capitalism. The Institutional Foundations of Comparative Advantage. Oxford: Oxford University Press.

Heinze, T., 2006: Die Kopplung von Wissenschaft und Wirtschaft. Das Beispiel der Nanotechnologie. Frankfurt a.M./New York: Campus.

Helper, S. / Mac Duffie, J.P., 2001: E-volving the Auto Industry: E-Business Effects on Consumer and Supplier Relationships. S. 178–213 in: BRIE-IGCC E-conomy Project (Hrsg.), Tracking a Transformation. E-commerce and the Terms of Competition in Industries. Washington D.C.: Brookings Institution Press.

Henderson, R. / Orsenigo, L. / Pisano, G.P., 1999: The Pharmaceutical Industry and the Revolution in Molecular Biology: Interactions Among Scientific, Institutional, and Organizational Change, S. 267–311 in: D.C. Mowery / R.R. Nelson (Hrsg.), Sources of Industrial Leadership. Studies of Seven Industries. Cambridge: Cambridge University Press.

Hollingsworth, J.R. / Streeck, W., 1994: Countries and Sectors: Concluding Remarks on Performance, Convergence and Competitiveness. S. 270–300 in: J.R. Hollingsworth / W. Streeck / P.C. Schmitter (Hrsg.), Governing Capitalist Economies. Performance and Control of Economic Sectors. New York: Oxford University Press.

Ichbiah, D. / Knepper, S.L., 1991: The Making of Microsoft. Rocklin: Prima Publishing.

Jürgens, U. / Meißner, H.-R., 2005: Arbeiten am Auto der Zukunft. Produktinnovationen und Perspektiven der Beschäftigten. Berlin: Edition Sigma.

Kemp, R. / Rip, A. / Schot, J., 2001: Constructing transition paths through the management of niches. S. 269–299 in: R. Garud / P. Karnoe (Hrsg.), Path Dependence and Creation, Mahwah: Lawrence Erlbaum.

Kenney, M., 1986: Biotechnology: The University-Industrial Complex. New Haven: Yale University Press.

Kenney, M. / Curry, J., 2001: The Internet and the Personal Computer Value Chain. S. 151–177 in: BRIE-IGCC E-conomy Project (Hrsg.), Tracking a Transformation. E-commerce and the Terms of Competition in Industries. Washington D.C.: Brookings Institution Press.

Kitschelt, H., 1991: Industrial Governance Structures, Innovation Strategies, and the Case of Japan: Sectoral or Cross-National Comparative Analysis? International Organization 4: 453–493.

Langlois, R. / Robertson, P., 1992: Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from the Microcomputer and Stereo Component Industries. Research Policy 21: 297–313.

Larédo, P. / Mustar, P. (Hrsg.), 2001: Research and Innovation Policies in the New Global Economy. An International Comparative Analysis. Cheltenham: Edward Elgar.

Lüthje, B., 2007: Making Moore's Law Affordable: Modularisierung und vertikale Reintegration in der Chipentwicklung. S. 179–199 in: U. Dolata / R. Werle (Hrsg.), Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung. Frankfurt a.M./New York: Campus.

Lynn, L.H. / Reddy, N.M. / Aram, J.D., 1996: Linking technology and institutions: the innovation community framework. Research Policy 25: 91–106.

Malerba, F. (Hrsg.), 2004: Sectoral Systems of Innovation. Concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe. Cambridge: Cambridge University Press.

Mayer, M., 1998: The Bankers: The Next Generation. The New Worlds of Money, Credit and Banking in an Electronic Age. New York: Plume (Penguin Group).

Mayntz, R., 1993: Große technische Systeme und ihre gesellschaftstheoretische Bedeutung. Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie 45: 97–108.

McKelvey, M. / Rickne, A. / Laage-Hellman, J. (Hrsg.), 2004: The Economic Dynamics of Modern Biotechnology. Cheltenham: Edward Elgar.

Mowery, D.C. / Nelson, R.R. (Hrsg.), 1999: Sources of Industrial Leadership. Studies of Seven Industries. Cambridge: Cambridge University Press.

