

Wilfried Konrad, Jan Nill

Innovationen für Nachhaltigkeit

Ein interdisziplinärer Beitrag zur konzeptionellen Klärung aus wirtschafts-
und sozialwissenschaftlicher Perspektive

Schriftenreihe des IÖW 157/01



i | ö | w

INSTITUT FÜR
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Wilfried Konrad, Jan Nill

Innovationen für Nachhaltigkeit

Ein interdisziplinärer Beitrag zur konzeptionellen Klärung aus wirtschafts- und sozialwissenschaftlicher Perspektive

Schriftenreihe des IÖW 157/01
Berlin, August 2001, ISBN 3-932092-57-0

IÖW gGmbH Geschäftsstelle:
Potsdamer Str. 105
D-10785 Berlin

Tel. +49.(0)30.884 59 40
Fax +49.(0)30.882 54 39
mailbox@ioew.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	2
1. Einleitung	3
2. Produkt- und Prozessinnovation	6
3. Vom linearen Technikdeterminismus zur Komplexität von Innovationsprozessen.....	9
3.1. Phasen des Innovationsprozesses	9
3.2. Sozialwissenschaftliche Technikforschung.....	10
3.3. Ökonomische Innovationsforschung.....	12
3.4. Zwischenfazit.....	16
4. Innovation als interaktiver Prozess.....	17
4.1. Innovationssysteme	17
4.2. Innovationsnetzwerke.....	17
4.3. Auf dem Weg zu einem neuen Innovationstypus?	19
5. Die Ausweitung des Innovationsbegriffs auf organisatorische, institutionelle und soziale Innovationen.....	22
5.1. Innovationsdefinitionen und -abgrenzungen	22
5.2. Organisatorische Innovationen.....	23
5.3. Soziale Innovationen.....	24
5.4. Zwischenfazit.....	25
6. Innovationsgrade und -reichweiten	27
6.1. Inkrementelle versus radikale Innovationen	27
6.2. Zur weiteren Differenzierung nichtinkrementeller Innovationen.....	30
6.3. Konvergenzen und Schlussfolgerungen.....	32
7. Soziale und ökologische Kriterien für Innovationen.....	35
7.1. Umweltinnovationen und ihre ökologische Reichweite	35
7.2. Die Nachhaltigkeitsdimension von Innovationen.....	38
7.3. Kriterien für den Umgang mit Zukunftsoffenheit und Unsicherheit	39
7.4. Das Integrations- und Bewertungsproblem bei Innovationen.....	42
8. Fazit und Schlussfolgerungen	45
8.1. Zusammenfassung.....	45
8.2. Schlussfolgerungen aus forschungspraktischer Perspektive.....	46
Literatur.....	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Differenzierung von Innovationstypen	33
Abbildung 2: Innovationstypen und ökologisches Entlastungspotential	38

Vorwort

Die vorliegende Schriftenreihe ist das Ergebnis eines Eigenprojekts des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung. Mit der Mitte 2000 erstmalig erfolgten internen Ausschreibung von Eigenprojekten waren seitens des IÖW die folgenden Ziele verbunden:

1. Strategische wichtige Themenfelder neu zu erschließen,
2. vorhandene Arbeiten zu evaluieren und/oder weiter zu entwickeln,
3. eine stärkere theoretische Fundierung von Themen zu erarbeiten und/oder
4. durch die Einbeziehung externer Experten neue Impulse in das IÖW zu tragen.

Bedingung an die Projekte war u.a. eine interdisziplinäre, forschungsfeldübergreifende Bearbeitung. Im Zentrum der vorliegenden Studie stand das drittgenannte Ziel einer stärkeren theoretischen Fundierung. Dabei wurde auch versucht, soweit möglich bisherige IÖW-Arbeiten zum Innovationsthema, die zahlreicher sind als auf den ersten Blick sichtbar, einzubeziehen. Grenzen setzte natürlich das begrenzte Budget des Projekts, sodass beispielsweise das siebte Kapitel zu sozialen und ökologischen Kriterien und Bewertungsverfahren nur einen ersten Überblick gibt.

Als externer Experte hat der ehemalige IÖW-Vorstand Prof. Dr. Arnim von Gleich (Fachhochschule Hamburg) die Erstellung dieser Studie begleitet. Wir möchten ihm an dieser Stelle besonders herzlich danken. Wir haben von seinen Kommentaren zu Zwischen- und Endbericht des Projekts sowie einer ausführlichen Diskussion von Zwischenergebnissen auf einem Treffen in Bremen sehr profitiert, auch wenn nicht alle seine Anregungen Eingang in diesen Text gefunden haben.

Weiter bedanken wir uns bei allen IÖW-MitarbeiterInnen für ihre Anregungen und Diskussionsbereitschaft bei zwei internen Ergebnispräsentationen. Ein besonderes Dankeschön geht schließlich an Kathrin Ankele, Ulrich Petschow und Frieder Rubik für ihre detaillierten Kommentare zum Entwurf der Endfassung dieser Studie.

Berlin und Heidelberg, im August 2001

Wilfried Konrad Jan Nill

1. Einleitung

Seit geraumer Zeit gilt es als ausgemachte Sache, dass die traditionellen Strukturen und Verfahren moderner westlicher Industriegesellschaften den gewandelten Anforderungen an ihre Funktions- und Problemlösungsfähigkeit nicht mehr gewachsen sind. Von dieser Diagnose ist praktisch kein wichtiges gesellschaftliches Segment ausgenommen:

- So sieht sich die Ökonomie zugleich einer globalisierten Konkurrenz, der Entwicklung elektronischer Geschäftsformen und einem beschleunigten wissenschaftlich-technologischen Wandel ausgesetzt, auf den mit Kostensenkungen, Flexibilitätssteigerungen, Unternehmensrestrukturierungen, dem Aufbau von E-commerce-Plattformen und einem Ausbau der Wissensbasis reagiert wird.
- Des Weiteren wird der Politik angesichts der steigenden Ausdifferenziertheit des gesellschaftlichen Zusammenhangs zunehmend die Fähigkeit zur umfassenden Steuerung und Kontrolle abgesprochen, sodass die Mitwirkung an Aushandlungsprozessen in Politiknetzwerken staatlicher und privater Akteure an die Stelle von hierarchischen Anordnungen hoheitlicher Instanzen tritt.
- Und nicht zuletzt stehen die eingespielten Routinen des Umweltschutzes zur Debatte, da vor dem Hintergrund der nach wie vor kritischen ökologischen Problemlagen deren Bearbeitung durch an einzelnen Umweltmedien orientierten Schadstoffverordnungen und End-of-Pipe-Technologien vielfach an ihre Grenzen gestoßen ist. Im Fokus des Interesses stehen jetzt Ansätze eines integrierten Umweltschutzes und das Konzept der Nachhaltigkeit, das die ökologische mit der ökonomischen und sozialen Entwicklung verknüpft.

Was auch immer an spezifischen Antworten auf die in den verschiedenen Bereichen identifizierten Veränderungsbedarfe erwartet, diskutiert und realisiert wird – es besteht jedenfalls breite Einigkeit darüber, dass es sich dabei um innovative Lösungen zu handeln hat. Nur denjenigen Institutionen, Unternehmen, Branchen, Forschungseinrichtungen, Gesellschaften etc., die dazu in der Lage sind, Innovationen zu erzeugen und zu adaptieren, wird die Fähigkeit zugesprochen, vor dem Hintergrund turbulenter Umfeldbedingungen mittel- und langfristige eine relevante Rolle spielen zu können. „Innovation“, so fasst Sauer (1999, S. 11) die Erwartungshaltung zusammen, „wird gegenwärtig als Passepartout zur Erschließung von Zukunftsoptionen moderner Gesellschaften angesehen – sei es zur Sicherung von Wettbewerbsfähigkeit der Industrie und der Erhaltung von Arbeitsplätzen in der globalen Konkurrenz, sei es zur nachhaltigen Bewältigung ökologischer Gefährdungen.“

Innovation ist damit ein Begriff, der ob seiner schier unbegrenzt erscheinenden Zustimmungsfähigkeit quer durch alle aktuellen Diskussionsfelder eine zentrale Bedeutung erlangt hat. Wer innovative Absichten hegt, dem wird per se unterstellt, etwas Gutes und Nützliches anzustreben (vgl. Bechmann/Grunwald 1998, S. 4). Da aber Innovation als Wort nichts anderes als Neuerung bedeutet, ist mit der uneingeschränkt positiven Bewertung von Innovationen zugleich eine undifferenzierte Feier des Neuen verbunden. Es ist nun bekanntlich ein wichtiges Wesensmerkmal der Moderne, das Neue dem Alten, Traditionellen vorzuziehen und aktiv darauf hinzuwirken, dass das Bestehende im Prozess des allgemeinen Fortschritts wieder und wieder abgelöst wird. Es ist aber auch ein offenes Geheimnis, dass Neuerungen in der Regel nicht nur nicht von allen begrüßt werden, sondern dass es soziale Gruppen und gesellschaftliche Bereiche gibt, die aktiv für den Fortbestand des Überkommenen kämpfen. Auch wenn dies von der verbreiteten Innovationseuphorie gerne ignoriert wird, in „Wirklich-

keit gibt es immer Protagonisten und Gegner. (...) Die andere Seite der Innovation ist nämlich die Zerstörung. Schon Schumpeter wusste von dieser dunklen, der Sonne abgewandten Seite der Innovation. Wer etwas Neues will, muss Bestehendes diskriminieren, als alt und überholt bezeichnen. Mit anderen Worten, eine innovative Gesellschaft ist zugleich und vor allem eine zerstörende Gesellschaft“ (Bechmann 1998, S. 27). Ob Innovationen tatsächlich der Rhetorik des Wünschenswerten, Guten und Nützlichen entsprechen, kann daher angesichts ihres Doppelcharakters nicht aus dem Neuen allein heraus beurteilt werden. Es ist vielmehr jeweils die Frage zu stellen, inwieweit sich aus der Differenz zwischen Obsoletem und Fortgeschrittenem entweder so starke Vorteile für das Neue ableiten lassen, dass das Alte und die mit ihm verknüpften Erfahrungen, Beziehungen, Identitäten oder Interessen zurecht als die schlechtere Alternative bezeichnet werden können, oder ob die Innovation sich schlicht als Fehler entpuppt. Insbesondere aus ökologischer Perspektive ergeben sich jedoch starke Argumente, die auf die Notwendigkeit von (gerade auch zerstörerischen) Innovationen hindeuten, zumal viele alte Strukturen unter unzureichender Berücksichtigung ökologischer Folgewirkungen entstanden sind.

In herkömmlicher Sichtweise stellt sich das skizzierte Bewertungsproblem in dieser Weise allerdings nicht, da es über das Kriterium des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Erfolgs gelöst wird. Ist eine Neuerung erfolgreich, wird sie positiv bewertet, wenn nicht, gilt sie nicht nur als gescheitert, sondern es wird von ihr auch nicht mehr als von einer Innovation gesprochen. Und mit dem Markt als Vermittlungsinstanz zwischen Angebot und Nachfrage steht ein hinreichender Bewertungsmechanismus für diese Sichtweise zur Verfügung.

Allerdings stellen, wie noch gezeigt werden wird, bereits neuere Ergebnisse der Innovationsforschung dieses einfache Bild in Frage. Dies gilt insbesondere für den Fall weiter reichender Innovationen. Noch akuter stellt sich die Frage der Bewertung allerdings unter dem Blickwinkel des Beziehungsmusters zwischen gesellschaftlichen und ökologischen Entwicklungsdynamiken. Hier ist längst bekannt, dass die klassischen Bewertungsmechanismen in Wirtschaft und Gesellschaft dieses insbesondere in seinen langfristigen Dimensionen nur unzureichend reflektieren. Die Frage der Wünschbarkeit von Neuerungen ist in dieser Perspektive daher insbesondere hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeitseffekte zu stellen, also nicht nur mit Blick auf ihre ökonomisch-technische, sondern zugleich auch soziale und ökologische Zukunftsfähigkeit. Auch hier ist ein Doppelcharakter festzustellen: Einerseits werden vielfach weit reichende Innovationen für nötig gehalten, um den derzeitigen nichtnachhaltigen gesellschaftlichen Entwicklungspfad zu verändern. Andererseits gehen insbesondere von am Markt erfolgreichen Innovationen Impulse für wirtschaftliche Dynamiken aus, die neue Belastungen für die Natur hervorrufen können. Nichtsdestotrotz dominiert auch im ökologischen Diskurs derzeit zunehmend der positive Rekurs auf Innovationen. Damit ergibt sich gerade für die ökologische Wirtschafts- und Sozialforschung der Bedarf, sich stärker mit der theoretischen Innovationsdebatte zu beschäftigen.

Wendet man sich vor diesem Hintergrund dem Innovationsprozess im Detail zu, so ist festzustellen, dass ungeachtet der skizzierten Innovationseuphorie in der Theorie keinesfalls Einigkeit darüber besteht, was als Innovation aufzufassen ist beziehungsweise wie das Innovationskonzept analytisch am sinnvollsten einzusetzen ist. Dabei ist prinzipiell zu beachten, dass Innovationen immer nur Konglomerate von neuartigen und bekannten Elementen sind. „Es gibt kein vollständig Neues, losgelöst von jeder Beziehung zum Alten, Überlieferten“ (Bechmann/Grunwald 1998, S. 4f.). Diese Vorstellung steht im Widerspruch zum verbreiteten Ar-

gumentationsmuster, nach der die Notwendigkeit für Innovationen gerade mit dem Bedarf an einzigartigen, noch nie da gewesenen Lösungen begründet wird. Schließt man aber den Fall des absolut Neuen aus, kann Innovation nicht als etwas definiert werden, was sich in allen Belangen von seinen Vorgängern abhebt. Weniger emphatisch, dafür aber realistischer ist vielmehr davon auszugehen, dass „keine Innovation ganz ohne Neues“ (a.a.O., S. 4) auskommt. Innovation wird damit als etwas verstanden, was keiner absoluten, sondern lediglich einer *relativen Neuheit* gleichkommt.

Vor dem Hintergrund des oben skizzierten auch ökologischen Innovationsbedarfs schließt sich daran direkt die Frage nach einer geeigneten Unterscheidung bzw. Taxonomie von Innovationsgraden an. Zugleich sind natürlich die Gegenstandsbereiche von Innovationen zu differenzieren, wobei es nicht nur um technische Innovationen gehen kann, auch wenn diese oft im Zentrum der Innovationsdebatte stehen.

Damit sind zugleich die grundlegenden Fragenkomplexe angedeutet, denen im Folgenden näher nachgegangen wird. Im Mittelpunkt der Studie steht die Rekonstruktion bestehender Konzepte insbesondere der sozialwissenschaftlichen und der evolutiv-ökonomischen Innovationsforschung, wobei sich neben erwartbaren Unterschieden auch vielfältige Konvergenzen ergeben. Wir beginnen aber zunächst mit den klassischen Differenzierungen der Innovationsforschung, die Probleme der Entstehung und Durchsetzung von Neuerungen bisher in erster Linie am Beispiel von technischen, speziell von Produkt- und Prozessinnovationen erörtert hat. Auf diese Begriffe wird im Folgenden zunächst die Aufmerksamkeit gerichtet (Abschnitt 2), bevor in Abschnitt 3 stärker auf die Beschreibung und Erklärung von Besonderheiten des Innovationsprozesses eingegangen wird. Abschnitt 4 beschäftigt sich mit den Innovationsakteuren, deren Vernetzung zunehmend eine entscheidende Bedeutung zugemessen wird. Daran schließt sich die aktuelle Frage einer Erweiterung des Gegenstandsbereiches von Innovationen an: Wie kann - so wird in Abschnitt 5 gefragt - ein Innovationsbegriff aussehen, der auch organisatorische oder soziale Neuerungen umfasst? Andererseits muss eine geeignete Innovationskonzeption auch nach Innovationsgrad differenzieren, also die Spezifika von Innovationen größerer relativer Neuheit erfassen, die stärker von den herkömmlichen Pfaden abweichen. Abschnitt 6 entwickelt hierfür ein Klassifikationsschema. Des Weiteren geht es in Abschnitt 7 um eine erste Sichtung der Diskussion hinsichtlich sozialer und ökologischer Kriterien für Innovationen, das heißt den Einbezug und die Operationalisierung des ökologischen beziehungsweise nachhaltigen „Erfolgs“ als wesentliche zusätzliche Dimension. Abschnitt 8 schließlich zieht ein Fazit und sondiert weitere Forschungsbedarfe.

2. Produkt- und Prozessinnovation

Bei einer Charakterisierung von Innovationen nach dem Ergebnis ist die geläufigste Differenzierung die zwischen Produkt- und Prozessinnovation. Auf den ersten Blick ist die jeweilige Definition der Begriffe unproblematisch. Laut Vahlens Wirtschaftslexikon handelt es sich hier um die „objektiv erstmalige Einführung eines neuen Produkts am Markt oder eines neuen Produktionsprozesses“ (Dichtl/Issing 1987, S. 884). Ersterer Begriff zielt also auf die Realisierung neuer Wirtschaftsgüter, wobei die Fokussierung auf materielle Gegenstände in letzter Zeit vermehrt durch den Einbezug von neuen Dienstleistungen ergänzt wird, letzterer dagegen auf Neuerungen im Verfahren der Leistungserstellung, sodass eine gegebene Menge an Output mit weniger Input erzeugt werden kann (vgl. OECD/Eurostat 1997). Bei genauem Hinsehen verbergen sich hinter dieser vermeintlich klaren Unterscheidung eine Reihe von teilweise bereits angedeuteten Problemen.

So begegnet man zum einem dem Problem der *Qualifizierung des Neuigkeitsgrades*. Als neu im emphatischen Sinn können Produkte und Prozesse dann betrachtet werden, wenn sie bislang unbekannte Anwendungsbereiche und Märkte beziehungsweise Prozessabläufe erschließen. Davon abzugrenzen sind Produkt- und Prozessmodifikationen, die auf kleinteilige Verbesserungen bereits existierender Güter und Verfahren gerichtet sind (vgl. Bieber/Möll 1993, S. 71). Als Illustration für diese Differenzierung kann die Technologie des Personalcomputers herangezogen werden. Sie war bei ihrer Entstehung nicht grundlegend neu hinsichtlich ihrer wissenschaftlich-technologischen Grundlagen, die zu diesem Zeitpunkt bereits seit langem bekannt und in Großrechenanlagen angewendet wurden. Das Innovative am Personalcomputer besteht vielmehr in der Rekonfigurierung einer existierenden Technologie und deren Verknüpfung mit der Idee, den bislang nur von Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Behörden und Militärs benutzten Computer als privaten Alltagsgegenstand neu zu definieren. Seither ist der PC Gegenstand permanenter Modifikationen, die zwar dazu geführt haben, dass sich moderne Geräte etwa hinsichtlich Leistungsvermögen und Anwendungsspektrum nicht mehr mit ihren Vorläufern vergleichen lassen, die aber nur als inkrementelle Innovationen zu werten sind, da mit ihnen kein neues Produkt verbunden ist (vgl. dazu näher Abschnitt 6).

Zum anderen wird deutlich, dass zumindest implizit mit dem Innovationsbegriff eine Richtung beziehungsweise *Bewertung* verbunden ist, die eindeutiger klingt als sie ist. Zunächst wird die Neuerung klar mit der Einführung am Markt verbunden (Produkte/Leistungserstellung); dieser fungiert somit als Referenzinstanz. Sobald die alleinige Bewertungsrationalität des Marktes allerdings in Frage steht, wie dies insbesondere bei Nachhaltigkeitsinnovationen der Fall ist, wird auch dieses Kriterium problematisch. Gleiches gilt dann für die implizit mit-schwingende Konnotation, dass eine Neuerung zugleich eine Verbesserung ist. Greift man wieder das PC-Beispiel auf, ist zum einen offensichtlich, dass diese Innovation unter marktlichen Gesichtspunkten als großer Erfolg gewertet werden muss. Bezieht man allerdings auch Aspekte wie Gesundheit, Qualifizierung und Ökologie mit ein, rücken Probleme etwa des Strahlenschutzes, der ständigen Entwertung von Wissen und des Elektronikschrotts in den Vordergrund, die eine umstandslos positive Bewertung des PC in Frage stellen (vgl. hierzu näher Abschnitt 7).

Das Begriffspaar Produkt- und Prozessinnovation wirft darüber hinaus aber auch eine weitere Frage auf. Denn es stellt sich das Problem, ob ein Produkt oder Prozess nur *für das inno-*

vierende Unternehmen selbst oder *ganz allgemein* eine Neuheit sein muss. Dies hängt vor allem davon ab, ob Innovationen aus einer Mikro- oder einer Makroperspektive betrachtet werden. Da im ersten Fall „zwar die Lösung einiger Teilprobleme (...) für die Unternehmung einfacher (ist), (...) aber im Prinzip dieselben Phasen des Innovationsprozesses durchlaufen werden (müssen) wie bei einer völligen Neuentwicklung“ (Kieser 1973, S. 9), und zudem in Mikrountersuchungen die Prüfung des objektiven Neuheitsgrads methodisch schwierig ist, spricht zunächst einiges für die Verwendung eines „subjektiven“ Innovationsbegriffs. Allerdings kann für einige Fragestellungen, insbesondere wenn es um Reichweitenfragen von Innovationsprozessen geht (s.u.), der Versuch einer objektiven Unterscheidung in spezifische oder allgemeine Neuheit wichtig sein. Gleiches gilt für die Makroperspektive, zum Beispiel hinsichtlich der politischen Beeinflussung des generellen Innovationsgeschehens.

Schließlich ist eine *Trennung* von Produkt- und Prozessinnovationen auf der empirischen Ebene häufig *nicht möglich*. So ist zum Beispiel die Innovation einer neuen Chipgeneration untrennbar mit der Entwicklung darauf abgestimmter Produktionsanlagen- und verfahren verknüpft. Die Differenzierung kann zudem perspektivabhängig sein: Ein neues Automatisierungssystem ist für dessen Hersteller eine Produktinnovation, für seine Anwender stellt es sich aber als Prozessinnovation dar.

Ungeachtet dieser Probleme hat die Unterscheidung zwischen Produkt- und Prozessinnovationen auch in der bisherigen Umwelt- und Technologiepolitik eine wichtige Rolle gespielt. Historisch lag hier der Fokus eindeutig auf Prozessinnovationen, wobei die Diskussion um integrierte Umwelttechnik versus End-of-Pipe-Technologien im Mittelpunkt stand (vgl. Hemmelskamp 1999). Ökologische Produktinnovationen wurden u.a. aufgrund der Marktnähe lange Zeit von der Förderpolitik vernachlässigt (Angerer 1997, für einen Überblick vgl. Hübner/Nill 2001). Dies ändert sich erst in jüngster Zeit im Rahmen der sich entwickelnden Konzeption einer Integrierten Produktpolitik, in der Produktinnovationen eine wesentliche Rolle spielen (vgl. den auf der nächsten Seite folgenden Exkurs).

Die bisherigen Überlegungen lassen sich zu folgenden drei Punkten verdichten:

- Das Neue kann nicht per se bestimmt werden, sondern nur relativ im Vergleich zu dem schon Existierenden. Dabei ist es unzureichend, bei einer ergebnisorientierten Innovationsdefinition nur zwischen Produkten und Prozessen zu unterscheiden (vgl. Abschnitt 5).
- Die Beurteilung einer Innovation als Verbesserung kann nicht allein der Marktrationalität des ökonomisch erfolgreichen/nicht erfolgreichen und der technischen Rationalität des machbaren/nicht machbaren folgen, vielmehr müssen auch soziale und ökologische Kriterien einbezogen werden, wenn diese vom Markt nicht geeignet reflektiert werden (vgl. Abschnitt 7).

Ebenso muss bezüglich der Reichweite einer Innovation der Bezugskreis des Technisch-ökonomischen zugunsten einer breiten Betrachtung auch ökologischer und sozialer Dimensionen erweitert werden. Das gilt auch für die einzelunternehmerische Ebene, wo die Entwicklung neuer Produkte und die Einführung neuer Prozesse in der Regel mit strategischen, organisatorischen usw. Veränderungen einhergeht (vgl. Abschnitte 6 und 7).

Ein Blick auf die sozialwissenschaftliche Technikforschung und die ökonomische Innovationsforschung zeigt, dass sich das Verständnis von Innovationen als auch des Innovationspro-

zesses in den letzten zwanzig Jahren durchaus auch in diesem Sinn verändert hat und insbesondere die nichttechnischen Dimensionen von Innovationsprozessen zunehmend erfasst.

Exkurs: Integrierte Produktpolitik

Hinter der maßgeblich am IÖW entwickelten Konzeption einer Integrierten Produktpolitik (IPP) (Rubik 2000a, 2000b, 2001) verbirgt sich der Versuch, aufbauend auf den bereits vorhandenen, aber größtenteils unzusammenhängenden impliziten und expliziten Einzelmaßnahmen der produktbezogenen Umweltpolitik eine systematische produktpolitische Architektur zu formulieren. Im Gegensatz zur bisherigen Praxis fokussiert diese nicht nur auf einzelne Abschnitte des Produktlebensweges oder auf ein spezifisches Umweltmedium, sondern bezieht den ökonomischen Lebensweg eines Produktes (von der Produktidee über die Markteinführung bis zum Marktniedergang) wie auch den ökologischen Lebensweg (von der Rohstoffextraktion über die Produktion bis zur Entsorgung) ein und betrachtet dabei alle Formen von Belastungen quer über alle Umweltmedien.

