ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Hemmelskamp, Jens

Working Paper — Digitized Version

Umweltpolitik und Innovation: Grundlegende Begriffe und Zusammenhänge

ZEW Discussion Papers, No. 96-23

Provided in Cooperation with:
ZEW - Leibniz Centre for European Economic Research

Suggested Citation: Hemmelskamp, Jens (1996) : Umweltpolitik und Innovation: Grundlegende Begriffe und Zusammenhänge, ZEW Discussion Papers, No. 96-23, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/29399

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Discussion Paper

Discussion Paper No. 96-23

Umweltpolitik und Innovation – Grundlegende Begriffe und Zusammenhänge

Jens Hemmelskamp

W 636 (96.23)

05. DEZ. 1996 Weltwirtschaft Kiel
W 636 (96.23)

ZEW

Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH

Environmental Economics and Logistics Series

Umweltpolitik und Innovation - Grundlegende Begriffe und Zusammenhänge

von

Jens Hemmelskamp[+]

Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim, Germany

Oktober 1996

Zusammenfassung:

Im Rückgriff auf die Innovationsforschung wird ein Ansatz für eine gemeinsame Sprache und eine konsistente Systematik für Innovationen im Umweltbereich entwikkelt. Dazu werden einige allgemeine Begriffsdefinitionen der Innovationsforschung erläutert, der Begriff Umweltinnovation eingeführt und die Unterschiede zwischen technologischen und organisatorischen Umweltschutzinnovationen herausgearbeitet. Zudem werden die grundlegenden Charakteristika des technischen Wandels beschrieben und dabei wesentliche Aspekte des Innovationsprozesses bei Umweltinnovationen hervorgehoben.

[+] Für kritische Anregungen und Kommentare zu einer früheren Fassung dieses Papiers möchte ich insbesondere Horst Steg (VDI/VDE-IT) und Najib Harabi (ETH-Zürich) sowie meinen Kollegen Georg Licht, Klaus Rennings und Henrike Koschel danken.

1 Einführung

1.1 Unklare Begriffsabgrenzungen

Die Diskussion im Kontext von umwelttechnischem Fortschritt, Innovation und Umweltpolitik zeichnet sich durch eine Vielfalt von Begriffen und Definitionen aus. So wird von nachsorgenden, additiven, nachgeschalteten und end-of-pipe oder von vorsorgenden, sauberen oder integrierten Umweltschutztechnologien gesprochen. Daneben werden verschiedene Begriffe der Innovationsforschung, wie inkrementelle oder radikale Innovationen, verwendet, um umweltrelevanten technischen Wandel zu beschreiben. Die Liste gängiger Begriffe ließe sich noch beliebig verlängern. Neben der Vielfalt bestehen zudem erhebliche Unterschiede in den jeweiligen Definitionen der einzelnen Begriffe. In der Folge ergeben sich mitunter Verwirrungen und methodische Probleme.

So werden in einer Untersuchung des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag über die Umwelttechnik und ihre wirtschaftliche Bedeutung die Kategorien Umwelttechnik und Umweltschutzdienstleistungen unterschieden (COENEN, R et al. 1995:21ff.). Der technische Umweltschutz wird seinerseits in vier Bereiche gegliedert, denen verschiedene Umwelttechniken und Umweltschutzgüter zugeordnet werden. Diese sind:

- Nachsorgender Umweltschutz: Techniken, mit denen sich bereits eingetretene Umweltbelastungen wie eine Bodenkontamination beseitigen oder Rückstände aus der industriellen Produktion recyceln lassen.
- Kompensatorischer Umweltschutz: Verfahren zur Erhöhung der Belastungsfähigkeit bzw. der Verarbeitungsfähigkeit der Umweltmedien.
- Vorsorgender Umweltschutz: Nachgeschaltete und integrierte Techniken, die Abwasser, Abwärme und Abfälle aus Produktions- und Konsumtionsprozessen verringern.
- Umweltbeobachtung: Techniken zur Messung von Emissionen und zur Überwachung der Wasser-, Luft- und Bodenqualität.

Eine Systematisierung nach den Umweltschutzzielen von Innovationen wird von Radke gewählt (RADKE 1996:115f.). Radke unterscheidet Maßnahmen zur:

- Effizienzsteigerung bei der Ressourcengewinnung,
- Verbesserung der Ressourcenverwertung im Produktionsprozeß und
- Reduzierung der Umweltbelastung im Produktions- und Konsumtionsprozeß.

ADLER et al. (1994:13f.) unterscheiden Innovationen im Bereich des Umweltschutzes nach den Ansatzpunkten der Umweltschutzmaßnahmen. Dies sind:

- vorsorgende bzw. integrierte Umwelttechniken,

- nachsorgende, additive Umwelttechniken und Recyclingtechniken,
- umweltbezogene Meß-, Regel- und Analysetechniken und
- umweltbezogene Dienstleistungen.

Alle drei Systematiken weisen Schwächen auf. In der Systematik von Radke werden Innovationen zur Effizienzsteigerung beim Ressourceneinsatz im Produktionsprozeß und Innovationen zur Verringerung von Emissionen getrennt. Diese Abgrenzung ist unscharf, da Innovationen beide Effekte gleichzeitig erreichen können. Eine effizientere Ressourcennutzung ist beispielsweise oftmals auch mit geringeren Emissionen im Produktionsprozeß verbunden. Die Systematik von ADLER et al. (1994) ist nicht konsistent, da einerseits zwischen verschiedenen Techniken, die sowohl im Verarbeitenden Gewerbe wie auch im Dienstleistungsgewerbe eingesetzt werden, und andererseits in einen spezifischen Wirtschaftsbereich „umweltbezogene Dienstleistungen" differenziert wird.

Im Vergleich der Systematiken wird deutlich, daß spezifische Technologien verschiedenen, sich teilweise widersprechenden Kategorien zugeordnet werden können. So werden beispielsweise Techniken zur Abwasserbehandlung von COENEN et al. (1995) als eine Technik des nachsorgenden Umweltschutzes definiert. In der Systematik von ADLER et al. (1994) hingegen wird die Abwasserbehandlung als eine nachsorgende und additive Umwelttechnik interpretiert. Additive Umwelttechniken zählen jedoch gemäß der Systematik von Coenen et al. zum Bereich des vorsorgenden Umweltschutzes.

Aufgrund dieser Abgrenzungsprobleme ist es für die Untersuchung des Zusammenhangs von Umweltpolitik und Innovation notwendig, ein Begriffsverständnis zu finden, welches semantische Mißverständnisse vermeidet und Forschungsergebnisse vergleichbar macht. Im folgenden wird dazu - im Rückgriff auf Definitionen der Innovationsforschung - ein Ansatz für eine gemeinsame Sprache und eine konsistente Systematik für Innovationen im Umweltbereich entwickelt. Es muß jedoch bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß auch hier Abgrenzungen nicht immer trennscharf vorgenommen werden können.

1.2 Integrierte Betrachtung der Innovationseffekte umweltpolitischer Instrumente

Weiterhin scheint es erforderlich, das Verständnis über die Abläufe von Innovationsprozessen in Unternehmen zu diskutieren. Bislang wurden die Innovationseffekte umweltpolitischer Instrumente im Rahmen der Instrumentendiskussion zumeist unter dem Kriterium der dynamischen Effizienz untersucht. Die Mehrzahl der dazu vorliegenden Untersuchungen sind theoretische Arbeiten. Darin wird die Wirkung einzelner umweltpolitischer Instrumente meist isoliert analysiert. Verschiedene Faktoren, die einen entscheidenden Einfluß auf die Innovationswirkungen umweltpolitischer Instrumente haben können, werden in den Modellen nicht oder nur ungenügend berücksichtigt (BECHER 1993:69; KEMP 1994:62; HEMMELSKAMP 1996). Faktoren, die die Intensität

und Wirkungsrichtung von umweltpolitischen Instrumenten beeinflussen können, sind beispielsweise:

- sozio-ökonomische und technologische Bestimmungsfaktoren,
- der Zeitpunkt des Eingriffs,
- die zeitliche Dimension der Wirkungsanalyse,
- das Analyseobjekt (Unternehmen, Branche, Volkswirtschaft),
- die Regulierungsintensität,
- die Ausdifferenzierung der Instrumente und
- die Formen und die Umsetzung von Sanktionen .

Aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung von umweltpolitischen Instrumenten und anderen Bestimmungsfaktoren des Innovationsverhaltens erscheint es sinnvoll, die Wechselwirkungen von umweltpolitischen Instrumenten u.a. mit weiteren Regulierungsinstrumenten, den Charakteristika der durch Umweltregulierungen betroffenen Unternehmen oder der Struktur des durch Umweltregulierungen betroffenen Marktes zu berücksichtigen (KEMP 1994:62; BECHER 1993:69; ASHFORD 1993:280f.).

Sowohl die Begriffsdefinitionen als auch eine umfassende Analyse der innovativen Wirkungen umweltpolitischer Instrumente sollte darum stärker auf die Erkenntnisse der Innovationsforschung zurückgreifen, um den Bezug zwischen dem Innovationsverhalten von Unternehmen und dem Umweltschutz herzustellen. Dadurch würde die Kompatibilität der Forschungsergebnisse zum Zusammenhang von Umweltpolitik und Innovation mit den Erkenntnissen der Innovationsforschung erreicht und ein besserer Einblick in die Beweggründe für umweltschonende Innovationen und deren Diffusion ermöglicht.

1.3 Aufbau des Berichts

Im folgenden werden zunächst Definitionen erarbeitet, die als Diskussionsgrundlage für die Festlegung eines gemeinsamen Innovationsverständnisses im Rahmen von Untersuchungen zum umwelttechnischen Fortschritt dienen können und die helfen, bestehende semantische Mißverständnisse zu beseitigen. Weiterhin werden Begriffsabgrenzungen der OECD diskutiert, die für eine vergleichende Analyse der Innovationswirkungen von umweltpolitischen Instrumenten - vor allem auf der Mikroebene - hilfreich sein können (OECD 1992a und 1996). Diese von der OECD im OSLO-Manual veröffentlichten und zur Zeit in Überarbeitung befindlichen Richtlinien wurden insbesondere für Untersuchungen zum Innovationsverhalten von Unternehmen entwickelt und bilden heute eine allgemein anerkannte Grundlage für die Erhebung und Interpretation von Daten zum Innovationsverhalten von Unternehmen. Die Richtlinien werden beispielsweise für die im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) vom Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung jährlich durchgeführte deutsche Innovationserhebung, dem Mannheimer Innovationspanel, angewendet (vgl. u.a. FELDER et al. 1995). Die Übertragung dieser

Richtlinien auf die Analyse des Zusammenhangs von Umweltpolitik und Innovation gewährleistet begriffliche Konsistenz mit anderen Studien der Innovationsforschung.

Im einzelnen werden in Abschnitt 2 zunächst einige allgemeine Begriffsdefinitionen der Innovationsforschung erläutert. Anschließend wird in Abschnitt 3 der Begriff Umweltinnovation eingeführt und es werden die Unterschiede zwischen technologischen und organisatorischen Umweltschutzinnovationen beschrieben. Im speziellen werden zudem die Charakteristika von Innovationen im Bereich integrierter und additiver Technologien und die Schwierigkeiten ihrer empirischen Erfassung erläutert. In Abschnitt 4 werden wesentliche Charakteristika des technischen Wandels beschrieben. Dabei wird auf die Ansätze der neoklassischen und der evolutorischen Innovationsökonomik zurückgegriffen und es werden die wesentlichen Aspekte des Innovationsprozesses bei Umweltinnovationen hervorgehoben.

