

Rave, Tilmann; Triebswetter, Ursula

Research Report

Ökonomische Auswirkungen umweltpolitischer Regulierungen: eine Machbarkeitsstudie vor dem Hintergrund der Anforderungen der Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen (IVU-Richtlinie)

ifo Forschungsberichte, No. 30

Provided in Cooperation with:

Ifo Institute – Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich

Suggested Citation: Rave, Tilmann; Triebswetter, Ursula (2006) : Ökonomische Auswirkungen umweltpolitischer Regulierungen: eine Machbarkeitsstudie vor dem Hintergrund der Anforderungen der Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen (IVU-Richtlinie), ifo Forschungsberichte, No. 30, ISBN 3-88512-452-1, ifo Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München, München

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/167393>

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.



30

ifo Forschungsberichte

Ökonomische Auswirkungen umweltpolitischer Regulierungen

-Eine Machbarkeitsstudie vor dem Hintergrund der Anforderungen der Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen (IVU-Richtlinie)-

Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes

von

Tilmann Rave
unter Mitarbeit von
Ursula Triebswetter



Institut für
Wirtschaftsforschung
an der Universität München

**Ökonomische Auswirkungen
umweltpolitischer Regulierungen
- Eine Machbarkeitsstudie vor dem Hintergrund der
Anforderungen der Richtlinie 96/61/EG über die integrierte
Vermeidung und Verminderung von
Umweltverschmutzungen (IVU-Richtlinie) -**

Studie im Auftrag des Umweltbundesamts

Dr. Tilmann Rave unter Mitarbeit von
Dr. Ursula Triebswetter

München, April 2006

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de>
abrufbar

ISBN 3-88512-452-1

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlags ist es auch nicht gestattet, dieses
Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie)
oder auf andere Art zu vervielfältigen.

© by ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München 2006

Druck: ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München

ifo Institut für Wirtschaftsforschung im Internet:
<http://www.ifo.de>

Inhaltsverzeichnis

A. Einleitung.....	7
1. Politischer Kontext und Problemstellung	7
2. Erster Überblick über vorliegende ökonomische Untersuchungen und Diskussionsstränge	11
3. Weiteres Vorgehen	15
B. Umweltpolitische Regulierung, Innovationen und Wettbewerbsfähigkeit:	
Potenzielle Wirkungsmechanismen und Analyseebenen (Analyseraster).....	17
1. Einzelwirtschaftliche Wirkungen	17
2. Wirkungen auf der Mesoebene	23
3. Gesamtwirtschaftliche Wirkungen auf nationaler Ebene	31
4. Wirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit	36
5. Wirkungen der Regulierungsform, des Regulierungsdesigns und des „Regulierungsklimas“	44
6. Zwischenfazit.....	49
C. Überblick über das Methodenspektrum	52
1. Einige grundsätzliche Charakteristika von Modellen und Modellanalysen	52
2. Typisierung von Modellen und Analysemöglichkeiten.....	53
D. Möglichkeiten des Einsatzes vorhandener sektor- und makroökonomischer Modelle vor dem Hintergrund der vorliegenden Fragestellung	61
1. Anforderungen an einen empirisch ausgerichteten Forschungsansatz	61
2. Überwindung der Mikro-Makro-Brücke über Input-Output-Rechnung und – analyse.....	64
2.1 Einordnung von IO-Modellen	65
2.2 Zur Abbildung technischen Wandels über variable Inputkoeffizienten.....	68
2.3 Zur Kompatibilität von ökonomischen IO-Modellen mit technischen Submodellen: Wege zu einer Modellkopplung	74
2.4 Erweiterung von IO-Modellen durch nachgelagerte Simulationsrechnungen .	78
2.5 Stärken und Schwächen der bisherigen IO-Modelle und Zwischenfazit	79
3. „Große“ makroökonomische Modelle: Möglichkeiten zu einer „vollintegrierten“ Mikro-Makro-Modellierung	83
3.1 Makroökonometrische Modelle.....	84
3.2 Allgemeine Gleichgewichtsmodelle.....	87
3.3 Zwischenfazit.....	89
4. Überwindung der Mikro-Makro-Brücke über Mikrosimulationsmodelle und Mikro-Makro-Simulationsmodelle	90
4.1 Grundkonzeption und Modellierungsmöglichkeiten.....	91

4.2 Empirisch interessante und anwendbare Modelle	94
4.3 Vor- und Nachteile von Mikrosimulations- und Mikro-Makro- Simulationsmodellen	103
4.4 Zwischenfazit.....	106
5. Mikroökonometrische Studien, Indikatorenansätze und Fallstudien:	
Einige „ergänzende“ Anmerkungen.....	107
E. Zum Umgang mit Daten- und Informationsproblemen	118
1. Vorbemerkung.....	118
2. Umsetzung bei Vorhandensein guter primärer und sekundärer Daten	119
3. Umsetzung vorwiegend über Datenmodifikation und –integration.....	125
4. Umsetzungsmöglichkeiten in ausgewählten „IVU-Sektoren“	131
5. Fazit	141
F. Empfehlungen zu einem zukünftigen Forschungsdesign: 10 zusammenfassende Thesen und mögliches weiteres Vorgehen	144
Literatur	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Typisierung von Sektorcharakteristika.....	29
Tabelle 2: Charakteristika deutscher Innovationserhebungen.....	122
Tabelle 3: Anzahl der Tätigkeiten in den wesentlichen „IVU-Sektoren“ in	
Deutschland	132
Tabelle 4: Methoden zur Modellierung des deutschen Papiersektors unter besonderer Berücksichtigung von Datengesichtspunkten und der Abbildung von Technik	134
Tabelle 5: Modellierte Technologien in der Kupferprozesskette im	
Jülicher Kupfermodell	138

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzip der Mikrosimulation	92
Abbildung 2: Modellierte Prozesskette bis zur Kupferkathode im Jülicher Kupfermodell	137
Abbildung 3: Prozesskette der Primäraluminiumherstellung und modellierte Techniken.....	139