Akteursseitig enthebt die IPP den Staat seiner Rolle als zentralem Akteur der ökologischen Produktpolitik und macht diese zu einer geteilten Aufgabe aller Organisationen, die direkt und indirekt den ökonomisch-ökologischen Lebensweg eines Produktes beeinflussen. Entfalten soll sich die IPP im Kontext einer Reihe von Handlungsfeldern (oder IPP-Bausteinen), zu denen neben Aktionsbereichen wie „Schaffung von Märkten für ökoeffiziente Produkte und Dienstleistungen“ und „Nachhaltiger Konsum“ auch die „Ökologische Produktinnovation“ zählt. Dieser IPP-Baustein gründet sich in der Gestaltungsmacht und -kompetenz der Hersteller von Produkten wie auch von Dienstleistungen und zielt darauf ab, Maßnahmen zu ergreifen, um eine möglichst frühzeitige Berücksichtigung ökologischer Eigenschaften im ökonomischen Lebensweg von Produkten zu erreichen. Er umfasst also vor allem Maßnahmen, die auf FuE-Prozesse von Unternehmen gerichtet sind und diese in ökologischer Absicht neu austarieren sollen.

Eine IPP kann sich dabei in der Perspektive von Kemp (2000a) als besonders geeignet erweisen, Wege zu finden, wie in der Produktentwicklung zugleich ökologische und technische, ökonomische oder anwendungsbezogene Ziele verfolgt und erreicht werden können (co-optimisation). Auf der anderen Seite sieht Kemp mit der IPP die Gefahr einer Fokussierung auf das existierende Produktspektrum und dessen Verbesserung verbunden, sodass in ihrem Rahmen komplexere Systeminnovationen (s.u.), die über einzelne Produkte hinausgehen und soziale Veränderungsprozesse beinhalten, als nicht bearbeitbar erscheinen. Rubik (2001) dagegen sieht die IPP auch dazu in der Lage, zu einer Erhöhung der ökologischen Reichweite von Innovationen und zur Entwicklung von Systeminnovationen beizutragen. Maßnahmen, die er in diesem Zusammenhang vorschlägt, sind beispielsweise Förderprogramme des Bundesforschungsministeriums zu Langfristinnovationen und Pilot- und Demonstrationsprojekten sowie die Dissemination von „Best practices“. Gleichwohl bleibt festzuhalten, dass eine systematische Diskussion der Möglichkeiten und Grenzen einer über den unmittelbaren Produktbezug hinausgehenden IPP noch aussteht.

3. Vom linearen Technikdeterminismus zur Komplexität von Innovationsprozessen

3.1. Phasen des Innovationsprozesses

Meißner (1989) macht darauf aufmerksam, dass in der Innovationsliteratur circa einhundert verschiedene Phasenmodelle des Innovationsprozesses bestehen, natürlich unterschiedlich detailliert und auf unterschiedliche Ebenen und Akteure bezogen. Doch wenn man sich mit Innovationen beschäftigt, landet man nicht nur in der ökonomischen Literatur fast zwangsläufig zunächst bei Schumpeter als Klassiker, der wichtige Meilensteine gesetzt hat. Er betonte einerseits die wirtschaftliche Bedeutung von Innovationen, andererseits Ungleichgewichtsphänomene sowie die bedeutende Rolle von Pionierunternehmern. Auch wichtige begriffliche Unterscheidungen gehen auf ihn zurück, unter anderem die in der Ökonomik gebräuchliche Differenzierung des *Innovationsprozesses in drei Phasen*:

- Der Invention, also einer Neuentwicklung oder Entdeckung eines neuen Zusammenhangs,
- der Adaption beziehungsweise Innovation im engeren Sinne, womit aus ökonomischer Sicht die kommerzielle Erstanwendung der Invention gemeint ist, sowie
- der Diffusion, also der allgemeinen Verbreitung der Innovation im Zeitverlauf unter den potenziellen Anwendern (Schumpeter 1939).

Teilweise wird mit dem Innovationsbegriff nur auf die zweite Phase, also die Markteinführung, abgehoben. Dies hat sich allerdings inzwischen als zu enge Sicht erwiesen (s.u.). In der eher technisch orientierten Literatur setzt der Begriff Innovation mit dem Prozess des Erreichens von (technischen) Verbesserungen ein (Weaver et al. 2000, S. 49).

In der sozialwissenschaftlichen Literatur wird der Innovationsprozess in Anlehnung an den „commonsense ‚product-cycle‘ view of technical change“ (Edge 1988, S. 5) noch weiter differenziert und beispielsweise in die folgenden fünf Stufen gegliedert:

- „generation of new ‘basic‘ technological knowledge;
- development of workable design products/systems;
- introduction into use;
- more widespread adoption;
- effects“ (a.a.O.).

Mit solchen Phasenschemata hat sich sowohl in der ökonomischen als auch in der soziologischen Literatur häufig ein lineares Modell des Innovationsprozesses verbunden, in dem Innovationsprozesse ausgehend von Erkenntnissen der Grundlagenwissenschaften verschiedene Phasen durchlaufen, bis sie sich schließlich über Märkte in der Gesellschaft etablieren und in dieser Sphäre ihre Implikationen entfalten. Wie der folgende techniksoziologische und (evolutionisch-)ökonomische Literaturüberblick zeigt, hat sich in beiden Theorieströmungen in den letzten Jahren allerdings zunehmend ein komplexeres Innovationsverständnis durchgesetzt.

3.2. Sozialwissenschaftliche Technikforschung

In der sozialwissenschaftlichen Innovationsforschung gab es bis in die siebziger Jahre hinein einen breiten Konsens darüber, dass Technikentwicklung nach einer von außen nicht beeinflussbaren *immanenten Logik* stattfindet (vgl. Konrad 1997). Aufbauend auf einer immer umfassenderen Entschlüsselung physikalischer, chemischer etc. Gesetze war diese insbesondere darauf gerichtet, natürliche durch technische Prozesse zu ersetzen und „neue Produkte zu entwickeln, die im Hinblick auf bekannte Zwecke höheren Nutzen erbringen oder ganz neuen Zwecken dienen können“ (Lutz 1990, S. 614). Für Gesellschaft und Politik war in dieser Welt des steten technischen Fortschritts kein Platz. Diesen wurde nicht nur prinzipiell die Möglichkeit abgesprochen, aus ihren wissenschafts- und technikfremden Zusammenhängen heraus spürbar gestaltend und steuernd auf den eigengesetzlichen Prozess der Technologieentwicklung einwirken zu können. Ganz im Gegenteil bestand die Befürchtung, dass Eingriffe von außen letztlich nur dazu führen, dass dessen reibungslose Entfaltung mittels der dafür zuständigen Wissenschaftler und Ingenieure mehr oder weniger stark gestört wird.

War man sich so auf der einen Seite einig, dass von außen in den Gang der technologischen Entwicklung nicht interveniert werden kann und darf, wurden umgekehrt technische Neuerungen als wesentliche Antriebskräfte der gesellschaftlichen Dynamik angesehen. Dahinter stand die Vorstellung eines höchst einseitigen Beeinflussungszusammenhangs, demzufolge die Technikentwicklung „zwingend, soll sie nicht stark behindert werden oder gravierende Spannungen und Konflikte auslösen, tiefgreifende Veränderungen in den gesellschaftlichen – wirtschaftlichen, sozialen, politischen und kulturellen – Verhältnissen“ (a.a.O.) erfordert. Auf der Basis dieser doppelten Axiomatik von eigenlogischer technischer Innovation und determinierten gesellschaftlichen Auswirkungen hatte die sozialwissenschaftliche Technikforschung klare Aufgaben zu erfüllen, nämlich

- „den gesetzmäßigen Verlauf technischer Entwicklung, also insbesondere ihre Stadien oder Stufen und deren Aufeinanderfolge zu beschreiben;
- typische Formen der Durchsetzung neuer Techniken zu bestimmen;
- die wesentlichen Wirkungen herauszuarbeiten, die von ihnen jeweils in verschiedenen gesellschaftlichen Funktions- und Lebensbereichen ausgelöst werden;
- die hemmenden oder fördernden Faktoren von Durchsetzung neuer Techniken und von Anpassung an sie zu identifizieren“ (a.a.O., S. 615).

Erste Elemente einer *neuen Konzeptualisierung des Verhältnisses von Technik und Gesellschaft* entstammen der industriesoziologischen Forschung der frühen siebziger Jahre. Im Rahmen internationaler Studien wurde wider Erwarten deutlich, dass Unternehmen in mehreren Industrieländern, die mit der gleichen Technologie die gleichen Produkte fertigen, dennoch sehr verschiedene arbeitsorganisatorische Arrangements aufwiesen. Diese empirischen Untersuchungsergebnisse interpretierte man dahingehend, dass Arbeitsformen und -inhalte nicht allein von technischen Anforderungen bestimmt werden, sondern ebenso als Resultat arbeitsorganisatorischer Maßnahmen zu begreifen sind. Diese Abkehr von der Idee, wonach sozialen Kontexten nichts anderes übrigbleibt, als sich den determinierenden Vorgaben von Innovationen anzupassen, rückte in der Folgezeit die Handlungsspielräume in den Vordergrund, die Akteure bei der Aneignung und Verwendung neuer Techniken haben.

Davon unberührt blieb allerdings zunächst einmal die Vorstellung einer Eigenlogik des technischen Fortschritts. Von dieser „agnostischen Ergebnisheit gegenüber der Technik“, von der

aus die technologische Entwicklung nur „als so und nicht anders möglich und deshalb nur als bewertbar, aber nicht beeinflussbar“ (Weingart 1989, S. 10) zu begreifen war, löste sich die sozialwissenschaftliche Innovationsforschung auf breiter Basis erst im Verlauf der achtziger Jahre. Auf der Basis einer Reihe von empirischen Studien unterschiedlicher disziplinärer Herkunft (Technikgeschichte, Ökonomik, Wissenschafts- und Techniksoziologie) bildete sich die Rede von der „*Technik als sozialer Prozess*“ heraus. Mit dieser Formel wurde eine neue Forschungsrichtung bezeichnet, die sich den „sozialen Entstehungsbedingungen neuer Techniken zuwendet und damit ein wesentliches Defizit früherer Ansätze der Technikfolgenforschung und der Technikfolgenabschätzung behebt. Sie richtet ihren Fokus auf die Bedingungen, die zu der konkreten Gestalt einer Technik führen und fragt danach, ob und welche Gestaltungspotentiale für alternative Techniklösungen bereits in der Phase der Entwicklung vorhanden sind“ (Asdonk et al. 1991, S. 290; zum Ausmaß der zwischenzeitlich erreichten Konsolidierung dieser techniksoziologischen Perspektive vgl. Schulz-Schaeffer 2001).

Die Hinwendung der sozialwissenschaftlichen Innovationsforschung auf das als *Technikgenese* bezeichnete Stadium „von der Problemdefinition bis zum ersten verwendungsfähigen Industrieprodukt“ (Dierkes/Marz 1993, S. 28f.) war bestimmt von der Vorstellung, dass auf dieser Stufe getroffene Selektions- und Eliminierungsentscheidungen den weiteren Verlauf der Technikentwicklung entscheidend prägen und „in späteren Phasen nicht mehr oder nur rudimentär zurückgeschrieben“ (Dierkes/Knie 1994, S. 84) werden können. Im organisationskulturellen Modell der Technikgenese werden die Auswahlentscheidungen durch organisationspezifische Interpretationen allgemeiner technischer Leitbilder geprägt, die auf der Basis von Konstruktions- und Forschungstraditionen in organisationspezifischen Konstruktions- und Forschungsstilen umgesetzt werden. Dabei sind Leitbilder zentrale Orientierungsrahmen für Entscheidungen, Konstruktions- und Forschungstraditionen beziehen sich auf bewährte wissenschaftliche und technische Wissensressourcen, während Konstruktions- und Forschungsstile Ideen über angemessene Problemlösungsverfahren und konkrete Formen der Bearbeitung von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben bezeichnen. Vor diesem Hintergrund ist das Ergebnis der Technikgenese dann ein durch diese Faktoren „von ineinander verzahnten Wahrnehmungsfiltren, Werten und Vorstellungen geprägtes neues Produkt oder Verfahren“ (Dierkes/Marz 1993, S. 31). Die Aufnahme unter solchen besonderen Bedingungen entstandener Innovationen in den Stand der Technik schließlich geschieht durch die Formierung eines Konsolidierungskonsenses unter Beteiligung von Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Normungsinstitutionen etc. „Die Durchsetzung einer technischen Option hängt also weniger von ihrem technischen-konstruktiven Beitrag ab, sondern von den organisatorischen und bündnispolitischen Fähigkeiten zur Herstellung von Definitionsmacht“ (Rammert 1992, S. 198).

Ähnlich wie die Technikgeneseforschung ist auch der Ansatz des *social shaping of technology* als eine „antithesis to crude forms of technological determinism“ (Williams/Edge 1992, S. 31) entstanden. In seinem Zentrum steht die Analyse ökonomischer, kultureller, politischer oder organisatorischer Faktoren, die an der Formung von Technologien beteiligt sind und die Geschwindigkeit des technologischen Wandels und dessen Richtung mit bestimmen. Das Untersuchungsinteresse wird hier allerdings nicht primär auf die frühen Phasen der Technikentwicklung konzentriert, sondern erstreckt sich ebenso auf die oben erwähnten Dimensionen Nutzungseinführung, breitenwirksame Aneignung und Auswirkungen.

Die *Komplexität* technologischer Innovationen macht es dabei allerdings erforderlich, lineare Ablaufschemata zu reformulieren. Eine Chronologie könne zwar die Analyse der Folgen im Lichte der Aufschließung der sozialen Gestaltungsvorgänge technischer Artefakte und Systeme verbessern oder jedenfalls verändern: „An examination of the causes of change may well influence the way we understand its implications“ (Edge 1988, S. 4). Aber wie die gesellschaftlichen Effekte ihrerseits auf die technologischen Gestaltungsprozesse durchschlagen, bleibt hier außen vor. Auf dem Weg zu einer integrierten Analyse von Formung und Folgen technischer Innovationen wären daher zumindest Rückkopplungsschleifen von den „Effekten“ zu den „vorgelagerten“ Entwicklungsphasen zu thematisieren. So kann etwa unter der Einführung einer Technologie in einen Nutzungskontext nicht die bloße Aneignung eines fertig entwickelten Artefakts oder Systems verstanden werden. Denn die Gegenstände von Implementierungsprozessen sind vielfach noch „unfertige“ Technologien, die erst im Zuge der konstruktiven Berücksichtigung spezifischer Praktiken, organisatorischer Abläufe, Technologien, Wissensbestände etc. des Anwendungskontextes ihre „endgültige“ Form erhalten.

Eine zweite Mindestforderung betrifft den konzeptionellen Umgang mit den nach diesem Innovationsmodell zu durchlaufenden Phasen. Sowohl deren Abgrenzung gegeneinander als auch ihre Separierung vom sozialen Kontext müsse aufgegeben werden zugunsten eines Konzepts vielfältig verwobener und daher äußerst komplexer Aushandlungen aller an einer spezifischen technologischen Entwicklung mit je besonderen Interessen, Ressourcen etc. beteiligten individuellen und kollektiven Akteure.

Williams und Edge (1992, S. 40) fassen diese grundlegenden Annahmen in dem „Generellen Modell der sozialen Formung“ zusammen:

- „Innovation ist eine komplexe soziale Aktivität – ein Prozess von Kämpfen wie auch ein technischer Prozess. Sie beinhaltet Prozesse der Interessenartikulation und Lernprozesse.
- Dies hebt die von den in den Innovationsprozess involvierten verschiedenen Akteuren getragenen Kenntnistypen und die Informationsflüsse zwischen ihnen hervor.
- Innovation ist kein linearer, sondern ein iterativer oder spiralförmiger Prozess. Sie findet durch Interaktionen in einem Netzwerk von Akteuren statt.
- All dies verursacht signifikante Differenzen in Form und Inhalt der entstehenden Technologie“ (eigene Übersetzung).

Insgesamt zeigt dieser kurze Überblick, wie die sozialwissenschaftliche Technikforschung die ursprüngliche „Blackbox“ technischer Fortschritt schrittweise geöffnet und schließlich in Form und Inhalt als komplexen sozialen Aushandlungsprozess neu konzeptionalisiert hat. Auf die Akteure dieses Prozesses und ihre Interaktionen wird in Abschnitt 4 näher eingegangen.

3.3. Ökonomische Innovationsforschung

Im ökonomischen Mainstream wurde die Schumpetersche Phasendifferenzierung, die beispielsweise im Forschungsverbund Innovationen und Umweltpolitik (FIU) als zentrales Strukturierungskriterium aufgegriffen wurde (Klemmer et al. 1999), als *lineares Phasenmodell* des Innovationsprozesses verarbeitet, das vor allem auf Großunternehmen als Akteure des Innovationsprozesses zugeschnitten war. Danach wird in der Inventionsphase durch Forschung und darauf folgende Entwicklung (und die entsprechenden FuE-Ausgaben) eine Erfindung

generiert, die dann marktfähig gemacht wird. Diese FuE-Orientierung vernachlässigt jedoch andere Inputfaktoren des Innovationsprozesses (Hemmelskamp 1999, S. 62, s.u.).

Insgesamt nahmen jedoch in der ökonomischen Theorie Innovationen lange Zeit nur einen stiefmütterlichen Platz ein. Das klassische Beispiel ist die neoklassische Wachstumstheorie in der Tradition von Solow (1956), in der technischer Fortschritt – ganz ähnlich wie in der im letzten Abschnitt skizzierten frühen sozialwissenschaftlichen Technikforschung – als autonomer, extra-ökonomisch zu erklärender Faktor gesetzt wird, der nur als „Residualgröße“ zu ermitteln ist. Hierzu passt die lange Zeit dominierende, und auch bei Schumpeter betonte, Auffassung eines *Technology Push* als entscheidender Triebkraft von Innovationen. Eine Endogenisierung des technischen Fortschritts wird erst in der neuen Wachstumstheorie (über Humankapitalinvestitionen oder Forschungsausgaben) sowie in der evolutorischen Ökonomik (s.u.) versucht.

Technik- und damit angebotsorientierten Sichtweisen stellte Schmookler (1966) dann eine *Demand-Pull-Hypothese* entgegen, nach der die Marktnachfrage für die Innovationsrichtung entscheidend ist, und eröffnete damit eine Kontroverse, die für eine lange Zeit die Debatte prägte. Auch die neoklassisch geprägte Theorie der induzierten Innovation betont die Bedeutung marktlicher Faktoren. Sie versucht, die neoklassische Mikroökonomik auf den Innovationsprozess zu übertragen und Innovationen in Anlehnung an Hicks als durch Faktorpreise und ihre Veränderungen determinierten Prozess zu erfassen (für einen Überblick vgl. z.B. Binswanger/Ruttan 1978, Ruttan 1997).

Inzwischen besteht zunehmend Einigkeit, dass sowohl Technik- als auch Marktnachfragefaktoren für Innovationen eine wichtige Rolle spielen können (Hemmelskamp 1999). Teilweise wird dies entlang des Produktlebenszyklus differenziert. Danach wirken Technology-Push-Faktoren vor allem in den frühen Phasen, während Demand-Pull-Faktoren in den späteren Phasen dominieren (Coombs et al. 1987, S. 103). Ähnlich bindet Dosi (1982) die Bedeutung der Marktnachfrage vor allem an Innovationsprozesse entlang bereits definierter Pfade. Von Gleich et al. (2000; 2001, S. 18) differenzieren hingegen nach dem Charakter der Märkte. Sie binden technologiegetriebene Faktoren an ungesättigte, angebotsdominierte Märkte. Diese seien jedoch stark an die fordistische Massenproduktion gebunden. Heute seien jedoch gesättigte, nachfragedominierte Märkte der postfordistische Regelfall, weshalb die Bedeutung von Demand-Pull-Faktoren zunehme.

Auch die angebotsseitigen Technology-Push-Faktoren, die neoklassisch exogen gesetzt werden, endogen ökonomisch zu erklären, ist ein Anliegen der *evolutorischen Ökonomik*, die seit Ende der siebziger Jahre in der Innovationsforschung an Bedeutung gewonnen hat (für einen Überblick vgl. Dosi/Nelson 1994; Nelson 1995). Aufbauend auf Schumpeter fasst sie in Anlehnung an biologische Konzepte den Marktprozess als dynamischen Innovationswettbewerb auf (Nelson/Winter 1982). Die evolutorische Innovationsforschung baut methodisch stärker auf wirtschaftshistorischen Analysen auf. Soweit formale Modelle konzipiert werden, fokussieren diese stark auf das Verhalten der Unternehmen beziehungsweise der Anbieter im Wettbewerb, während die Interaktion mit der Nachfrageseite in den älteren Ansätzen vielfach noch vernachlässigt wird (Bollmann 1990, S. 66f.). In Abgrenzung zu neoklassisch geprägten Ansätzen werden vor allem folgende Faktoren betont:

- Der Innovationsprozess ist von Unsicherheit geprägt und nichtlinear beziehungsweise diskontinuierlich; er ist daher als Suchprozess aufzufassen, der durch stochastische Elemente geprägt ist;
- dass Innovationen sich in ihrer Reichweite unterscheiden, ist konzeptionell von Bedeutung;
- der ökonomische Selektions- und Diffusionsprozess von Innovationen ist durch Pfadabhängigkeiten geprägt und daher im Zeitverlauf nicht völlig flexibel.

Zur Beschreibung der resultierenden Muster des technischen Wandels wurden mehrere Konzepte vorgeschlagen. In Anlehnung an Kuhn (1962) führt Dosi (1982) das Konzept *technologisches Paradigma* ein. Es stellt ein Leitbild (bzw. einen Rahmen) dar, das die relevanten Probleme sowie das zur ihrer Lösung erforderliche spezifische Wissen definiert (vgl. die Parallelen zur oben aufgeführten Technikgeneseforschung). Es steht oft in engem Zusammenhang mit einer Basisinnovation und erzeugt eine gewisse Kohärenz eines technologischen Systems. Diese stellt für die Ausschöpfung der Potentiale von wesentlichen Neuerungen eine wichtige Voraussetzung dar, grenzt zugleich jedoch auch den Raum für weitere Veränderungen ein (für eine erste Anwendung auf ökologische Fragestellungen vgl. Zundel et al. 1995, S. 17ff.; Clausen et al. 1997, S. 4f.; Hemmelskamp 1999, S. 63ff.).

Innerhalb eines Paradigmas bestehen zunächst verschiedene *technologische Trajektorien*, nämlich Muster „normaler“ Problemlösungsaktivitäten, bis sich ein „dominantes Design“ durchsetzt. In der Folge dominieren aus Lernprozessen resultierende graduelle und in gewisser Weise vorhersagbare Verbesserungsinnovationen entlang dieses Pfades. Auf eine Phase der Produktheterogenität folgt somit eine stabile Phase der Produktdifferenzierung, in der dann auch Prozessinnovationen an Bedeutung gewinnen. Dieses Muster des Innovationsprozesses bietet eine Erklärung für die von Abernathy und Utterback (1978) hervorgehobene zeitliche Aufeinanderfolge der Häufigkeit von Basis- und inkrementellen Innovationen während des industriellen beziehungsweise Produktlebenszyklus. Typische Entwicklungsrichtungen von technischen inkrementellen Innovationen werden dabei etwa durch die Nutzung von Größenvorteilen, die Mechanisierung von Vorgängen oder den Einsatz elektronischer Bauteile vorgegeben (Kemp 1994, S. 1024f.).

Nelson und Winter (1977, 1982) haben das mit dem technologischen Paradigma verwandte, aber etwas umfassendere und stärker institutionell orientierte Konzept des *technological regime* eingeführt, das bei Dosi/Nelson (1994) als organisatorisch/institutioneller Rahmen beschrieben wird, innerhalb dessen technische Entwicklungen stattfinden.

Die skizzierten evolutorischen Konzepte zur Erfassung der Muster von Innovationsprozessen machen sich zunächst stark an der Generierung von technischem Wissen beziehungsweise an kognitiven Faktoren sowie diese Prozesse unterstützende Faktoren und Institutionen fest. Dies wird zumindest bei Nelson/Winter (1982) durch eine Verhaltensannahme unterstützt, die als beschränkt rationales Verhalten unter Unsicherheit gekennzeichnet werden kann. Hierdurch erhalten Verhaltensroutinen (im Gegensatz zu fortwährenden Optimierungsprozessen) einen wichtigen Stellenwert.

Parallel zu den skizzierten Arbeiten hat sich ein Diskussionsstrang entwickelt, der sich explizit mit Pfadabhängigkeiten als wichtigem Einflussfaktor auf den *Selektionsprozess* zwischen verschiedenen Technologien beschäftigt. Den Grundstein legten hier verschiedene Arbeiten von Arthur und David in den achtziger Jahren (vgl. z.B. David 1985, Arthur 1989). Zentrale

Einflussfaktoren für das Entstehen von Pfadabhängigkeiten sind steigende Adoptions- beziehungsweise dynamische Skalenerträge und das Zulassen von stochastischen Einflussfaktoren. Wichtige Ursachen für steigende Adoptionserträge, also sich selbst verstärkende Systemeffekte im Diffusionsprozess, können zum Beispiel sein:

- Technologiespezifisches, d.h. an eine konkrete Technologieentwicklung gebundenes, „localised“ Lernen, zum Beispiel in Form von „learning by doing“ und „learning by using“;
- Größenvorteile;
- Netzwerkeffekte, das heißt die Abhängigkeit der Vorteile einer neuen Technologie/Lösung von der Zahl ihrer Nutzer.

Daneben ist auf die Wechselwirkung mit institutionellen, aber auch sozialen Faktoren des „Selektionsumfelds“ hinzuweisen, die in den formalen Modellen von Arthur und David nicht betrachtet werden. Mit der Weiterentwicklung von Lösungen koevolvieren auch komplementäre Technologien/Infrastrukturen, Institutionen, Bedürfnisse und Akteursnetzwerke. Es bilden sich auf der Angebots- und Nachfrageseite stabilisierende Verhaltensroutinen und Erwartungen, die Richtung und Charakter von Lernprozessen beeinflussen (Nelson/Winter 1982; Rosenberg 1994). Die Entwicklung entlang eines Pfades ist daher nicht nur Folge der Wahl der Basistechnologie, sondern wird auch durch den infrastrukturellen und institutionellen Rahmen beeinflusst. Insbesondere bei reiferen Technologien respektive etablierten Trajektorien dürften diese Faktoren zunehmend an Bedeutung gewinnen (Berg 1995).