2 Begriffsdefinitionen in der Innovationsforschung - Innovationstypen

Der Begriff Innovation wird in der wissenschaftlichen und politischen Diskussion in vielfacher Weise interpretiert. Sehr eingeschränkt können Innovationen in einer objektbezogenen Interpretation auf technische Neuerungen eingegrenzt werden. Eine viel breitere Definition liefert SCHUMPETER (1912), der neben technischen Innovationen auch die Erschließung neuer Bezugs- und Absatzmärkte sowie die Durchführung einer betrieblichen Neuorganisation aufführt. Grundsätzlich können damit auf Unternehmensebene die Einführung neuer Produkte (Güter und Dienstleistungen) und Produktionsverfahren sowie organisatorische Veränderungen im Aufbau eines Unternehmens unterschieden werden. Die Innovationsdefinition von Schumpeter umfaßt Neuerungen, die zu einer erstmaligen Anwendung neuen Wissens, neuer Verfahren oder neuer Produkte führen. Zudem werden Neuerungen erfaßt, bei denen keine neuen Technologien eingesetzt, sondern beispielsweise nur Produktdesignveränderungen vorgenommen wurden. Erstere werden als Basisinnovationen bezeichnet, die grundlegende Neuerungen für die Wirtschaft darstellen und neue Märkte und Industriezweige entstehen lassen. Letztere sind Verbesserungsinnovationen mit geringem Neuigkeitsgrad, die Weiterentwicklungen bereits vorliegender Produkte, Prozesse oder Organisationsformen darstellen und für bestehende Märkte neue Entwicklungsmöglichkeiten eröffnen.

Obwohl sich Produkt-, Prozeß- sowie organisatorische Innovationen theoretisch gut abgrenzen lassen, erweist sich dies in empirischen Untersuchungen jedoch aufgrund von Wechselbeziehungen als schwierig. So sind für die Umsetzung von Produkt- in der Regel auch Prozeßinnovationen notwendig oder die Durchführung von Produkt- und Prozeßinnovationen ist eng mit parallelen organisatorischen Innovationen verbunden (ROSENBERG 1982:237). Ebenso ist die Entwicklung und Markteinführung eines neuen Produktes, z.B. eines Sensors, für das produzierende Unternehmen eine Produktinnovation. Die Nutzung dieser Sensoren zur Messung von Temperaturen oder

Schadstoffemissionen durch ein anderes Unternehmen im Rahmen seiner Produktion stellt für dieses eine Prozeßinnovation dar.

Zusätzlich zur Unterscheidung in Produkt-, Prozeß- und organisatorische Innovationen können Innovationen auch nach ihrer Neuigkeit unterteilt werden. Verbesserungsinnovationen erfolgen kontinuierlich und sind Neuerungen an bestehenden Produkten oder Prozessen. Basisinnovationen stellen einen grundlegende Neuerung dar, die deutliche Veränderungen für die Wirtschaft zur Folge haben können. Aber die Unterscheidung von Innovationen nach ihrer Neuigkeit in Basis- und Verbesserungsinnovationen ist meist zu ungenau. Dieses Dilemma resultiert aus dem jeweiligen Bezugsrahmen. Innovationen auf Unternehmensebene haben aus subjektiver Sicht eher den Charakter von grundlegenden Neuerungen - d.h. von Basisinnovationen - unabhängig davon, ob diese Innovationen bereits in anderen Unternehmen genutzt werden. Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene hingegen entspricht eine Basisinnovation einer Neuerung, die bis dahin noch nicht zur Anwendung gekommen ist (ERDMANN 1993:209). Mithin kann bei Innovationsstudien das Problem auftreten, daß bei einer einzelwirtschaftlichen Analyse Innovationen untersucht werden, die aus einer gesamtwirtschaftlichen Sicht zu einer Imitation generieren (PFIRRMANN 1991:54f). Der erstmalige Einsatz eines Emissionsfilters kann beispielsweise für einen Produktionszweig eine grundlegende Neuerung darstellen, während diese Innovation auf gesamtwirtschaftlicher Ebene nur von geringer Bedeutung ist und heute nicht mehr als grundlegende Neuerung angesehen werden kann.

Um die aus diesen ungenauen Begriffsabgrenzungen resultierenden unterschiedlichen Definitionen und Untersuchungsgegenstände in der Innovationsforschung zu verringern, hat die OECD (1992a) mit dem Oslo-Handbuch einen allgemeinen Definitionsrahmen für Innovationsbegriffe erstellt. Der Innovationsbegriff des Oslo-Handbuchs der OECD verengt die Diskussion jedoch stark auf technologische Innovationen im Verarbeitenden Gewerbe. Veränderungen der Organisationsformen oder der Managementmethoden, die Erschließung neuer Absatzwege oder neuer Beschaffungsmärkte werden nicht berücksichtigt und die Dienstleistungsbranche nicht explizit erwähnt. Wenngleich organisatorische Innovationen oftmals in einem engen Zusammenhang mit den anderen Innovationstypen auftreten - insbesondere mit Prozeßinnovationen - erscheint es dennoch aufgrund der steigenden Bedeutung von organisatorischen Innovationen (z.B. im Rahmen von lean-management oder lean-production Konzepten) notwendig, diese Art von Innovationen explizit zu erfassen.

Diese Mängel des Oslo-Handbuchs werden zur Zeit von internationalen Experten der „Group of National Experts on Science and Technology Indicators" diskutiert. Dabei sollen insbesondere die Erfahrungen der nationalen Innovationserhebungen und des 1993/1994 von der EU-Kommission und EUROSTAT initiierten europaweiten „Community Innovation Surveys (CIS)" einfließen (LICHT/ROST 1995). Bislang liegen nur Diskussionsentwürfe für eine überarbeitete Fassung des Oslo-Handbuchs vor.

So wird im Oslo-Handbuch bislang zwischen technologischen Produkt- und Prozeßinnovation im Verarbeitenden Gewerbe unterschieden. Im Entwurf der überarbeiteten Version wird nun allgemein von Produkt- und Prozeßinnovationen gesprochen und damit die Einengung auf technologische Innovationen aufgehoben. „P&P innovation activities are all those scientific, technological, organisational, financial and commercial steps, including investment in new knowledge which actually, or are intended to lead to, the implementation of new or improved products of processes" (OECD 1996:8f.). Es wird aber betont, daß die Differenzierung in Produkt- und Prozeßinnovationen im Dienstleistungsgewerbe schwierig ist (OECD 1996:3).

Unter Produktinnovationen wird im Entwurf für die überarbeitete Fassung des Oslo-Handbuchs von der OECD die Markteinführung neuer, bislang unbekannter Technologien, die Nutzung bekannter Technologien für neue Anwendungen sowie die Investition in neues Wissen (new product innovation) und die Leistungsverbesserung von Produkten (improved product innovation) durch die Verwendung neuer Materialien, Betriebsstoffe oder neuer funktionaler Produktbestandteile verstanden (OECD 1996:3f.). Als Beispiel für Basisinnovationen bei Produkten wird die Einführung von Videorecordern angeführt und für Verbesserungsinnovation die auf der Videotechnik basierende Einführung von Videokameras.

Prozeßinnovationen beziehen sich nach Auffassung der OECD auf den unternehmensinternen Übergang zu neuen oder wesentlich verbesserten Produktionsverfahren einschließlich der Methoden zur Produktdistribution, d.h. Verfahren, die es ermöglichen, eine gegebene Menge mit niedrigeren Kosten bzw. eine größere Menge mit gleichen Kosten zu produzieren. Prozeßinnovationen umfassen sowohl Veränderungen der Prozeßtechnologien als auch des Weiterbildungssystems und der Produktionsorganisation (OECD 1996:4).

Als Innovationsbegriff wird für die Analyse von Umweltinnovationen eine relativ weite und mikroökonomische Interpretation vorgeschlagen. Demnach umfassen Innovationen sowohl technische Neuerungen in Form neuer Produkte oder Prozesse und darüber hinaus auch organisatorische Innovationen. Während Schumpeters Innovationsbegriff die Marktneuheit verlangt und damit Innovationen auf einer volkswirtschaftlichen Ebene betrachtet, wird eine unternehmensspezifische Sichtweise vorgeschlagen. Damit wird das schwierige Problem der Abgrenzung von Innovationen in der Praxis verringert. Zudem werden gerade die für den Umweltschutz wichtigen Neuerungen auf Unternehmensebene, d.h. die Diffusion und Adaption von Umweltinnovationen, adäquat erfaßt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß Innovationen auf Unternehmensbene untersucht und dabei in drei Kategorien unterteilt werden sollten: Produkt-, Prozeß- und organisatorische Innovationen. Dabei sollte die Untersuchung das Verarbeitenden Gewerbe und auch den Dienstleistungssektor erfassen. Im einzelnen wird von folgenden Definitionen ausgegangen:

- Produktinnovationen im Verarbeitenden Gewerbe umfassen die Markteinführung neuartiger oder grundlegend veränderter Produkte und die technische Leistungsverbesserung von Produkten durch die Verwendung neuer Materialien, Betriebsstoffe oder neuer funktionaler Produktbestandteile in einem Unternehmen. Prozeßinnovationen im Verarbeitenden Gewerbe beinhalten den unternehmensinternen Übergang zu neuen oder wesentlich verbesserten Produktionsverfahren. Zu organisatorischen Innovationen im Verarbeitenden Gewerbe zählt die Anwendung und Nutzung neuer Organisationsformen, Managementmethoden, Absatzwege oder Beschaffungsmärkte auf einzelwirtschaftlicher und volkswirtschaftlicher Ebene. Darunter fallen beispielsweise ablauforganisatorische Maßnahmen, wie etwa die Einführung eines „Total-Quality-Managements" oder die innerbetriebliche Umsetzung der Anforderungen der DIN ISO 9000, oder Veränderungen der Aufbauorganisation, wie z.B. die Erschließung eines regionalen Absatzmarktes durch die Gründung von Handelsniederlassungen.
- Die Kategorisierung von Innovationen im Dienstleistungsgewerbe ist zwar aufgrund der Vielfalt des dortigen Innovationsgeschehens schwierig (HIPP et al. 1996:14), doch kann auch hier grundsätzlich eine Dreiteilung vorgenommen werden. Produktinnovationen im Dienstleistungssektor sind neue oder verbesserte Dienstleistungen, die ein Dienstleistungsunternehmen seinen Kunden offeriert. Um Prozeßinnovationen im Dienstleistungssektor handelt es sich, wenn ein Unternehmen neue oder verbesserte Verfahren zur Erbringung von Dienstleistungen einführt. Organisatorische Innovationen im Dienstleistungssektor sind schließlich Maßnahmen, die wesentliche Verbesserungen des organisatorischen Aufbaus oder unternehmensinterner Abläufe bewirken.

3 Technischer und organisatorischer Umweltschutz

3.1 Innovationstypen und Umweltschutz

Innovationen, die der Vermeidung und Verminderung von Umweltbelastungen durch anthropogene Aktivitäten, der Sanierung bereits eingetretener Schäden und der Diagnose und Kontrolle von Umweltbelastungen dienen, können als Umweltinnovationen definiert werden[1]. Beispiele für Umweltinnovation sind:

- die Suche und Erschließung neuer Rohstoffvorkommen,
- die Entwicklung und Einführung umweltfreundlicher Konsumgüter,

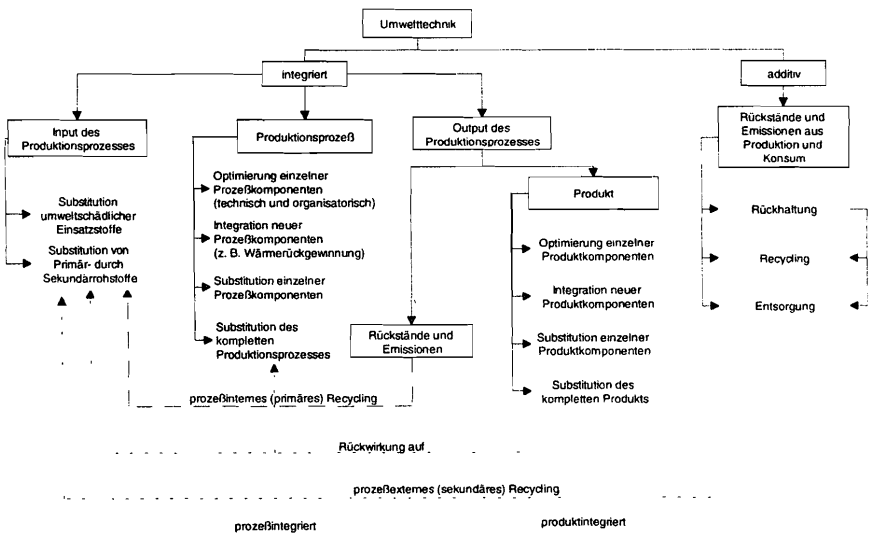
---

[1] Auch bei Umweltinnovationen muß jedoch bedacht werden, daß diese wie technischer Fortschritt im allgemeinen in einem Spannungsverhältnis zwischen der Schaffung neuer und der Lösung bzw. Minderung bekannter Umweltprobleme stehen. So führte ZUNDEL in einer Gutachtersitzung des BMBF (14.8.1996 zu den innovativen Wirkungen der Umweltpolitik) zu recht an, daß Entwicklungen in der Gentechnologie einerseits als Umweltinnovationen verstanden werden können, andererseits aber auch mit erheblichen, oft nicht absehbaren Gefahren für die Umwelt verbunden sein können.