A. Einleitung

1. Politischer Kontext und Problemstellung

Die Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen (IVU-Richtlinie) wurde 1996 vom Europäischen Rat verabschiedet. Sie beinhaltet die grundlegenden Regeln für integrierte Genehmigungen von besonders umweltrelevanten industriellen und landwirtschaftlichen Anlagen. „Integriert“ bedeutet, dass die Genehmigungen die gesamten, medienübergreifenden Auswirkungen der Anlage auf die Umwelt in Betracht ziehen müssen, wie z.B. Verschmutzung der Luft, des Wassers und des Bodens, Abfallentstehung, Einsatz der Rohstoffe, Energieeffizienz, Lärm, Störfallvermeidung, Risikomanagement etc., um somit ein hohes Maß an Umweltschutz insgesamt zu erreichen. Die ganzheitliche Betrachtungsweise von Luft-, Wasser- und Bodenbelastungen sowie der zwischen den Umweltmedien zirkulierenden Kreisläufe soll vermeiden, dass im Laufe von Umweltschutzmaßnahmen Belastungen von einem Medium in ein anderes verschoben werden. Vor diesem Hintergrund soll das Anlagenehmigungsverfahren in den Mitgliedsstaaten schrittweise harmonisiert werden, indem einheitliche Vorgaben zu diesem Verfahren sowie zu den Auskunfts- und Betreiberpflichten der Unternehmen entwickelt werden.

Die Emissionsgrenzwerte in den Genehmigungsbescheiden sollen sich dabei auf „Beste Verfügbare Techniken“ (BVT) stützen. Diese werden in Artikel 2(11) der IVU-Richtlinie näher definiert:

“best available techniques” shall mean the most effective and advanced stage in the development of activities and their methods of operation which indicate the practical suitability of particular techniques for providing in principle the basis for emission limit values designed to prevent and, where that is not practicable, generally to reduce emissions and the impact on the environment as a whole:

- *'techniques` shall include both the technology used and the way in which the installation is designed, built, maintained, operated and decommissioned,*
- *'available` techniques shall mean those developed on a scale which allows implementation in the relevant industrial sector, under economically and technically viable conditions, taking into consideration the costs and advantages, whether or not the techniques are used or produced inside the Member State in question, as long as they are reasonably accessible to the operator,*
- *'best` shall mean most effective in achieving a high general level of protection of the environment as a whole.*

Die nähere Bestimmung von BVT wird wesentlich im sog. Sevilla-Prozess vorangetrieben, einem gemäß Artikel 16 (2) der IVU-Richtlinie von der Europäischen Kommission

organisierten Informationsaustausch zwischen den Mitgliedsstaaten, den betroffenen Industriezweigen und den Umweltverbänden, der zur Erstellung von Merkblätter über die jeweilig "Besten Verfügbaren Techniken" für bestimmte Sektoren beiträgt. Die Merkblätter beinhalten neben der Darstellung von BVT auch ein Kapitel zu neuartigen Techniken in der Entwicklung, d.h. Techniken die aufgrund ihres Entwicklungsstadiums noch nicht in der breiten Anwendung eingesetzt werden, mit denen jedoch eine weitere Verminderung von Umweltbelastungen einhergehen kann oder die gleichen Umweltbelastungen mit geringerem Aufwand erreicht werden können. Die neuartigen Techniken werden insbesondere bei der Fortschreibung der Merkblätter auf ihre Eignung als "Beste Verfügbare Techniken" geprüft. Die BVT-Merkblätter dienen letztlich den Genehmigungsbehörden als Hilfestellung, die letzte Entscheidung über die lokalen Grenzwerte obliegt ihnen allerdings weiterhin im Einzelfall, wobei ökologische, technische und ökonomische Kontextfaktoren zu berücksichtigen sind. In Deutschland werden Emissionsstandards jedoch traditionell auf nationaler Ebene über den „Stand der Technik“ einheitlich definiert, so dass lokale Ermessensspielräume als eher begrenzt angesehen werden. Solange die Grenzwerte eingehalten werden, verbleibt die Auswahl einer konkreten Technik und die Integration dieser Technik in den Produktionsprozess allerdings den Anlagenbetreibern (Ganzleben, 2002).

In zunehmendem Maße rücken auch die ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie in den Vordergrund. Aus den oben zitierten Passagen der Richtlinie wird dabei deutlich, dass die „Lebensfähigkeit“ (*viability*) betroffener industrieller Sektoren durch die Einführung von BVT nicht unterminiert werden soll, was nicht ausschließt, dass innerhalb eines Sektors einzelne Unternehmen auch regulierungsbedingte Wettbewerbsnachteile in Kauf nehmen müssen. In der öffentlichen Diskussion (und auch den Fachdiskussionen) ist bislang allerdings eine mikroökonomische Betrachtungsweise vorherrschend, bei der ein relativ enger Bezugsrahmen zugrundegelegt wird und vor allem die (kurzfristigen) Kosten von BVT für betroffene Unternehmen im Vordergrund steht. Wenig Beachtung gefunden haben dagegen bislang Wirkungen, die sich auf sektor- und makroökonomischer Ebene sowie aufgrund von Innovationsanreizen ergeben können.

Dass zumindest einige dieser „weiterreichenden“ Effekte eintreten dürfte, ist jedoch relativ plausibel erklärbar. Ein nahe liegender Grund ist darin zu sehen, dass die Richtlinie bestehenden Anlagen eine elfjährige Übergangsfrist bis zum 31. Oktober 2007

einräumt.¹ Je näher das Ende dieser Übergangsphase rückt, desto mehr wird auch deutlich werden, dass die Anpassungs- und Umsetzungsprozesse der einzelnen Mitgliedsstaaten – nicht zuletzt wegen der in der BVT-Definition angelegten Flexibilität – recht unterschiedlich verlaufen. Folglich können sich z.B. positive und negative Wettbewerbswirkungen für verschiedene Standorte ergeben. Ebenso ist mit ökonomischen Auswirkungen durch die europaweit verstärkte Nachfrage nach BVT auszugehen, wovon z.B. Unternehmen des Industriebaus profitieren können.