Ein mögliches Ergebnis ist, dass sich eine Technologie beziehungsweise ein technologisches Regime gegenüber konkurrierenden Lösungen durchsetzt und zumindest temporär dominant bleibt, obwohl sie nicht die bessere respektive eventuell sogar eine suboptimale Lösung darstellt. Dieser Fall wird in der Literatur als *technologischer Lock-in* bezeichnet (Arthur 1989). Als Beispiele in der Literatur werden z.B. die QWERTY-Anordnung der Buchstaben auf Schreibmaschinen- beziehungsweise Computertastaturen, die Dominanz des VHS gegenüber dem Beta System bei Videorekordern, oder das Benzin- versus das Elektroauto genannt (David 1985, Cusumano et al. 1992, Cowan/Hultén 1996). Solche Pfadabhängigkeiten der Technologiewahl können wiederum auch auf den Innovationsprozess als solchen zurückwirken, da sie in dynamischer Perspektive den Anreiz für neue Innovationsrichtungen verringern. Einer dauerhaften Verfestigung entgegen stehen insbesondere neues Wissen und darauf aufbauende Basisinnovationen sowie die Heterogenität von Akteuren (und deren Präferenzen). Sofern sich Diffusionsagenten der neuen Lösung beziehungsweise des neuen Pfades organisieren, können sie Lock-ins überwinden (Windrum 1999; Witt 1997).

In den letzten Jahren haben sich insbesondere in den Niederlanden „quasi-evolutorische“ Ansätze stark verbreitet, die *evolutorisch-ökonomische Konzeptionen mit sozialwissenschaftlicher Akteursorientierung verknüpfen*. Kemp et al. (2001) begreifen zum Beispiel das Konzept „technological regime“ in einem breiteren Sinn als sozial eingebettete Form eines technologischen Paradigmas, das die Selektionsumgebung mit einbezieht. „A technological regime is defined as the grammar or rule set comprised in the complex of scientific knowledges, engineering practices, production process technologies, product characteristics, skills and procedures, and institutions and infrastructures that make up the totality of a technology (...) or a mode of organization“ (a.a.O., S. 3). Beispiele für von einem technologischen Regime umfasste Regeln sind die Suchheuristiken von Ingenieuren, die Investitionsauswahlkri-

terien der Firmen, Organisationsabläufe, technische Standards, soziale Normen, politische Regulierungsmechanismen und Eigentums- und Patentrechte.

Außerdem wird von diesen Autoren im Sinne eines learning by doing/learning by using häufig die Bedeutung des Einbezugs der Nutzer (von Hippel 1988) beziehungsweise von Realexperimenten für die Reifung und Weiterentwicklung von Technologien betont. Diese sind insbesondere für die Einführung und Verbreitung neuer Technologien, die erst noch die Lernkurve durchwandern müssen, von entscheidender Bedeutung. Der Selektionsprozess am Markt wird in dieser Perspektive quasi mit Akteuren untersetzt.

Festzuhalten ist, dass die skizzierten Muster zwar zunächst an technischen Erklärungsfaktoren ansetzen, aber deutlich über die technische Komponente hinausgehen und zum Beispiel auch organisatorische und institutionelle Faktoren erfassen (auf die angedeutete Differenzierung von Innovationsgraden wird in Abschnitt 6 noch näher eingegangen). Daneben gewann auch in der Ökonomik in den achtziger Jahren die Sichtweise mehr und mehr Raum, dass der Innovationsprozess einen *interaktiven, rückgekoppelten Prozess* darstellt, bei dem sich Forschung und Innovation im engeren Sinn nicht mehr einfach trennen lassen. Die sich bereits bei Dosi (1982) andeutende Abkehr vom linearen Innovationsmodell kommt zum Beispiel im sogenannten Chainlink-Modell von Kline/Rosenberg (1986) zum Ausdruck, das die Feedbackmechanismen zwischen Innovation und Invention sowie zwischen Diffusion/Nutzerfeedback und entsprechenden Lernprozessen für den Innovationsprozess betont, der auch mit der ersten Markteinführung noch weitergeht (vgl. auch Domrös 1993; Kemp 1994).

3.4. Zwischenfazit

Die skizzierten theoretischen Konzepte versuchen zunehmend, die Komplexität von Innovationsprozessen auch theoretisch geeignet zu verarbeiten. Anders als in der frühen Literatur wird sowohl in jüngeren soziologischen als auch ökonomischen Ansätzen versucht, technische Innovationen als einen endogen zu erklärenden Prozess aufzufassen. Während sie sich in der Gewichtung, die sie dabei technischen und sozialen Erklärungsfaktoren sowie wissensbezogenen beziehungsweise marktlichen Faktoren beimessen, unterscheiden, konvergieren sie in der Verabschiedung linearer Innovationsmodelle. Statt dessen wird der Interaktion respektive der Rückkopplung zwischen den einzelnen Innovationsphasen eine zunehmende Bedeutung zugewiesen. Vor diesem Hintergrund scheint eine weite Fassung des Innovationsbegriffes grundsätzlich sinnvoll, die nicht nur auf den Zeitpunkt der Markteinführung zielt, sondern im Sinne einer Prozessorientierung die verschiedenen Phasen des Innovationsprozesses, einschließlich der Frühphasen der Entwicklung sowie der realen Lernprozesse am Markt beziehungsweise unter Einbezug der Nutzer, und die Rückkopplungen zwischen ihnen umfasst.

4. Innovation als interaktiver Prozess

4.1. Innovationssysteme

Mit der Abkehr von linearen Phasenmodellen des Innovationsprozesses bekommt das Zusammenspiel der Akteure und dessen Rahmenbedingungen eine stärkere Bedeutung. Seinen Ausdruck findet dies unter anderem in der zunehmenden Literatur zu nationalen und regionalen *Innovationssystemen*, in der sich evolutorische und institutionenökonomische Aspekte verbinden (z.B. Edqvist 1997; Freeman 1987; Hübner/Nill 2001; Lundvall 1988; Nelson 1993). In empirischen Vergleichen wird festgestellt, dass institutionelle Settings und Akteursnetzwerke zwischen verschiedenen Volkswirtschaften differieren und dass dies Auswirkungen auf den makroökonomischen Innovationserfolg hat. Freeman (1987, S. 1) definierte Nationale Innovationssysteme (NIS) als „the network of institutions in the public and private sectors whose activities and interactions initiate, import, modify and diffuse new technologies.“

Um dieses Netzwerk, bei dem Lundvall den „user-producer-linkages“ eine wichtige Rolle einräumt, genauer einzukreisen, unterscheidet derselbe (1992, S. 12f.) zwischen einem engeren und einem weiteren Verständnis von NIS. Die engere Fassung sieht das Netzwerk allein aus solchen Organisationen bestehen, die im Such- und Findungsprozess von Innovationen tätig sind, also vor allem Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen des privaten Sektors, Universitäten und parastaatliche technische Institute (für eine solche Lesart von NIS vgl. auch Welsch 1993). In der weiteren Fassung werden das Produktionssystem, das Marktsystem und das Finanzsystem als Subsysteme des NIS eingeschlossen. All diese Subsysteme, so sein Argument, produzieren und reproduzieren für Innovationsprozesse relevante Umwelten. Ähnliches gilt für staatliche Regulierung. Hübner/Nill (2001) unterscheiden hingegen zwischen dem Wissensregime, also den Akteuren, Organisationen und Regeln der Produktion von Wissen, und dem Produktivitätsregime, also den Akteuren, Praktiken, Normen, Regeln und Gewohnheiten, die die Auswahl zwischen alternativen Technologien und die Nutzungsweisen von Techniken bestimmen. Für den Erfolg des NIS ist insbesondere das Zusammenspiel dieser beiden Regime von Bedeutung.

Auch auf regionaler Ebene sind Innovationssysteme von Bedeutung (vgl. z.B. Braczyk et al. 1998). Hier sind auch die Begriffe Cluster und innovative Milieus gebräuchlich. Ein wesentlicher Faktor dahinter ist, dass Wissens-Spillovers oft räumlich begrenzt sind (die Rede ist auch von „localised knowledge“). Auch das in solchen Innovationsnetzwerken nötige Vertrauen lässt sich besser durch Vor-Ort-Kontakte herstellen.

4.2. Innovationsnetzwerke

Spätestens seit Mitte der neunziger Jahre stehen die organisatorisch-institutionellen Formen von Innovationsprozessen auch im Zentrum der sozialwissenschaftlichen Technikforschung. So können Asdonk et al. (1991) anhand von Innovationsprozessen im Werkzeugmaschinenbau zeigen, dass (inkrementelle) Technikentwicklung ein „mehrdimensionale(r), soziale(r) und historische(r) Prozess (ist), in dem eine Vielzahl ökonomischer, politischer, wissenschaftlicher und kultureller Einflüsse wirksam werden. Dieser Prozess erstreckt sich von der Phase der Ideenproduktion in FuE (Invention) bis hin zur Implementation und zur inkrementalen Weiterentwicklung durch rekursive Verarbeitung der Erfahrungen, die in der Anwendung und in

der Entwicklung gewonnen werden.“ Dabei geht es um einen nichtlinearen „verlaufsoffenen und schwer abschließbaren Vorgang (...), in dem jede Variable Ursache und Wirkung, Voraussetzung und Folge zugleich ist“ (a.a.O., S. 290).

Dass Technikentwicklung ein von Feedbackschleifen und Iterationen durchdrungener Prozess ist, hat über- und innerbetriebliche organisatorische Konsequenzen, die auf die Bewältigung externer und interner Rekursionen zielen: „Innovation erfordert sowohl zwischenbetriebliche Beziehungen, die die Rückkopplung relevanten Anwenderwissens in den Herstellungskontext sichern, als auch fortlaufende Kooperation zwischen den FuE- und den Werkstattabteilungen des Herstellerunternehmens“ (a.a.O., S. 292f.). Diese innovationsrelevanten Kommunikations- und Austauschprozesse sind nicht im Rahmen spontan-unregelmäßiger Kontakte zu bewältigen. Asdonk et al. zeigen, dass Technikentwicklung zur Bildung von Strukturen führt, die als *Innovationsnetzwerke* bezeichnet werden (vgl. hierzu auch Bender et al. 2000; Konrad/Paul 1999).

Innovationsnetzwerke sind auf die „Generierung und den Transfer technischer Parameter gerichtet und ermöglichen und stabilisieren Interaktionen auf unterschiedlichen funktionalen und hierarchischen Ebenen im Kontext (zwischen-)betrieblicher Kooperation.“ Damit ist Innovation kein singulärer Akt, „sondern ein Aushandlungsprozess innerhalb (in-)formeller Netzwerkstrukturen, der organisationale Teilrationalitäten verknüpft und innovationsrelevante Informationen und Parameter generiert“ (Asdonk et al. 1991, S. 295).

Kowol/Krohn (1995) schließen mit dem Konzept des Innovationsnetzwerks an allgemeinere netzwerktheoretische Überlegungen an, wonach die Bildung von Netzwerken ein „Grundmerkmal gesellschaftlicher Modernisierung“ (Mayntz 1992, S. 21) in Reaktion auf Dysfunktionalitäten hierarchischer und marktlicher Koordinationsformen ist. Unter Rückgriff auf Mill/Weißbach (1992) wird von der Herausbildung vernetzungswirtschaftlicher Strukturen ausgegangen, die mit einem veränderten Mechanismus ökonomischer Handlungskoordination verbunden sind: „Das Netzwerk, das darauf ausgelegt ist, der Schwäche des Marktes hinsichtlich des Informationsflusses und der Schwäche von Organisationen hinsichtlich der Flexibilität zu begegnen“ (Kowol/Krohn 1995, S. 98).

Bezogen auf die Organisation von Technologieentwicklung heißt dies, „dass weder allein Marktanalysen noch technologische Entwicklungsmöglichkeiten für eine erfolgreiche Innovationstätigkeit hinreichend sind“ (a.a.O., S. 86). Denn in Bezug auf beide Dimensionen ist Technikentwicklung mit einem hohen Ausmaß an *Unsicherheit* konfrontiert. Risiken bestehen zum einen hinsichtlich der sachlichen und ökonomischen Machbarkeit neuer Produkte, zum anderen ist von einer Intransparenz des Marktes auszugehen, die unter anderem gerade darin gründet, dass dessen Gestalt und Entwicklung von einer spezifischen Innovation abhängt. Da durch zusätzliche Informationen über Technik und Markt keine Reduktion von Unsicherheit erreichbar ist, kommt es zu rekursiven Kopplungen zwischen heterogenen Akteuren. Diese vollziehen sich „durch den Aufbau von Vertrauensbeziehungen (trust relations), die durch wechselseitige Erfahrungen und gegenseitigen Know-how-Transfer über längere Zeiträume und wechselnde Situationen allmählich stabilisiert werden können“, wobei die „Bedingung für den Aufbau von Vertrauensbeziehungen (...) das reziproke Bereitstellen von Ressourcen“ ist (a.a.O., S. 91).

Im Rahmen von Innovationsnetzwerken, die auf solchen Prinzipien beruhen, können technologische Unsicherheiten vermittels der Möglichkeit enger wechselseitiger Koordinierungsverfahren zwischen Herstellungs- und Anwendungskontext bearbeitet werden. Zum anderen sind in Innovationsnetzwerke integrierte Akteure in der Lage, das Problem der Markttransparenz dadurch zu lösen, dass im Kontext der Interaktionsbeziehungen zwischen Herstellern und Nutzern nicht nur neue Technologien entwickelt, sondern zugleich die dafür notwendigen Marktsegmente beziehungsweise Verwendungskontexte ausgebildet werden.

In diese Richtung argumentiert auch der Verbund Sozialwissenschaftliche Technikforschung (1997). Innovationsnetzwerke werden hier gefasst als „eher langfristig, kooperativ und ‚komplexitätsmächtig‘ ausgelegte Beziehungen zwischen Technikherstellern, Nutzern, Zulieferern und institutionellen ‚Kontextbildnern‘“ (S. 27). Ihr Aufbau bereitet den Boden dafür, dass die Technikentwicklung Hand in Hand mit der Konstruktion entsprechender gesellschaftlicher Funktionsräume und Erlebenswelten vonstatten geht.

4.3. Auf dem Weg zu einem neuen Innovationstypus?

Vor dem Hintergrund nicht zuletzt von Erkenntnissen des dargestellten Typs zu den institutionell-organisatorischen Strukturen von Innovationsprozessen kommen wissenschafts- und techniksoziologische Analysen zu dem Resultat, dass sich eine *grundlegend neuartige Innovationsweise* herausgebildet hat. International wird die Entstehung eines neuen Modus 2 der Wissensproduktion diskutiert, der neben den traditionellen Modus 1 getreten sei (Gibbons et al. 1994; Nowotny 1997; vgl. auch Bender 2000; Krohn 2000). In diesem wird die Wissenserzeugung im Wesentlichen an Universitäten im Rahmen disziplinärer Strukturen organisiert. Die Wissensgenerierung im Modus 2 dagegen wird „häufig von ‚Problemen der wirklichen Welt‘ bestimmt, die eine einzige Methode unmöglich lösen kann. Für die Integration sorgen nicht die Strukturen der Disziplinen, sondern vielmehr Einschnitte durch die Disziplinen; sie ist im Kontext der Anwendung weitgehend von Anfang an vorgesehen und verwirklicht“ (Nowotny 1997, S. 46).

Der Transdisziplinarität des Wissens entsprechen die nichthierarchischen, heterogenen Organisationsformen provisorischer Natur, in denen es im Modus 2 erzeugt wird. Es handelt sich um Komplexe eng kooperierender unterschiedlicher Akteure aus heterogenen Kontexten, die Universitäten, private und staatliche Forschungseinrichtungen, die Industrie, Vermittlerinstitutionen bis hin zu Organisationsformen im Bereich der kulturellen Produktion und der Geisteswissenschaften sein können (a.a.O., S. 45f.).

In Deutschland hat Rammert (1997a, 1997b) den Versuch unternommen, die Konturen eines neuen, als post-schumpeterianisch gekennzeichneten Innovationsregimes zu beschreiben. In der Moderne ist die technische Innovation eingebettet in das wissenschaftliche Forschungs- und das ökonomische Produktionssystem. In beiden Kontexten konnten sich jeweils spezifische Standardverläufe von Innovationen mit ihren je eigenen Zeitintervallen etablieren. In der Wissenschaft herrschte ein Innovationszyklus zwischen acht Jahren und zwei Jahrzehnten, wobei der Innovationsverlauf von einer Entdeckung ausging und auf eine Anwendung zielte. In der Wirtschaft begann der Standardverlauf einer Innovation bei der industriellen Forschung und Entwicklung und zielte auf einen drei- bis sechsjährigen Rhythmus des Produktwechsels. Zusammenfassend wird das Innovationsregime der Moderne wie folgt charakterisiert: „Die Standardabfolge von der wissenschaftlichen Entdeckung über die technische Erfindung bis

zur ökonomischen Innovation regulierte den im Grunde regellosen Strom der Innovationen. Die institutionelle Differenzierung schrieb jedem der am Prozess Beteiligten eine bestimmte Rolle zu. Einfache Rückkopplungsprozesse zwischen Wissenschaft und Technik oder zwischen Hersteller und Verwender neuer Techniken festigten die eingeschlagenen Pfade technischer Entwicklung. Der Verlauf einer technischen Innovation war in gewisser Weise erwartbar. Auf analoge Weise, wie der moderne Wohlfahrtsstaat in den sechziger und siebziger Jahren einen Standardlebenslauf für die Beschäftigten geschaffen hatte, gelang es dem modernen institutionell differenzierten System der Technikentwicklung, ein wohl abgestimmtes und effizientes Innovationsregime zu etablieren und einen Standardverlauf für Innovationen zu gewährleisten“ (Rammert 1997b, S. 406).

Die mit diesem Regime einhergehende Beschleunigung und funktionale Aufteilung des Innovationshandelns ist nun aber mittlerweile soweit vorangeschritten, dass die technische Innovation in einem Akt reflexiver Modernisierung ihre eigenen Grundlagen untergräbt und auf eine Innovation der Innovation drängt. Auf der institutionellen Ebene wird dies etwa daran festgemacht, dass

- die Grenzen zwischen Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Technologie verwischen,
- eingespielte Hersteller-Anwender- und Hersteller-Zulieferer-Beziehungen unter dem Druck globalisierter Märkte obsolet werden,
- das techno-ökonomische Paradigma der Massenproduktion in vielen Industriezweigen auf dem Rückzug ist oder
- Technologieerzeugung stärker verteilt und unter Beteiligung intermediärer Institutionen stattfindet.

Auf der Ebene der Standardform von Innovationsverläufen zeigt sich unter anderem, dass

- die Identität anvisierter Techniken multipler und unbestimmter geworden ist,
- die mit der Entwicklung rückzukoppelnden Informationen eine wachsende Vielfalt von Kontexten berücksichtigen müssen oder
- die Passagepunkte auf dem Innovationsweg zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik kritischer geworden und häufig nur unter Zuhilfenahme vermittelnder Agenturen zu bewältigen sind.

„Ein höherer Grad an Vielfältigkeit, eine Chance zu stärkerer Individualität, eine anspruchsvollere Rückkopplung und ein differenzierteres Tempo markieren den im Entstehen begriffenen Lauf reflexiver Innovation. (...) Gefragt ist also ein neues Innovationsregime, das der Herausforderung der reflexiven Innovation gewachsen scheint und einen Koordinationsmechanismus kennt, der Vielfältigkeit und Ambivalenz toleriert, rekursives Lernen begünstigt und Zeitdifferenzen zulässt“ (a.a.O., S. 409).

Zentral für dieses von den aufgeführten institutionellen und verlaufsmäßigen Veränderungen geprägte post-schumpeterianische Innovationsregime ist der Typus „Innovation im Netz“, der gegenüber den Typen „Innovation über den Markt“ und „Innovation durch Organisation“ dominant wird, weil es ihm gelingen kann, „die institutionellen Unterschiede und Tempodifferenzen aufeinander abzustimmen und gleichzeitig in ihrer Verschiedenartigkeit aufrechtzuerhalten“ (a.a.O., S. 412).

Auch wenn man nicht so weit geht wie Rammert, so lässt sich doch über alle Ansätze eine zunehmende Thematisierung des Zusammenspiels von Akteuren im Innovationsprozess feststellen. Wie entsprechende Innovationsnetzwerke aussehen beziehungsweise ausgestaltet werden können, und wie sie sich gegenüber Verhinderungsnetzwerken etablierter Lösungen gegebenenfalls durchsetzen können, wird damit zu einer wichtigen Forschungsfrage. Auch auf die Politik kommen dann neue Aufgaben als Netzwerkinitiator, -moderator oder -förderer zu (Kemp 2000b).

5. Die Ausweitung des Innovationsbegriffs auf organisatorische, institutionelle und soziale Innovationen

5.1. Innovationsdefinitionen und -abgrenzungen

Zunächst ist zu betonen, dass zumindest auf *definitorischer Ebene* von nichttechnischen Innovationen schon lange die Rede ist. In der Ökonomik bezeichnete bereits Schumpeter (1926, S. 100f.), der Innovationen als „Durchsetzung neuer Kombinationen“ definierte, neben Neuerungen auf Produkt- und Prozessebene

- die Erschließung eines neuen Absatzmarktes,
- die Eroberung einer neuen Bezugsquelle von Rohstoffen oder Halbfabrikaten und
- die Durchführung einer Neuorganisation

als Innovation.

Auch Sellien/Sellien (1979, S. 2106) beziehen Innovation über Produkte und Produktionsprozesse hinaus auf neue Management- und Organisationsverfahren. Schließlich unterscheiden OECD und Eurostat (1997) organisatorische Innovationen, die der Optimierung der Ablauf- und Aufbauorganisation eines Unternehmens dienen und zum Beispiel neue Managementformen wie Total Quality Management oder Öko-Audits beinhalten, als eigenständige Kategorie neben Produkt- und Prozessinnovationen.

Noch breiter definieren soziologische Wörterbücher den Begriff Innovation, nämlich als „Bezeichnung für eine wissenschaftlich-technische, wirtschaftliche, institutionelle oder allgemeine sozio-kulturelle Neuerung“ (Hartfiel 1982, S. 339), als „new cultural elements, patterns, behaviors, goals, or practices - either material or nonmaterial, technical, technological or social - in a society“ (Koschnick 1992, S. 509f.) oder im Sinne „neuer Ideen und Techniken, bisher unbekannter Produkte oder Rollen in einem sozialen System oder Subsystem“ (Fuchs et al. 1975, S. 301).

Ähnlich umfassend ist der in aktuellen Diskussionen um Umweltinnovationen verwendete Innovationsbegriff. Klemmer et al. (1999, S. 29) unterscheiden zum Beispiel

- technisch-ökonomische Innovationen, differenziert nach produktbezogenen Innovationen, Prozessinnovationen und/oder organisationsbezogenen oder strategischen Innovationen (z.B. Veränderungen in der betrieblichen Organisationsstruktur, in den Unternehmensstrategien und in der Unternehmenskultur);
- institutionelle Innovationen in Form der Neugestaltung der gesamtgesellschaftlichen Rahmenbedingungen und Ordnungsprinzipien sowie
- soziale Innovationen, die mit der Herausbildung (neuer) entscheidungsprägender Normen beziehungsweise Verhaltensweisen verbunden sind und sich in der praktischen Anwendung neuer Lebensstile ausdrücken.

Andere Autoren verwenden statt organisatorischer Innovationen auch die Begriffe Sozialinnovationen beziehungsweise Strukturinnovationen, zum Teil ist auf Organisationsebene auch der Begriff Personalinnovationen geläufig (Meißner 1989). Anstatt von institutionellen Innova-

tionen wird von manchen Autoren auch von Politikinnovationen gesprochen (Jänicke 2000; Kern 2000).

Diese Ausweitung ist *ambivalent* zu betrachten. Einerseits bietet sie gerade aus der Nachhaltigkeitsperspektive strategische Vorteile, da sie einen Beitrag zur Überwindung der Technikfizierung der Innovationsdiskussion leisten kann. Andererseits liegt bei der Variationsbreite in den Zusammenhängen, die dann unter den Innovationsbegriff subsumiert werden, die Frage nahe, ob dieser damit nicht qua Anwendung auf alle denkbaren Veränderungsvorgänge seine Differenzierungsfähigkeit und Schärfe verliert (Zundel 1999). Zum Teil wird auch die Verwendung des Begriffs institutionelle Innovation (mit ähnlichen Argumenten wie sie auch bei organisatorischen Innovationen angeführt werden) skeptisch eingeschätzt, da hiervon im Wesentlichen *indirekte* Wirkungen zum Beispiel auf Umweltverbesserungen ausgehen würden (Jänicke 2000).

Positiver formuliert ist danach zu fragen, ob es

- a) kontextübergreifende Strukturähnlichkeiten beispielsweise im Verlauf des Innovationsprozesses oder seiner Determinanten gibt, die es erlauben, in einem bereichsunspezifischen Sinn von der Möglichkeit von Innovationen auszugehen, und ob
- b) darüber hinaus jeweils kontextuelle Besonderheiten vorliegen, die Neuerungen als technische, soziale, organisatorische etc. Innovationen unterscheiden.

Dies wird im Folgenden für organisatorische und soziale Innovationen näher ausgeführt. Institutionelle Innovationen auf der Makroebene im Sinne von Politikinnovationen werden dabei im Sinne einer Eingrenzung der Analyse ausgeklammert.