- die umweltschonende Gewinnung von Rohstoffen,
- die Substitution von Rohstoffen (durch weniger knappe bzw. umweltschädliche oder durch regenerierbare Ressourcen)
- die Entwicklung und Einführung neuer Technologien, welche einen sparsameren Ressourceneinsatz benötigen und/oder weniger Emissionen verursachen,
- die Entwicklung und Einführung von nachgeschalteten Entsorgungsanlagen,
- die Entwicklung und Einführung von Technologien zur Umweltschadenssanierung oder
- die organisatorische Optimierung betrieblicher Leistungssprozesse, die z.B. eine bessere Risikovorsorge gewährleisten.

Eine einheitliche Systematisierung solcher Umweltinnovationen wurde, wie bereits in der Einleitung kurz erläutert, bislang nicht gefunden. In Anlehnung an die Systematik von ADLER et al. (1994) könnten die aufgezählten Beispiele in zwei umwelttechnische Entwicklungslinien differenziert werden, die sowohl für Produkt- als auch für Prozeßinnovationen eingesetzt werden: In a) Innovationen im Bereich von end-of-pipe Technologien und b) im Bereich von integrierten Technologien (vgl. Abbildung 1). Diese beiden Technologiealternativen werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert. Neben diesen umwelttechnischen Entwicklungslinien könnten noch organisatorische Umweltschutzinnovationen unterschieden werden.

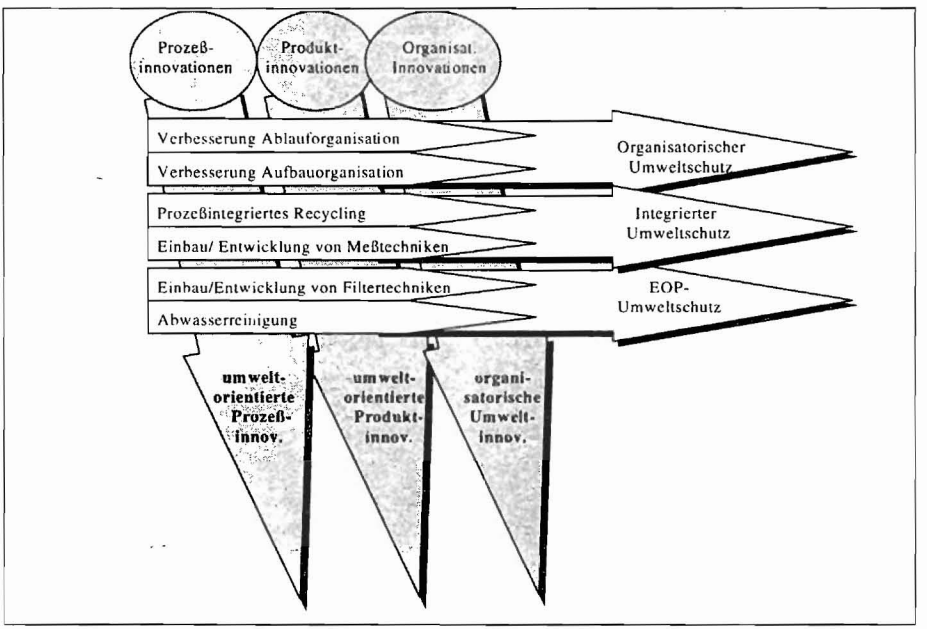
Abbildung 1: Additiver und integrierter Umweltschutz



Quelle: HOHMEYER/KOSCHEL 1995 (ergänzt)

Es ist jedoch auch eine Einordnung dieser Umweltschutzinnovationen in die oben allgemein getroffenen Definitionen von Innovationen im Sinne der OECD möglich (vgl. Abbildung 2). Grundsätzlich können demnach organisatorische und technische Umweltschutzinnovationen im Verarbeitenden Gewerbe und im Dienstleistungsgewerbe unterschieden werden (für eine Übersicht siehe Anhang 1 und Anhang 2).

Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Innovationstypen und Umweltschutz



Organisatorische Umweltinnovationen dienen der Optimierung der Ablauf- und Aufbauorganisation eines Unternehmens. Organisatorische Umweltinnovationen können die Umstellung der Betriebsabläufe im Sinne der EG-Umwelt-Audit-Verordnung umfassen und beispielsweise im Aufbau eines Umweltmanagementsystems bestehen (HEMMELSKAMP/NEUSER 1994).

Als technologische Umweltinnovationen können technische Neuerungen definiert werden, die die von der Herstellung, dem Ge- und Verbrauch oder der Entsorgung ausgehenden Emissionen sowie die Belastungen bei der Rohstoffherstellung und dem Ressourceneinsatz verringern oder beseitigen. Technologische Umweltinnovationen können differenziert werden in Innovationen, die auf Entwicklung und Einführung

umweltfreundlicher Produkte (umweltorientierte Produktinnovationen) oder umweltfreundlicher Produktionsverfahren (umweltorientierte Prozeßinnovationen) abzielen[2]:

- Umweltorientierte Prozeßinnovationen dienen der Vermeidung bzw. Reduzierung von Emissionen oder der Senkung der Kosten, die durch Umweltschutzauflagen entstehen. Dies kann sowohl durch integrierte als auch durch end-of-pipe-Technologien erfolgen. Eine umweltorientierte Prozeßinnovation wäre demnach beispielsweise der Einsatz eines Emissionsfilters oder die Optimierung des Ressourceneinsatzes im einem Produktionsverfahren.

- Umweltorientierte Produktinnovationen können ebenfalls end-of-pipe und integrierte Lösungen umfassen und die Emissionsreduzierung oder die Kostensenkung durch die Belastung mit Umweltschutzauflagen ermöglichen. Dies ist im Falle der Entwicklung und Einführung umweltschonender Konsumprodukte, wie beispielsweise von FCKW-freien Spraydosen der Fall. Umweltorientierte Produktinnovationen können jedoch auch der Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen dienen. So ist die Entwicklung und Einführung eines Emissionsfilters für ein Unternehmen des Anlagenbaus vor allem eine Innovation, um Marktpotentiale im Bereich von Umwelttechnologien zu erobern.

3.2 Innovationen im Bereich von end-of-pipe Technologien

End-of-pipe Technologien sind dem eigentlichen Produktions- und Konsumtionsprozeß nachgeschaltete Entsorgungsverfahren und Recyclingtechnologien, mit denen entstehende Rohemissionen so gereinigt oder verändert werden können, daß sie weniger umweltbelastend, einfacher zu lagern oder wiederverwendbar bzw. wiederverwertbar sind (HARTJE/ZIMMERMANN 1988:2). Sie vermindern nachträglich einen Teil der Umweltbelastung, statt ihn von vornherein zu vermeiden" (BLAZEJCZAK et al. 1993:74). In der Literatur werden solche Verfahren auch als additive oder nachgeschaltete Technologien benannt.

Der Einsatz von end-of-pipe Technologien ermöglicht, einen bereits im Einsatz befindlichen Produktionsprozeß, mit dem ein zu vermarktendes Produkt entsteht, weiter nutzen zu können. Auch bestehende Konsumtionsverhältnisse können durch den Einsatz von end-of-pipe Technologien unverändert bleiben. Es werden somit zwei Verfahrensschritte miteinander gekoppelt:

---

[2] Die Möglichkeiten technischer Umweltinnovationen stehen teilweise in Verbindung mit Maßnahmen, die im Rahmen einer „lean production" umgesetzt werden. So können die mit einer „lean production" angestrebten Ziele der Qualitätsverbesserung von Produkten, der Kostensenkung oder der Ressourcenschonung auch Beiträge zur Umweltschonung leisten und damit unter bestimmten Rahmenbedingungen auch Aspekte einer „clean production" sein (vgl. HEMMELSKAMP/NEUSER/ZEHNLE 1994: 221ff.).

- Ein Produktionsprozeß, in dem ein Produkt hergestellt wird, oder ein Konsumtionsprozeß, in dem produzierte Güter genutzt werden.
- Ein Emissionsentsorgungsprozeß, der den Produktions- oder dem Konsumtionsprozeß angekoppelt ist und in dem als schädlich definierte Emissionen oder Abfälle den Input darstellen.

End-of-pipe Technologien sind mithin Verfahren, mit denen die Rückhaltung, das Recycling oder die Entsorgung von Rückständen und Emissionen aus Produktion und Konsum gewährleistet werden können. Dies sind beispielsweise Filteranlagen zur Rauchgasreinigung in Kraftwerken, Verfahren zur Sanierung von kontaminierten Böden oder Katalysatoren zur Abgasreinigung in Kraftfahrzeugen.

Die Charakteristika von end-of-pipe Technologien implizieren, daß sich Innovationen bei dieser Technologiealternative auf die Entwicklung bzw. die Anschaffung und Einführung der end-of-pipe Technologie sowie auf anschließende Verbesserungen der Wirkungsgrade bzw. der Entwicklung kostengünstigerer Verfahren bei konstantem Wirkungsgrad beschränken. Die Innovationseffekte bei den verbundenen Produktions- und Konsumtionsprozessen sind hingegen gering. Die notwendigen Veränderungen konzentrieren sich dort auf inkrementelle Anpassungen, um den Produktions- oder den Konsumtionsprozeß mit der end-of-pipe Technologie zu koppeln.

Auch die ökologischen Effekte einer end-of-pipe Technologie sind begrenzt. Eine Verminderung der Rohemissionen aus Produktions- und Konsumtionsprozessen wird mit end-of-pipe Technologien nicht erreicht. Es wird nur eine Transformation von einem als belastet eingestuften Medium in ein anderes, gegenwärtig noch als belastbar bewertetes und nicht reglementiertes Umweltmedium ausgelöst[3]. So werden die Schwefeldioxid-Emissionen von Kraftwerken durch Rauchgaswaschanlagen deutlich verringert, doch werden bei bestimmten Verfahren große Mengen Gips produziert. Da mit dem Einsatz von end-of-pipe Technologien keine wesentlichen Modifikationen der Produktionsprozesse notwendig sind, verändern sich die Inputmengen des Produktionsprozesses nicht, d.h. Erhöhungen der Material- und Energieeffizienz werden nicht erreicht. Es ist vielmehr sogar zu erwarten, daß der Ressourcenverbrauch pro Outputeinheit bei dem Einsatz dieser Technologien absolut ansteigen wird, da für die Produktion und den Einsatz von end-of-pipe Technologien möglicherweise der Einsatz von knappen und eventuell ebenfalls umweltschädlichen Rohstoffen notwendig ist.

3.3 Innovationen im Bereich von integrierten Technologien

Bei integrierten Umweltschutztechniken ist im Gegensatz zu end-of-pipe-Technologien wie Filter oder Katalysatoren oft kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Technik und ihrer Funktion im Umweltschutz zu erkennen. Integrierter

---

[3] Ausnahmen dieser Verlagerung des Umweltproblems durch end-of-pipe-Technologien stellen bspw. Kläranlagen mit biologischem Schadstoffabbau oder chemischer Neutralisation dar.