In Deutschland fallen knapp 9800 Tätigkeiten bzw. rund 7700 Anlagen unter die IVU-Richtlinie, vorwiegend unter die Haupttätigkeitsbereiche chemische Industrie, Metallherstellung und –verarbeitung, Abfallbehandlung, Energiewirtschaft und mineralölverarbeitende Industrie (Bundesregierung, 2003).² Zugleich sind die Standards in Deutschland vergleichsweise strikt und die Umsetzungsmaßnahmen relativ weit fortgeschritten. Folglich sind wettbewerbs- und nachfrageinduzierte ökonomische Folgewirkungen zu erwarten.

In der öffentlichen Diskussion werden oft die durch umweltpolitische Regulierung induzierten hohen Kostenbelastungen für Unternehmen hervorgehoben. In der Tat sind auf einzelwirtschaftlicher Ebene auch verschiedene Kostenbelastungen und Anpassungsprobleme zu erwarten. Wie z.B. jüngst im Rahmen der Neuregelung der EU-Chemikalienpolitik werden jedoch mitunter bedrohliche und einseitig konstruierte Szenarien Gegenstand der öffentlichen Debatte, wobei massive kostenbedingte Arbeitsplatzverluste für die Volkswirtschaft als Ganzes in Aussicht gestellt werden (ADL, 2002). Dabei werden volkswirtschaftliche Nutzen (inkl. ökonomische Rückwirkungen durch eingesparte Umweltfolgekosten) und potenzielle regulierungsinduzierte Innovationswirkungen ausgeklammert. Zudem können einige der vor allem auf die makroökonomische Ebene zielenden Untersuchungen zu den Wirkungen von umweltpolitischen Maßnahmen den Anforderungen an methodisch fundierte und hinreichend differenzierte Wirkungsanalysen und Folgeabschätzungsverfahren – wie sie von der Europäischen Kommission vermehrt gefordert werden – oft nicht Genüge tun (u.a. durch unzulässige Verallgemeinerung mikroökonomischer Analysen; vgl. z.B. Umweltbundesamt, 2002).

¹ Seit Oktober 1999 hat die Richtlinie allerdings direkte Gültigkeit für Neuanlagen und für wesentliche Änderungen bestehender Anlagen, die eine negative Wirkung auf die Umwelt haben können.

² Darüber hinaus unterliegen zahlreiche Anlagen, die nicht im Anhang I der IVU-Richtlinie aufgeführt sind, den Anforderungen dieser Richtlinie (z.B. über 15.000 Tierhaltungsanlagen). Folglich stellen die angeführten Zahlen nur eine Untergrenze dar.

Dennoch sind wirtschaftsstrukturelle Fragestellungen von Interesse, weil sehr viele Parameter- und Politikveränderungen die Teile und Sektoren einer Volkswirtschaft sehr unterschiedlich treffen können, auch wenn der Gesamteffekt vielleicht aufgrund verschiedener kompensatorischer Mechanismen relativ gering ausfällt (sei es nach oben oder unten). Vor diesem Hintergrund gilt es, Methoden und Datenanforderungen zusammenzustellen, um vor allem meso- und makroökonomische Wirkungen von BVT und Neuen Techniken erfassen und deren Größenordnung abgreifen zu können. Zu denken ist zunächst an,

- Wirkungen durch die Erhöhung der Nachfrage nach BVT und Neuen Techniken unter Einbeziehung vor- und nachgelagerter Produktionsstufen,
- Wirkungen auf die inländische Produktionsstruktur,
- gesamtwirtschaftliche Wirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt, Beschäftigung, Investitionen etc.,
- Innovationswirkungen (z.B. Anwendung neuen technischen Wissens auch in anderen Bereichen),
- Wirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit (z.B. Erhöhung der Exporte durch Vorreiterrolle / "first mover advantage").³

Diese, vom Umweltbundesamt finanzierte Untersuchung reiht sich in das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt „Neue Techniken für den medienübergreifenden, integrierten Umweltschutz“ ein und hat den Charakter einer Machbarkeitsstudie, die als Grundlage für ein breiter angelegtes Vorhaben „Ökonomische Auswirkungen der IVU-Richtlinie“ dienen soll bzw. kann. Ein derartiges Vorhaben gilt es vorzubereiten und angemessen zu „dimensionieren“. Ziel der vorliegenden Studie ist es, einen Beitrag zur anwendungsorientierten Methodendiskussion zu leisten, das Methodenspektrum kritisch zu reflektieren und ggf. Anstöße für „methodisches Lernen“ zu geben. Schließlich könnte ein zu ambitionierter Untersuchungsansatz dazu führen, dass der Forschungs- und Erhebungsaufwand sowie der Abstimmungsbedarf unverhältnismäßig oder aber die Unsicherheitsmargen so groß werden würden, dass die generierten Aussagen nicht mehr hinreichend nachvollziehbar, objektiv oder glaubwürdig wären. Im ungünstigsten Fall würde sich eine zu erstellende Studie dann in eine nur ideologisch geprägte Debatte münden. Andererseits könnte eine „richtig“ dimensionierte Studie oder eine geschickte und konsistente Verknüpfung einzelner Untersuchungsme-

³ Die aufgeführten Wirkungsdimensionen und Beispiele sind vom Auftraggeber dieser Studie vorgegeben worden und verlangen eine gewisse Schwerpunktsetzung (vor allem auf die bislang wenig untersuchten „weiterreichenden Effekte“).

thoden und -bestandteile eine wichtige Hilfestellung für zukünftige politische Entscheidungen (z.B. im Hinblick auf die Förderung integrierter Umweltschutztechnologien) werden.

2. Erster Überblick über vorliegende ökonomische Untersuchungen und Diskussionsstränge

Die ökonomische Literatur und bisherige politikorientierte Studien bieten vielfältige Möglichkeiten sich der hier interessierenden Fragestellung nach den (makro-)ökonomischen Auswirkungen einer technikorientierten (umwelt-)politischen Regulierung – oder noch allgemeiner nach den Verbindungen zwischen den Themenkomplexen Umwelt, Technik und Wirtschaft – zu nähern. An dieser Stelle soll nur ein kurzer (unvollständiger) Überblick geliefert werden, um zu verdeutlichen, von welchen bisherigen Projekten und Studien diese Untersuchung „inspiriert“ werden kann.