5.2. Organisatorische Innovationen

Organisatorische Innovationen können auch als intangible Prozessinnovationen charakterisiert werden (Wengel et al. 2000). Trotz ihrer zunehmend anerkannten Bedeutung sind sie noch weit weniger untersucht als technische Innovationen (Williamson 2000, S. 600). Bisher wurden sie in der Literatur in erster Linie als Begleitphänomen von technischen Innovationen behandelt (vgl. stellvertretend für viele Clark/Staunton 1989; Preece 1995; Tidd et al. 1997). OECD und Eurostat (1997) beziehen organisatorische Innovationen auf die einzelbetriebliche Ebene und verstehen darunter

- signifikant veränderte Organisationsstrukturen,
- fortschrittliche Managementtechniken sowie
- neue respektive substantiell veränderte „corporate strategic orientations“ (a.a.O., S. 54).

Ansonsten dominiert aber auch hier noch eher eine Art Negativabgrenzung zu technischen Innovationen. Obwohl organisatorische Innovationen ökonomischer Einheiten natürlich darin technischen Innovationen ähneln, dass letztlich, wenngleich deutlich vermittelter, der Markterfolg das entscheidende Erfolgskriterium ist, erscheint eine eigenständige Erfassung nicht zuletzt angesichts der weit reichenden eigenständigen organisatorischen Veränderungen, die sich gerade in und zwischen Unternehmen in den letzten Jahren ergeben haben, hilfreich. Auch unter ökologischer Perspektive ist dies von Bedeutung, wie etwa die Verbreitung der organisatorischen Umweltinnovation Umweltmanagementsystem zeigt (vgl. dazu z.B. Kott-

mann et al. 1999). Für eine weitergehende Klassifizierung ist es in Anlehnung an Wengel et al. (2000, S. 3) nützlich zu unterscheiden, ob es sich um Innovationen in der Aufbau- oder Ablauforganisation handelt (structural versus managerial innovation) und ob sie die ganze Organisation, Teile der Organisation oder organisationsübergreifende Kooperationen umfassen. Hinsichtlich den Innovationen in der Aufbauorganisation wird teilweise parallel zur technischen Unterscheidung End-of-Pipe/integriert unterschieden zwischen Innovationen, die eine neue Anforderung wie den betrieblichen Umweltschutz additiv-funktional einführen und solchen, die sie in alle Arbeits- und Entscheidungsabläufe integrieren (Antes 1992; Schrader 2000, S. 21).

Ansonsten steht die empirische Innovationsforschung hierzu noch am Anfang. Derzeit werden vorwiegend methodische Fragen der Erfassung organisatorischer Innovationen in Innovationspanels diskutiert (für einen aktuellen Überblick vgl. Wengel et al. 2000). Vertiefende Analysen werden dadurch erschwert, dass es sehr viele verschiedene Organisationstheorien gibt, von denen es jeweils abhängt, ab wann eine organisatorische Veränderung sinnvoll als Innovation bezeichnet werden kann. Hierin zeigt sich ein wichtiger Unterschied zwischen tangiblen technischen und intangible(re)n organisatorischen Innovationen. Gleichzeitig wird auf der empirischen Ebene versucht, verschiedene Typen von Neuerungen zu unterscheiden. Hoffmann/Steinfeldt (2000, S. 19ff.) unterscheiden inner- und überbetriebliche Innovationen, wobei sie den Begriff institutionelle Innovation verwenden. Innerbetrieblich zählen sie hierzu insbesondere Veränderungen von Organisations- und Kommunikationsstrukturen sowie Managementveränderungen. Beispiele aus einer Evaluation von Qualifizierungsprojekten in Berlin sind elektronische Informationssysteme, neue Weiterbildungsstrukturen sowie auf der überbetrieblichen Ebene die Bildung von Netzwerken und Arbeitskreisen.

5.3. Soziale Innovationen

Auch bei sozialen Innovationen steht die Forschung eher noch am Anfang (vgl. Zimmermann et al. 1998). Gillwald (2000) stellt sie zunächst in einen Zusammenhang mit den Konzepten von Reform und sozialer Wandel. Den wesentlichen Unterschied zwischen Reform und sozialer Innovation sieht sie darin, dass erstere sich beinahe ausschließlich auf „staatliches Handeln und Eingriffe in das gesamtgesellschaftliche Regel- und Institutionengefüge bezieht: (...) Insofern sind Reformen als Teilmenge sozialer Innovationen zu betrachten, nämlich als diejenige Teilmenge, die vom politisch-administrativen System ausgeht“ (a.a.O., S. 7). Dagegen sind soziale Innovationen nur Teilmengen des sozialen Wandels, der von Gillwald in Anlehnung an Schäfers (1990) als „Gesamtheit der Veränderungsprozesse einer Gesellschaft, insbesondere ihrer Gliederung, ihrer Einrichtungen, Handlungszusammenhänge und Arbeitsteilung, ihrer Integration und Machtverhältnisse“ (Gillwald 2000, S. 7) verstanden wird. Diese Einordnung macht klar, dass Verhaltensänderungen ohne weitergehende Auswirkungen, beispielsweise Abteilungsbesprechungen von einem ein- auf einen zweiwöchigen Rhythmus umzustellen, ebenso wenig wie säkulare Umwälzungserfahrungen, etwa der Prozess der gesellschaftlichen Modernisierung, unter den Innovationsbegriff subsumiert werden können. Als Beispiele für soziale Innovationen, die dieser Definition gerecht werden, nennt Gillwald (a.a.O., S. 12f.) selbst zum Beispiel die Umweltbewegung, nichteheliche Lebensgemeinschaften, die Sozialversicherung oder die Gebietsreform.

Neben dem Zusammenhang von Reform, sozialer Innovation und sozialem Wandel untersucht die Autorin auch die Beziehungen von sozialen und technischen Innovationen. Dabei

identifiziert sie als Gemeinsamkeiten, dass beide Ergebnisse menschlichen Gestaltungswillens beziehungsweise gesellschaftliche Errungenschaften sind, wohingegen speziell in dem Punkt Materielosigkeit/Abstraktheit eine zentrale Besonderheit sozialer Innovationen gesehen wird.

Insgesamt kann man mit Gillwald (a.a.O., S. 1) soziale Innovationen charakterisieren als „gesellschaftlich folgenreiche, vom vorher gewohnten Schema abweichende Regelungen von Tätigkeiten und Vorgehensweisen. Sie sind überall in gesellschaftlichen Systemen möglich, im Ergebnis Verhaltensänderungen und verwandt aber nicht gleich mit technischen Innovationen.“

Ähnlich wie bei technischen Innovationen sind auch weiter reichende soziale Innovationen voraussetzungsvoll. Zur näheren Analyse kann auf das Nutzungsregimekonzept verwiesen werden, mit dem Hirschl et al. (2001) versucht haben, Ansätze der evolutionären Ökonomik für die Erklärung von Konsumententscheidungen fruchtbar zu machen.

Ausgangspunkt ist die Überlegung, dass sich Konsumententscheidungen nicht verstehen lassen, wenn sie nur als isolierte Entscheidungsakte begriffen werden, die dann Gegenstand eines ökonomischen Kalküls sind. Vielmehr stehen sie im Kontext technischer, ökonomischer und sozialer Strukturen, wobei für eine bestimmte Konstellation solcher Strukturen der Begriff der Pfadabhängigkeiten unterliegenden Nutzungsregimes herangezogen wird. In Anlehnung an den Begriff des technologischen Paradigmas (vgl. dazu Abschnitt 3.3.) werden darunter insbesondere folgende Faktoren subsumiert:

- Technisch geprägte Infrastrukturen;
- soziale Einstellungen und Werte;
- institutionelle Arrangements der Verteilung der Verfügungsrechte zwischen Produzenten und Haushalten;
- symbolische Bedeutungen von Produkten und Dienstleistungen;
- Preis-Leistungs-Verhältnis von Gütern und Dienstleistungen.

Vor diesem Hintergrund können Konsumententscheidungen als Ergebnis habituellen Verhaltens konzeptualisiert werden, das wesentlich auf der Fortschreibung eines Nutzungsregimes fußt. Damit stellt sich die Frage, wann ein Nutzungsregime aufrecht erhalten oder gewechselt wird. Von Hirschl et al. (a.a.O.) wurde dies unter dem Gesichtspunkt empirisch untersucht, unter welchen Bedingungen traditionelle Gebrauchsweisen langlebiger Güter durch die Hinwendung zu nutzungsdauerverlängernden (z.B. Reparatur, Wiederverwendung) und nutzungsinintensivierenden (z.B. Miete, gemeinschaftliche Nutzung) Dienstleistungen ergänzt oder ersetzt werden können. Dabei zeigte sich, dass neben Faktoren wie einem veränderten Preis-Leistungs-Verhältnis insbesondere auch technische und organisatorische Innovationen eine entscheidende Bedeutung für die Herausbildung von neuen Nutzungsregimen als weiter reichender sozialer Innovation spielen, in denen solche ökologisch vorteilhaften Dienstleistungen relevant sind.

5.4. Zwischenfazit

Wie dieser Überblick deutlich macht, ist die Inblicknahme auch anderer als technischer Innovationen nicht nur dem Bestreben geschuldet, aktuelle institutionelle, organisatorische oder

soziale Entwicklungsprozesse vermittels des Rekurses auf einen erfolgreich eingeführten Begriff der Erklärung von Strukturveränderungen zu analysieren. Im Sinne der Herausbildung neuer Elemente sind Innovationen in der Tat nicht nur in wissenschaftlich-technischen, sondern auch in organisatorischen und sozialen Zusammenhängen möglich. Sie haben zugleich in jedem dieser Kontexte unterschiedliche Voraussetzungen und Eigenschaften, die es zu berücksichtigen gilt, wenn man an den Bedingungen und Potentialen von Innovationen interessiert ist. Vielfach jedoch ist das Phänomen zu beobachten, dass Innovationsprozesse auf dem Zusammenspiel diverser Innovationstypen beruhen. So können Hirschl et al. (a.a.O.) am Beispiel der Dienstleistungsinnovation Skimiete darlegen, dass diese ökoeffiziente Dienstleistung durch das Zusammenspiel von sich wandelnden Konsumentenpräferenzen mit Produkt- und organisatorischen Innovationen von einem randständigen Service zu einem prosperierenden Geschäftsgebiet transformiert wurde.

Diese Überlegungen zur Interdependenz der Innovationstypen werden im nächsten Abschnitt unter anderem unter dem Stichwort Systeminnovationen wieder aufgegriffen.

6. Innovationsgrade und -reichweiten

Die Unterscheidung von Innovationsreichweiten ist aus der Fragestellung der Untersuchung aus zwei Gründen von Interesse: Zum einen hinsichtlich der Auswirkungen von Innovationen, wobei uns nicht nur die ökonomischen, sondern insbesondere auch die ökologischen Auswirkungen interessieren, zum anderen hinsichtlich der unterschiedlichen Durchsetzungsbedingungen, die gerade aus einer nachhaltigkeitsorientierten Gestaltungsperspektive von Interesse sind. Gibt es hier Möglichkeiten, Kriterien jenseits des relativen Vergleichs von konkreten Innovationen, wie er in der Praxis häufig Verwendung findet (vgl. dazu z.B. Hoffmann/Steinfeldt 2000), zu definieren?

Die Qualität und Reichweite von Innovationen hängt sowohl vom Innovationstyp ab als auch von der Positionierung der Innovationen innerhalb von Veränderungsprozessen. Die häufigste Unterscheidung in der Literatur von Innovationen nach Ausmaß beziehungsweise Reichweite ist die zwischen radikalen- oder Basisinnovationen und inkrementellen (Verbesserungs-)Innovationen. Sie wird bisher hauptsächlich für technische Innovationen verwendet, wobei jeweils verschiedene Unterscheidungsmerkmale betont werden. Daneben existieren einige Versuche, weiter reichende, nichtinkrementelle Innovationen weiter zu differenzieren.

Ziel des folgenden Abschnitts ist es, diese Ansätze zu systematisieren und ein Klassifikationsschema für Innovationen zu entwickeln, das auch im Hinblick auf Nachhaltigkeit analytisch fruchtbar gemacht werden kann.

6.1. Inkrementelle versus radikale Innovationen

Inkrementelle Innovationen sind relativ geringe Veränderungen von Prozessen und Produkten und findet in allen Wirtschaftszweigen mehr oder weniger kontinuierlich statt, und zwar in Abhängigkeit einer Kombination von Nachfragedruck, soziokulturellen Faktoren sowie technologischen Möglichkeiten und Trajektorien. Sie sind oft weniger das Ergebnis gezielter FuE, sondern eher Ergebnisse von

- „learning by doing“, also insbesondere von Erfindungen und Verbesserungsvorschlägen der Ingenieure auf Basis von Erfahrung und normaler Problemlösungsaktivität, oder
- „learning by using“ aufgrund von Initiativen und Vorschlägen der Nutzer.

Häufig sind sie mit Erweiterungsinvestitionen oder Qualitätsverbesserungen von Produkten für spezifische Anwendungen verbunden. Entsprechend wird auch das bestehende Wissen durch inkrementelle Innovationen eher ausgeweitet und verstärkt; Clark/Staunton (1989) bezeichnen sie daher auch als „entrenching“.

Obwohl im Einzelnen unbedeutend, sind sie in der Summe für das Produktivitätswachstum von entscheidender Bedeutung. Allerdings wird bei schrittweisen Innovationen häufig das Mindestkriterium für Innovationen nicht deutlich, ein Problem, das sich bei nichttechnischen Innovationen noch verschärft. Ein treffendes Beispiel sind organisatorische Innovationen wie Abfalltrennung oder Wassersparvorrichtungen im Zuge der Einführung eines Umweltmanagementsystems. Dies verweist noch einmal darauf, dass Neuheit ein relativer, in absoluter Hinsicht kaum zu definierender Begriff ist. Und gerade aus ökologischer Perspektive sprechen zum Beispiel auch Argumente dafür, solch kleine integrierte Innovationen, die lediglich

Komponenten von Prozessen betreffen, nicht zu gering einzuschätzen und nicht nur auf teure End-of-Pipe-Lösungen zu schauen (Clausen et al. 1997, S. 6).

Radikale Innovationen treten hingegen diskontinuierlich auf und sind in jüngerer Zeit üblicherweise das Ergebnis gezielter FuE-Aktivitäten von Unternehmen und/oder universitären oder staatlichen beziehungsweise außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Sie sind ungleich über Wirtschaftszweige und die Zeit verteilt. Als Beispiele genannt werden von Freeman/Perez (1988) zum Beispiel Nylon, Atomkraft und die Pille. Weitere Beispiele sind etwa die Entwicklung des Transrapid als Abkehr vom Rad-Schiene-System, der Umstieg vom Explosionsmotor zur Brennstoffzelle (Klemmer et al. 1999, S. 34) oder auch anaerobe Abwasserbehandlung (Kemp 2000a). Oft beinhalten sie eine kombinierte Produkt-, Prozess- und organisatorische Innovation. Ein wichtiges Element von radikalen Innovationen ist, dass sie vom Charakter her „altering“ sind, das heißt „(they) reshape the entire configuration through the introduction of markedly different equipment, raw materials, forms of knowledge, and physical contexts“ (Clark/Staunton 1989, S. 79f.).

Obwohl die aggregierte ökonomische Bedeutung einzelner radikaler Innovationen relativ begrenzt ist, bringen sie einen quantitativen oder qualitativen Produktivitäts- oder Leistungssprung mit sich. Mit der Zeit führen sie zu Strukturwandel – so definiert Halfmann Basisinnovationen mit Blick auf Arbeit und Produktion als „Produkte oder Verfahren, die einerseits neues wissenschaftliches Wissen, generiert nach industriellen Zweckbestimmungen, inkorporieren, deren industrielle Ausbeutung andererseits einen entscheidenden Effekt auf die Steigerung der Produktivität der Arbeit hat und deren Diffundierung in die Systeme der Herstellung von Gütern eine Umorganisation des Systems der gesellschaftlichen Arbeitsteilung bewirkt“ (1984, S. 63).

Der Charakter einer Innovation als Basisinnovation wird allerdings häufig zunächst nicht erkannt (oder umgekehrt wird eine letztlich wenig relevante Neuerung vorschnell als radikal gefeiert), sodass die Klassifizierung einer Innovation als radikal ex ante und ex post auseinanderfallen kann (Hoogma 2000, S. 68). Denn gerade in den Frühphasen bauen sie oft auf bestehendem Wissen und Design auf (Kemp 2000a). Hinzu kommt, dass sie „nicht in einer unabänderlichen Form einmal entwickelt, eingeführt und später nur noch kopiert werden, sondern Entwicklung und Einführung einer Basisinnovation sind historisch betrachtet lang andauernde Prozesse, die sehr viel mehr Zeit erfordern, als es den landläufigen Vorstellungen der ‚revolutionierenden‘ neuen Technologien entspricht und deren Bedeutung als Basisinnovation oft erst in einem relativ weit fortgeschrittenen Stadium der Diffusion erkannt wird“ (Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung 1984, S. 54ff.).

Die *Abgrenzung* von inkrementellen und Basisinnovationen ist also oftmals nicht so einfach, wie durch die Beispiele suggeriert wird; hinzu kommt, dass sie nach theoretischem Hintergrund sowie gewähltem Referenzrahmen variiert. Dabei lassen sich zwei Hauptrichtungen unterscheiden, nämlich eine Klassifizierung stärker nach

- den Innovationscharakteristika oder
- den Innovationswirkungen.

Als Abgrenzungskriterium für die erste Strömung findet häufig der Neuheitsgrad Verwendung. Manche AutorInnen stellen vor allem auf den *absoluten* Neuheitsgrad als Abgrenzungsmerkmal zwischen inkrementellen und radikalen Innovationen ab (vgl. z.B. Lehr 2000). Auf die damit verbundenen Probleme sind wir bereits eingegangen (s.o.). Hemmelskamp (1999, S.

13f.) bezeichnet in einer vornehmlich an der empirischen Operationalisierbarkeit interessierten Fassung bereits alle mit der erstmaligen Anwendung von neuem Wissen und neuen Verfahren und Produkten verbundenen Innovationen als Basisinnovationen. Stärker auf die *relative* Neuheit von Innovationen zielt hingegen Hoogma (2000), der als zentrales Abgrenzungskriterium die Kompatibilität mit dem bestehenden technologischen Regime herausstellt. Aus einer Organisationsperspektive betonen Clark/Staunton (1989) insbesondere die Kompatibilität mit der bestehenden Wissensbasis; erst wenn das mit Innovationen verbundene neue Wissen diese (zumindest in wichtigen Teilen) obsolet macht, sind Innovationen „altering“ und nicht „incremental“ oder „entrenching“.

Bei der an den Innovationswirkungen ansetzenden Richtung setzen manche evolutorischen Ansätze vor allem an den qualitativen Innovationsfolgen an. Ein formal orientiertes Beispiel ist Erdmann (1993, S. 209), der Basisinnovationen als Wechsel in das Attraktionsgebiet eines neuen ökonomischen Gleichgewichts konzeptualisiert. Andere Ansätze machen die Unterscheidung hauptsächlich an der quantitativen Wirkung, insbesondere dem Ausmaß der damit erreichbaren Kostenreduzierung, fest (klassisch: Arrow 1961). Aus forschungspraktischer Sicht problematisch ist dabei, dass die Wirkungen definitiv erst ex post bekannt sind. Freeman/Perez (1988) schließlich kombinieren in ihrem Klassifikationsschema technologische Charakteristika und Innovationsfolgen (s.u.).

Aufgrund fehlender objektivierbarer Kriterien wird die Unterscheidung daher zum Teil als problematisch erachtet (Erdmann 1993, S. 205). Clark/Staunton (1989) weisen zwar ebenfalls darauf hin, dass es entscheidend vom Nutzungszweck sowie vom Verwendungskontext abhängt, ob eine Innovation(skonfiguration) „incremental“ oder „altering“ wirkt, nichtsdestotrotz betonen sie die Fruchtbarkeit der Unterscheidung. Sie halten sie für aussagekräftiger als zum Beispiel die Unterscheidung zwischen technischen und organisatorischen Innovationen. In Anlehnung an Abernathy/Clark (1985) und Clark (1985) unterscheiden sie als weitere Differenzierung zwei Dimensionen, in denen Innovationen aus einer Organisationsperspektive verstärkend beziehungsweise entwertend hinsichtlich bestehender Kompetenzen wirken:

- Zum einen bezüglich des Produktionssystems und der damit verbundenen Kompetenzen und
- zum anderen bezüglich der Markt- und Kundenbeziehungen.

Damit ergeben sich nach Clark (1985) vier Typen von Innovationen:

- regular (verstärkend in beiden Dimensionen),
- architectural (verändernd in beiden Dimensionen),
- niche creation (nur veränderte Markt-/Kundenbeziehungen) und
- revolutionary (nur veränderte Produktionsprozesse).

Ungeachtet der genauen Bezeichnungen der Typen – für eine abweichende Verwendung des Begriffs „architectural“ durch denselben Autor (s.u.) – erweist sich diese Differenzierung nach zwei Dimensionen, die auf die betroffenen Wissens- und Interaktionsbereiche und die Anschlussfähigkeit an die bisherigen Entwicklungen, aber weniger auf den allgemeinen Neuheitsgrad abhebt, auch als hilfreich für die Frage der weiteren Kategorisierung weiter reichender Innovationen (s.u.).

6.2. Zur weiteren Differenzierung nichtinkrementeller Innovationen

In einem oft zitierten Aufsatz ergänzen Freeman/Perez (1988, S. 45ff.) die Unterscheidung zwischen inkrementellen und radikalen Innovationen um zwei weitere Ebenen: *Systeminnovationen* (changes of technology system) und *technologische Revolutionen*. Im Gegensatz zu den bei ihnen auf eine Branche begrenzten radikalen Innovationen sehen sie *Systeminnovationen* als Veränderungen in technologischen Systemen, die mehrere Branchen betreffen und zur Entstehung völlig neuer Sektoren führen. Sie basieren auf einer Kombination von radikalen und inkrementellen Innovationen in Verbindung mit organisatorischen und „managerialen“ Innovationen, die mehr als eine oder wenige Firmen betreffen, und führen zu neuen sozio-technischen Konfigurationen. Als Beispiele genannt werden von Freeman/Perez (1988) synthetische Materialien oder die Petrochemie, von Kemp (2000a, S. 24) die Elektrifizierung, die Entwicklung einer zentralisierten Stromversorgung sowie als aktuellen Anwendungsfall E-commerce.

Als *technologische Revolutionen* bezeichnen Freeman/Perez hingegen „changes in techno-economic paradigms“. Hier handelt es sich um technische Veränderungen mit wichtigem Einfluss auf die Gesamtökonomie zum Beispiel durch Veränderungen der Kostenstruktur der Inputs sowie der Produktions- und Verteilungsbedingungen. Sie gehen mit vielen Clustern von radikalen und inkrementellen Innovationen einher und können mehrere neue Technologiesysteme enthalten. Sie gehen über „engineering trajectories“ für spezifische Produkt- oder Prozesstechnologien hinaus und bilden nach ihrer Etablierung – und in Verbindung mit ihrem charakteristischen institutionellen Rahmen - die Grundlage für lang währende technologische Regime.

Die Ebene der technologischen Revolutionen korrespondiert mit Schumpeters Theorie der langen Wellen oder auch den Kondratieff-Zyklen und ist in ihrer Relevanz als Analyseebene dem entsprechend nicht unumstritten. Auch beruht die Differenzierung zum dritten Typ vor allem auf der noch größeren Wirkung beziehungsweise der noch stärkeren Massierung verschiedener Innovationen; stellenweise wird eine Unterscheidung überhaupt nicht gemacht und die Begriffe Systeminnovationen und technologische Regimewechsel synonym verwendet (Kemp 2000a; Vergragt 1999), wobei der Regimebegriff hier nicht auf die gesamtwirtschaftliche Ebene bezogen wird.

Auch Clark/Staunton (1989) schließen bei ihrer Differenzierung radikal-verändernder Innovationen zwar an die Unterscheidung nach Auswirkungen an, verbinden jedoch Systeminnovationen und technologische Revolutionen im Begriff der „*generischen*“ Innovationen als um einen Kernprozess gruppierte Innovationscluster, die sich quer zu bestehenden Sektoren und Produktionsstufen auswirken. Wenn sich die Wirkungen auf einen Sektor begrenzen, sprechen sie von „epochalen“ Innovationen, wenn sie nur firmenspezifisch auftreten, von verändernden („altering“) Innovationen.

Sind diese Definitionen stark technologisch grundiert, finden sich seit einigen Jahren nicht zuletzt im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte verstärkt Bemühungen, das „sustainable level“ (Brezet et al. 2000) von Innovationen entlang des Grads der relativen Bedeutung technischer im Vergleich zu organisatorischen, sozialen, akteursstrukturellen etc. Neuerungen festzumachen. Auch hier spielt der Begriff der Systeminnovation eine wichtige Rolle. So unterscheidet Bierter (2001) mit steigender Reichweite zwischen

- Produktionsoptimierung,
- Produktoptimierung (Re-Design von Produkten),
- Neu-Design von Produkten und Produktnutzungssystemen und
- Systeminnovationen.

Eine ähnliche Taxonomie, in der die dritte und vierte Ebene dann als Funktions- beziehungsweise bedürfnisorientierte Innovationen bezeichnet werden, führt Schneidewind (1995) ein (vgl. auch Minsch et al. 1996).