Umweltschutz setzt im Gegensatz zu end-of-pipe Lösungen unmittelbar an der Quelle der Emissionen an, d.h. am Produktionsprozeß oder am Produkt, und umfaßt alle Maßnahmen, welche zu einer Reduktion des Rohstoff- und Energieeinsatzes und der Emissionen führen. Damit sind integrierte Techniken zumeist nur im Vergleich mit herkömmlichen Techniken mit gleichen Funktionen als umweltverträglicher zu beurteilen (ADLER et al. 1994:197).

Ein spezifisches Kennzeichen des integrierten Umweltschutzes ist es, daß sich dieser nicht oder nur schwer innerhalb eines Prozesses oder eines Produkts abgrenzen läßt. Integrierte Maßnahmen beschreiben vielmehr die „umweltverträglichere Ausgestaltung und betreffen letztendlich (in weitester Interpretation) den gesamten Kreislauf der beteiligten (Einsatz)stoffe und Produktionsstufen" (BLAZEJCZAK et al. 1993:74-75). Meist ist der integrierte Umweltschutz somit nicht durch ein bestimmtes Bauteil materiell repräsentiert oder abgrenzbar. Er setzt vielmehr direkt am Prozeß oder Produkt an, ist gewissermaßen Bestandteil oder sogar nur eine besondere Qualität von diesen.

Der integrierte Umweltschutz kann in einen produktionsintegrierten und einen produktintegrierten Umweltschutz differenziert werden. Beim produktionsintegrierten Umweltschutz wird versucht, Emissionsreduktionen bei der Herstellung von Produkten durch eine verbesserte Prozeßtechnologie zu erreichen und letztlich noch anfallende Restemissionen möglichst im Produktionsprozeß zu nutzen. Dies kann beispielsweise durch die Optimierung einzelner Prozeßkomponenten, durch technische Maßnahmen wie energiesparende Prozeßsteuerungssysteme oder die Substitution bzw. Verringerung umweltbelastender durch umweltfreundliche Inputs, wie der Einsatz von lösungsmittelfreien Wasserlacken oder die Rückgewinnung von Lackresten im Automobilbau im Zuge einer Kreislaufschließung, geschehen. Der produktintegrierte Umweltschutz zielt darauf ab, den Ressourceneinsatz und die Menge und Umweltschädlichkeit von Produktabfällen zu verringern. Beispiele sind die Substitution von FCKW in Spraydosen durch nicht klimarelevante Treibgase oder durch Pumpzerstäuber.

Bei konstantem Output oder vergleichbarem Produktnutzen werden durch integrierte Umwelttechnologien somit weniger oder weniger schädliche Emissionen erzeugt, wobei sich die Profilbreite nicht nur auf spezifische Emissionen, sondern auf mehrere Umweltprobleme gleichzeitig beziehen kann.

Zudem ermöglichen integrierte Technologien eine effizientere Nutzung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe und können damit einen Beitrag zum Schutz der natürlichen Ressourcen leisten. Die Umwelt wird absolut entlastet und es findet keine mediale Verschiebung der Umweltbelastung statt. Als ein Beispiel für solche breite Emissionsminderungen kann das sogenannte QSL-Verfahren zur Bleierzeugung angeführt werden. Das QSL-Verfahren stellt einen kontinuierlichen Direkt-Bleischmelzprozeß dar, bei dem das herkömmliche zweistufige Röst-Reduktionsverfahren mit Sinter- und Schachtofenanlage zur Bleierzeugung in einem einstufigen Prozeß erfolgt. Durch Schließen von Stoffkreisläufen konnten neben Energieeinsparungen Minderungen ei-

Bibliothek des Instituts
für Weltwirtschaft Kiel

ner Reihe von Emissionen (z.B. Blei, Zink, Cadmium, SO_2) sowie der Schädlichkeit von Rückständen erreicht werden (UMWELT 1994:240).

3.4 Anmerkungen zur Abgrenzung von end-of-pipe versus integrierte Technologien

Die dichotome Unterscheidung von umweltschonenden Technologien in end-of-pipe und integrierte Technologien ist jedoch, wie ZIMMERMANN (1990:204) anführt, sehr grob. Insbesondere für die primär empirische Erfassung gilt, daß sich diese umso schwieriger gestaltet, je stärker die umweltschutzrelevante Aktivität in das jeweilige Produkt oder den Produktionsprozeß integriert ist (HALSTRICK-SCHWENK et al. 1994:26ff.). Abgrenzungen können darum durch willkürliche Zuordnungen verzerrt werden. So fallen unter die oben beschriebene Abgrenzung von end-of-pipe-Technologien (ZIMMERMANN 1990:204):

- Technologien, die marktfähige Nebenprodukte erzeugen,
- Technologien, die Reststoffe in ungefährlichere oder lagerbare Stoffe umwandeln,
- Technologien, die Reststoffe recyceln.

Insbesondere im Fall von Technologien, die Reststoffe recyceln, treten jedoch Abgrenzungsprobleme auf. Die Integration von Recyclingverfahren innerhalb eines Produktionsprozesses, bei der innerhalb des Produktionsprozesses anfallende Emissionen als Hilfsstoffe direkt wieder im Produktionsprozeß eingesetzt werden, könnte auch als integriertes Verfahren betrachtet werden (COENEN et al. 1995:26). Auch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) definiert Recyclingmaßnahmen, durch die Produktionsprozesse mehrerer Unternehmen miteinander gekoppelt werden, als integrierte Umweltschutzmaßnahmen. So werden im Förderkonzept des BMBF zum „Produktionsintegrierten Umweltweltschutz" solche Produktionsverfahren und Produkte als integrierter Umweltschutz definiert, die „...bereits bei der Konzeption so ausgelegt, optimiert und aufeinander abgestimmt werden, daß Abgase, Abwässer und Abfälle weitgehend gar nicht erst entstehen, sondern möglichst umfassend schon an der Quelle vermieden werden. Unvermeidbare Reststoffe müssen im Sinne einer Kreislaufschließung oder Vernetzung entweder direkt wieder in den Produktionsprozeß zurückgeführt werden oder in anderen Prozessen als Roh- bzw. Hilfsstoffe wieder einsetzbar sein" (BMBF 1994:3). Damit werden vom BMBF im Sinne einer Stoffkreislaufschließung auch Recyclingtechnologien, die einem Produktionsprozeß nachgeschaltet sind und damit grundsätzlich als end-of-pipe-Technologie definiert werden könnten, als integrierte Technologien betrachtet (HANSEN 1996). HARTJE und ZIMMERMANN (1988:3) schlagen aufgrund dieser Abgrenzungsprobleme vor, neben end-of-pipe- und integrierten Technologien eine dritte Kategorie zu unterscheiden, in der innerbetriebliche Recyclingprozesse und die Umwandlung von Rohemissionen in vermarktungsfähige Produkte (als Roh- oder Hilfsstoffe) zusammengefaßt werden.

Ein Einordnung in integrierte und end-of-pipe Technologien fällt auch bei Technologien schwer, deren Umweltbelastung so gering ist, daß eine Veränderung, der Ersatz oder die Ergänzung dieser Technologien kaum zur Verbesserung der Umweltsituation beitragen. Ein Beispiel ist die Erzeugung von Energie durch Windkraft- oder Photovoltaikanlagen. Schwierigkeiten bei der Identifizierung von Umweltschutztechniken bestehen auch, wenn diese nicht nur dem Umweltschutz dienen können, sondern auch in anderen Anwendungsbereiche eingesetzt werden (Multi-purpose Güter). Dies gilt beispielsweise für die Meß- und Regeltechnik, deren Beitrag zur Verringerung von Umweltbelastungen erst innerhalb eines bestimmten Nutzungszusammenhangs zu erkennen ist.

Mangels eines meßbaren Abgrenzungskriteriums verwundert es daher nicht, daß eine Unterscheidung zwischen additivem und integriertem Umweltschutz in der Umweltökonomischen Gesamtrechnung des Statistischen Bundesamtes bislang nicht durchgeführt worden ist (KUHN/RADERMACHER/STAHMER 1994:675f.). ZIMMERMANN (1990) und ZUNDEL/ROBINET (1994) regen darum an, end-of-pipe und integrierte Umwelttechniken als Eckpunkte eines technologischen Kontinuums zu interpretieren, „das nach dem Ausmaß des ökologischen Wirkungsgrades differenziert werden kann" (ZUNDEL/ROBINET 1994:10f.). Diese Vorgehensweise setzt die Erstellung von Ökobilanzen voraus, mit denen die Wirkungsgrade verschiedener Technologien bewertbar und vergleichbar werden. Die Bewertung von Produkten und Prozessen mit Ökobilanzen ist jedoch methodisch sehr schwierig und aufgrund der Komplexität solcher Verfahren sehr aufwendig.

Für empirische Untersuchungen in Unternehmen ist diese Methodik zur Bewertung von Umwelttechniken damit noch nicht geeignet. Da aussagekräftige Ökobilanzen bislang kaum zur Verfügung stehen, müßten die Unternehmen eine subjektive ökologische Bewertung ihrer Produkte oder Produktionsprozesse vornehmen. Die Ergebnisse eines solchen Verfahrens wären aufgrund ihres subjektiven Charakters für vergleichende Analysen jedoch nicht geeignet.

Für empirische Untersuchungen auf Basis von Expertengesprächen, Telefonbefragungen oder schriftlichen Breitenerhebungen müßten darum andere Wege gewählt werden. In schriftlichen Breitenerhebungen mittels standardisierter Fragebögen scheint grundsätzlich zur Vereinfachung des Fragebogendesigns die Verwendung der dichotomen Einteilung in end-of-pipe Technologien und integrierte Technologien als anwendungsfreundlicher. Möglich wären jedoch auch Fragen, die ohne großen Erklärungsbedarf gestellt werden können. Das ifo-Institut beispielsweise hat eine Systematik für Umwelttechnik entwickelt, die in empirischen Untersuchungen anzuwenden wäre (ADLER et al. 1994:197):

- Herkömmliche Produkte und Verfahren, die im Umweltschutz Anwendung finden,
- auf die Anwendung im Umweltschutz besonders angepaßte Produkte und Verfahren,

- Zusatzeinrichtungen, die Emissionen vermindern (additiver Umweltschutz),
- integrierte Umwelttechnik im engeren Sinne, also Systemkomponenten, die ein Produkt oder einen Prozeß rohstoffsparender oder emissionsärmer machen,
- besonders umweltverträgliche Produkte und Verfahren, die rohstoffschonender und emissionsärmer produziert bzw. betrieben werden, bei welchen die Umweltfunktion inkorporiert ist.

In der 1996er Innovationserhebung des Mannheimer Innovationspanel (ZEW/INFAS 1996) wird eine kombinierte Vorgehensweise gewählt. Einerseits wird zur Vereinfachung des Fragebogendesigns die dichotome Einteilung in end-of-pipe Technologien und integrierte Technologien gewählt. Ergänzend dazu werden jedoch auch einzelne Umweltschutztechniken direkt erfaßt. Unter Berücksichtigung der im Forschungsprogramm PIUS (BMFT 1994) definierten Kriterien wird so nach der Bedeutung folgender Umwelttechniken gefragt:

- Verbesserung der Rückhaltung und der Recyclingfähigkeit von Rückständen.
- Verbesserung der umweltverträglichen Entsorgung.
- Substitution von umweltschädlichen Einsatzstoffen, Produkten, Verfahren.
- Recyclingfähigkeit/ Entsorgungsmöglichkeiten von Produkten.
- Recyclingfähigkeit/ Entsorgungsmöglichkeiten von Einsatzstoffen.
- Betriebsinterne Kreislaufführung und/oder produktionsintegriertes Recycling.
- Entwicklung von umweltverträglichen Produktionseigenschaften (z.B. Langlebigkeit, Reparaturfreundlichkeit, Recyclingfähigkeit).
- Einsatz von Recyclingmaterial (z.B. Altglas, Altpapier) für die betriebsinterne Produktion.