Den inhaltlich bislang engsten Bezug zur IVU-Richtlinie und den ökonomischen Wirkungen von BVT hatte eine groß angelegte, europaweit durchgeführte Studie im Auftrag der Europäischen Kommission (Hitchens et al., 2002). Untersucht wurden die Auswirkungen der BVT-Implementation auf die Wettbewerbsfähigkeit bestehender, von der IVU-Richtlinie betroffener Anlagen, wobei die Sektoren Zement, NE-Metalle und Zellstoff/Papier herausgegriffen wurden. Methodisch wurde im Kern ein Fallstudienansatz gewählt, bei der die ökonomische Leistungsfähigkeit (*performance*) von Anlagen, die die (meisten) für die Charakterisierung als BVT-Anlage relevanten Bausteine umgesetzt haben, jeweils ähnlichen Anlagen gegenübergestellt wurden, die als „Nicht-BVT“ bezeichnet werden können (sog. *matched plant analysis*). Im Vordergrund der Untersuchung stand die Erklärung von Performanceunterschieden und der den Unterschieden zugrunde liegenden Einflussfaktoren. Die untersuchten Betriebe konnten auf diese Weise nach verschiedenen technischen und ökonomischen Variablen charakterisiert werden und ökonomische Auswirkungen ließen sich mittels der eigens erhobenen Datenbasis auf Prozess- bzw. Betriebsebene abschätzen. Folglich kann die Studie im wesentlichen als mikroökonomisch charakterisiert werden; ihre Stärke liegt in der hohen Kontextsensibilität, die erlaubt, ein genaues Bild über fördernde und hemmende Faktoren für die BVT-Implementation zu ermitteln und Wettbewerbseffekte abzuschätzen. Der Einfluss von BVT auf Produktion, Sektorstruktur, Beschäftigung im weiteren Sinne – insbesondere im Hinblick auf vor- und nachgelagerte Produktionsstufen – bleibt jedoch weitge-

hend unberücksichtigt.⁴ Schon die statistische Basis für derartige weitergehende Fragestellungen wird von den Autoren als zu begrenzt angesehen (Hitchens et al., 2002, S. 66).

Auch weitere, auf einen bestimmten IVU-relevanten Teilbereich fokussierte Studien (z.B. Pellini und Morris, 2002 für die Schweinetierhaltung) verwenden einen auf Expertenmeinungen, Erhebungen und Vor-Ort-Besuchen gestützten Fallstudienansatz. Verschiedentlich hat allerdings bereits eine Art Konsolidierungsprozess eingesetzt, indem Daten zu den wirtschaftlichen Auswirkungen von Umweltmaßnahmen zu Indikatoren verdichtet werden und in (partiellen) Modellen eine vereinfachte Wirkungsanalyse angestellt wird. So lässt sich z.B. mit einem holländischen Indikatorenansatz und dem sog. MIOW-Modell ermitteln, ob Kosten für einen bestimmten (Teil-)sektor absorbiert oder an nachgelagerte Sektoren bzw. Endnachfrager weitergereicht werden können. Ähnliche Überlegungen zu einer methodischen Vereinheitlichung werden im Referenzdokument "Economics and cross-media" angestellt (European Commission, 2005). Dass einzelwirtschaftliche Kostenbelastungen bei einer sektoralen bzw. gesamtwirtschaftlichen Betrachtung auch mit nachfragestimulierenden Wirkungen einhergehen können, wird in diesem Rahmen allerdings vernachlässigt. Folglich bleibt die makroökonomische (und mit gewissen Einschränkungen auch die sektorale) Ebene in bisherigen Untersuchungen zu den ökonomischen Wirkungen der IVU-Richtlinie und von BVT bzw. Neuen Techniken unterbelichtet. Damit bleiben zugleich auch die konzeptionellen und empirischen Impulse dieser Studien begrenzt.

Stimuliert wird die vorliegende Untersuchung des weiteren von der sog. Porter Hypothese und der darauf aufbauenden theoretischen und empirischen Literatur. Dieser Hypothese zufolge können richtig strukturierte (*properly structured*) Umweltregulierungen bei einer dynamischen Betrachtungsweise nicht nur dem Umweltschutz und der Gesellschaft im weiteren Sinne nutzen, sondern auch den von der Regulierung betroffenen Unternehmen. Durch eine innovationsstimulierende Wirkung könnte eine *win-win*-Situation entstehen, so dass der Zielkonflikt zwischen Umweltschutz und Wettbewerbsfähigkeit abgemildert oder sogar überwunden werden kann. Die induzierte Nachfrage nach sauberen Produkten, Prozessen und Dienstleistungen könnte außerdem einen sog. *first-mover advantage* gegenüber Ländern schaffen, die erst später ähnliche Regulierungen einführen.

⁴ Lediglich ein ergänzender (und etwas irreführend) als „Makro-Ansatz“ bezeichneter Baustein für den Bereich Papier/Zellstoff versucht durch eine Zusammenfassung von Betrieben zu Gruppen und durch einen Vergleich mit Betrieben außerhalb der EU weiterreichende Aussagen für die Sektorebene zu treffen.

Von Interesse ist in diesem Zusammenhang insbesondere die Tatsache, dass sich um diese Hypothese seit Mitte der 1990er Jahre eine intensive und noch anhaltende Debatte entsponnen hat und eine Reihe von Studien versucht haben, die postulierten Innovationseffekte (*innovation offsets*) nachzuweisen bzw. zu widerlegen. Zudem lenkt die Porter-Diskussion die Aufmerksamkeit auch auf die internationale Ebene, die nicht zuletzt für eine stark auf den Export gerichtete Wirtschaft wie Deutschland von erheblicher Bedeutung ist. In diesem Zusammenhang sind jüngst – zunächst eher explorative und konzeptionelle – Bemühungen hervorzuheben, die Rolle und die Bedeutung von sog. *Lead-Märkten* für Umweltinnovationen herauszuarbeiten (u.a. Beise et al., 2002; Jacob et al., 2005). Zu überprüfen wäre daher, welche konzeptionellen Hilfestellungen diese Studien bieten und ob einige der verwendeten Methoden für die vorliegende Fragestellung zweckmäßig sind, sich ggf. nicht abgedeckte Wirkungen von BVT ermitteln lassen oder bestehende Ansätze (wie Hitchens et al., 2002) weiterentwickelt werden können (z.B. durch ökonometrische Verfahren).