Während sich Produktions- und Produktoptimierungen hauptsächlich durch Änderungen technischer Art erreichen lassen, verlangt schon das Neu-Design von Produkten und Produktnutzungssystemen immer auch organisatorische Innovationen wie etwa die Schaffung von Innovationsteams mit unternehmensinternen und -externen Mitgliedern (Bierter 2001). Ähnlich weisen auch Henderson/Clark (1990) darauf hin, dass der Innovationsgrad von neu designten Produkten zwar auch von technischen Veränderungen der Komponenten („modular innovation“) ausgehen kann, häufig aber eher auf eine innovative Neukombination, die oft mit entsprechenden organisatorischen Innovationen verbunden ist, zurückzuführen ist. Dies bezeichnen sie dann als „architectural innovation“ (a.a.O., S. 10).

Systeminnovationen schließlich erfordern „weitreichende evolutionäre organisatorische Transformationsprozesse und soziale Innovationen unter intelligenter Nutzung neuer Technologien“ (Bierter 2001, S. 11). Ihre Umsetzung müsse beruhen auf der „Zusammenarbeit unterschiedlicher Leistungsanbieter. Dies setzt voraus, dass Unternehmen gemeinsame Visionen entwickeln, Allianzen schließen, Vereinbarungen treffen und komplexe Beziehungsnetzwerke managen. Gerade letzteres zeigt, dass dabei ‚weiche‘ Innovationsfaktoren wie Organisation, Qualifikation, Managementmentalität, Kommunikation sowie Verhaltensstile eine mindestens ebenso große Rolle spielen wie technologische Innovationsfaktoren“ (a.a.O., S. 12). Dresel (1997, S. 44ff) spricht daher auch von ökologischen Systeminnovationen, wenn mit einer ökologischen Verbesserung neuartige Nutzungssysteme, bei ihm etwa neue Mehrwegsysteme, verbunden sind. Ein anderes im ökologischen Kontext genanntes Beispiel für eine komplexe Systeminnovation, die technische, organisatorische und soziale Faktoren beinhaltet, ist Road-Pricing (Petschow et al. 2000, S. 41).

Dezidiert von einem „seamless web“ technologischer und soziokultureller Elemente geht Vergragt (1999) in seinem Verständnis von Systeminnovationen aus, wobei System als „existing arrangement of technologies and supporting organisational, economic, regulatory, knowledge, and cultural structures“ (a.a.O., S. 12) definiert wird. Er nennt folgende Vorbedingungen für Systeminnovationen (die zugleich erste Hinweise für politische Ansatzpunkte bieten):

- “The awareness of problems, i.e. unsustainabilities, that cannot be solved within the present system. (...)
- Creative solution directions, i.e. scenarios, that are endorsed by several stakeholders, for instance business, government, NGO’s, and consumers. (...)
- Strategic alliances between stakeholders in order to elaborate these solutions into viable options.

- A social niche for instance provided by the government which enables the experimentation with socio-technical options" (a.a.O., S. 12f.).

6.3. Konvergenzen und Schlussfolgerungen

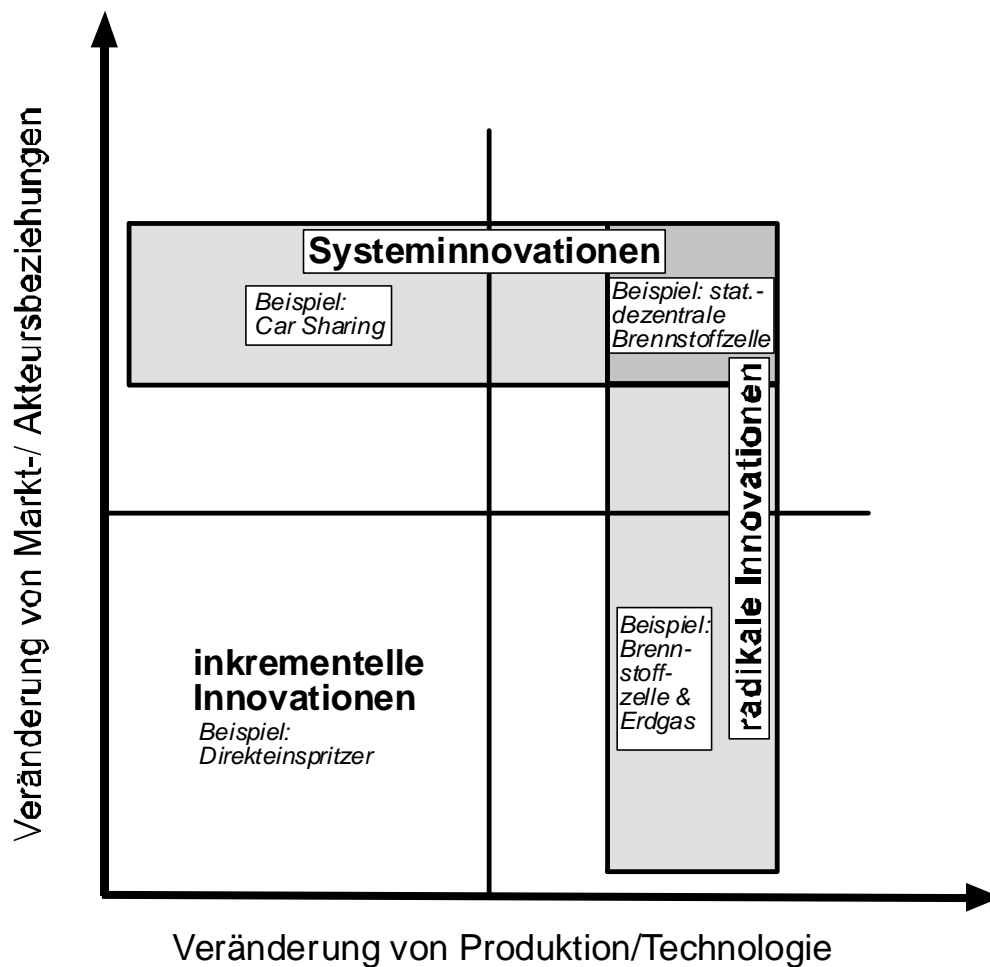
Gerade aus einer Nachhaltigkeitsperspektive ist die Reichweitendiskussion bei Innovationen wichtig, da in beiden Richtungen – ob eher an technologischen oder eher organisatorisch-sozialen Faktoren orientiert – häufig die These vertreten wird, dass eine größere Innovationsreichweite auch mehr Umweltentlastung bringt. Zugleich beleuchtet das in beiden Zugängen gebräuchliche Konzept der Systeminnovationen bei aller Verschiedenheit der methodischen Zugänge wichtige Konvergenzen, die einige der in früheren Abschnitten skizzierten Trends aufgreifen:

- Der Fokus geht tendenziell weg von der isolierten Einzelinnovation, der radikaler oder revolutionierender Charakter zugeschrieben wird, hin zur Betonung der Kombination verschiedener Innovationen beziehungsweise umfassender Innovationsbündel.
- Damit verbunden geraten neben rein technischen Neuerungen auch soziale und organisatorische Innovationen zumindest in Verbindung mit technischen Innovationen stärker in den Blickwinkel.
- Die verschiedenen Ansätze betonen implizit oder explizit das Kompatibilitätsproblem mit bestehenden Strukturen (explizit eingeführt von Hoogma (2000), allerdings bei ihm bezogen auf radikale Innovationen).

Offen beziehungsweise umstritten bleibt in verschiedenen Konzepten das Verhältnis von verschiedenen Einflussfaktoren: Dominieren technisch-organisatorische Faktoren, während korrespondierende soziale oder institutionelle Elemente im Wesentlichen davon nur abgeleitete Größen sind, wie dies in manchen evolutischen Ansätzen durchschimmert, oder ist, wie von manchen sozialwissenschaftlichen Ansätzen hervorgehoben, eher ein koevolutives Verhältnis prägend, bei dem technische Faktoren nur ein Aspekt in einer komplexen sozio-technischen Konstellation (vgl. Konrad 1997) darstellen? Hier ist insbesondere die empirische Forschung gefragt, wobei sich die Antwort nach Gegenstandsbereich und Systemabgrenzung unterscheiden dürfte.

Als Schlussfolgerung aus den bisherigen Ausführungen wird im Folgenden ein Klassifikationsschema vorgeschlagen, mit dem die Begriffe Systeminnovation und radikale Innovation zugleich differenziert und zusammengeführt werden. Als Abgrenzungskriterium für den Innovationsgrad verwenden wir die relative Neuheit, die im Sinne des oben eingeführten Kompatibilitätskriteriums von Hoogma (2000) die Anschlussfähigkeit an bestehende Konstellationen in den Vordergrund stellt. Innovationen, die diesbezüglich markt- und umfeldseitig durch eine starke Veränderung von institutionell-akteursstrukturellen Faktoren charakterisiert sind, werden als *Systeminnovationen* bezeichnet; Innovationen, die durch starke Veränderungen der technologischen Wissensbasis gekennzeichnet sind, bezeichnen wir als *radikale Innovationen*. Wird eine umfassende Veränderung gleichgewichtig von beiden Dimensionen strukturiert, soll von *radikalen Systeminnovationen* gesprochen werden. Das folgende Schaubild (Abbildung 1) illustriert dies und ordnet die bisher verwendeten Klassifikationen sowie zur besseren Veranschaulichung auch konkrete Beispiele für Innovationen aus dem Verkehrs- und Energiebereich zu, die im Folgenden als Illustration kurz erläutert werden.

Abbildung 1: Differenzierung von Innovationstypen



Quelle: eigene Darstellung

Als Illustration für den Quadranten links unten, also eine *inkrementelle Innovation*, mag der Direkteinspritzer-Dieselmotor dienen. Er baut technologisch auf bestehendem Wissen zum Otto-Motor auf und erfordert daher auch vergleichsweise wenig Umstellungen im Produktionsprozess. Auch die Nutzungscharakteristika ändern sich für den Kunden nur unwesentlich, Produkt und Vertriebsstruktur können an die etablierten Marktbeziehungen anknüpfen. Während Letzteres weit gehend auch für einen erdgasbetriebenen Brennstoffzellenantrieb gilt, bei dem nur entsprechende Tankmöglichkeiten geschaffen werden müssen, verändert sich hier die Produktionstechnologie fundamental. Neue Produktionsabläufe müssen installiert werden, und Fahrzeugplattformen sowie die komplementären Fahrzeugteile und die entsprechenden Technologien des Antriebsstrangs müssen verändert oder ersetzt werden (vgl. z.B. Nill 2000); daher sprechen wir hier von einer *radikalen Innovation*.

Gewisse Eigenschaften einer radikalen Systeminnovation erhält das Brennstoffzellenfahrzeug, wenn der Antrieb mit solarem Wasserstoff betrieben werden soll. In diesem Fall ist eine komplett neue Treibstoffinfrastruktur notwendig, inklusive neuer Zuliefer- und Versorgungsstrukturen. Auch für die Nutzer wird sich zumindest der Tankvorgang stark verändern. Allerdings bleibt das Produkt Auto als solches und seine Eigenschaften weitgehend unverändert, die Nutzungsformen müssen sich nicht notwendig verändern. Daher ist das Beispiel eher am

Übergang vom rechten unteren in den rechten oberen Quadranten anzusiedeln. Ein verwandtes Beispiel für eine auch in diesem Sinne *radikale Systeminnovation*, die auch die Nutzungsbeziehungen stark verändert, ist die stationär-dezentrale Niedrigtemperaturbrennstoffzelle, da sie die Haushalte zu Energieproduzenten werden lässt und so eine Dezentralisierung der Energieversorgung mitsamt stark veränderter Akteursstruktur ermöglicht (Hirsch/Hoffmann 2001).

Schließlich ist als Beispiel für den linken oberen Quadranten einer nicht-radikalen *Systeminnovation* das Car-Sharing zu nennen. Hier verändern sich Nutzungsformen und Akteursbeziehungen erheblich, einschließlich des Auftretens neuer Dienstleister als Intermediäre und damit eines neuen Markts (vgl. z.B. Nill et al. 2001), das zugrundeliegende technische Produkt Automobil bleibt aber davon unberührt.

Das Kompatibilitätsproblem als hier hervorgehobenes Reichweitendifferenzierungskriterium ist gerade aus politischer Perspektive von Bedeutung, da es auf Schwierigkeiten bei der Durchsetzung solcher Innovationen verweist. Mehrere Autoren betonen, dass aus diesem Grund inkrementelle Veränderungen die Regel darstellen (z.B. Hoogma 2000) und die Förderung weiter reichender Innovationen, so sie denn für nötig erachtet wird, in der Regel einer besonderen Politikgestaltung bedarf. Dabei kann fehlende Kompatibilität in Ausnahme- oder Umbruchsituationen, in denen das dominierende System respektive Regime an Grenzen stößt, natürlich auch ein Vorteil sein.

Auch das vorgeschlagene Schema ist natürlich vor Operationalisierungs- und Abgrenzungsproblemen nicht gefeit. Zum Beispiel können Veränderungen der Markt- und Akteursbeziehungen auf verschiedenen Ebenen stattfinden. Dabei können, wie bereits die Illustration gezeigt hat, starke Veränderungen auf einer Ebene durchaus mit einer Stärkung bestehender Beziehungen auf anderen Ebenen einher gehen, was die eindeutige Bestimmung eines „Mindestkriteriums“ für Systeminnovationen erschwert. Dem steht jedoch in unseren Augen eine sinnvolle Ausdifferenzierung von Innovationsgraden gegenüber, die auch für eine Nachhaltigkeitsperspektive analytisch fruchtbar angewendet werden kann (s.u.).

7. Soziale und ökologische Kriterien für Innovationen

Das traditionelle Erfolgskriterium von Innovationen ist, wie oben ausgeführt, ökonomischer Natur. Erst der Markterfolg – wie begrenzt er auch sein mag - macht danach eine Neuerung zur Innovation. Aus der Nachhaltigkeitsperspektive interessieren allerdings noch weitere Erfolgskriterien gesellschaftlicher beziehungsweise ökologischer Natur, hier geht es auch um die Richtung sowie die soziale und ökologische Reichweite von Innovationen. Im Folgenden wird versucht, diesen Typ von Innovationen etwas genauer zu bestimmen, wobei zunächst auf die ökologische Dimension und dann auf das mehrdimensionale Nachhaltigkeitskonzept eingegangen wird. Auf dieser Basis wird eine kursorische Aufarbeitung möglicher Kriterien und Bewertungsverfahren für Innovationen vorgenommen. Dabei stellen sich im Wesentlichen zwei miteinander verbundene spezifische Herausforderungen:

1. Wie kann allgemein mit dem Prognoseproblem bei der Bewertung von Innovationen, also der Tatsache, dass es sich in der Frühphase gerade von weiter reichenden Innovationen notwendigerweise um eine Ex-ante-Abschätzung unter starker Unsicherheit handelt, umgegangen, und dabei ein Bewertungsbias zugunsten bekannter Wirkungen vermieden werden?
2. Wie können verschiedene Kriterien in Bewertungsverfahren integriert werden, die zudem noch den Umstand geeignet berücksichtigen, dass erst die Ausgestaltung und Nutzung der Innovation über deren Umwelt- und Gesellschaftswirkungen entscheiden?

7.1. Umweltinnovationen und ihre ökologische Reichweite

Es ist zweckmäßig, zunächst ökologische Innovationen näher zu bestimmen. In der Literatur lassen sich mindestens drei verschiedene Typen von Definitionen finden. Die breiteste Begriffsbestimmung stammt aus dem FIU-Forschungsverbund, wo aus der Gesamtmenge der Innovationen jene Neuerungen herausgegriffen werden, „die zu einer Verminderung anthropogen bestimmter Übernutzungen der Umwelt führen (...). Als solche Neuerungen gelten die Gewinnung neuen Wissens, die Anwendung neuer Erkenntnisse sowie die Änderung individueller und kollektiver Verhaltensmuster“ (Lehr/Löbke 1999, S. 13; Klemmer et al. 1999). Als entscheidendes Abgrenzungskriterium gilt die faktische Umweltentlastung, ökonomische Kriterien spielen zumindest explizit keine Rolle.

Hemmelskamp (1999, S. 16) verwendet eine engere Definition, die als Voraussetzung die *Intention* zur Umweltentlastung nahe legt: „Innovationen, die der Vermeidung und Verminderung von Umweltbelastungen durch anthropogene Aktivitäten, der Sanierung bereits eingetretener Schäden und der Diagnose und Kontrolle von Umweltbelastungen dienen, werden hier als Umweltinnovationen definiert“. Problematisch hierbei ist, dass damit unintendierte ökologische „Nebeneffekte“ aus der Betrachtung ausgeschlossen werden, deren ökologische Relevanz durchaus beträchtlich sein kann (Erdmann 1999).

Schließlich wäre noch eine ebenfalls engere Fassung in Erwägung zu ziehen, die die doppelte Erfüllung eines ökologischen und ökonomischen Erfolgskriteriums hervorhebt (z.B. Blazejczak et al. 1999). Eine solche Definition liegt zwar angesichts der bisherigen Ausführungen zum Teil nahe, ist aber mit zwei Nachteilen verbunden: Zum einen wird der Markterfolg von beziehungsweise die Kostenentlastung durch umweltentlastende Innovationen auch stark politisch beeinflusst; dies macht empirisch eine Besonderheit von Umweltinnovationen aus

(Rennings 2000). Damit vermindert sich die Trennschärfe (mikro)ökonomischer Kriterien. Zum anderen stellt die Hervorhebung des ökonomischen Erfolgs in dem Sinne eine Engführung dar, dass damit institutionelle und soziale Innovationen definitorisch aus dem Blick geraten (s.u.). Vor diesem Hintergrund erscheint die Definition von Klemmer et al. (1999) am sinnvollsten, zumal sie auf die tatsächliche Umweltentlastung abzielt, was ökonomischen beziehungsweise gesellschaftlichen Erfolg voraussetzt.

Hinsichtlich der *ökologischen Reichweite* von Innovationen ist zunächst anzumerken, dass *allein* die Erzielung von Umweltentlastungen angesichts der heutigen Situation ein zwar notwendiges, aber kein hinreichendes Kriterium darstellt. Vor dem Hintergrund der bestehenden respektive abzusehenden Umweltschäden geht es oft eher um das Ausmaß der Entlastung als um die Entlastung an sich, wenn die ökologischen Vorteile von Innovationen diskutiert werden. Als Beispiel sei darauf verwiesen, dass das Wuppertal Institut ein jährliches Wachstum der Ressourcenproduktivität von fünf Prozent für notwendig hält (BUND/Misereor 1996). In der Literatur wird die Frage der ökologischen Entlastungseffekte von Innovationen häufig unter Nutzung der oben aufgeführten Reichweitentypen gelöst. Dabei lassen sich zwei Fraktionen unterscheiden. Die eine geht davon aus, dass aus ökologischer Perspektive die Aneinanderreihung von inkrementellen Innovationen erhebliche Entlastungspotentiale bietet (Clausen et al. 1997; Clayton et al. 1997). Dagegen betont die andere, dass kleinschrittige Neuerungen dafür nicht ausreichen, sondern dass es für substantielle Verbesserungen der ökologischen Situation radikaler technischer Innovationen bedürfe (Kemp 2000a; Weaver et al. 2000).

Nun ist angesichts des Umstandes, dass in vielen Bereichen mit einer hohen Rate schrittweiser Verbesserungen die damit verbundenen Entlastungspotentiale durch Mengen- beziehungsweise Wachstumseffekte überkompensiert worden sind (sogenannte Reboundeffekte, vgl. z.B. das Automobil), das Insistieren auf weiter reichenden Veränderungen unabdingbar. Andererseits kann das Ziel, die ökologischen Lebensgrundlagen dauerhaft zu sichern, nicht umstandslos zu einer Frage der Herausbildung radikaler technischer Neuerungen gemacht werden. Denn dies würde bedeuten, einen direkten Zusammenhang zwischen technisch-ökonomischer und ökologischer Reichweite zu konstatieren (ähnlich auch Schneidewind 1995). Eine solche Fassung übersieht jedoch, dass die ökologische Reichweite – ähnlich wie letztlich der ökonomische Erfolg – auch entscheidend von

- der Ausgestaltung beziehungsweise komplementären Veränderungen,
- einer geeigneten Nutzung und
- einer breiten Nutzung(smöglichkeit)

viel versprechender Innovationen abhängt. Die Bedeutung dieser Faktoren sei kurz an zwei Beispielen erläutert.

Das Beispiel mobile Nutzung der Brennstoffzelle (vgl. Nill 2000) zeigt zum einen, dass bei der Ausgestaltung zentral ist, wie der als Träger benötigte Wasserstoff gewonnen wird. Nur erneuerbare Energien als Basis führen hier zu deutlichen Umweltvorteilen, und in der Übergangsphase sind sogar Ausgestaltungen denkbar, die negativ zum Treibhauseffekt beitragen (bei Gewinnung mittels Elektrolyse auf der Basis des deutschen Strom-Mixes). Und wenn zu hohe Kosten zu einer nur geringen Verbreitung von Brennstoffzellenfahrzeugen führen, relativiert sich der ökologische Nettovorteil gegenüber für sich weniger umweltlastenden, aber deutlich billigeren Lösungen. Schließlich stellt sich hier auch die Frage der Verallgemeiner-

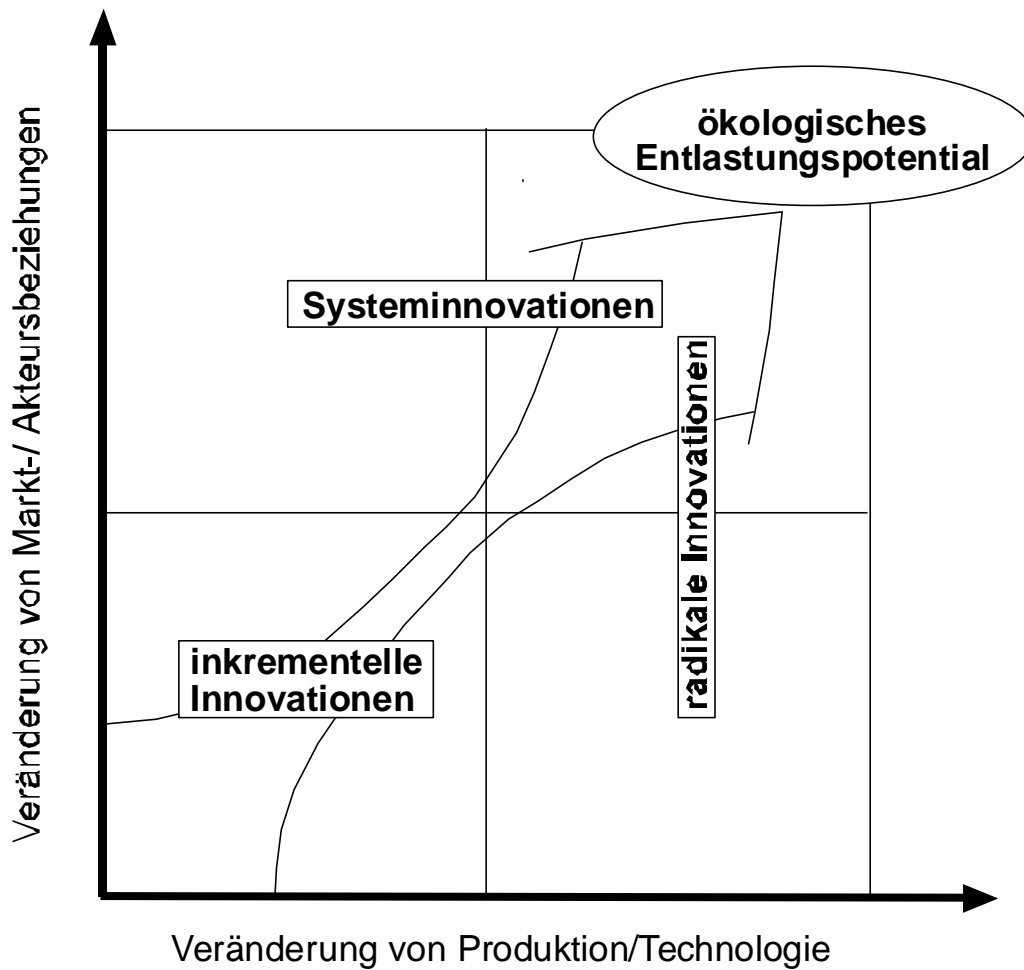
barkeit: die notwendige begleitende Veränderung der Energiebasis ist zum Beispiel aufgrund des Flächenbedarfs nur bei insgesamt reduziertem Energiebedarf vorstellbar. Das Beispiel Nutzung von Niedrigenergiehäusern/Passivhäusern (vgl. Stahlmann/Clausen 2000) verweist darauf, dass für die ökologische Reichweite zusätzlich noch das konkrete Nutzungsverhalten eine wichtige Rolle spielt. Derzeit werden hierdurch (z.B. durch mechanisches Lüften) noch viele der technisch erreichbaren Vorteile wieder zunichte gemacht.

Vor diesem Hintergrund ist zweierlei festzuhalten. Erstens verweisen zwei der drei genannten Faktoren auf die Bedeutung der zweiten in unserem Schema als wesentlich erachteten Dimension der Nichtinkrementalität, nämlich der starken Veränderung der Markt- und Akteursbeziehungen. Zugleich ist zu vermuten, dass ähnlich wie isolierte technisch radikale Neuerungen auch akteursstrukturelle Veränderungen *allein* keine hohe ökologische Entlastung bewirken können. Die Untersuchung von Beispielen, die auf diesen Typ Veränderungen fokussieren, wie Car-Sharing beziehungsweise generell öko-effiziente Dienstleistungen (vgl. Hirschl et al. 2001) sind hier instruktiv. Vielmehr geht es um weit reichende Neuerungen *in beiden Dimensionen*; hinsichtlich des Ziels eines größtmöglichen ökologischen Entlastungspotentials ist daher der Blick auf radikale Systeminnovationen zu lenken - ohne dabei die Bedeutung auch inkrementeller Innovationen gering zu achten.