4 Technischer Wandel und Umweltinnovationen

4.1 Einleitung

Umweltschutz ist im Rahmen des Innovationsprozesses nur eines von vielen Innovationszielen von Unternehmen. Entscheidend innerhalb des Innovationsprozesses ist der Stellenwert von Umweltschutzzielen und die Komplementarität bzw. Konkurrenz mit anderen Innovationszielen. Die Wirkung umweltpolitischer Instrumente wird im Innovationsprozeß durch Wechselwirkungen mit anderen Bestimmungsfaktoren des Innovationsverhaltens bestimmt. Damit ist der Umweltschutz für Unternehmen zwar keine unbedeutende Variable, aber auch nicht die wesentlichste Determinante von Innnovationsentscheidungen (ADLER et al. 1994:194). Insbesondere Innovationen im Bereich integrierter Umwelttechniken lassen sich im Rahmen von Innovationsstudien schwer isolieren. Je integrierter Umweltschutzmaßnahmen, desto schwerer wird es, diese von „normalen" Modernisierungsmaßnahmen in Unternehmen abzugrenzen. Es ist somit kaum zu klären, ob beispielsweise eine neue Energietechnologie aufgrund von Umweltschutzaspekten eingeführt wird oder ob diese Innovationsentscheidung losgelöst von Umweltschutzaspekten aufgrund von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen getroffen

wurde, bei denen positive Umwelteffekte quasi gratis mitgeliefert werden. Integrierte Umweltschutzmaßnahmen müssen darum ebenso wie andere Modernisierungen anhand von Kriterien wie Produktivitätssteigerung, Schaffung neuer Märkte oder Qualitätsverbesserung bewertet werden.

4.2 Forschungsansätze in der Innovationsforschung

Die wissenschaftliche Diskussion in der Untersuchung des Innovationsgeschehens ist gekennzeichnet durch die Kontroverse zwischen neoklassischen Forschungsansätzen und evolutorisch geprägten Betrachtungsweisen (vgl. für einen Überblick beispielsweise ERDMANN 1993). Die neoklassische Innovationsforschung untersucht vor allem Gleichgewichtszustände in der Wirtschaft und die Wirkung exogener Impulse auf die Lage der Gleichgewichte. Innovationen ermöglichen in diesem Ansatz Anpassungen an veränderte Rahmenbedingungen. Es wird in der neoklassischen Theorie vorausgesetzt, daß Wirtschaftssubjekte ihre Entscheidungen aufgrund von rationalen Erwartungen treffen und eine vollständige Voraussicht über die Folgen ihres Handelns besteht. ERDMANN (1993:3) weist jedoch darauf hin, daß die Annahme rationaler Kosten/Nutzen-Entscheidungen ein Defizit der neoklassischen Theorie begründe, da insbesondere die Folgen von grundlegenden Neuerungen, wie sie mit Basisinnovationen erreicht werden, nicht vorhersehbar seien und sich aufgrund von Unsicherheiten hinsichtlich der Optimierungslogik, einfacher individueller Erwartungsnutzenmodelle entziehen würden (vgl. hierzu auch MACKENZIE 1992:29).

In den neoklassischen Modellen zeigte sich, daß unabhängig vom Typ der gesamtwirtschaftlichen Produktionsfunktion das Wirtschaftswachstum nur zum Teil auf einen steigenden Einsatz der Produktionsfaktoren (Arbeit, Kapital, Energie, Rohstoffe) zurückgeführt werder kann. Der nicht-erklärbare Rest des Produktivitätswachstums wird durch Effizienzsteigerungen mittels technischen Fortschritts erreicht, der jedoch letztlich wie „Manna vom Himmel fällt" (vgl. hierzu beispielsweise SOLOW 1957). Die Berücksichtigung technischer Fortschritts als exogene Variable im Wachstumsprozeß, die sich als „unerklärte Restgröße" aus der Differenz zwischen den eingesetzten Faktormengen „Arbeit" und „Kapital" ergibt, kritisierte vor allem SCHUMPETER (1950).

Die endogene Erklärung dieses Phänomens beschränkt sich in den neoklassischen Modellen bis in die 80er Jahre weitgehend auf die Untersuchung des Einflusses von Veränderungen der relativen Preise von Arbeit und Kapital auf die Richtung von Innovationen. In neueren Forschungsarbeiten wird jedoch von neoklassischen und neoschumpeterianischen bzw. evolutorisch geprägten Autoren versucht, technischen Fortschritt als endogene Größe zu berücksichtigen. Die Endogenisierung technischen Fortschritts in neoklassisch orientierten Arbeiten erfolgte u.a. in den Modellen der „neuen" Wachstumstheorie von ROMER (1990) oder LUCAS (1988). Romer betrachtet Humankapitalinvestitionen bzw. Lerneffekte und Lucas die Wissensgenerierung durch den Forschungssektor als wesentliche endogene Ursachen von Produktivitätswachstum. Die neo-schumpeterianische bzw. evolutorische Ökonomik greift auf das Kon-

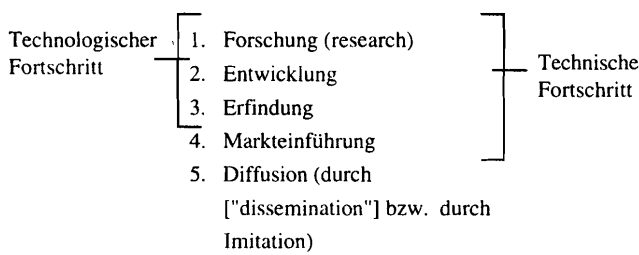
zept der biologischen Evolutionstheorie zurück (siehe hierzu u.a die grundlegende Arbeit von NELSON/WINTER 1982; einen Überblick geben die Sammelbände von DOSI et al. 1988 und WITT 1993). Die Untersuchung technischen Fortschritts erfolgt auf mikroökonomischer Ebene, wobei neoklassische Annahmen wie die Gewinnmaximierung oder die vollständige Konkurrenz aufgegeben werden (HARABI 1996). Im Mittelpunkt des Interesses stehen im Gegensatz zur neoklassischen Theorie weniger die komparativ-statische Beschreibung von Gleichgewichtszuständen als die Charakteristika und Prozesse des wirtschaftlichen und technischen Wandels im Zeitverlauf, deren zentrales Kennzeichen die Irreversibilität ist (FABER/PROOPS 1994:20,62). Innerhalb der evolutorischen Ökonomik können dabei empirisch, qualitativ und formalmathematisch orientierte Forschungsrichtungen beobachtet werden (HARABI 1996:4).

Eine Synopse aus evolutorischen und neoklassischen Ansätzen versucht ERDMANN (1993). Zwar verweist auch er auf die Schwächen der neoklassischen Theorie zur Erklärung des Innovationswettbewerbs, in dem Entscheidungen in der Regel unter Ungewißheit getroffen werden (ERDMANN 1993:67ff.). Die evolutorische Ökonomik sieht er jedoch nur als eine Erweiterung der neoklassischen Gleichgewichtstheorie an, um vorhandene Schwachstellen auszugleichen. So verweist er unter anderem darauf, daß die „analytische Präzision und Stringenz" des Gleichgewichtkonzeptes genutzt und die in der Empirie bestätigten Aussagen der neoklassichen Theorie in das Konzept der evolutorischen Ökonomik übernommen werden sollten (ERDMANN 1993:5).

4.3 Der Innovationsprozeß

Im traditionellen Modell des Innovationsprozesses werden Innovationen überwiegend in einer phasenspezifischen Betrachtung in Form linearer Prozesse abgebildet, der in drei Phasen unterteilt werden kann: Invention, Innovation und Diffusion. Die Inventionsphase kann feiner gegliedert werden, wenn man davon ausgeht, daß Erfindungen auf Forschung und Entwicklung beruhen (vgl. Abbildung 3).

Abbildung 3: Phasen des Innovationsprozesses



Quelle: HARABI 1996:7

Forschung und Entwicklung stellen damit die Grundlage für eine Innovation dar. In dieser Phase werden in der Forschung neue Ideen und Erkenntnisse für Produkte und Verfahren geschaffen, die zunächst in Modellen umgesetzt und getestet werden und dann in Prototypen, Versuchsanlagen und schließlich in eine marktfähige Neuerung einfließen. In der Innovationsphase kommt es zur wirtschaftlichen Nutzbarmachung eines neuen Produktes oder Verfahrens. In der Diffusionsphase schließlich findet eine Neuerung nach und nach ihre Verbreitung und Anwendung in vielen Unternehmen oder Haushalten. Die Diffusion von Neuerungen bewirkt, daß Produktivitätssteigerungen nicht nur in Unternehmen mit Forschungs- und Entwicklungsabteilung realisiert werden, sondern daß auch in anderen Bereichen durch die Anwendung neuer Verfahren oder Produkte bzw. durch Wissenstransfer (Spillover-Effekte) Produktivitätssteigerungen möglich werden (OECD 1992b: 59). So können durch die Diffusion von Umweltinnovationen neue umweltschonende Verfahren und Produkte eine weite Verbreitung finden und dadurch soziale Wohlfahrtsgewinne ausgeschöpft werden. Unterschiede im Diffusionsverlauf bestehen bei Umweltinnovationen zwischen Technologien, die primär aufgrund ihrer Umweltfreundlichkeit eingesetzt werden und Technologien, deren Umweltfreundlichkeit kein ausschlaggebender Aspekt für die Einsatzentscheidung ist (KEMP 1994:102). Weiterhin müssen die Anwender von Umweltinnovationen in Endverbraucher und in Unternehmen, die die Technologie im Produktionsprozeß einsetzen, unterschieden werden.

4.4 Innovation als ein vernetzter Prozeß

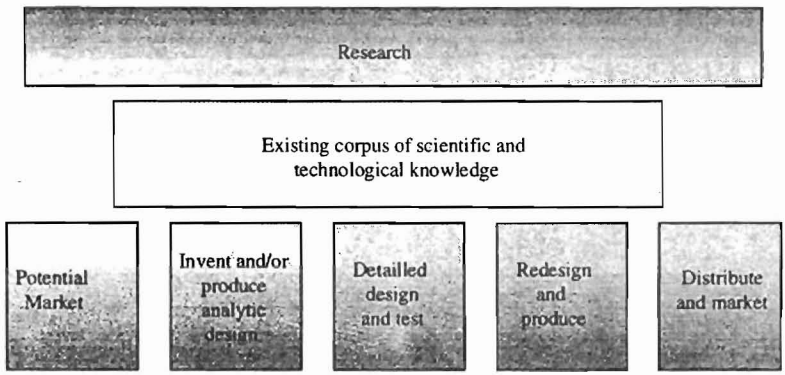
Die phasenspezifische Betrachtung des Innovationsprozesses legt den Schwerpunkt auf den Einfluß von Forschung und Entwicklung. Andere Inputfaktoren, die ebenfalls einen wesentlichen Einfluß nehmen können, werden somit vernachlässigt. Zudem wird vorausgesetzt, daß jede Teilphase notwendig ist, damit ein Innovationsprozeß erfolgreich sein kann. Die Folgerungen aus diesem Modell für die Innovationsförderung fassen KURZ et al. (1989:25) wie folgt zusammen:

- Die Förderung von Forschung und Entwicklung in Unternehmen wird letztlich zu mehr Innovationen führen.
- Vielfältige Schwachstellen für Innovationen sind identifizierbar, deren Überwindung durch staatliche Förderung möglich ist.