Einen weiteren wichtigen Anknüpfungspunkte bilden die bereits Ende der 1980er Jahre vom damaligen Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) initiierten und breit angelegten Studien zur Technologiefolgenabschätzung META I und II. Diese Studien beschäftigen sich zwar nicht mit Umweltschutz oder umweltpolitischen Regulierungsaktivitäten, sondern mit den quantitativen und qualitativen Arbeitsmarktwirkungen moderner Technologien. Auch der Entstehungskontext war dementsprechend ein anderer.⁵ Methodisch sind diese Arbeiten dennoch von besonderem Interesse, da erstmals ein sog. Mikro-Makro-Brückenschlag für eine technikbezogene Fragestellung realisiert worden ist. Es wurde also eine Methode entwickelt, um die Wirkungen des Einsatzes bedeutsamer moderner Technologien von der Mikroebene der einzelnen Betriebe über die Mesoebene der Branchen bis zur Makroebene der gesamtwirtschaftlichen Modelle nachvollziehen und abbilden zu können. Zum einen ergeben sich damit methodische Hinweise, wie ein derartiger Brückenschlag auch für die Abschätzung der ökonomischen Auswirkungen von BVT realisiert werden könnte (insbesondere über die Erfahrungen mit dem Instrumentarium der Input-Output Analyse). Zum anderen wurden die Ergebnisse der META-II-Studie im nachhinein von einem wissenschaftlichen Beirat analytisch und methodisch durchleuchtet und im Hinblick auf die Zielsetzung hinterfragt. Die Ergebnisse dieser Aufarbeitung sind dokumentiert und könnten auch für den vorliegenden Untersuchungsgegenstand (z.B. bzgl. der zu beachtenden Randbedingungen eines möglichen BMBF-Forschungsvorhabens) zweckdienlich sein (Oppenländer,

⁵ Den Studien vorausgegangen war eine kontroverse öffentliche Debatte, in der Technik (insbesondere die Mikroelektronik) einerseits als Job-Killer, andererseits als Job-Knüller bezeichnet wurde.

1991). Außerdem ist zu überprüfen, ob es seit diesen Studien nicht auch methodische Weiterentwicklungen im Bereich der (im weitesten Sinne) industrieökonomischen Forschung gegeben hat (z.B. durch die aufstrebende evolutorische Ökonomik).

Schließlich ist noch zu berücksichtigen, dass sich vor allem seit Anfang der 1990er Jahre die Debatte um die sektoralen und gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungswirkungen des Umweltschutzes intensiviert hat.⁶ Teilweise knüpfen die Untersuchungen an den bei der META-II-Studie gewonnenen methodischen Erfahrungen an (z.B. durch Input-Output-Analysen für ausgewählte Umweltschutztechniken), teilweise kommen Impulse auch von anderer Seite. So ist es durch die sich intensivierende klima- und energiepolitische Debatte zu wesentlichen Fortschritten in der Modellierung und Abbildung komplexer Wechselwirkungen zwischen Umwelt, Wirtschaft und Energiesystem gekommen (z.B. Grubb, Köhler und Anderson, 2002; Frohn et al., 2003). Dabei ergeben sich grundsätzliche Unterschiede im Hinblick auf Modellkonstruktion und „Modellphilosophie“, aber auch spezifische Unterschiede bzgl. der Genauigkeit, mit der technische Zusammenhänge dargestellt werden können. Angesichts des mittlerweile breiten Methodenspektrums bei energiewirtschaftlichen und –politischen Fragestellungen und einschlägigen praktischen Erfahrungen mit diesen Methoden werden auch die jeweiligen Stärken und Schwächen immer deutlicher. Dies dürfte letztlich auch für die vorliegende Fragestellung wichtige Erkenntnisse zutage fördern, etwa bzgl. der Grenzen der Übersetzung technischer in ökonomische Daten (z.B. bei der Schätzung von Input-Output-Koeffizienten). Zudem sind einige dieser Untersuchungen auch thematisch relativ eng mit dem anlagenbezogenen Umweltschutz verbunden.

Die Zusammenführung technisch-ingenieurwissenschaftlicher und ökonomischer Forschung lässt sich schließlich nicht nur im energiepolitischen Kontext, sondern auch im Bereich der sog. *Industrial Ecology* Literatur beobachten (jüngst van den Bergh und Janssen, 2004 sowie Kytia und Nathani, 2004). Diese Forschungsrichtung beschäftigt sich allgemein gesprochen mit dem „industriellen Metabolismus“, also den vielfältigen Stoff- und Materialflüssen und physischen Vermögensbeständen einer (oder mehrerer) Volkswirtschaft(en). In jüngerer Zeit häufen sich hier die Bemühungen theoretische, konzeptionelle und methodische Brücken zur ökonomischen Forschung zu bauen.

⁶ Wesentliche Untersuchungen gehen zwar bis in die 1970er Jahre zurück, wobei auch hier teilweise eine heftige Debatte über den Umweltschutz als Jobknüller bzw. als Jobkiller geführt wurde. Einen durch das breit angelegte Analysekonzept wichtigen Meilenstein stellt allerdings die Studie von Blazejcak et al. (1993) dar.

3. Weiteres Vorgehen

Nachfolgend soll an dieser Stelle das weitere Vorgehen für die vorliegende Machbarkeitsstudie erläutert werden.

Wie bereits angedeutet sind die Wirkungsbeziehungen zwischen umweltpolitischen Regulierungsaktivitäten, technischem Wandel und ökonomischer Wettbewerbsfähigkeit a priori komplex und schwer durchschaubar. Zudem spielen sich diese Wirkungsmechanismen auf verschiedenen Analyseebenen ab, was die Eindeutigkeit von Aussagen zu Ursache-Wirkungs-Beziehungen erschwert. Daher soll in Abschnitt B ein Analyseraster präsentiert werden, mit dem sich die Zusammenhänge ordnen lassen. Unterschieden wird zwischen Effekten auf einzel-, sektor- und gesamtwirtschaftlicher Ebene. Als Querebenen können außerdem noch Wirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit und Wirkungen der Ausgestaltung der jeweiligen Regulierung diskutiert werden.