Abbildung 2 versucht, diese Hypothese grafisch zu illustrieren. Dabei ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass es erstens um das Entlastungspotential und nicht die tatsächliche Umweltentlastung geht, und dass damit zweitens jenseits der angedeuteten *Richtung* keine Aussage über das genaue *Ausmaß* der ökologischen Reichweite verbunden ist, da diese eine dritte Dimension darstellt, die nicht auf die anderen beiden Dimensionen reduziert werden kann.

Zweitens müssen auch bei solchen Innovationen die technischen Machbarkeits- und ökonomischen Erfolgskriterien mit geeigneten ökologischen (und sozialen) Kriterien unterfüttert werden, um die Realisierung einer hohen ökologischen (bzw. im Vorgriff auf das Folgende Nachhaltigkeits-) Reichweite abzuschätzen. Dabei ist auf die Kontextabhängigkeit der *Aus-schöpfung* ökologischer Potentiale zu achten, sodass auch häufig mit dem Stichwort Suffizienz beschriebenen sozialen Innovationen (BUND/Misereor 1996), die von unserer Klassifikation nicht erfasst werden, besondere Bedeutung zukommt.

Abbildung 2: Innovationstypen und ökologisches Entlastungspotential



Quelle: eigene Darstellung

7.2. Die Nachhaltigkeitsdimension von Innovationen

In jüngerer Zeit wird anstelle von Umweltinnovationen zunehmend von Nachhaltigkeitsinnovationen gesprochen. Ein häufig damit verbundenes Verständnis ist Nachhaltigkeit als dreidimensionales Modell und damit eine Verbindung ökonomischer, sozialer und ökologischer Erfolgskriterien. Dies erfordert eine geeignete Erfassung sowie eine integrative Bewertung der verschiedenen Dimensionen. Während ökonomische Kriterien im herkömmlichen Innovationsbegriff quasi immanent angelegt sind - auch wenn die konkrete Messung bei ökologisch relevanten Innovationen aufgrund der oben ausgeführten Gründe auch nicht unproblematisch ist - bedarf es weiterer Kriterien für die ökologische und soziale Dimension.

Bei letzterer kommt als zusätzliches Problem hinzu, dass die direkte und indirekte Wirkung je nach Kriterium auseinander fallen kann. Lassen sich Kriterien wie Arbeitsqualität und Gesundheitsschutz noch häufig direkt an der einzelnen Innovation fest machen, so gilt dies bei Kriterien der Verteilungsgerechtigkeit nur sehr bedingt. Hier steht oft eine *inhärente* Ungerechtigkeit bzw. Ungleichheit, die sich beispielsweise aus der Abhängigkeit der Innovationsrichtung von der *zahlungskräftigen* Nachfrage ergibt, einem etwaigen aus den Wirkungen der Innovation entstehenden Umverteilungspotential beziehungsweise einer Besserstellung zu-

künftiger Generationen gegenüber. Die Brennstoffzelle als potenziell ökologischere Lösung vor allem für Mittel- und Oberklassefahrzeuge ist hierfür nur ein aktuelles Beispiel. Vor diesem Hintergrund zeigt sich, dass hier zumindest die Finanzierung des Innovationsprozesses noch mit einbezogen werden müsste. Ähnliches gilt im Prinzip auch für das Kriterium Beschäftigungseffekte, die ebenfalls partialanalytisch kaum hinreichend beurteilbar sind.

Und während die ökologische Ziel- und Indikatorendiskussion relativ fortgeschritten ist, ist bei der ökonomischen und sozialen Dimension noch erheblicher Forschungsbedarf zu konstatieren. Die Diskussion läuft hier unter dem Stichwort Nachhaltigkeitsindikatoren. Sie kann im Rahmen dieser Studie nicht aufgearbeitet, sondern nur kurz schlaglichtartig beleuchtet werden (vgl. dazu grundlegend z.B. Rennings 1994, für die aktuelle Diskussion vgl. z.B. BMU 2000). Bisher besteht eine starke Tendenz zu Indikatorenlisten für jede der drei Dimensionen (vgl. z.B. DIW et al. 2000, für die internationale Diskussion BMU 2000), wobei die Beziehungen der Dimensionen untereinander häufig ungeklärt sind. Und auch die Anwendung auf Innovationen steht noch am Anfang, gerade erst hat mit den „Rahmenbedingungen für Innovationen zum nachhaltigen Wirtschaften“ ein Programm des Bundesforschungsministeriums begonnen, das hier zur Klärung beitragen soll.

Angesichts dieses Standes kann im Rahmen dieser Studie keine Klärung erfolgen; wir können allenfalls eine mögliche Richtung für weitere Überlegungen andeuten. Eventuell könnte es sinnvoll sein, unter dem Stichwort Nachhaltigkeit nicht immer mehr Einzelindikatoren für die verschiedenen Dimensionen einzubeziehen. Statt dessen könnte im Sinne einer Beschränkung auf Kernfaktoren versucht werden, nachhaltige Innovationen in erster Linie an *räumliche* und *zeitliche* Kriterien zu binden (vgl. zu dieser Interpretation von Nachhaltigkeit auch von Gleich 2000). Das Nachhaltigkeitskonzept würde dann vor allem auf Problem(Lösungen) beschränkt, die sowohl überregional (und nicht nur lokal) Wirkungen zeitigen als auch langfristig angelegt (und nicht nur temporär wirksam) sind. Damit würde auch der Gegensatz zwischen den Dimensionen gemildert, weil dieser vielfach zumindest in der Schärfe an die kurze Frist gebunden ist. Für die ökologische Dimension würde dies bedeuten, dass beileibe nicht jede Umweltinnovation bereits eine Nachhaltigkeitsinnovation darstellt. In diese Richtung gehen zum Beispiel Weaver et al. (2000), die ebenfalls von einer Langfristperspektive ausgehen und vor diesem Hintergrund das Konzept nachhaltige Technologie an eine davon abgeleitete - allerdings allein ökologische - Reichweitenbedingung (hier die Mindestforderung einer Verfünfachung der Ressourcenproduktivität) binden.

7.3. Kriterien für den Umgang mit Zukunftsoffenheit und Unsicherheit

Eines der zentralen Probleme bei der Prüfung der Nachhaltigkeit von Innovationen besteht in dem Umstand, dass diese ex ante und damit notwendigerweise unter mehr oder weniger hoher Unsicherheit zu erfolgen hat. Dieser Umstand ist sowohl bei *Kriterien* als auch bei *Bewertungsverfahren* zu berücksichtigen. Bei Letzteren führt dies zum Beispiel zu einer häufigen Nutzung von Szenariotechniken im Rahmen von Technikpotential- und Technikfolgenabschätzungen, um Unsicherheiten, Brüche und verschiedene denkbare Alternativen explizit mit zu berücksichtigen und vergleichen zu können (Steinmüller 1999b). Außerdem finden zur Integration des Vorausschau-Elements häufig die Delphi-Methode, also die zweistufige, iterative Befragung von einer Vielzahl von Experten zur Einschätzung und Bewertung von zukünftigen Trends, Verwendung (Cuhls/Blind 1999).

Bei geeigneten *Kriterien* kommt insbesondere bei der Bewertung von nichtinkrementellen Innovationen dem *Vorsorgeprinzip* eine hohe Relevanz zu, nach dem allgemein gesagt ein behutsames Vorgehen mit dem Ziel priorisiert wird, einen angemessenen und angepassten Umgang mit Systemen zu erreichen (von Gleich 1999). Angesichts der potentiellen langfristigen Wirkmächtigkeit vieler weiter reichender Innovationen hat dies zwei Dimensionen. Zum einen geht es darum, bei bereits bekannten Umweltwirkungen einen Sicherheitsabstand zu kritischen Größen zu bewahren, um vor negativen Überraschungen gefeit zu sein. Zum anderen ist idealerweise aber auch anzustreben, noch unbekanntes nachhaltigkeitsgefährdendes Innovationswirkungen vorzubeugen. Während für die erstgenannte Operationalisierung eine Reihe von praktikablen Kriterien zur Verfügung stehen (vgl. auch die Ausführungen im Folgeabschnitt), ist dies bei der zweiten Dimension weit weniger der Fall, weshalb sich die folgenden Ausführungen hierauf konzentrieren.

Im Kontext des Forschungsvorhabens Nachhaltige Metallwirtschaft wurde zur Operationalisierung der Vorsorgeorientierung in Bezug auf noch unbekanntes Wirkungen von Brahmer-Lohss et al. (2000) in einer Erweiterung einer Arbeit von von Gleich/Rubik (1996) ein dreiteiliges Kriterienset vorgeschlagen:

- a) Entropische Effizienz,
- b) Eingriffstiefe und
- c) Sophistication.

Diese Kriterien sollen es erlauben, inhärente zukünftige Risikopotentiale bereits bei der Bewertung zu berücksichtigen, obwohl eine entsprechende Wirkung noch nicht eingetreten ist und werden daher exemplarisch von uns näher dargestellt.

Mit der *entropischen Effizienz* (zum Entropiebegriff vgl. z.B. Serres/Farouki 2001) soll das vom Vorsorgeprinzip verlangte Minimierungsgebot sinnvoll umgesetzt werden. Ausgangspunkt ist die Feststellung, dass die generell richtige Annahme, nach der eine Verringerung von Stoff- und Energieströmen auch ein Weniger an Umweltgefährdungen und -belastungen mit sich bringt, oftmals der realen Komplexität der ökologischen Zusammenhänge nicht gerecht wird. So macht es einen großen Unterschied, ob man Energie aus fossilen oder aus regenerativen Quellen eingespart. Deshalb schlagen Brahmer-Lohss et al. (2000) vor, nicht nur die Stoff- und Energieströme an sich zu betrachten, „sondern auch die mit ihnen verbundene Entropieproduktion, also auch die ‚entropische Effizienz‘ von Prozessen und Produkten“ (a.a.O., S. 32). Damit hätte man ein allgemeingültiges Maß für den Umweltaufwand menschlichen Wirtschaftens, sodass sich Vorsorge anders als zum Beispiel bei wirkungsmodellorientierten Kriterien nicht ausschließlich an schon bekannten Wirkungen (Treibhauseffekt etc.) orientieren müsste. Fernziel einer solchen entropischen Bilanzierung könnte es sein, „die Größenordnung der globalen Entropieproduktion einerseits und die Größenordnung der ‚entropischen Entsorgungskapazität des Systems Erde‘ andererseits“ (a.a.O., S. 33) aufeinander abzustimmen. Um Potentiale einer nachhaltigkeitsorientierten Amortisation zu berechnen, könnte die Entropieproduktion des weiteren ins Verhältnis zu ihrem Nutzen gesetzt werden. Eine solche kann sich ergeben, wenn „ein Mehreinsatz an Stoffen und Energien an einer Stelle im Produktlebenszyklus sich an anderer Stelle um ein Mehrfaches auszahlt“ (a.a.O., S. 34).

Bei dem Kriterium der *Eingriffstiefe* geht es darum, das Vorsorgeprinzip im Sinne der Behutsamkeit zu operationalisieren. Nicht die Quantitäten von Stoff- und Energieströmen stehen

hier im Vordergrund, sondern die „Qualitäten struktureller Eingriffe in Systeme und die daraus erwartbaren technischen Risikopotentiale“ (a.a.O., S. 32). Mit anderen Worten ist hier das Problem zu lösen, unter welchen Bedingungen eine Technologie als Risikotechnologie zu charakterisieren ist. Zunächst ist hier die Länge der technologischen Wirkungsketten in Raum und Zeit heranzuziehen, wobei gilt, dass je größer die zeitliche und räumliche Wirkungsmächtigkeit einer Technologie ist, desto größer ist das Nichtwissen über mögliche Folgen. Eine behutsame im Vergleich zu einer Risikotechnologie hätte also eine Wirkmächtigkeit, die nur wenig die Reichweite des Wissens über die daraus resultierenden Konsequenzen übersteigen würde (z.B. Anlegen von Komposthaufen versus Herstellung und Freisetzung naturfremder, persistenter organisch-synthetischer Stoffe wie den FCKWs). Das Kriterium der Eingriffstiefe bezieht sich aber nicht nur auf die Wirkungsmächtigkeit allein, sondern auch auf die Art und Weise, wie diese zustande kommt. Die entscheidende Differenz hier ist die Frage, ob an den der unmittelbaren Erfahrung zugänglichen Phänomenen angesetzt wird (behutsame, eher handwerkliche Techniken) oder an denjenigen Strukturen, „die gemäß den Grundprinzipien von Physik, Chemie und Biologie genau diese Phänomene erst hervorbringen und ganz wesentlich steuern“ (a.a.O., S. 41). Erst durch die naturwissenschaftlich-experimentelle Beobachtung und Bearbeitung etwa der Atom- und Molekülstruktur und der Gene entsteht die ausgreifende Wirkungsmächtigkeit von Risikotechnologien, die sich insbesondere in der Verlängerung der relevanten raum-zeitlichen Wirkungsketten bis hin zur Globalisierung und Irreversibilität sowie in der Potenzierung unbeabsichtigter Nebenfolgen bis hin zur Überkompensierung der erwünschten Hauptwirkung durch unerwünschte Nebeneffekte manifestiert.

Mit Hilfe des Kriterium der *Sophistication* soll die Frage nach einer ökologischen Technik nach dem Vorbild der Natur operationalisiert werden. Diese soll einen Ausweg aus dem Dilemma bieten, dass der oben geforderte Rekurs auf behutsame Technologien „mit geringerer technischer Wirkungsmächtigkeit (...) unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten nicht gänzlich unproblematisch ist. Diese Techniken haben ggf. nicht die gleiche Leistungsfähigkeit wie die Risikotechnologie, die sie ersetzen sollen“ (a.a.O., S. 42). Weil sich nun die Natur als erfolgreicher technischer Problemlöser erwiesen hat (z.B. hat das Kreislaufsystem der Biosphäre im Laufe der Evolution Entropie abgebaut), versucht die Bionik ausgehend von natürlichen Vorbildern nachhaltige Technologieentwicklungen anzustoßen. Mit solchen bionischen Techniken soll über eine Strategie der Risikobegrenzung durch Behutsamkeit hinausgegangen werden. „Vom ‚Lernen von der Natur‘ erhofft man sich (...) elegante und raffinierte technische Lösungen, bei denen mit minimalem Einsatz von Stoffen und Energien vergleichsweise große, allerdings zielgenaue, und hochspezifische Wirkungen erzielt werden können. (...) Ökologische Techniken sollen also nicht nur sanfter im Sinne von weniger wirkungsmächtig sein. Sie sollen vielmehr durchaus ein gewisses Maß an Wirkungsmächtigkeit erlangen, allerdings nicht durch die Eingriffstiefe in Naturzusammenhänge, sondern durch ein zielgenaues, hochspezifisches, an die Naturgegebenheiten angepasstes, elegantes, raffiniertes, möglichst ‚naturgemäßes‘ Vorgehen“ (a.a.O., S. 43). Inwieweit eine Technologie diesem Ziel entspricht, soll über das Kriterium der *Sophistication* bestimmt werden.

Mit den dargestellten Vorschlägen liegt ein wichtiger Beitrag zur Diskussion um die Frage vor, auf welche Weise die noch unsicheren ökologischen Konsequenzen von nichtinkrementellen Innovationen in den Blick genommen werden können. Mit ihrem auf universelle Gültigkeit zielenden Kriterienset gehen die Autoren über Verfahren hinaus, die Umweltauswirkungen über spezifische, zeitlich und räumlich variable Wirkungskategorien erfassen. Auf der ande-

ren Seite ist zu ihrem Konzept zum einen *kritisch* anzumerken, dass offen bleibt, wie die Kriterien im konkreten Fall *quantifizierbar und qualifizierbar* sind. So gibt es zwischen dem Ansetzen an der unmittelbaren Erfahrung zugänglichen Phänomenen und an diesen zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten eine Vielzahl von Abstufungen, zu deren Erfassung auf Basis des Kriteriums Eingriffstiefe keine Hinweise gegeben werden (analoges gilt für Sophistication). Und welche Größen zu erfassen und zu aggregieren sind, um das Ausmaß der mit einer Innovation verbundenen Entropieproduktion zu bestimmen und zu messen, wird ebenfalls nicht thematisiert.

Ein anderer Kritikpunkt bezieht sich auf den Umstand, dass eine Diskussion darüber fehlt, in welchem *Verhältnis* die Kriterien *zueinander* stehen, etwa ob sie prinzipiell gleichwertig sind oder sich hierarchisch zueinander verhalten. Aussagen zu diesem Problem aber sind eine wichtige Voraussetzung dafür, die Einzelergebnisse der Betrachtung einer Technologie entlang von Entropie, Eingriffstiefe und Sophistication einer Gesamteinschätzung unterziehen zu können. Mit der Frage nach der Gewichtung von Kriterien und der abschließenden Interpretation von mehrdimensionalen Analysen ist das Integrations- und Bewertungsproblem angesprochen, das im Folgenden noch skizzenhaft behandelt werden soll.

7.4. Das Integrations- und Bewertungsproblem bei Innovationen

Spätestens bei dieser Fragestellung wird das normative Element der Diskussion um Kriterien und Bewertungsverfahren deutlich. Am meisten wurde das Bewertungsproblem bisher im Rahmen der ökologischen Bewertung diskutiert, denn die ökologische Dimension selbst wird ja in aller Regel durch verschiedene Indikatoren abgebildet, die dann integriert und bewertet werden müssen. Zur Bewältigung dieses Problems werden häufig auf den Ökobilanznormen DIN EN ISO 14040ff. beruhende Methoden angewendet, wie sie zum Beispiel das Umweltbundesamt (1999) mit seiner *Bewertungsmethode* zur Gesamtbeurteilung der Umweltrelevanz eines Untersuchungsgegenstandes vorgelegt hat. Aus unserer Perspektive ist dabei am Ökobilanzansatz vor allem interessant, dass explizit der gesamte Lebenszyklus eines Gegenstands inklusive der Nutzungsphase einbezogen wird (vgl. Frankl/Rubik 2000; Rubik et al. 1996).

Die vom Umweltbundesamt (1999) vorgeschlagene Bewertungsmethode basiert auf einer vorgängigen Hierarchisierung der zehn *Wirkungskategorien* direkte Gesundheitsschädigung, direkte Schädigung von Ökosystemen, aquatische Eutrophierung, terrestrische Eutrophierung, Naturraumbeanspruchung, photochemische Oxidantenbildung/Sommersmog, Ressourcenbeanspruchung, stratosphärischer Ozonabbau, Treibhauseffekt und Versauerung. Das Ranking dieser Wirkungskategorien wird zum einen von der Höhe des mit ihnen je verbundenen *Schadens- und Gefährdungspotentials* hinsichtlich übergeordneter ökologischer Schutzgüter (menschliche Gesundheit, Struktur und Funktion von Ökosystemen, natürliche Ressourcen) und vom Ausmaß des Abstands des aktuellen Umweltzustands in einer Wirkungskategorie zu einer angestrebten Beschaffenheit (*distance-to-target*) bestimmt. Für die Bewertung stehen fünf Priorisierungsklassen zu Verfügung, von A = höchste Priorität bis E = niedrigste Priorität; zum Beispiel wird der Treibhauseffekt hinsichtlich ökologische Gefährdung und distance-to-target mit A geratet, photochemische Oxidantenbildung/Sommersmog dagegen mit D beziehungsweise B.

Darüber hinaus wird die Rangbildung von dem auf die Ergebnisse konkreter Ökobilanzen bezogenen Kriterium *spezifischer Beitrag* beeinflusst, mit dem die ermittelte Größe der Umweltbelastung in einer Wirkungskategorie in Vergleich zu der von dieser pro Jahr in Deutschland verursachten Gesamtbelastung gesetzt wird; auch hier stehen für die Bewertung fünf Klassen mit den Prioritäten A bis E zur Verfügung. Die Beurteilungen zu den Kriterien spezifischer Beitrag, distance-to-target und ökologische Gefährdung werden sodann für jede einzelne Wirkungskategorie zur Bestimmung von deren ökologischer Priorität gleichgewichtig zusammengefasst. Diese wird vermittelt durch eine fünfstufige Skala mit Ausprägungen von sehr groß bis sehr gering ausgedrückt (z.B. wird ein A für alle Kriterien als sehr große oder die Kombination A, D, D als mittlere ökologische Priorität gewertet); auf diese Weise wird den in einer Ökobilanz ermittelten Umweltbelastungswerten der einzelnen Wirkungskategorien ihre Bedeutung zugewiesen.

Das Bewertungsverfahren des Umweltbundesamtes zeichnet sich durch einen hohen Anspruch an seine empirisch-wissenschaftliche Objektivität aus (für einen eher auf Popularisierungseffekte zielenden Bewertungsansatz vgl. etwa Renn et al. 2000). Gleichwohl wird dezidiert auf die letztendliche *Subjektivität* der auf seiner Basis vorgenommenen *Bewertungen* hingewiesen. So beruhe die Rangbildung der Wirkungskategorien neben Sachinformationen auch auf eigenen Werthaltungen, und an anderen Stellen heißt es: Die Festlegung der ökologischen Schutzgüter „hängt wesentlich vom moralisch-ethischen Kanon einer Gesellschaft und den ethischen Überzeugungen der bewertenden Personen“ (Umweltbundesamt 1999, S. 12) ab; und: Die Beurteilung einer Wirkungskategorie nach ihrer ökologischen Gefährdung „erfolgt durch ein Beurteilungsgremium in einem diskursiv-subjektiven Abwägungsprozess. (...) Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, es ist vielmehr wahrscheinlich, dass unterschiedliche *Bewertungsgremien* bei gleicher Informationslage zu unterschiedlichen *Bewertungen* kommen“ (a.a.O., S. 16).

Dass subjektive, interessen geleitete Einflüsse nicht zu vermeiden sind, gilt jedoch nicht nur für die Rangbildung von Wirkungskategoriensystemen, sondern auch für die Gesamtbeurteilung der Ergebnisse einer Analyse. Diese bestehen bei der Ökobilanz aus einer Reihe ökologisch priorisierter Wirkungskategorienwerte, die „sich grundsätzlich nicht gegeneinander aufwiegen (lassen), da die Klassen der *Priorität* (von ‚sehr groß‘ bis ‚sehr gering‘) ordinal skaliert sind und somit Aussagen über das Verhältnis zwischen zwei Klassen nicht zulassen“ (a.a.O., S. 24). Daraus folgt, dass die Auswertung einer Ökobilanz keine Automatismen etwa bezüglich umweltpolitischer Entscheidungen auslösen kann. Mit ihr steht vielmehr eine Methode zur Verfügung, mit der die Gefahr der subjektiven Beliebigkeit der Bewertung dadurch eingegrenzt werden kann, „dass die Bewerter auf dem gleichen aktuellen Kenntnisstand bezüglich des Bewertungshintergrunds urteilen“ und „ihre Entscheidungen auf der Grundlage eines möglichst umfassenden Bildes der möglichen Umweltwirkungen des Bewertungsgegenstandes“ fällen (Henseling/Henseling 2001).

Ökobilanzielle Verfahren spielen zur Erfassung und Gewichtung der ökologischen Problemdimensionen häufig auch bei *empirischen Innovationsbewertungen* eine wichtige Rolle. Ein aktuelles Beispiel ist die Studie des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) zu Brennstoffzellen. Oertel/Fleischer (2000, S. 70ff.) ranken die oben genannten verschiedenen ökologischen Problemfelder qualitativ nach den Kriterien Auswirkungen, Reversibilität, räumliche Ausdehnung und Prognosebelastbarkeit. Damit wird sowohl das Raum- als auch das Zeitproblem (Unsicherheit und Risiko) angesprochen, womit zwei

zentrale Nachhaltigkeitsaspekte integriert werden. Im Ergebnis werden die Wirkungen auf Treibhauseffekt, Ozonabbau und Kanzerogenität als am relevantesten eingestuft, gefolgt von Versauerung und Eutrophierung sowie am Ende Ressourcenbeanspruchung und Sommer-smog.

Wenn man das gängige Drei-Säulen-Nachhaltigkeitskonzept zugrunde legt, leisten die skizzierten Verfahren allerdings noch keinen Beitrag zur Lösung des Integrationsproblems zwischen der ökologischen und den anderen Dimensionen. Aus ökonomischer Perspektive das klassische Verfahren ist hier die *Kosten-Nutzen-Analyse*, die versucht, alle Problemdimensionen auf den gemeinsamen Nenner einer monetären Bewertung zu bringen. Die ökologisch-ökonomischen Potentiale und Grenzen dieser Methodik sind hinlänglich diskutiert worden und brauchen deshalb hier nicht rekapituliert zu werden (vgl. z.B. Meyerhoff/Petschow 1997). Bei Innovationen kommt der Unsicherheitsaspekt hinzu, der eine solche Bewertung in der Regel stark erschwert, beziehungsweise zu einem klaren *Bias* hinsichtlich quantifizierbarer (dies gilt häufig allerdings für Ökobilanzansätze entsprechend) und monetarisierbarer Faktoren führt. Nicht zuletzt deshalb erleben multikriterielle Verfahren in letzter Zeit auch in der Ökonomik wieder einen Aufschwung.

Ein Ende der achtziger Jahre vorgeschlagenes alternatives Konzept ist die *Produktlinienanalyse* (PÖW 1987). Dieses setzt an der Ökobilanzmethodik an, bezieht dabei jedoch zusätzlich ökonomische und soziale Kriterien ein, zum Beispiel Allokations- und Verteilungswirkungen, Arbeitsqualität und Freiheit. Die methodischen Schwierigkeiten sind ähnlich wie bei der Ökobilanz, allerdings verstärken sich bei der Dreidimensionalität die Informationsanforderungen und Bewertungsprobleme (Becker 1999).