In der heutigen Innovationsforschung wird der technische Wandel nicht mehr, wie oben, in einer phasenspezifischen Betrachtung beschrieben, sondern als ein linearer Prozeß aufeinanderfolgender Phasen begriffen. Es dominiert die Auffassung, daß technischer Wandel ein interaktiver Prozeß mit stetigen Rückkopplungen zwischen den einzelnen Phasen des Innovationsprozesses verstanden werden muß und wechselseitige Beziehungen mit unternehmensexternen Faktoren bestehen. Zwar bestimmt die Forschung und Entwicklung die technischen Merkmale einer Innovation sowie deren Produktionskosten. Die Diffusion einer Innovation wird jedoch letztlich von ihrer ökonomischen Vorteilhaftigkeit bestimmt, und die Neuerungen einer Innovation beruhen oftmals auf Rückkopplungen und Erfahrungsaustausch mit den Anwendern (KEMP

1994). „Erst durch learning by using und in dem Maße, wie sich der Innovator aufnahmefähig für die Rückmeldungen des Marktes zeigt, wird aus der rohen eine reife Innovation" (KURZ et al. 1989:25). Diese Zusammenhänge heben KLINE und ROSENBERG (1986) in ihrem interaktiven „chain-link" Modell des Innovationsprozesses hervor (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Interaktives Modell des Innovationsprozesses



Quelle: KLINE/ROSENBERG 1986:2891

4.5 Die Richtung des technischen Wandels

In der Innovationsforschung werden zudem die kumulativen Effekte von Innovationsprozessen betont. Die neuere, von Schumpeter geprägte Innovationstheorie, geht davon aus, daß Innovationsentscheidungen mit hohen Unsicherheiten und vielen Zufälligkeiten verbunden sind und eine vollkommene Voraussicht über die Folgen dieser Entscheidungen nicht besteht. Der Innovationsprozeß kann vielmehr mit einem trial and error-Verfahren verglichen werden, in dem die Generierung von Innovationen in Unternehmen in gewissem Maße davon abhängt, welche Erfahrungen und welches Know-how bereits im Unternehmen vorhanden sind. Der Nutzung des bereits bestehenden Wissens kommt im Rahmen von Innovationsprozessen eine entscheidende Bedeutung zu (ROSENBERG 1994:10). Die kreative Verknüpfung des bestehenden allgemeinen und spezifischen Know-hows (BECKER 1983) ermöglicht innovative Problemlösungen. Betont wird darum die Bedeutung von Lernprozessen durch „learning by doing", „learning by using", „learning by learning"oder „learning by interacting" sowie die Relevanz von nicht-vermittelbarem, spezifischem Erfahrungswissen („tacit knowledge") (vgl. u.a. DOSI 1988).

Dosi vergleicht den Innovationsprozeß darum mit dem Erkenntnisprozeß in den Wissenschaften und beschreibt Forschungsanstrengungen von Unternehmen als einen Prozeß, der sich in technologischen Paradigmen entwickelt (DOSI 1988:1127). Techno-

logische Paradigmen stellen eine Wissensbasis dar, innerhalb derer eine Vielzahl von Entwicklungs- und Verbesserungsmöglichkeiten von Produkten und Prozessen bestehen, die einer spezifischen Anwendung oder Problemlösung dienen (vgl. METCALFE 1989:7). Beispiele für Paradigmen im Umweltbereich sind beispielsweise die Energiegewinnung durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe versus die Nutzung regenerativer Energiequellen bzw. der Einsatz von Schadstoffiltern versus die Steigerung der Ressourceneffizienz. Ein neues Paradigma entsteht mit einer radikalen Neuerung oder einer Basisinnovation. Basisinnovationen sind grundlegende Neuerungen, die auf Forschungs- und Entwicklungsbemühungen in Unternehmen, Universitäten oder Forschungseinrichtungen beruhen. Mit dem Versuch, grundlegend neue Produkte oder Prozesse zu generieren, entsteht die Möglichkeit, Umweltschutzaspekte bereits frühzeitig als Innovationsziel zu berücksichtigen und damit präventive Maßnahmen umzusetzen. Der Versuch durch Forschungs- und Entwicklungsbemühungen einen grundlegenden Wandel der Technik zu erreichen, ist jedoch mit einem erheblichen Unwissen über die zu erreichenden Forschungs- und Entwicklungsergebnisse verbunden (vgl. FABER/PROOPS 1994:87). Dieses bezieht sich nicht nur auf den ökonomischen Erfolg, sondern auch auf die Umweltfolgen einer Basisinnovation. Während die mit einer Innovation verbundenen ökonomischen Zielsetzungen jedoch kurzfristig orientiert sind, treten die damit verbundenen Umweltprobleme zumeist erst langfristig und nach dem Erreichen der wirtschaftlichen Ziele auf. Somit sind Innovationsentscheidungen, die auch Umweltschutzgesichtspunkte einbeziehen, in noch stärkerem Maße durch Unwissen gekennzeichnet. Eine Abhilfe können hier nur Technikfolgenabschätzungen leisten, die Aufschlüsse über die mögliche Umweltrelevanz von grundlegend neuen Produkten und Prozessen geben können.

Innerhalb eines Paradigmas bestehen verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten, die alle auf den bis dahin im Paradigma akkumulierten Wissen aufbauen. Entsprechend der bestehenden Wissenspotentiale finden stetige Veränderungen der Basisinnovation statt, denn Basisinnovationen sind in der Regel zunächst teuer und risikobehaftet (KURZ et al. 1989:25). Im vernetzten Modell des Innovationsprozesses wird darum die Bedeutung von inkrementellen Innovationen betont. Diese inkrementellen oder Verbesserungsinnovationen stellen geringe Fortentwicklungen von existierenden Produkten und/oder Prozessen dar, die mehr oder weniger kontinuierlich generiert werden (UTTERBACK/SUAREZ 1993:6). Verbesserungsinnovationen entstammen dabei weniger aus Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen, sondern sind meist das Ergebnis aus der Verarbeitung von Erfahrungen bei Ingenieuren oder Anwendern. Durch inkrementelle Verbesserungen werden die Potentiale einer Basisinnovation ausgeschöpft und oftmals Nutzungsmöglichkeiten entdeckt, die zuvor nicht bekannt waren. Letztlich ermöglichen oftmals erst Weiterentwicklungen von Basisinnovationen, daß Neuerungen gegenüber konventionellen Problemlösungen, d.h. auf dem Markt befindlichen Produkten und Prozessen, konkurrenzfähig werden. Diese Merkmale bedingen, daß die Unsicherheiten hinsichtlich der ökonomischen und ökologischen Folgen einer Verbesserungsinnovation im Vergleich zu Basisinnovationen deutlich geringer sind. So ist der Einsatz von end-of-pipe Maßnahmen für Unternehmen mit weniger Unwis-

sen verbunden, da diese Techniken auf die bereits verwendeten Techniken aufbauen und keine umfassenden Umgestaltungen der Produktion erfordern.

Die Entwicklung von Verbesserungsinnovationen verläuft in Richtungen, die auch als Trajektorien bezeichnet werden (NELSON/WINTER 1982). Innerhalb eines Paradigma können unterschiedliche Trajektorien entstehen. Ein Paradigma kann insofern als ein Cluster von Trajektorien betrachtet werden. So können sich in einem Paradigma „Regenerative Energiequellen" die Innovationsanstrengungen sowohl entlang von Trajektorien im Bereich der Wasserenergie oder der Windenergie bündeln und dabei verschiedene technologische Möglichkeiten verfolgt werden. Voraussagen über deren Verlauf und damit über die Ergebnisse von Innovationsanstrengungen zur Verbesserung bekannter Technologien sind im Gegensatz zu Basisinnovationen weitgehend vorhersehbar (FABER/PROOPS 1994:43ff.).

Aus diesen Zusammenhängen sind wesentliche Rückschlüsse für die Akkumulation technologischen Know-hows auf Unternehmensebene abzuleiten. In Abhängigkeit von der Entwicklungsrichtung innerhalb eines gerade dominierenden Paradigmas wird weiteres spezifisches Know-how akkumuliert und die Grenzen des Wissens immer weiter nach vorn geschoben. Dies erlaubt Unternehmen, im Zeitverlauf Spezialisierungsgewinne zu realisieren, so daß andere, substitutive Entwicklungslinien immer mehr vernachlässigt werden. Spezialisierungsgewinne sind vom akkumulierten Know-how aus Erfahrungen und Wissen der Mitarbeiter und Routinen im Arbeitsablauf oder von bewährten Entwickler-Nutzer Kooperationen abhängig. Ein Wechsel auf eine andere Technologielinie wird darum im Zeitverlauf wegen der Kosten bzw. Nutzeneinbußen durch den Verlust der Spezialisierungsgewinne immer unwahrscheinlicher (ERDMANN 1993:86). Die Folge dieses ökonomischen Prozesses ist eine Spezialisierung der Innovationsbemühungen auf Unternehmens-, Branchen- oder volkswirtschaftlicher Ebene. Ein Wechsel der Technologietrajektorie wird erst erfolgen, wenn sich das Innovationspotential erschöpft und die möglichen Marktgewinne immer geringer werden (ERDMANN 1993:90). Dies impliziert, daß eine eingeschlagene Richtung der Innovationsanstrengungen kurzfristig nicht geändert wird. So ist beispielsweise im Umweltschutz zu beobachten, daß die dominierenden end-of-pipe Technologien stetig verbessert werden und für immer neue Einsatzgebiete Anwendung finden. Wurden Filter ursprünglich für die Emissionsminderung in Kraftwerken eingesetzt, werden heute auch Produktionsanlagen mit Filteranlagen ausgerüstet oder Kraftfahrzeuge mit Katalysatoren ausgestattet. Die Hersteller von end-of-pipe Technologien haben während der vergangenen Jahre erhebliche Wissenspotentiale auf diesem Technologiefeld akkumuliert. Kenntnisse im Bereich integrierter Technologien, denen längerfristig eine steigende Bedeutung im Umweltschutz zugemessen wird, sind demgegenüber noch relativ gering. Insofern ist anzunehmen, daß für die Hersteller von Umweltschutztechnologien ein starker Anreiz besteht, ihre Innovationsbemühungen weiterhin überwiegend auf end-of-pipe Technologien zu konzentrieren. Dieser Anreiz wird zudem noch durch die derzeitige Umweltpolitik verstärkt, deren Vorschriften sich am Stand der Technik bei end-of-pipe-Technologien orientieren und damit Absatzmärkte umweltpolitisch induzieren und sichern.

4.6 Die Bedeutung von umweltpolitischen Instrumenten und anderen Rahmenbedingungen

Die zentrale Motivation für ein Unternehmen, im Wettbewerb Innovationen zu generieren, ist der wirtschaftliche Erfolg und somit die Aussicht auf Gewinne (DOSI 1986:87). Von entscheidender Bedeutung für Innovationen sind mithin die zu erwartenden Kosten- und Erlösstrukturen. Diese ergeben sich jedoch nicht nur in Abhängigkeit von den technischen oder organisatorischen Neuerungen, sondern auch durch den Einfluß weiterer Bestimmungsfaktoren. Die oben bisher beschriebenen Abläufe und Zusammenhänge bei der technologischen Entwicklung heben vor allem die Bedeutung des bestehenden Know-hows und den Einfluß bereits eingesetzter Technologien hervor. KEMP (1994) führt jedoch zu recht an, daß auch andere Faktoren die technische Entwicklung wesentlich bestimmen. Welche Innovationen sich letztlich am Markt durchsetzen, hängt entscheidend von den Umfeldfaktoren ab, die die Entwicklung von Trajektorien beeinflussen können. In der evolutorischen Innovationstheorie wird dafür der Begriff „selection environment" gewählt. Zu diesen Umfeldbedingungen zählen eine Vielzahl von Faktoren aus den Bereichen Technologie, Gesellschaft Markt und Ökologie, für die in der Literatur verschiedene Abgrenzungen gewählt werden. Der Stand der Forschung zur Bedeutung der Umfeldbedingungen auf die Richtung und das Ausmaß von Innovationen ist jedoch bislang unbefriedigend (siehe hierzu BECHER 1995:344 oder OLSCHOWY 1990:81).