Darauf aufbauend wird in Abschnitt C ein kurzer Überblick über das für Szenario- bzw. Prognosetechniken sowie Wirkungsanalysen relevante Methodenspektrum gegeben. Neben grundsätzlichen Merkmalen werden verschiedene Modelltypen und gängige Unterscheidungen beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass bei Modellanalysen bestimmte Zielkonflikte in Kauf zu nehmen sind und dass Modellanalysen an bestimmte Grenzen stoßen. Diese gilt es vor dem Hintergrund konkreter Modelle zu diskutieren.

In Abschnitt D wird vor allem auf solche Modelle eingegangen, die sektor- und makro-ökonomische Auswirkungen sowie Innovationswirkungen im Blick haben, zugleich aber den Bezug zum Thema BVT und Neue Techniken gewährleisten. Daher werden zunächst einige Anforderungen an einen empirisch ausgerichteten Forschungsansatz formuliert. Demzufolge sind solche Modelle methodisch von besonderem Interesse, die ein hinreichendes Maß an Heterogenität auf Unternehmensebene abbilden, die sektorale Struktur einer Volkswirtschaft darstellen, dynamische Prozesse wiedergeben und sich für einen Mikro-Makro-Brückenschlag eignen.

Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Weiterentwicklungen die sich in letzter Zeit im Rahmen der Input-Output-Analyse ergeben haben. So liegen für Deutschland mittlerweile z.B. Arbeiten vor, die über mehrere Zwischenschritte und „Bereinungsverfahren“ herkömmliche IO-Modelle mit technikspezifischen Submodellen koppeln. Damit können einerseits für einen bestimmten Sektor technische Prozesse und intrasektoraler Wandel detailliert dargestellt werden, andererseits kann aber auch der Bezug zu ökonomischen Wirkungen sektorstruktureller und gesamtwirtschaftlicher

Art gewahrt werden. Daraufhin werden Modelle beschrieben, die auf Input-Output Daten aufbauen, aber im Gegensatz zu IO-Modellen einen höheren Endogenisierungs- und Vernetzungsgrad aufweisen. Damit könnten weitere Wirkungsmechanismen miteinbezogen werden. Als eine alternative Methode werden schließlich noch Mikrosimulationsmodelle und deren Erweiterungen zu Mikro-Makro-Simulationsmodellen vorgestellt. Diese Modelle werden insbesondere von der evolutorischen Ökonomik geschätzt und können ein relativ hohes Maß an Heterogenität und Verhaltensvielfalt auf der Mikroebene abbilden. Abschließend wird noch ergänzend auf (weitere) mikroökonomische Ansätze und Fallstudien zurückgegriffen. Zum einen werden mit diesen Methoden Innovationswirkungen und Wirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit untersucht, die ja auch von Interesse sind (Kapitel A 1.); zum anderen lässt sich zeigen, welche Schwächen die zuvor diskutierten Methoden mit sich bringen und welche komplementäre Rolle mikroökonomisch orientierte Ansätze spielen könnten.

Die Frage des Daten- und Informationsbedarfs wird schließlich im nächsten Abschnitt nochmals explizit aufgegriffen. Wegen Datenmangels oder aber aufgrund der unübersichtlichen Informationslage müssen damit zuvor angestellte Überlegungen zu methodisch vielversprechenden Weiterentwicklungen relativiert werden. Es wird versucht, einen Überblick über die Datenlage in ausgewählten IVU-relevanten Sektoren zu geben, um damit auch die Rolle von Sektorspezifika zu veranschaulichen.

Abschließend werden auf der Basis der Literaturanalyse – und in Anlehnung an die diversen Zwischenfazits – einige Thesen formuliert und Empfehlungen zu einer potenziellen Nachfolgestudie zu den ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie ausgesprochen. Sie wurden im Rahmen eines Fachgesprächs diskutiert.

B. Umweltpolitische Regulierung, Innovationen und Wettbewerbsfähigkeit: Potenzielle Wirkungsmechanismen und Analyseebenen (Analyseraster)

Die Auswirkungen umweltpolitischer Regulierungen auf die ökonomische Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, Sektoren oder gar Ländern und damit auf verschiedene ökonomische Basisgrößen wie z.B. Produktivitäts- und Wirtschaftswachstum, Beschäftigung sowie Innovationsverhalten wird seit längerem immer wieder kontrovers diskutiert. Im Kern unumstritten ist die „traditionelle“ ökonomische Begründung für Umweltregulierungen: Sie sind ein Instrument zur Internalisierung externer, nicht über einen Markt vermittelter und kompensierter und bei Dritten anfallenden Kosten. Zu diesem Zweck werden die sozialen Nutzen einer bestimmten Regulierung und die dazu aufzuwendenden privaten Kosten einander gegenübergestellt. Während es weithin unbestritten ist, dass insbesondere aufgrund des Vorhandenseins negativer externer Effekte umweltpolitisches Handeln des Staates notwendig ist und die soziale Wohlfahrt erhöhen kann, werden die ökonomischen Auswirkungen umweltpolitischer Regulierungen auf die davon direkt oder indirekt betroffenen Unternehmen kontrovers diskutiert. Belebt wurde diese Debatte insbesondere Anfang der 1990er Jahre durch Michael E. Porter, der behauptete, dass strikte und richtig strukturierte Umweltregulierungen nicht nur der Umwelt und der Gesellschaft als Ganzes zugute kämen, sondern auch eine innovationsstimulierende Wirkung hätten und somit für die betroffenen Unternehmen Anpassungskosten ganz oder teilweise kompensiert werden könnten („Porter-Hypothese“).