Nelson, R.R., 1994: The Coevolution of Technologies and Institutions. S. 139–156 in: R.W. England (Hrsg.), Evolutionary Concepts in Contemporary Economics. Ann Arbor: University of Michigan Press.

Orsenigo, L., 1989: The Emergence of Biotechnology. Institutions and Markets in Industrial Innovation. London: Pinter.

Orsenigo, L., 1993: The dynamics of competition in a science-based technology: the case of biotechnology. S. 41–66 in: D. Foray / Freeman, C. (Hrsg.), Technology and the Wealth of Nations. The Dynamics of Constructed Advantage. London/New York: Pinter.

Ortmann, G., 2003: Regel und Ausnahme. Paradoxien sozialer Ordnung. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.

Oudshoorn, N. / Pinch, T. (Hrsg.), 2003: How Users Matter. The Co-Construction of Users and Technology. Cambridge: MIT Press.

Perez, C., 2002: Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. Cheltenham: Edward Elgar.

Pries, L. / Hertwig, M. (Hrsg.), 2005: Deutsche Autoproduktion im globalen Wandel. Altindustrie im Rückwärtsgang oder Hightech-Branche mit Zukunft? Berlin: Edition Sigma.

Rammert, W., 2007: Technik – Handeln – Wissen. Zu einer pragmatistischen Technik- und Sozialtheorie. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Rip, A. / Kemp, R., 1998: Technological change. S. 328–399 in: S. Rayner / E.L. Malone (Hrsg.), Human choice and climate change. Volume two: Resources and technology. Columbus: Batelle Press.

Rohracher, H., 2007: Die Wechselwirkung technischen und institutionellen Wandels in der Transformation von Energiesystemen. S. 133–151 in: U. Dolata / R. Werle (Hrsg.), Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung. Frankfurt a.M./New York: Campus.

Stobbe, A. / Just, T., 2006: IT, Telekom & Neue Medien: Am Beginn der technologischen Konvergenz. Deutsche Bank Research (Hrsg.), E-conomics 56: 1–19.

Streeck, W. / Thelen, K., 2005: Introduction: Institutional Change in Advanced Political Economies. S. 1–39 in: W. Streeck / K. Thelen (Hrsg.), Beyond Continuity. Institutional Change in Advanced Political Economies. Oxford: Oxford University Press.

Thelen, K., 2003: How Institutions Evolve. Insights From Comparative Historical Analysis. S. 208–240 in: J. Mahoney / D. Rueschemeyer (Hrsg.), Comparative Historical Analysis in the Social Sciences. Cambridge: Cambridge University Press.

Tschmuck, P., 2006: Creativity and Innovation in the Music Industry. Dordrecht: Springer.

Werle, R., 2005: Institutionelle Analyse technischer Inno-

vation. Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie 2: 308–332.
Werle, R., 2007: Pfadabhängigkeit. Im Erscheinen in: A. Benz / S. Lütz / U. Schimank (Hrsg.), Handbuch Governance. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Autorenvorstellung: Ulrich Dolata: geb. 1959 in Dortmund. Studium, Promotion (Dr. rer.pol.) und Habilitation in Bremen. Senior Scientist und stellvertretender Sprecher des artec-Forschungszentrum Nachhaltigkeit an der Universität Bremen sowie Research Affiliate am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln. Zuvor u. a. wissenschaftlicher Mitarbeiter am Hamburger Institut für Sozialforschung sowie Senior Fellow und Gastprofessor am IFZ in Graz.
Forschungsschwerpunkte: Sozialwissenschaftliche Technik- und Innovationsforschung; Politische Ökonomie der Gentechnik und des Internet; Technologie- und Innovationspolitik.
Wichtigste Veröffentlichungen: Politische Ökonomie der Gentechnik, Berlin 1996; Unternehmen Technik. Akteure, Interaktionsmuster und strukturelle Kontexte der Technikentwicklung: Ein Theorierahmen, Berlin 2003; Reflexive Stimulation or Disjointed Incrementalism? Readjustments of National Technology and Innovation Policy. Science, Technology and Innovation Studies 1, July 2005: 59–76; Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung (hrsg. mit R. Werle), Frankfurt 2007.

Copyright of Zeitschrift für Soziologie is the property of Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft mbH and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.