Ein Unterschied von Umweltinnovationen zu normalen Innovationen besteht darin, daß die Generierung von Umweltinnnovationen in erheblichem Maße von der Einführung und der Ausgestaltung umweltpolitischer Instrumente abhängt, da die Intensität der Marktsignale für Umweltinnovationen häufig nicht ihrer volkswirtschaftlich gewünschten Bedeutung entspricht (GREEN et al. 1994; HEMMELSKAMP et al. 1995). So folgern FABER et al. (1994:62) in einer empirischen Untersuchung in der chemischen Industrie, „daß der Anstoß durch Veränderungen der Rahmenbedingungen z.B. in Form neuer oder veränderter Umweltschutzgesetze notwendig ist, damit auch künftig Verbesserungen in der Umweltqualität erreicht werden können".

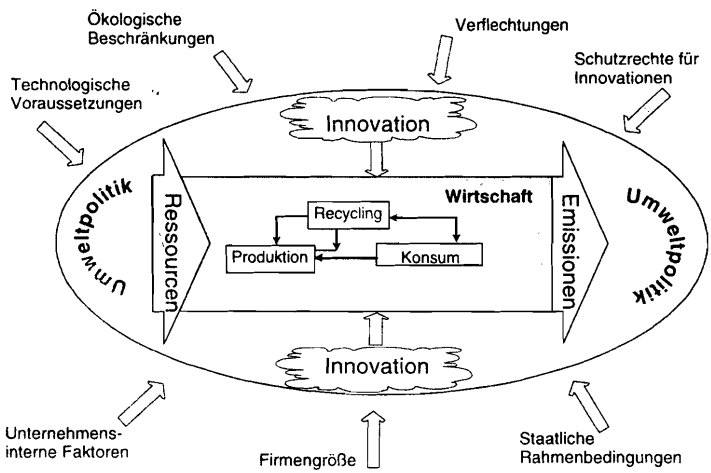
Die bisher vorliegenden Forschungsarbeiten zu den Innovationswirkungen umweltpolitischer Instrumente beruhen überwiegend auf theoretischen Untersuchungen (vgl. KEMP 1994:219). Eine grundlegende Arbeit hierzu wurde beispielsweise von MILLIMAN und PRINCE (1989) erstellt, die in einem Modell die dynamische Effizienz von fünf umweltpolitischen Instrumenten vergleichend untersucht haben. Die Studie kommt dabei, ebenso wie andere Untersuchungen, u.a. von DOWNING/WHITE (1986), zu dem Ergebnis, daß marktwirtschaftliche Instrumente dynamische Effizienzvorteile gegenüber ordnungsrechtlichen Instrumenten haben[4]. MICHAELIS (vgl. 1992:12) verweist jedoch auf die Mängel vieler theoretischer Modelle, die die Ergebnisse der Un-

[4] Eine neuere Studie zu den Innovationseffekten von Abgaben wurde von Zimmermann/Wohltmann/Hansjürgens (1996) erstellt.

tersuchungen verfälschen können. Er kritisiert vor allem die Ausklammerung der für realistische Modellierungen notwendigen schadstoffspezifischen Rahmenbedingungen, wie die zur Verfügung stehenden Vermeidungstechnologien oder die bestehende Emittentenstruktur. HOHMEYER und KOSCHEL (vgl. 1995:14) führen darüber hinaus an, daß unterschiedliche technische Optionen, wie beispielsweise eine Unterscheidung in integrierte und end-of-pipe Technologien, in der Regel nicht beachtet werden. Auch der Aussagekraft empirischer Unternehmensfallstudien bei Anbietern von Umwelttechnologien, die bis Ende der achziger Jahre vorlagen, wird aufgrund der zum Teil widersprüchlichen Ergebnisse und den methodisch mangelhaften Forschungsansätzen eine eher „anekdotische Evidenz" zugemessen (BECHER et al. 1990:109). Die Zahl systematischer und umfangreicherer empirischer Untersuchungen hat aber in jüngerer Zeit zugenommen (vgl. beispielsweise FABER et al. 1994; KOSCHEL 1994; GREEN et al. 1994; HEMMELSKAMP et al. 1995).

Die Mehrzahl der bisherigen theoretischen und empirischen Untersuchungen weisen den grundlegenden Mangel auf, daß der Einfluß der bestehenden Umfeldbedingungen auf den Einsatz spezifischer umweltpolitischer Instrumente nicht berücksichtigt wird. Der Einsatz eines umweltpolitischen Instrumentes stellt für Unternehmen nur einen zusätzlichen Bestimmungsfaktor des Innovationsverhaltens innerhalb eines Bündels von innovationsrelevanten Rahmenbedingungen dar, wodurch die Spielräume für umweltschutzorientierte Innovationsentscheidungen von Unternehmen stark eingeschränkt werden (HEMMELSKAMP 1996:23).

Abbildung 5: Rahmenbedingungen von Umweltinnovationen



Die Komplexität umweltpolitischer Handlungsbedingungen betont auch JÄNICKE (1996:4) und verweist unter anderem auf den Gewässerschutz in Schweden und den Niederlanden. Beeinflußt durch vielfältige Einflußfaktoren und Lernprozesse erwiesen

sich im holländischen Gewässerschutz Abgaben als wirksam, während die Erfolge im schwedischen Gewässerschutz durch massive Subventionen erreicht. JÄNICKE (1996:2) entwickelt darum das Konzept eines „Regulierungsmusters", welches auf den Erkenntnissen der Wirkungs- und Evaluationsforschung von Politik aufbaut. Ein Regulierungsmuster umfaßt Einflußfaktoren der Wirkung umweltpolitischer Instrumente. Im einzelnen nennt JÄNICKE (1996:7):

- das Instrumentengefüge, bezogen auf spezifische Umweltziele,
- den instrumentellen Kontext staatlichen Handelns wie auch die Akteurskonfiguration (im Sinne von policy network) und
- den Politikstil staatlicher Träger von Umweltbelangen.

In der Innovationsforschung werden darüberhinaus weitere Rahmenbedingungen des Innovationsverhaltens von Unternehmen unterschieden (vgl. Abbildung 5). Diese Rahmenbedingungen sind sowohl angebots- als auch nachfrageseitige Bestimmungsfaktoren, die beispielsweise wie folgt zusammengefaßt werden können (HEMMELSKAMP 1996):

- Marktnachfrage (z.B. Marktumfang und Kundenbedürfnisse),
- technologische Voraussetzungen (vorhandenes Know-how),
- Firmengröße und Marktstruktur (z.B. Konkurrenzsituation),
- Schutzrechte für Innovationen (z.B. Möglichkeiten des Patentschutzes),
- Verflechtungen (z.B. Kooperationen mit Zulieferern),
- unternehmensinterne Faktoren (z.B. Risikoverhalten),
- ökologische Beschränkungen (kritische Belastungsgrenzen oder Ressourcenbestand) und
- staatliche Rahmenbedingungen (u.a. Art und Intensität des Einsatzes umweltpolitischer Instrumente).

Grundsätzlich können alle Bestimmungsfakoren einen Einfluß auf das Innovationsverhalten und damit auch auf Umweltinnovationen haben (EWERS/BRENCK 1992). Es ist darum ex-ante äußerst schwierig, Aussagen über die Bestimungsfaktoren von Innovationen zu treffen. Welche Faktoren letztlich wirken, muß im Einzelfall analysiert werden. So können die Einflußfaktoren beispielsweise zwischen den einzelnen Phasen eines Innovationsprozesses unterschiedlich sein, d.h. die Bestimmungsfaktoren können sich zwischen der Inventions,- Innovations- und Diffusionsphase unterscheiden. Auch zwischen Ländern und Regionen können sich unterschiedliche Bestimmungsfaktoren für das Innovationsverhalten als relevant erweisen.

5 Schlußbetrachtung

Betrachtet man den Einfluß umweltpolitischer Instrumente aus der Sicht der Innovationsforschung, läßt sich feststellen, daß der Rückgriff auf die Erkenntnisse der Innova-

tionsforschung einen besseren Einblick in die Richtung und das Ausmaß umweltschonender Innovationen und deren Diffusion liefert. Wesentlich ist die Erkenntnis, daß der umweltpolitische Instrumenteneinsatz als Teil eines interdependenten Systems komplexer Einflußstrukturen des Innovationsverhaltens betrachtet werden muß. Für eine aussagekräftige Instrumentenanalyse muß darum eine Vielzahl von Einflußfaktoren berücksichtigt werden. Notwendige Voraussetzung für eine Erweiterung der umweltökonomischen Instrumentendiskussion durch den Rückgriff auf die Innovationsforschung sind jedoch gemeinsame Begriffsdefinitionen und -abgrenzungen, um Mißverständnisse und Interpretationsprobleme zu vermeiden.

6 Literatur

ADLER, U./ E.-M. BAUER/ N. HELLER/ J. WACKERBAUER (1994): Additiver und integrierter Umweltschutz und dessen Bedeutung im internationalen Wettbewerb. Gutachten des ifo-Instituts im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag. München.

ASHFORD, N. (1993): Understanding Technological Responses of Industrial Firms to Environmental Problems: Implications for Government Policy, In: Fischer, K./ Schot, J.: Environmnetal Strategies for Industry. Washington:Island Press. 277-307.

BECHER,G./ H. BÖTTCHER/ R. FUNCK/ V. HARTJE/ R.U. SPRENGER/ W. WEIBERT (1990): Regulierung und Innovation. Der Einfluß wirtschafts- und gesellschaftspolitischer Rahmenbedingungen auf das Innovationsverhalten von Unternehmen. München.

BECHER, G. (1993): Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Standortbedingungen für Forschung, Entwicklung und Technologie in der Bundesrepublik Deutschland. Thesenpapier für eine Studie des BMFT. Prognos AG, Basel.

BECHER, G. (1995): Regulation and Innovation - Some New Prospects of Science and Technology Policy in the Federal Republic of Germany, in: BECHER, G./ S. KUHLMANN: Evaluation of Technology Policy Programmes in Germany, Dordrecht: Kluwer.

BECKER, G.S. (1983): Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education. Chicago: Chicago Press.

BLAZEJCZAK, J./ M. KOHLHAAS/ B. SEIDEL/ H. TRABOLD-NÜBLER/ K. LÖBBE/ J. WALTER/ M. WENKE (1993): Umweltschutz und Industriestandort - Der Einfluß umweltbezogener Standortfaktoren auf Investitionsentscheidungen. Erich Schmidt Verlag, Umweltbundesamt, Bericht 1/93, Berlin.

BMFT (Bundesministerium für Forschung und Technologie) (Hrsg.) (1994): Produktionsintegrierter Umweltschutz. Bonn.

COENEN, R./ S. KLEIN-VIELHAUER/ R. MEYER (1995): TA-Projekt „Umwelttechnik und wirtschaftliche Entwicklung": Integrierte Umwelttechnik - Chancen erkennen und nutzen. TAB (Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag) Arbeitsbericht 35, Karlsruhe.

DOSI, G. (1988):Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation. In: Journal of Economic Literature, 26, 1120-1171.

DOWNING, P./ L.J. WHITE (1986): Innovation in Pollution Control. In: Journal of Environmental Economics and Management, 13, 18-29.

ERDMANN, G. (1993): Elemente einer evolutorischen Innovationstheorie. Tübingen:Mohr.

EWERS, J./BRENCK (1992): Innovationsorientierte Regionalpolitik, in: BIRG, H./SCHALCK: Regionale und sektorale Strukturpolitik, 309ff.

FABER, M./ J. PROOPS (1994): Evolution, Time, Production and the Environment. Berlin, Heidelberg:Springer Verlag.

FABER, M./ F. JÖST/ G. MÜLLER-FÜRSTENBERGER (1994): Umweltschutz und Effizienz in der chemischen Industrie - Eine empirische Untersuchung mit 33 Fallstudien. Diskussionsschriften der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Heidelberg, Nr. 217.

FELDER, J./ D. HARHOFF/ G. LICHT/ E. NERLINGER/ H. STAHL (1995): Innovationsverhalten der deutschen Wirtschaft: Ein Vergleich zwischen Ost- und Westdeutschland. ZEW-Dokumentation 95-03. Mannheim

GREEN, K./ A. MCMEEKIN/ A. IRWIN (1994): Technological Trajectories and R&D for Environmental Innovation in UK Firms, in: Futures, 26, 1047-1059.