Ziel dieses Abschnitt ist es, die ökonomisch relevanten Zusammenhänge zwischen umweltpolitischer Regulierung, dadurch angeregten oder ausgelösten Innovationen und Indikatoren ökonomischer Wettbewerbsfähigkeit darzustellen. Dabei werden verschiedene Betrachtungsebenen und Zeithorizonte diskutiert, so dass auch deutlich wird, inwiefern neue Technologien gesellschaftliche Gruppen in unterschiedlichem Maße betreffen und ihre kurz- und langfristigen Wirkungen auseinanderfallen können.

1. Einzelwirtschaftliche Wirkungen

Nach traditioneller, neoklassischer Auffassung besteht auf der mikroökonomischen Ebene ein deutliches Spannungsverhältnis zwischen umweltpolitisch motivierten Regulierungen und der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen. In diesem Analyserahmen wird (zunächst) davon ausgegangen, dass Unternehmen in Wettbewerbsmärkten (als sog. Mengenanpasser) agieren und in betriebswirtschaftlich effizienter Weise ihre Ge-

winne maximieren (Produktion an der Effizienzgrenze). Gelegenheiten zur Erhöhung der Unternehmensgewinne sind aus dieser Sicht bereits ausgeschöpft, d.h. es wird auch nicht davon ausgegangen, dass Unternehmen systematisch Kostenreduktionspotenziale ungenutzt lassen. Anhand eines einfachen Angebots-Nachfrage-Schemas lässt sich dann zeigen, dass externe Beschränkungen auf Unternehmensentscheidungen – u.a. durch staatliche Einflussnahme – zusätzliche Produktionskosten implizieren, sei es direkt durch höhere Ausgaben für den Umweltschutz und begleitende Umwelt-FuE oder indirekt durch höhere Faktorpreise.⁷ Folglich produziert das Unternehmen im allgemeinen weniger, da Preiserhöhungen kurzfristig (abgesehen vom Grenzfall einer vollkommen unelastischen Nachfrage) höchstens teilweise an die Konsumenten weitergereicht werden können. Es ergeben sich in der Regel und zumindest kurzfristig Umsatz- und Gewinneinbußen und ggf. rückläufige Marktanteile. In der Folge verlangsamt sich das (gemessene) Produktivitätswachstum, weil Produktionsfaktoren für die Produktion eines zusätzlichen, nicht marktfähigen Gutes „Umweltqualität“ verwendet werden. Auf welche Produktionsfaktoren sich die Umstellung auf bzw. der Einsatz einer neuen, a priori als weniger produktiv angesehenen (BAT-)Technik auswirkt, hängt dann davon ab, wie die bisherige und die neue Technik charakterisiert werden können (u.a. durch die veränderten Einsatzverhältnisse der Produktionsfaktoren und die Substitutionselastizitäten).

Diese einfache Lehrbuchversion bzgl. der Auswirkungen einer (umweltpolitischen) Regulierung auf die Kosten- und Ertragslage eines Unternehmen ist in verschiedenen Formen und auf verschiedenen Ebenen modifiziert und kritisiert worden. Dabei wird im wesentlichen argumentiert, dass Innovationen regulierungsbedingte Anpassungskosten mildern oder sogar überkompensieren können (schwache bzw. starke Porter Hypothese). Zu untersuchen sind im Kern alternative Verhaltensannahmen, die strategische Positionierung des Unternehmens und verschiedene induzierte Innovationswirkungen.

Auf mikroökonomischer Ebene ist zunächst geltend gemacht worden, dass unternehmerisches Entscheidungsverhalten nicht als *black box* konzipiert werden kann und damit nicht generell von rationalem, wohlinformiertem und gewinnmaximierendem Handeln ausgegangen werden kann (Gabel und Sinclair-Desgagné, 1999; Roediger-Schluga, 2004, S. 20ff.; European Commission, 2004). In Unternehmen finden sich eine Vielzahl von Akteuren mit heterogenen Verhaltensweisen und auch hier kann es zu Formen von Organisations- oder Koordinationsversagen kommen. Unter bestimmten Bedingungen

⁷ Grafisch gesehen würde sich die Angebotskurve nach links oben verschieben (vgl. auch Palmer et al., 1995).

können etwa Manager unfähig oder nicht gewillt sein, profitable Investitionsgelegenheiten zu erkennen und danach zu handeln. Insbesondere wird darauf verwiesen, dass Unternehmen gemäß bestimmter standardisierter Prozeduren und Routinen handeln, die zwar zunächst eine zeit- und arbeitssparende Wirkung haben, zugleich aber die Anpassung an veränderter externe Rahmenbedingungen (auch aus Kostengründen) erschweren und zu einer Quelle von Trägheit oder Rigidität werden können. Hinzu kommen oft noch imperfekte und asymmetrische Informationsflüsse und Kommunikations- und Prinzipal-Agenten-Probleme innerhalb des Unternehmens. Strikte Umweltregulierungen könnten Ineffizienzen und ungenutzte Potenziale (auch sog. *low hanging fruits*) sichtbar machen und Unternehmen näher an die Produktionsmöglichkeitsgrenze führen. Sie könnten das Bewusstsein über die Umweltperformance verschiedener unternehmerischer Aktivitäten und Technologien erhöhen und dazu anregen, neues und ökonomisch verwertbares Wissen anzusammeln. Nicht zuletzt wird immer wieder darauf verwiesen, dass die Effizienzpotenziale im Bereich Umwelt- und Ressourcenschutz von vielen Unternehmen noch nicht hinreichend bzw. in systematischer Weise erkannt und ausgeschöpft worden sind und ökologische Gesichtspunkte oft nicht als integraler Bestandteil des strategischen Management aufgegriffen werden (z.B. IPTS, 2004, S. 15). Auch durch beständigen öffentlichen Druck könnten Unternehmen dazu angeregt werden, proaktiv ihre Umweltperformance und ihr öffentliches Image zu verbessern sowie gesellschaftliche Verantwortung zu übernehmen (vgl. Porter und van der Linde, 1995). Gerade bei einem längeren Zeithorizont könnten Unternehmen dann auch Techniken einsetzen, die zwar kurzfristig anderen unterlegen sind, langfristig jedoch ein höheres Maß an sog. Mehrergiebigkeit aufweisen.⁸