Generell lässt sich in der Technik- beziehungsweise Innovationsbewertung – wie auch in der ökonomisch-ökologischen respektive Nachhaltigkeitsbewertung allgemein - aufgrund der Schwierigkeiten der skizzierten Bewertungsverfahren insbesondere hinsichtlich der Integration von und Abwägung zwischen verschiedenen Kriterien ein zunehmender Trend zu *partizipativen Methoden* feststellen (Saretzki 1999). Steinmüller (1999a) führt hier beispielsweise Bürgergutachten sowie die plebiszitäre Technikfolgenabschätzung als Verfahren auf. Die herkömmlichen Bewertungsmethoden fungieren in solchen Verfahren zunehmend nur noch als Diskursgrundlage, während die Ausgestaltung des Partizipationsprozesses stärker in den Mittelpunkt der weiteren Forschung rückt.

8. Fazit und Schlussfolgerungen

8.1. Zusammenfassung

Innovationen sind in den letzten Jahren zunehmend in das Zentrum der Nachhaltigkeitsdebatte gerückt. Sie gelten als Königsweg, um eine ökologische Modernisierung respektive auch einen ökologischen Strukturwandel sozialverträglich zu erreichen. An diese Erwartung kann jedoch nicht umstandslos angeknüpft werden; um sich das Innovationsgeschehen aus der Nachhaltigkeitsperspektive nutzbar zu machen und eine fruchtbare Auseinandersetzung mit Nachhaltigkeitsinnovationen zu ermöglichen, ist zunächst eine Aufarbeitung der Grundlagen der Innovationsforschung hilfreich.

Die Rekonstruktion ausgewählter theoretischer Entwicklungen der (evolutorisch) ökonomischen und der sozialwissenschaftlichen Innovationsforschung im Rahmen dieser Studie ergab zunächst eine bemerkenswerte Konvergenz der Diskussion, die sich mit der Formel „von linearen Innovationsprozessen zu Innovationen im Netz“ treffend charakterisieren lässt. Es reicht nicht, Innovationen nach einem Phasenschema als weitgehend autonomen Prozess zu analysieren – obwohl ein solches weiter einen heuristischen Wert behält, wenn Feedbackprozesse explizit mit betrachtet werden. Vielmehr sind sowohl auf der Makroebene (Innovationssystem als Netzwerk der innovationsrelevanten Institutionen) als auch auf der Mikroebene (Innovationsprozesse im Kontext konkreter Akteursnetzwerke) die Akteurskonstellationen mit zu betrachten.

Der Versuch einer genaueren Fassung und Differenzierung des Innovationskonzepts ergab zunächst, dass die klassische Aufteilung in Produkt- und Prozessinnovationen nicht ausreicht. Jenseits der Trennschärfe-problematik eröffnet diese Unterscheidung noch nicht den Blick auf die gerade unter Nachhaltigkeitsaspekten relevanten Fragestellungen. Denn die aus ökologischer Sicht bei Prozessinnovationen relevante Frage „End-of-Pipe-Technologien versus integrierter Umweltschutz“ lässt sich fruchtbarer als Reichweitenfrage nach den Bedingungen der Abweichung vom konventionellen Muster diskutieren, und bei dem ökologisch lange vernachlässigten Problem der Produktinnovationen, die erst seit Mitte der neunziger Jahre stärker thematisiert werden (zurzeit in den Auseinandersetzungen um eine integrierte Produktpolitik), wird auch zunehmend nach der Reichweite gefragt, wobei hier jetzt vornehmlich Systeminnovationen in den Blick rücken.

Ähnliches gilt auch für die Tendenz zur Ausweitung des Innovationsgegenstands. Festzustellen ist zunächst, dass auch institutionelle, organisatorische und Verhaltensänderungen zunehmend mittels des Innovationskonzepts analysiert werden. Während hier methodisch immer zu prüfen ist, was durch diese Parallelsetzung an zusätzlichen Erkenntnissen gewonnen wird, hat diese Ausweitung auf jeden Fall den analytischen Vorteil, dass ein technischer Bias bei der Innovationsanalyse gemindert wird und das Zusammenspiel verschiedener Innovationstypen in den Blick gerät.

Dies führt auch zu einem Hauptergebnis der Rezeption und Systematisierung der Reichweitediskussion. Innovationen, die über inkrementelle Veränderungen hinausgehen, sind häufig ein Konglomerat aus technischen, organisatorischen, institutionellen und sozialen Innovationen. Zur Systematisierung haben wir ein zweidimensionales Schema vorgeschlagen, dass die Kompatibilität mit dem Bestehenden, also die relative Neuheit, sowohl auf der techni-

schen als auch der markt- und akteursstrukturellen Seite als Kriterium verwendet. Dies erlaubt sowohl eine Präzisierung der Unterscheidung von radikalen und System-Innovationen als auch die Definition eines Bereichs, in dem beide Typen zu dem dritten Typus der radikalen Systeminnovationen zusammenfallen.

Die oft geäußerte Hypothese, dass weiter reichende Innovationen generell mit ökologischen Vorteilen verbunden sind, kann nicht ohne weiteres bestätigt werden. Selbst wenn sie eine *notwendige* Bedingung darstellen, da inkrementelle Veränderungen an immanente Grenzen stoßen, ist für das „Hinreichen“ jedoch eine Analyse nach Nachhaltigkeitskriterien unverzichtbar. In der vorgenommenen Aufarbeitung von Kriterien und Bewertungsverfahren wurde deutlich, dass die ökologische Dimension hier schon stärker behandelt wurde, während eine konzeptionelle Verbindung von ökologischer, sozialer und ökonomischer Dimension, wie sie in der Nachhaltigkeitsdiskussion gefordert wird, noch am Anfang steht.

Die umfangreiche Debatte um Nachhaltigkeitsindikatoren konnte im Rahmen der begrenzten Ressourcen dieser Studie nicht rezipiert werden. Statt dessen wurde danach gefragt, wie allgemein mit dem Prognoseproblem bei der Bewertung von Innovationen unter Unsicherheit, und damit einem Bewertungsbias zugunsten bekannter Wirkungen, umgegangen werden kann, und wie sich die Bedeutung der Ausgestaltungs- und Nutzungsebene bei Innovationen in integrative Bewertungsverfahren einbeziehen lässt. Während hier die Ökobilanzmethodik immer noch einen häufigen und geeigneten Ausgangspunkt darstellt, ist zunehmend eine Tendenz zu partizipativen Bewertungsverfahren festzustellen, in denen wissenschaftliche Analysen nicht mehr die Bewertung selbst vornehmen, sondern die verschiedenen Optionen präzisieren und so eine informierte gesellschaftliche Bewertung ermöglichen.

8.2. Schlussfolgerungen aus forschungspraktischer Perspektive

Ausgehend von der Aufarbeitung der Innovationsdebatte lassen sich insbesondere im Hinblick auf die Frage nach Nachhaltigkeitsinnovationen die folgenden weiterführenden Forschungsperspektiven benennen: Gerade aus einer Nachhaltigkeitsperspektive sollten weniger Innovationen als solche der Forschungsgegenstand sein, sondern die *Qualifizierung von Innovationen* gemäß ihres Beitrags, den sie zur Erreichung des Nachhaltigkeitsziels zu leisten imstande sind. Unter diesem Blickwinkel sind weiter reichende, und insbesondere radikale Systeminnovationen und ihre Bedingungen in den Vordergrund zu stellen. Natürlich sollten inkrementelle Entwicklungen darüber nicht völlig aus den Augen geraten, können mit diesen doch ebenfalls beträchtliche (kumulative) Entlastungseffekte verbunden sein. Ferner würde ein gänzlich Ausblenden schrittweiser Verbesserungen wesentliche Teile des praktischen Innovationsgeschehens aus dem analytischen Fokus verdrängen, das nach wie vor und wohl auch zukünftig an der routinemäßigen Weiterentwicklung bewährter, erfolgreicher Lösungen orientiert ist. Da aber angesichts des mittlerweile existierenden realen Problemniveaus inkrementelle Verbesserungen eine nur unzureichende zeitlich-räumliche Wirkungstiefe entfalten, und nicht zuletzt weil sich der Wissensstand über schrittweise Innovationsprozesse deutlich ausgeprägter als der über die Bedingungen und Prozesse reichweitenstärkerer Neuerungen darstellt, sind letztere verstärkt in den Mittelpunkt einer nachhaltigkeitsorientierten Innovationsforschung zu stellen. In diesem Zusammenhang wäre auch die – über die Problemstellung dieser Arbeit hinausgehende – Frage nach der Innovationsfähigkeit aufzugreifen, die insbesondere darauf abzustellen hätte, in welchen Entstehungskontexten Nachhaltig-

keitsinnovationen hervorgebracht werden können (für einen entsprechenden Ansatzpunkt an Innovationssystemen vgl. z.B. Hübner/Nill 2001).

Die Ausführungen zu Innovation als interaktivem Prozess verweisen darauf, dass die Chancen der *politischen Steuerung* beziehungsweise Beeinflussung von Innovationsprozessen neu zu diskutieren sind und dass ein bei Steuerungsdiskussionen oft implizit vorausgesetztes einfaches Stimulus-Response-Modell zu kurz greift (siehe hierzu auch Kemp et al. 2000). Von diesem Umstand wird etwa in der Diskussion um eine IPP ausgegangen, die die ökologische Produktpolitik zu einer gemeinsamen Angelegenheit staatlicher, technisch-ökonomischer und zivilgesellschaftlicher Akteure erklärt. Darüber hinaus sind neue Mechanismen der politischen Unterstützung gerade aber auch mit Blick auf pfadverändernde Innovationen zu entwickeln. Hier kann auf in den letzten Jahren entwickelte Ansätze rekuriert werden, die unter den Stichworten „strategisches Nischenmanagement“ (z.B. Kemp et al. 1998; Kemp 2001, Nill et al. 2001; Weber et al. 1999) beziehungsweise - mit einer stärkeren Diffusions- respektive Systemorientierung - auch „transition management“ (z.B. Kemp 2000a) laufen und unter anderem die von Vergragt (1999) genannten Vorbedingungen für Systeminnovationen (vgl. Abschnitt 6.2.) ernst nehmen. Dabei erscheint eine Weiterentwicklung in zwei Richtungen fruchtbar:

1. Angesichts der Schwierigkeit solcher politischer Strategien scheint es ratsam, aufbauend auf Ansätzen der evolutorischen Ökonomik Zeitfaktoren beziehungsweise „Zeitfenster“, die sich aus dem Innovationsprozess beziehungsweise aus der Interaktion zwischen wirtschaftlichen und politischen Akteuren ergeben, näher zu analysieren, um damit günstigere Handlungsgelegenheiten abzuschätzen. Ein solcher Ansatz wird derzeit im Rahmen des vom Bundesforschungsministerium geförderten Projektes „Innovation, Zeit und Nachhaltigkeit. Zeitstrategien ökologischer Innovationspolitik“, das gemeinsam von der Fachhochschule Lausitz, dem IÖW und der Technischen Universität Berlin durchgeführt wird, auf seine analytische und vor allem empirische Fruchtbarkeit geprüft.
2. Angesichts der Bedeutung von Innovationsnetzwerken sowie der gleichzeitig vorhandenen Blockademacht alter Netzwerke (vgl. dazu z.B. Binder et al. 2001) ist es erforderlich, Erfolg versprechende Akteurskonstellationen, ihre Voraussetzungen sowie die Möglichkeiten ihrer Förderung im Rahmen eines Netzwerkmanagements näher zu erforschen. Dabei sollten insbesondere die Beziehungen zwischen (nationalem) Innovationssystem und Innovationsnetzwerken stärker in den Blick genommen werden.

Eine *Phasendifferenzierung* des Innovationsprozesses kann trotz respektive unter der Voraussetzung des Einbezugs der Wechselbeziehungen zwischen den Phasen für innovationsorientierte Vorhaben oder auch Praxisprojekte weiterhin hilfreich sein. Beispielsweise sind Pioniere der ersten kommerziellen Anwendung beziehungsweise entsprechender Entwicklungsprozesse oft Outsider und kleine Unternehmen; progressive Innovationsnetzwerke sind vor allem in den frühen Phasen, die von Unsicherheit und Unausgereiftheit geprägt sind, als *change agents* von Bedeutung. Für die Verbreitung von Lösungen sind hingegen eher große, marktmächtige Akteure von Bedeutung (second movers); hier spielen dann auch Verbände und Standardisierungseinrichtungen ihre Rolle.

Die Tendenz zur *Ausweitung des Innovationsgegenstandes* ist unter Nachhaltigkeitsaspekten als *forschungsstrategische Chance* zu werten: Zum einen öffnet sie die lange Zeit auf technische Entwicklungen konzentrierte Innovationsforschung auf eine Art und Weise für

Veränderungen organisatorischer oder sozialer Art, die diese nicht lediglich als Folgewirkung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts konzeptualisiert. Gerade im Falle von Innovationen, die sowohl radikalen als auch systemischen Charakters sind können technische Neuerungen nur im engen, gleichgewichtigen Zusammenspiel mit organisatorisch-institutionellen Innovationen statt finden. Zum anderen erlaubt die Ausweitung des Innovationsgegenstandes einen fruchtbaren neuen Zugang auf die in der Anwendungsforschung vielfach thematisierte (Nicht)Verbreitung von Best Practices, etwa durch eine Schärfung des Blicks, welche Faktoren eines Entwicklungs- und Diffusionsprozesses, die bei „einfachen“ technischen Innovationen gegeben sind, hier unter Umständen nicht vorliegen beziehungsweise substituiert werden müssen.

Eine weitere, in dieser Studie nur kurz angesprochene Ebene, die eine vertiefte Betrachtung verdient, betrifft die *räumliche Dimension* von Innovationsprozessen. Diese reicht von der lokalen Entstehung bis hin zur globalen Verbreitung von Wissen. Ersteren Zusammenhang können sich insbesondere Regionalentwicklungsprojekte verstärkt zu Nutze machen. Die hierfür notwendigen institutionellen Innovationen könnten ein interessantes Forschungsthema darstellen (Lucas 1998). Die genauere Analyse des gesamten Zusammenhangs von der Entstehung bis zur globalen Verbreitung von Nachhaltigkeitsinnovationen könnte auch eine strategische Antwort auf die immer wieder ins Spiel gebrachte Restriktion „internationale Wettbewerbsfähigkeit“ darstellen. Das innovationsökonomische Stichwort hierfür lautet (ökologischer) „lead market“ (vgl. Petschow et al. 1998, S. 156ff.); komplexe Systeminnovationen können hier eine wettbewerbsverträgliche Antwort sein (Petschow et al. 2000, S. 41). Aufbauend auf der Porter-Hypothese (Porter 1991; Porter/van der Linde 1995) versucht ein jüngst angelaufenes Projekt des Bundesforschungsministeriums, das von Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU), IÖW, Zentrum für europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und Deutschem Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) gemeinsam bearbeitet wird, die Analyse des Potentials und der Voraussetzungen von internationalen Lead-Märkten auch für Nachhaltigkeitsinnovationen fruchtbar zu machen: „Politikmuster der Entwicklung internationaler Märkte für Innovationen nachhaltigen Wirtschaftens - Vom Pilotmarkt zum Lead-Markt“.

Schlussendlich, und hier schließt sich der Kreis zur Einleitung, ist zweierlei festzuhalten: Erstens können Innovationen auch Entwicklungskorridore einleiten, die *unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten negativ zu beurteilen* sind. Dies macht die Entwicklung und Anwendung geeigneter Methoden zur Erfassung und Beurteilung der Innovationsfolgen dringlich, was auch in der Forschungsagenda des Rahmenprogramms sozial-ökologische Forschung betont wird (BMBF 2000, S. 16; ISOE 1999, S. 31). Zumindest hinsichtlich der Bewertung nichtinkrementeller Innovationen, seien sie nun stärker technologisch radikal oder systemisch orientiert oder auch beides, stehen zur Zeit aber weder ein hinreichender Kriterienvorrat noch völlig befriedigende Bewertungsverfahren zur Verfügung, mit deren Hilfe ex ante und mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit die Konsequenzen solcher Innovationen bestimmt werden könnten. Mit anderen Worten sind weitere Anstrengungen in diese Richtung geboten, um die mit häufig hochgradig spekulativen Hoffnungen operierende Diskussion um Nachhaltigkeitsinnovationen für überprüfbarere Argumente zu öffnen.

Davon unabhängig darf zweitens bei aller Euphorie um Innovationen als Vehikel zu einer nachhaltigen Gesellschaft zu guter Letzt nicht übersehen werden, dass es auch weiterhin des *Rekurses auf andere Optionen* bedarf, um diesem Ziel näher zu kommen. So wird es auch in Zukunft notwendig sein, beispielsweise eine Stoffpolitik zu verfolgen, die auch Einsatzbe-

schränkungen oder -verbote in ihrem Repertoire hat. Und wie eine Gesellschaft beschaffen sein sollte, deren ökologische, ökonomische und soziale Strukturen dem Postulat der Nachhaltigkeit genügen, kann nicht zu einer Frage des Vollzugs von Innovationsprozessen gemacht werden, sondern ist im Zuge gesellschaftspolitischer Debatten zu klären, die auch die Leitplanken der Neuerungsdynamik formulieren.

Literatur

- Abernathy, William J.; Clark, Kim B. (1985): Innovation: mapping the winds of creative destruction. In: Research Policy, Vol. 14, S. 3-22
- Abernathy, William J.; Utterback, James (1978): Patterns of Industrial Innovation. In: Technology Review, June 1978, pp 40-47
- Angerer, Gerhard; Hipp, Christiane; Holland, Doris; Kuntze, Uwe (1997): Umwelttechnologie am Standort Deutschland, Heidelberg
- Antes, Ralf (1992): Die Organisation des betrieblichen Umweltschutzes. In: Steger, Ulrich (Hg.): Handbuch des Umweltmanagements, München, S. 487-509
- Arrow, Kenneth J. (1961): Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In: National Bureau for Economic Research (Ed.): The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors, Princeton, N.J., pp. 609-627
- Arthur, W. Brian (1989): Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. In: The Economic Journal, Vol. 99, S. 116-131
- Asdonk, Jupp; Bredeweg, Udo; Kowol, Uli (1991): Innovation als rekursiver Prozeß. Zur Theorie und Empirie der Technikgenese am Beispiel der Produktionstechnik. In: Zeitschrift für Soziologie, Jg. 20, Heft 4, S. 290-304
- Bechmann, Gotthard (1998): Im Land der unbegrenzten Zumutbarkeiten. Anmerkungen zum Kapitel 5: „Innovation“ des Zwischenberichtes der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages. In: TA-Datenbank-Nachrichten, Jg. 7, Nr. 1, S. 26-31
- Bechmann, Gotthard; Grunwald, Armin (1998): „Was ist das Neue am Neuen, oder: wie innovativ ist Innovation?“. Einführung in das Thema. In: TA-Datenbank-Nachrichten, Jg. 7, Nr. 1, S. 4-11
- Becker, Thomas (1999): Produktlinienanalyse. In: Bröchler, Stephan; Simonis, Georg; Sundermann, Karsten (Hg.): Handbuch Technikfolgenabschätzung, Band 2, Berlin, S. 541-544
- Bender, Gerd (2000): Bericht über die Konferenz der Sektion Wissenschafts- und Technikforschung: A New Mode of Knowledge Production? Wissenserzeugung zwischen Erkenntnisinteresse und Innovation am 26. und 27. Mai 2000 an der Universität Dortmund. In: Soziologie, Heft 4, S. 78-86
- Bender, Gerd; Steg, Horst; Jonas, Michael; Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2000): Technologiepolitische Konsequenzen „transdisziplinärer“ Innovationsprozesse, Dortmund, Universität Dortmund (Arbeitspapier des Lehrstuhls Technik und Gesellschaft Nr. 8/2000)
- Berg, Christoph (1995): Technologischer Fortschritt und ökonomische Regulierung: Ein evolutionärer Ansatz mit einer Fallstudie zur Entstehung und Entwicklung der Rübenzuckerindustrie in Deutschland, Frankfurt am Main
- Bieber, Daniel; Möll, Gerd (1993): Technikentwicklung und Unternehmensorganisation. Zur Rationalisierung von Innovationsprozessen in der Elektroindustrie, Frankfurt am Main/New York

- Bierter, Willy (2001): Zukunftsfähiges System-Design, Genf/Giebenach, Institut für Produkt-dauer-Forschung/Factor 10 Innovation Network (Manuskript)
- Binder, Manfred; Jänicke, Martin; Petschow, Ulrich (Eds.) (2001): Green Industrial Restructuring. International Case Studies and Theoretical Interpretations, Berlin et al.
- Binswanger, Hans P.; Ruttan, Vernon W. (1978): Introduction. In: Binswanger, Hans P.; Rut-tan, Vernon W.: Induced Innovation. Baltimore: Johns Hopkins University Press. pp. 1-13.
- Blazejczak, Jürgen; Edler, Dietmar; Hemmelskamp, Jens; Jänicke, Martin (1999): Umweltpoli-tik und Innovation: Politikmuster und Innovationswirkungen im internationalen Vergleich. In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, Nr. 1, S. 1-32.
- BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung]: Rahmenkonzept Sozial-ökologische Forschung. Bonn 2000, Bundesministerium für Bildung und Forschung
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit]: Erprobung der CSD-Nachhaltigkeitsindikatoren in Deutschland. Bericht der Bundesregierung, Bonn
- Bollmann, Petra (1990): Technischer Fortschritt und wirtschaftlicher Wandel. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Braczyk, Hans-Joachim; Cooke, Philip; Heidenreich, Martin (Eds.) (1998): Regional Innova-tion Systems. The Role of Governances in a Globalized World, London
- Brahmer-Lohss, Martin; Gleich, Arnim von; Gottschick, Manuel; Horn, Helmut; Jepsen, Dirk; Kracht, Silke; Krämer, Holger; Reihlen, Antonia; Rolf, Arno; Sander, Kurt (2000): Nachhaltige Metallwirtschaft Hamburg. Grundlagen und Vorgehensweisen, Hamburg, Universität Hamburg (Mitteilung 296 des Fachbereich Informatik)
- Brezet, Han; Bijma, A. S.; Silvester, S. (2000): How to Design Eco-efficient Services? Results of the Case Study based Designing Eco-efficient Services Project, Delft, Delft University of Technology
- BUND [Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland]; Misereor (1996): Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung, Basel
- Clark, Kim B. (1985): The interaction of design hierarchies and market concepts in techno-logical evolution. In: Research Policy, Vol. 14, S. 235-251
- Clark, Peter; Staunton, Neil (1989): Innovation in Technology and Organization, London/New York
- Clausen, Jens; Petschow, Ulrich; Behnsen, Jörg (1997): Umwelterklärungen als Innovations-barometer. Eine explorative Fallstudie in der Lebensmittelindustrie, Berlin, Institut für öko-logische Wirtschaftsforschung (Schriftenreihe Nr. 114/97)
- Clayton, Anthony; Spinardi, Graham; Williams, Robin (1999): Policies for Cleaner Technol-ogy. A New Agenda for Government and Industry. London
- Coombs, Rod; Saviotti, Paolo, Walsh, Vivien (1987): Economics and Technological Change, Houndsmill
- Cowan, Robin; Hultén, Staffan (1996): Escaping Lock-In: The Case of the Electric Vehicle. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 53, pp 61-79

- Cuhls, Kerstin; Blind, Kurt (1999): Die Delphi-Methode als Instrument der Technikfolgenabschätzung. In: Bröchler, Stephan; Simonis, Georg; Sundermann, Karsten (Hg.): Handbuch Technikfolgenabschätzung, Band 2, Berlin, S. 545-550
- Cusumano, M.; Mylonadis, Y.; Rosenbloom, R. (1992): Strategic Manoeuvring and mass-market dynamics: the triumph of VHS over Beta. *Business History Review*, Vol. 6, pp 51-94
- David, Paul A. (1985): Clio and the Economics of QWERTY. In: *American Economic Review*, Vol. 75, pp. 332-337
- Dichtl, Erwin; Issing, Otmar (Hg.) (1987): *Vahlens Großes Wirtschaftslexikon*, Band 2 E-J, München
- Dierkes, Meinolf; Knie, Andreas (1994): Geräte und ihr Sinn. Technikgenese im institutionellen Geflecht mächtiger Verständigungen. In: Zapf, Wolfgang; Dierkes, Meinolf (Hg.): *Institutionenvergleich und Institutionendynamik*, Berlin, S. 83-105
- Dierkes, Meinolf; Marz, Lutz (1993): Technikakzeptanz, Technikfolgen und Technikgenese. Zur Weiterentwicklung konzeptioneller Grundlagen der sozialwissenschaftlichen Technikforschung. In: Dierkes, Meinolf: *Die Technisierung und ihre Folgen. Zur Biographie eines Forschungsfeldes*, Berlin, S. 17-44
- DIW [Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung]; WI [Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt Energie]; WZB [Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung] (Hg.) (2000): *Arbeit und Ökologie. Projektabschlussbericht*, Düsseldorf, Hans-Böckler-Stiftung
- Domrös, Christof (1994): *Innovation und Institutionen. Eine transaktionsökonomische Analyse unter besonderer Berücksichtigung strategischer Allianzen*, Berlin
- Dosi, Giovanni (1982): Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change. In: *Research Policy*, Vol. 11, No. 3, pp. 147-162
- Dosi, Giovanni; Nelson, Richard (1994): An introduction to evolutionary theories in economics. In: *Journal of Evolutionary Economics*, Vol. 4, pp. 153-172
- Dresel, Thomas (1997): *Die Bedingungen ökologischer Innovationen in Unternehmen. Fallanalysen*. Stuttgart, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg (Arbeitsbericht Nr. 71)
- Edge, David (1988): *The Social Shaping of Technology*, Edinburgh, University of Edinburgh (Edinburgh PICT Working Paper No. 1)
- Edquist, Charles (Ed.) (1997): *Systems of Innovation*, London/New York
- Erdmann, Georg (1993): *Elemente einer evolutorischen Innovationstheorie*, Tübingen
- Erdmann, Georg (1999): Zeitfenster beachten. Möglichkeiten der Ökologisierung der regulären Innovationstätigkeit. In: *Ökologisches Wirtschaften*, Ausgabe 2, S. 21-22
- Frankl, Paolo; Rubik, Frieder (2000): *Life Cycle Assessment in Industry and Business. Adoption Patterns, Applications and Implications*, Berlin et al.
- Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (1984): *Wirkungsanalyse der Zuschüsse für Personal in Forschung und Entwicklung*, Karlsruhe