HALSTRICK-SCHWENK, M./ J. HORBACH/ K. LÖBBE/ J. WALTER (1994): Die Umwelttechnische Industrie in der Bundesrepublik Deutschland, in: Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung (RWI) (Hrsg). Heft 12, Essen.

HANSEN, J. (1996): Produktions- und produktintegrierter Umweltschutz. Forschungs- und Entwicklungsförderung durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), in: Industrie Management, 12, 63-67.

HARABI, N. (1996): Determinanten des technischen Fortschritts auf Branchenebene: ein Überblick. unveröffentlichtes Arbeitspapier. Mannheim/Zürich.

HARTJE, V./ K. ZIMMERMANN (1988): Unternehmerische Technologiewahl zur Emissionsminderung - End-of-the-Pipe versus integrierte Technologie. Vortrag auf der Konferenz der Universität Oldenburg „Ökonomische und politikwissenschaftliche Analyse der Wasserwirtschaft", Oktober 1988.

HEMMELSKAMP, J. (1996): Environmental Policy Instruments and their Effects on Innovation, ZEW-Discussion-Paper 96-22. Mannheim. Erscheint in: European Planning Studies 1997.

HEMMELSKAMP, J./ U. NEUSER (1994): Die EG-Umwelt-Audit-Verordnung - Anreiz zu Innovationen oder zu potemkinschen Dialogen, in: DIW-Vierteljahreshefte, 4: 386-403.

HEMMELSKAMP, J./ U. NEUSER/ J. ZEHNLE (1994): Audit gut, alles gut? - eine kritische Analyse der EG-Umwelt-Audit-Verordnung, in: ZEW-Wirtschaftsanalysen, 2, 199-226

HEMMELSKAMP, J./ G. LICHT/ E. OLDENBOOM/ J.W. VELTHUIJSEN (1995): The Impact of Parameter provided by Environmental Policy on the Innovative Behaviour of Companies in selected European Countries. Study commissioned by the European Comission. Mannheim, Amsterdam.

HEMMELSKAMP, J./ G. LICHT (1996): The Impact of Environmental Regulation on Innovation in German and Dutch Companies. Paper presented at the UNESCO International Congress on Environment/Climate in Rom, 4.-8. März 1996.

HIPP, C. et al. (1996): Innovationstätigkeit im Dienstleistungssektor. Forschungsbericht von ZEW/FhG-ISI und Infas an das BMBF. Mannheim, Karlsruhe, Bonn.

HOHMEYER, O., H. KOSCHEL (1995) Umweltpolitische Instrumente zur Förderung des Einsatzes integrierter Umwelttechnik. Gutachten des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).

JÄNICKE, M. (1996): Regulierungsmuster und Innovation. Entwurf für ein Papier im Rahmen der BMBF-Clearingstudie „Innovative Wirkungen von Energiesteuern und -Abgaben). Forschungsstelle Umwelt der FU Berlin.

KEMP, R. (1994): Environmental Policy and Technical Change. PhD manuscript, University of Limburg.

KLINE, S.J./ N. ROSENBERG (1986): An Overview of Onnovation, in: LANDAU, R./ ROSENBERG, N. (Hrsg.): The positive sum strategy: Harnessing technology for economic growth. Washington DC: National Academy Press.

KUHN, M./W. RADERMACHER/C. STAHMER (1994): Umweltökonomische Trends 1960 bis 1990, in: Wirtschaft und Statistik 8, 658-677.

KURZ, R./ H.-W GRAF/ M. ZARTH (1989): Der Einfluß wirtschafts- und gesellschaftspolitischer Rahmenbedingungen auf das Innovationsverhalten von Unternehmen. Eine Problemskizze auf Basis der relevanten Literatur. Institut für Angewandte Wirtschaftsforschung. Tübingen.

LICHT, G./ E. ROST (1995): On the Measurement of Innovation Expenditure in Manufacturing Industries. Background paper for the Revision of the Oslo-manual. ZEW/BMBF, Revised Version March 1995. DSTI/EAS/NESTI(96)4/REV1. OECD Paris.

LUCAS, R.E. (1988): On the Mechanics of Economic Development, in: Journal of Monetary Economics, 22, 3-42.

MAAS, C. (1987): Innovation und Umweltschutz in Betrieben der Textilveredelungsindustrie, Ergebnisse einer postalischen Befragung. Technische Universität Berlin, Diskussionspapier Nr. 113.

MACKENZIE, D. (1992): Economic and Sociological Explanation of Technical Change, in: COOMBS, R./ P. SAVIOTTI/ V. WALSH: Technological Change and Compnay Strategies: Economic and Sociological Perspectives, London, 25-48.

METCALFE, S. (1989): Evolution and Economic Change, In: SILBERSTONE, A.: Technology and Economic Progres, London, 54-85.

MICHAELIS, P. (1992): Umweltpolitik und technologisches Anpassungsverhalten im 'End of Pipe'-Fall. Institut für Weltwirtschaft an der Universität Kiel. Kieler Arbeitspapiere Nr. 540.

NELSON, R./ S. WINTER (1982): An Evolutionary Theory of Economic Change. Cambridge (Mass.) und London.

OECD (1992a): OECD Proposed Guidlines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data - Oslo Manual. Paris

OECD (1992b): Technology and the Economy. The Key Relationships. Paris.

OECD (1996): Draft of Revised Chapter IV of the Oslo Manual - Basic Definitions. DSTI/EAS/STP/NESTI(96)8/PART4. Paris.

OLSCHOWY, W. (1990): Externe Einflußfaktoren im strategischen Innovationsmanagement. Auswirkungen externer Einflußfaktoren auf den wirtschaftlichen Innovationserfolg sowie die unternehmerischen Anpassungsmaßnahmen. Berlin.

PFIRRMANN, O. (1991): Innovation und regionale Entwicklung. Eine empirische Analyse der Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationstätigkeit kleiner und mittlerer Unternehmen in den Regionen der Bundesrepublik Deutschland 1978-1984. München:VVF.

RADKE, V. (1996): Ökonomische Aspekte nachhaltiger Technologie. Zur Bedeutung unterschiedlicher Ausprägungen des technischen Fortschritts für das Konzept des Sustainable Developments, in: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, 1, 109-128.

ROMER, P.M. (1990): Endogenous Technical Change, in: Journal of Ploitical Economy, 98, 71-102.

ROSENBERG, N. (1982): Inside the black box - Technology and economics. Cambridge (Mass.): Cambridge University Press.

SCHUMPETER, J. (1912): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Eine Untersuchung über Unternehmergewinn, Kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklus. 5. Auflage 1952. Berlin: Duncker&Humblot.

SCHUMPETER, J. (1950): Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie. München: Francke Verlag.

SOLOW, R.M. (1957): Technical Change and the Aggregate Production Function, in: Review of Economics and Statistics, 39, 312-320.

UMWELT (1994) Umweltfreundliche Bleigewinnung. 6, 240-241.

UTTERBACK, J.M./ F.F. SUAREZ (1993): Innovation, competition and industry structure, In: Research Policy, Vol. 22, Nr. 1, S. 1-21.

WITT, U. (1993): Evolutionary Economics. Hants: Edward Elgar.

ZEW/INFAS (1996): Innovationserhebung 1996. Mannheim/Bonn.

ZIMMERMANN, H./ M. WOHLTMANN/ B. HANSJÜRGENS (1996): Umweltabgaben und Innovation. Berlin: Analytica.

ZIMMERMANN, K. (1990): Umweltpolitik und integrierte Technologien: Der Quantitäts - Qualitäts Trade - off, in: ZIMMERMANN, K./ V.J. HARTJE/ A. RYLL: Ökologische Modernisierung der Produktion. Strukturen und Trends. Berlin: Ed. Sigma, 199-249.

ZUNDEL, S./ ROBINET, K. (1994): Förderinstrumente und wirtschaftliche Entwicklung. Gutachten des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung (TAB). Berlin.

Anhang 1: Umweltinnovationen im Verarbeitenden Gewerbe

Innovationsarten	Innovationsziel	Technische Lösungen/ Managementmaßnahmen	Einzelmaßnahmen
Prozess-innovationen	• Verringerung der Umweltbelastung bei der Rohstoffgewinnung	• Rohstofförderungstechniken • Rohstoffextraktionstechniken	• Verbesserungen der Extraktionstechnologien für nicht-erneuerbare Rohstoffen, • Verbesserung der Anbautechnologien bei erneuerbaren Rohstoffen • Ertragssteigerungen bei erneuerbaren Rohstoffen, z.B. durch biotechnologische Verfahren • Verbesserungen der Erntetechnologien von erneuerbaren Rohstoffen.
	• Verringerung und Beseitigung der Umweltbelastung bei der Produktion von Zwischen- und Endprodukten	• Produktionsprozesse mit nachgeschalteten Umwelttechniken	• Reduktion und Umwandlung von Emissionen durch Abscheideverfahren • Einsatz von Altlastensanierungstechniken • Reduktion und Umwandlung von Abwässern
	• Verringerung und Beseitigung der Umweltbelastung bei der Produktion von Zwischen- und Endprodukten • Verbesserung der Ressourceneffizienz bei der Produktion von Zwischen- und Endprodukten	• Produktionsprozesse mit integrierter Umwelttechniken • Prozeßinternes Recycling	• Verringerung des Rohstoff, Betriebsstoff, Material- und Energieeinsatzes pro Produktionseinheit • Senkung der Emissionen pro Produktionseinheit • Substitution umweltschädlicher Inputfaktoren • Überwachung des Produktionsprozesses • Abwärmenutzung • Kreislaufführung in Prozessen • Einsatz von Meß- und Regeltechniken
Produktinnovationen	• Verringerung und Beseitigung der Umweltbelastung bei der Produktverwendung	• Produkte mit nachgeschalteten Umweltschutztechniken	• Einbau von Katalysatoren
	• Verringerung und Beseitigung der Umweltbelastung bei der Produktverwendung • Verbesserung der Ressourceneffizienz bei der Produktverwendung • Risikoanalyse und Frühwarnsystem	• Produkte mit integrierten Umwelttechniken	• Verbesserung der Deponierungsmöglichkeiten • Verbesserung der Rezyklierungsmöglichkeiten • Veränderung der Produktbestandteile • Verlängerung der Produktlebensdauer • Verbesserung der Informationsgrundlage • Recyclinggerechte Konstruktion • Entwicklung lärmarmer Produkte • Substitution von FCKW oder Asbest • Entwicklung reperaturfreundlicher Produkte
	• Neue Produkte • Gewinn	• Umweltschutztechniken	• Entwicklung von Recyclingtechnologien • Entwicklung von Meß, Analyse und Überwachungstechnik • Umweltschonende Produktionsanlagen und Produkte
Organisatorische Innovationen	• Umweltoptimierung des betrieblichen Leistungsprozesses	• Ablauforganisation • Aufbauorganisation	• Durchführung von Umwelt-Audits • Erstellung von Ökobilanzen • Durchführung von Produktlinienanalysen

Anhang 2: Umweltinnovationen im Dienstleistungsgewerbe

Innovationsarten	Innovationsziel	Technische Lösungen/ Managementmaßnahmen	Einzelmaßnahmen
Prozess-innovationen	• Neue und verbesserte Verfahren zur Erbringung von Dienstleistungen	• Einsatz von IuK-Techniken	• Zertifizierung nach EG-Umwelt-Audit • Neue Logistiksysteme bei Speditionen (Global Positioning System) • Verbesserung interner Prozeßabläufe • Neue Frachtdienste bei Speditionen
Produkt-innovationen	• Neue und verbesserte Dienstleistungen	• Meß- Regeltechniken • Einsatz von IuK-Techniken	• Fernmessung- und steuerung (Telemetrie) • Interaktive Miltimediadienste
Organisatorische Innovationen	• Verbesserung des organisatorischen Aufbaus und unternehmensinternes Abläufe	• Verbesserung der Aufbau- und Ablauforganisation	• Zertifizierung nach EG-Umwelt-Audit • Neue Regionalniederlassung • Abbau von Hierarchieebenen