- Freeman, Christopher (1987): *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*, London
- Freeman, Christopher; Perez, Carlota (1988): Structural crises of adjustment, business cycles and Investment Behaviour. In: Dosi, Giovanni; Freeman, Christopher; Nelson, Richard; Silverberg, Gerald; Soete, Luc (Eds.): *Technical Change and Economic Theory*, London/New York, pp. 38-66
- Fuchs, Werner; Klima, Rolf; Lautmann, Rüdiger; Rammstedt, Otthein; Wienold, Hanns (Hg.) (1975): *Lexikon zur Soziologie, Band 1 AAM-Latenz*, Reinbek
- Gibbons, Michael; Limoges, Camille; Nowotny, Helga; Schwartzman, Simon; Scott, Peter; Trow, Martin (1994): *The New Production of Knowledge. The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, London et al.
- Gillwald, Katrin (2000): *Konzepte sozialer Innovation*, Berlin, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (wzb paper P00-519)
- Gleich, Arnim von (1999): Vorsorgeprinzip. In: Bröchler, Stephan; Simonis, Georg; Sundermann, Karsten (Hg.): *Handbuch Technikfolgenabschätzung, Band 1*, Berlin, S. 287-294
- Gleich, Arnim von (2000): Zwischen Überleben und Gutem Leben. Leitbilder und Strategien der Nachhaltigkeit. In: *Ökologisches Wirtschaften*, Ausgabe 3-4, S. 25-26
- Gleich, Arnim von et al. (2000): *Gestaltungsoptionen für handlungsfähige Innovationssysteme zur erfolgreichen Substitution gefährlicher Stoffe*. Hamburg, Fachhochschule Hamburg (Antrag im Rahmen des BMBF Förderschwerpunkts „Rahmenbedingungen für Innovationen zum nachhaltigen Wirtschaften“)
- Gleich, Arnim von; Gottschick, Manuel; Jepsen, Dirk (2001): Wettbewerbsfähigkeit durch Nachhaltigkeitsorientierung. Marktveränderungen bieten neue Chancen. In: *Ökologisches Wirtschaften*, Ausgabe 1, S. 17-19
- Gleich, Arnim von; Rubik, Frieder (1996): *Umwelteinflüsse neuer Werkstoffe*, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure (VDI-Fortschrittsberichte Reihe 15, Nr. 149)
- Halfmann, Jost (1984): *Die Entstehung der Mikroelektronik. Zur Produktion des technischen Fortschritts*, Frankfurt am Main/New York
- Hartfiel, Günter (neu bearbeitet von Hillmann, Karl-Heinz) (1982): *Wörterbuch der Soziologie*, Stuttgart
- Hemmelskamp, Jens (1999): *Umweltpolitik und technischer Fortschritt*, Heidelberg
- Henderson, Rebecca M.; Clark, Kim B. (1990): Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. In: *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, pp. 9-30
- Henseling, Christine; Henseling, Karl-Otto (2001): *Das saubere Produkt-Ökologische Richtungssicherheit und Lebensstilorientierung*, Berlin, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (paper FS II 01-401)
- Hippel, Eric von (1988): *The Sources of Innovation*, New York

- Hirschl, Bernd; Hoffmann, Esther (2001): Vorwärts und nicht vergessen. Erneuerbare Energien und ihr Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung. In: Ökologisches Wirtschaften, Ausgabe 3-4, Spezial, S. 2/3
- Hirschl, Bernd; Konrad, Wilfried; Scholl, Gerd U.; Zundel, Stefan (2001): Nachhaltige Produktnutzung. Sozial-ökonomische Bedingungen und ökologische Vorteile alternativer Konsumformen, Berlin
- Hoffmann, Esther; Steinfeldt, Michael (2000): Evaluation der Projekte des Projektclusters „Arbeit und Umwelt“ im Rahmen des Förderprogramms „Perspektiven betrieblicher Arbeit“ der Berliner Senatsverwaltung für Arbeit, Soziales und Frauen. Berlin (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, unveröffentlichter Endbericht)
- Hoogma, Remco (2000): Exploiting Technological Niches, Enschede (unveröffentlichte Dissertation)
- Hübner, Kurt; Nill, Jan (2001): Nachhaltigkeit als Innovationsmotor. Herausforderungen für das deutsche Innovationssystem, Berlin
- ISOE [Institut für sozial-ökologische Forschung] (Hrsg.): Sozial-ökologische Forschung. Rahmenkonzept für einen neuen Förderschwerpunkt, Frankfurt/ Main 1999, Institut für sozial-ökologische Forschung
- Jänicke, Martin (2000): Ökologische Modernisierung als Innovation und Diffusion in Politik und Technik. Möglichkeiten und Grenzen eines Konzepts, Berlin, Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU-report 00-1)
- Kemp, René (1994): Technology and the transition to environmental sustainability. The problem of technological regime shifts. In: Futures, Vol. 26, No. 10, pp. 1023-1046
- Kemp, René (2000a): Incremental Steps and their Limits. Integrated Product Policy and Innovation. In: Ökologisches Wirtschaften, Ausgabe 6, S. 24/25
- Kemp, René (2000b): Technology and Environmental Policy: Innovation Effects of Past Policies and Suggestions for Improvement. In: OECD (Ed.): Innovation and the Environment, Paris, pp. 35-61
- Kemp, René (2001): Opportunities for a Green Industrial Policy from an Evolutionary Technology Perspective. In: Binder, Manfred; Jänicke, Martin; Petschow, Ulrich (Eds.): Green Industrial Restructuring, Berlin et al., pp. 151-169
- Kemp, René; Rip, Arie; Schot, Johan (2001): Constructing Transition of Paths Through The Management of Niches. In: Garud, Raghu; Karnoe, Peter (Eds.): Path Dependence and Creation, Norwood
- Kemp, René; Schot, Johan; Hoogma, Remco (1998): Regime Shifts to Sustainability through Processes of Niche Formation. The Approach of Strategic Niche Management. In: Technology Analysis and Strategic Management, Vol. 10, No. 2, pp. 175-195
- Kemp, René; Smith, K.; Becher, G. (2000): How Should We Study the Relationship between Environmental Regulation and Innovation? In: Hemmelskamp, Jens; Rennings, Klaus; Leone, Fabio (Eds.): Innovation-oriented Environmental Regulation. Theoretical Approaches and Empirical Analysis, Heidelberg, pp. 43-66
- Kern, Kristine (2000): Die Diffusion von Politikinnovationen. Umweltpolitische Innovationen im Mehrebenensystem der USA, Opladen

- Kieser, Alfred (1973): Voraussetzungen erfolgreicher Produktinnovation-Ergebnisse empirischer Untersuchungen. In: Grochla, Erwin et al. (Hg.): Produktinnovation als Instrument des Unternehmenswachstums, Dortmund, S. 9-22
- Klemmer, Paul; Lehr, Ulrike; Löbbe, Klaus (1999): Umweltinnovationen-Anreize und Hemmnisse, Berlin
- Kline, Stephen J.; Rosenberg, Nathan (1986): An Overview of Innovation. In: Landau, Ralph; Rosenberg, Nathan (Eds.): The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth, Washington D.C., pp. 275-306
- Konrad, Wilfried (1997): Politik als Technologieentwicklung. Europäische Liberalisierungs- und Integrationsstrategien im Telekommunikationssektor, Frankfurt am Main
- Konrad, Wilfried; Paul, Gerd (1999): Innovation in der Softwareindustrie. Organisation und Entwicklungsarbeit, Frankfurt am Main
- Koschnik, Wolfgang J. (1992): Standardwörterbuch für die Sozialwissenschaften, Band 2, Teil 1 A-L, München et al.
- Kottmann, Heinz; Hoffmann, Esther; Nill, Jan (1999): Komplexer Zusammenhang. Innovationswirkungen von Umweltmanagementsystemen. In: Ökologisches Wirtschaften, Ausgabe 5-6, S. 30-31
- Kowol, Uli; Krohn, Wolfgang (1995): Innovationsnetzwerke. Ein Modell der Technikgenese. In: Halfmann, Jost; Bechmann, Gotthard; Rammert, Werner (Hg.), Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 8, Frankfurt am Main/New York, S. 77-105
- Krohn, Wolfgang (2000): Wissenschaftssoziologie: Zwischen Modernisierungstheorie und Sozialkonstruktivismus auf schwankendem epistemischem Boden. In: Münch, Richard; Jauß, Claudia; Stark, Carsten (Hg.): Soziologie 2000. Kritische Bestandsaufnahme zu einer Soziologie für das 21. Jahrhundert, Soziologische Revue, Sonderheft 5, München, S. 314-325
- Kuhn, Thomas S. (1962): The Structure of Scientific Revolutions, Chicago
- Lehr, Petra (2000): Integrierter Umweltschutz im Innovationsprozess industrieller Unternehmen, Frankfurt am Main
- Lehr, Ulrike; Löbbe, Klaus (1999): Umweltinnovationen – Anreize und Hemmnisse. In: Ökologisches Wirtschaften, Ausgabe 2, S. 13-15
- Lucas, Rainer (1998): Innovationsaufgabe nachhaltige Regionalentwicklung. In: Ökologisches Wirtschaften, Ausgabe 5, S. 10-11
- Lundvall, Bengt-Åke (1988): Innovation as an Interactive Process. From User-Producer Interaction to National Systems of Innovation. In: Dosi, Giovanni; Freeman, Christopher; Nelson, Richard; Silverberg, Gerald; Soete, Luc (Eds.): Technical Change and Economic Theory, London/New York, pp. 349-369
- Lundvall, Bengt-Åke (1992): Introduction. In: Lundvall, Bengt-Åke (Ed.): National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning, London, pp. 1-19
- Lutz, Burkart (1990): Technikforschung und Technologiepolitik: Förderstrategische Konsequenzen eines wissenschaftlichen Paradigmenwechsels. In: WSI Mitteilungen, Heft 10, S. 614-622

- Mayntz, Renate (1992): Modernisierung und die Logik von interorganisatorischen Netzwerken. In: Journal für Sozialforschung, Jg. 32, Heft 1, S. 19-32
- Meißner, Wolfgang (1989): Innovation und Organisation. Die Initiierung von Innovationsprozessen in Organisationen, Stuttgart
- Meyerhoff, Jürgen; Petschow, Ulrich (1997): Umweltverträglichkeit kleiner Wasserkraftwerke – Zielkonflikte zwischen Klima- und Gewässerschutz, Berlin, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (Schriftenreihe Nr. 124/97)
- Mill, Ulrich; Weißbach, Hans-Jürgen (1992): Vernetzungswirtschaft. Ursachen, Funktionsprinzipien, Funktionsprobleme. In: Malsch, Thomas; Mill, Ulrich (Hg.): ArBYTE. Modernisierung der Industriosozologie?, Berlin, S. 315-342
- Minsch, Jürg; Eberle, Armin; Meier, Bernhard; Schneidewind, Uwe (1996): Mut zum ökologischen Umbau. Innovationsstrategien für Unternehmen, Politik und Akteursnetze, Basel
- Nelson, Richard R. (1993): A Retrospective. In: Nelson, Richard R. (Ed.): National Innovation Systems: A Comparative Analysis, New York
- Nelson, Richard R. (1995): Recent Evolutionary Theorizing about Economic Change. In: Journal of Economic Literature, Vol. 23, March, pp. 48-90
- Nelson, Richard R.; Winter, Sidney (1977): In search of a useful theory of innovation. In: Research Policy, Vol. 6, No. 1, pp. 36-77
- Nelson, Richard R.; Winter, Sidney (1982): An Evolutionary Theory of Economic Change, Cambridge
- Nill, Jan (2000): Die Brennstoffzelle im Auto-Antrieb eines Umweltinnovationswettbewerbs mit Zukunft? Berlin, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (Diskussionspapier Nr. 48/00)
- Nill, Jan; Einacker, Ingo; Korbun, Thomas; Nordbeck, Ralf; Peine, Alexander (2001): Nachhaltigkeitsstrategien. Neuere Ansätze für innovative politische Langfriststrategien und Probleme ihrer Anwendung im Handlungsfeld Mobilität und Verkehr. Berlin, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (Schriftenreihe Nr. 158/01, im Erscheinen)
- Nowotny, Helga (1997): Die Dynamik der Innovation. Über die Multiplizität des Neuen. In: Rammert, Werner; Bechmann, Gotthard (Hg.): Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 9, Frankfurt am Main/New York, S. 33-54
- OECD [Organisation for Economic Co-operation and Development]; Eurostat (1997): Oslo Manual. Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data, Paris
- Oertel, Dagmar; Fleischer, Torsten (2000): TA-Projekt „Brennstoffzellen-Technologie“. Endbericht, Berlin, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (Arbeitsbericht Nr. 67)
- Petschow, Ulrich; Hübner, Kurt; Dröge, Susanne; Meyerhoff, Jürgen (1998): Nachhaltigkeit und Globalisierung. Berlin et al.
- Petschow, Ulrich; Krause, Gunnar; Sauter, Raphael (2000): Arbeitsmarktentwicklung: Dimensionen und Ursachen der Beschäftigungskrise, Strukturen des Arbeitsmarktes und Folgen

- für die Arbeitsmarkteffekte von Umwelt- und Ressourcenschutz. Berlin, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (unveröffentlichte Studie für das TAB)
- Preece, David (1995): *Organisations and Technical Change: Strategy, Objectives and Involvement*, London
- Porter, Michael E. (1991): *America's Green Strategy*. In: *Scientific American*, Vol. 264, No. 4, p. 96
- Porter, Michael E.; Linde, Claas van der (1995): *Towards a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship*. In: *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 9, No. 4, pp. 97-118
- PÖW [Projektgruppe Ökologische Wirtschaft] (Hg.) (1987): *Produktlinienanalyse. Bedürfnisse, Produkte und ihre Folgen*, Köln
- Rammert, Werner (1992): *Entstehung und Entwicklung der Technik: Der Stand der Forschung zur Technikgenese in Deutschland*. In: *Journal für Sozialforschung*, Jg. 32, Heft 2, S. 177-208
- Rammert, Werner (1997a): *Auf dem Weg zu einer post-schumpeterianischen Innovationsweise. Institutionelle Differenzierung, reflexive Modernisierung und interaktive Vernetzung im Bereich der Technikentwicklung*. In: Bieber, Daniel (Hg.): *Technikentwicklung und Industriearbeit. Industrielle Produktionstechnik zwischen Eigendynamik und Nutzerinteressen*, Frankfurt am Main/New York, S. 45-71
- Rammert, Werner (1997b): *Innovation im Netz. Neue Zeiten für technische Innovationen: heterogen verteilt und interaktiv vernetzt*. In: *Soziale Welt*, Jg. 48, Heft 4, S. 397-416
- Renn, Ortwin; Léon, Christian D.; Clar, Günter (2000): *Nachhaltige Entwicklung in Baden-Württemberg. Statusbericht 2000-Langfassung*, Stuttgart, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg (Arbeitsbericht Nr. 173)
- Rennings, Klaus (1994): *Indikatoren für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung*. Stuttgart
- Rennings, Klaus (2000): *Redefining Innovation-Eco-Innovation Research and the Contribution from Ecological Economics*. In: *Ecological Economics*, Vol. 32, pp. 319-332
- Rosenberg, Nathan (1994): *Exploring the Black Box. Technology, Economics, and History*, Cambridge
- Rubik, Frieder (2000a): *Innovationen durch die Umweltpolitik – Integrierte Produktpolitik (IPP) in Deutschland*, Heidelberg/Berlin
- Rubik, Frieder (2000b): *Integrierte Produktpolitik in Europa-Initiativen und Herausforderungen*. In: *Ökologisches Wirtschaften*, Ausgabe 6, S. 10-12
- Rubik, Frieder (2001): *Integrierte Produktpolitik – Konzeptionen, Erfahrungen und Herausforderungen*, Marburg (forthcoming)
- Rubik, Frieder; Grotz, Susanne; Scholl, Gerd (1996): *Ökologische Entlastungseffekte durch Produktbilanzen*, Karlsruhe, Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Projekt „Angewandte Ökologie“ Band 19)
- Ruttan, Vernon W. (1997): *Induced Innovation, Evolutionary Theory and Path Dependence: Sources of Technical Change*. In: *The Economic Journal*, 107, pp. 1520-1529.

- Saretzki, Thomas (1999): TA als diskursiver Prozess. In: Bröchler, Stephan; Simonis, Georg; Sundermann, Karsten (Hg.): Handbuch Technikfolgenabschätzung, Band 2, Berlin, S. 641-654
- Sauer, Dieter (1999): Perspektiven sozialwissenschaftlicher Innovationsforschung – Eine Einleitung. In: Sauer, Dieter; Lang, Christa (Hg.): Paradoxien der Innovation. Perspektiven sozialwissenschaftlicher Innovationsforschung, Frankfurt am Main/New York, S. 9-22
- Schäfers, Bernhard (1990): Gesellschaftlicher Wandel in Deutschland. Ein Studienbuch zur Sozialstruktur und Sozialgeschichte der Bundesrepublik, Stuttgart
- Schmookler, Jacob (1966): Invention and economic growth, Cambridge
- Schneidewind, Uwe (1995): Chemie zwischen Wettbewerb und Umwelt, Marburg
- Schrader, Bettina (2000): Ökologische Innovationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen, Berlin, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (Schriftenreihe Nr. 152/00)
- Schulz-Schaeffer, Ingo (2001): Bereichsrezension: Techniksoziologie. In: Soziologische Revue, Jg. 24, Heft 1, S. 129-133
- Schumpeter, Joseph A. (1926): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung, Leipzig (2. Auflage, Original 1911)
- Schumpeter, Joseph A. (1939): Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process, New York
- Sellien, Reinhold; Sellien, Helmut (Hg.) (1979): Gablers Wirtschaftslexikon, Wiesbaden
- Serres, Michel; Farouki, Nayla (Hg.) (2001): Thesaurus der exakten Wissenschaften, Frankfurt am Main
- Solow, Robert M. (1956): A Contribution to the Theory of Economic Growth. In: Quarterly Journal of Economics, Vol. 70, No. 1, pp. 65-94
- Stahlmann, Volker; Clausen, Jens (2000): Umweltleistung von Unternehmen: von der Öko-Effizienz zur Öko-Effektivität, Wiesbaden
- Steinmüller, Karlheinz (1999a): Methoden der TA – ein Überblick. In: Bröchler, Stephan; Simonis, Georg; Sundermann, Karsten (Hg.): Handbuch Technikfolgenabschätzung, Band 2, Berlin, S. 655-667
- Steinmüller, Karlheinz (1999b): Szenarien in der Technikfolgenabschätzung. In: Bröchler, Stephan; Simonis, Georg; Sundermann, Karsten (Hg.): Handbuch Technikfolgenabschätzung, Band 2, Berlin, S. 669-677
- Tidd, Joe; Bessant, John; Pavitt, Keith (1997): Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organisational Change, New York
- Umweltbundesamt (1999): Bewertung in Ökobilanzen. Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043, Version '99, Berlin
- Verbund Sozialwissenschaftliche Technikforschung (1997): Paradoxien der Innovation. Perspektiven eines gesellschaftlichen Innovationsmanagements unter den Bedingungen der Globalisierung (Programm). In: Mitteilungen des Verbund Sozialwissenschaftliche Technikforschung, Heft 19, S. 11-39

- Vergragt, Philip J. (1999): Leap-frogging to Sustainable Households, paper prepared for the 8th Greening of Industry Conference, Delft
- Weaver, Paul; Jansen, Leo; Grootveld, Geert van; Spiegel, Egbert van; Vergragt, Philip (2000): Sustainable Technology Development, Sheffield
- Weber, Matthias; Hoogma, Remco; Lane, Ben; Schot, Johan (1999): Experimenting with Sustainable Transport Innovations. A Workbook for Strategic Niche Management, Sevilla/Enschede, Institute for Prospective Technology Studies/University of Twente
- Weingart, Peter (1989): Einleitung. In: Weingart, Peter (Hg.): Technik als sozialer Prozess, Frankfurt am Main, S. 8-14
- Welsch, Johann (1993): Forschung und Technologie an der Schwelle zum 21. Jahrhundert. Nationale Innovationssysteme im Umbruch. In: WSI Mitteilungen, Jg. 46, Heft 5, S. 282-293
- Wengel, Jürgen; Lay, Gunter; Nylund, Annette; Bager-Sjögren, Lars; Stoneman, Paul; Bellini, Nicola; Bonaccorsi, Andrea; Shapira, Philip (2000): Surveying Organisational Innovation on a European Level – Challenges and Options. Final Report. Karlsruhe, Fraunhofer-ISI (Final Report)
- Williams, Robin; Edge, David (1992): The Social Shaping of Technology: Research Concepts and Findings in Great Britain. In: Dierkes, Meinolf; Hoffmann, Ute (Eds.): New Technology at the Outset. Social Forces in the Shaping of Technological Innovations, Frankfurt am Main/New York, pp. 31-61
- Williamson, Oliver E. (2000): The new institutional economics: taking stock, looking ahead. In: Journal of Economic Literature, Vol. XXXVIII, Sept., pp 595-613.
- Windrum, Paul (1999): Unlocking a Lock-in: Towards a Model of Technological Succession, Maastricht, Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology (Research Memorandum 99-010)
- Witt, Ulrich (1997): „Lock-in“ vs. „critical masses“-industrial change under network externalities. In: International Journal of Industrial Organization, Vol. 14, pp. 753-773
- Zimmermann, Klaus W.; Otter, Nils; Stahl, Dieter; Wohltmann, Matthias (1998): Innovationen jenseits des Marktes, Berlin
- Zundel, Stefan (1999): Prometheus lässt grüßen. Überlegungen zum Verhältnis von Umwelt und Innovation. In: Ökologisches Wirtschaften, Ausgabe 2, S. 10-13
- Zundel, Stefan; Robinet, Karin; Braun, Joachim (1995): Förderinstrumente und wirtschaftliche Entwicklung, Berlin, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (unveröffentlichter Endbericht einer Studie für das TAB)

Publikationen des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung

Das IÖW veröffentlicht die Ergebnisse seiner Forschungstätigkeit in einer Schriftenreihe, in Diskussionspapieren sowie in Broschüren und Büchern. Des Weiteren ist das IÖW Mitherausgeber der Fachzeitschrift „Ökologisches Wirtschaften“, die allvierteljährlich im oekom-Verlag erscheint, und veröffentlicht den IÖW-Newsletter, der regelmäßig per Email über Neuigkeiten aus dem Institut informiert.

Schriftenreihe/Diskussionspapiere



Seit 1985, als das IÖW mit seiner ersten Schriftenreihe „Auswege aus dem industriellen Wachstumsdilemma“ suchte, veröffentlicht das Institut im Eigenverlag seine Forschungstätigkeit in Schriftenreihen. Sie sind direkt beim IÖW zu bestellen und auch online als PDF-Dateien verfügbar. Neben den Schriftenreihen veröffentlicht das IÖW seine Forschungsergebnisse in Diskussionspapieren – 1990 wurde im ersten Papier „Die volkswirtschaftliche Theorie der Firma“ diskutiert. Auch die Diskussionspapiere können direkt über das IÖW bezogen werden. Informationen unter www.ioew.de/schriftenreihe_diskussionspapiere.

Fachzeitschrift „Ökologisches Wirtschaften“



Ausgabe 2/2010

Das IÖW gibt gemeinsam mit der Vereinigung für ökologische Wirtschaftsforschung (VÖW) das Journal „Ökologisches Wirtschaften“ heraus, das in vier Ausgaben pro Jahr im oekom-Verlag erscheint. Das interdisziplinäre Magazin stellt neue Forschungsansätze in Beziehung zu praktischen Erfahrungen aus Politik und Wirtschaft. Im Spannungsfeld von Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft stellt die Zeitschrift neue Ideen für ein zukunftsfähiges, nachhaltiges Wirtschaften vor. Zusätzlich bietet „Ökologisches Wirtschaften online“ als Open Access Portal Zugang zu allen Fachartikeln seit der Gründung der Zeitschrift 1986. In diesem reichen Wissensfundus können Sie über 1.000 Artikeln durchsuchen und herunterladen. Die Ausgaben der letzten zwei Jahre stehen exklusiv für Abonnent/innen zur Verfügung. Abonnement unter: www.oekom.de.

IÖW-Newsletter

Der IÖW-Newsletter informiert rund vier Mal im Jahr über Neuigkeiten aus dem Institut. Stets über Projektergebnisse und Veröffentlichungen informiert sowie die aktuellen Termine im Blick – Abonnement des Newsletters unter www.ioew.de/service/newsletter.

Weitere Informationen erhalten Sie unter www.ioew.de oder Sie kontaktieren die

IÖW-Geschäftsstelle Berlin
Potsdamer Straße 105
10785 Berlin
Telefon: +49 30-884 594-0
Fax: +49 30-882 54 39
Email: [vertrieb\(at\)ioew.de](mailto:vertrieb(at)ioew.de)



| i | ö | w

INSTITUT FÜR
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

GESCHÄFTSTELLE BERLIN

MAIN OFFICE

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

BÜRO HEIDELBERG

HEIDELBERG OFFICE

Bergstraße 7

69120 Heidelberg

Telefon: + 49 – 6221 – 649 16-0

Fax: + 49 – 6221 – 270 60

mailbox@ioew.de

www.ioew.de