Von Interesse ist ebenso die Markt- und Wettbewerbsstrategie des Unternehmens. Während traditionell von preislichem Wettbewerb ausgegangen wird, können private Nutzen schließlich auch durch eine Strategie der Produktdifferenzierung und des Qualitätswettbewerbs realisiert werden. Dies könnte dann der Fall sein, wenn - induziert durch staatliche Regulierung – private Güter mit (besseren) Umwelteigenschaften produziert werden und ein Unternehmen durch die Produktion ökologisch hochwertigerer Produkte ggf. einen neuen „Nischenmarkt“ besetzen würde. Wird diese Strategie von Kundenseite gewürdigt (z.B. durch Kommunikation der verbesserten Umweltperformance), könnte dies nicht nur zu Imagevorteilen, sondern auch zu einer Nachfrageerhöhung oder –umlenkung zugunsten dieser Güter führen. Entscheidend ist somit, ob eine durch Regu-

⁸ Eine Erklärung hierfür bietet die neo-österreichische Kapitaltheorie (vgl. Vögele, 2001, S. 34ff. mit Hinweis auf Faber und Proops). Eine Technik gilt als mehrergiebiger als eine andere, wenn in Abhängigkeit von dem unterstellten Zeithorizont mehr Konsumgüter erstellt werden können.

lierung induzierte Innovation am Markt aufgenommen wird und zusätzliche Nachfrage für innovierende Unternehmen schafft.⁹

Somit kann es auch zu Kosten- bzw. Güterpreissenkungen oder einer gestiegenen Nachfrage nach qualitativ verbesserten Gütern und Dienstleistungen kommen. Da durch umweltpolitische Regulierung explizit oder implizit der Produktionsfaktor „Umwelt“ teurer gemacht wird und/oder Güter mit günstigen Umwelteigenschaften attraktiver werden, können sich also sog. induzierte Innovationseffekte ergeben. Inwieweit und in welcher Form diese Effekte auftreten, ist nicht nur eine empirische Frage, sondern hängt auch von der Betrachtungsebene, dem Zeithorizont und der Art der Regulierung ab (vgl. Kapitel B 2-5). Da sie jedoch direkt oder indirekt unternehmerisches Verhalten betreffen, ist es zweckmäßig diese Effekte nach einigen Kriterien weiter zu differenzieren, z.B. im Hinblick auf

- Die Art der Innovation: Bei einer Produktinnovation führt die Anwendung einer neuen Technologie dazu, dass neue oder verbesserte Produkte am Markt abgesetzt werden können und zusätzliche Nachfrage schaffen. Typischerweise können hier Umsatz- und Gewinnsteigerungen vermutet werden. Bei Mehrproduktunternehmen stellt sich allerdings bereits die Frage, inwiefern neue Produkte zu alten Produkten in einer Konkurrenzbeziehung stehen, ein komplementäres Verhältnis besteht oder neue Produkte tatsächlich additiv (bzw. „konkurrenzlos“) hinzutreten. Prozessinnovationen beziehen sich demgegenüber auf die Produktionsart und –methode und zielen über eine Veränderung des Produktionsprozesses auf eine Kostenreduzierung bzw. eine Erhöhung der ökonomischen Leistungsfähigkeit ab.¹⁰ Sie waren in der Vergangenheit meistens mit einer Erhöhung der Arbeitsproduktivität in dem jeweiligen Unternehmen verbunden und wirkten sich hier arbeitssparend aus. Da Umweltinnovationen jedoch typischerweise ressourcenschonend wirken, könnten sie auch mit einer verstärkten Arbeitsnachfrage einhergehen. In Mehrproduktunternehmen wären jedoch Verbundvorteile zu berücksichtigen, so dass der Bedarf an Inputfaktoren und die Faktorkosten insgesamt sinken könnten. Außerhalb des Unternehmens spielen verschiedene kompensierende, in der Regel beschäftigungssteigernde Effekte eine wichtige Rolle (siehe Kapitel B 2. und 3.).

⁹ Nach Grubb, Köhler und Anderson (2002, S. 278) kann induzierter technischer Wandel als eine technologische Entwicklung verstanden werden, die von Bedingungen auf der Nachfrageseite induziert wird, in erster Linie Preisen, Marktbedingungen und Erwartungen über deren Entwicklung, die wiederum ihrerseits auch von politischen Maßnahmen beeinflusst werden. Dem steht ein Verständnis gegenüber, das technische Entwicklung als autonomen Prozess oder als alleiniges Ergebnis universitärer oder staatlicher Forschung ansieht.

¹⁰ Edquist et al. (2001) weisen darauf hin, dass die Unterscheidung zwischen Produktinnovationen und Prozessinnovationen in der neoklassischen Ökonomie nicht hinreichend deutlich gemacht wird.

- Die Intensität der Innovation: Eine Innovation kann danach unterschieden werden, ob sie eher inkrementell bestehende Produkte, Prozesse und Praktiken verbessert oder diese radikal infrage stellt (Verbesserungs- vs. Basisinnovation). Eine radikale, „pfadverändernde“ Prozessinnovation würde etwa eine vollständige Umstellung der Produktionsweise mit sich bringen.¹¹ Ein vollständiger Austausch des Maschinenparks würde z.B. stärkere Rationalisierungs- und Folgeeffekte haben, insbesondere wenn es dem Unternehmen gelingt, durch Kostensenkungen die Güterpreise soweit zu senken, dass es eine (temporäre) Monopolstellung auf seinem Markt einnimmt. Schrittweise Verbesserungen an bestehenden Maschinen haben demgegenüber i.d.R. überschaubare Auswirkungen, könnten eine bestehende technologische Trajektorie bzw. Techniklinie zudem eher stabilisieren. Ebenso würden im Falle von radikalen Produktinnovationen gänzlich neue Märkte erschlossen und nicht nur bestehende Märkte partiell erweitert. Dies ist wiederum an eine Reihe näher zu spezifizierender Voraussetzungen gebunden (z.B. Änderungen im Konsumentenverhalten, Anpassung der Infrastruktur). Folglich ergeben sich je nach Innovationsintensität auch Unterschiede im Hinblick auf die Größenordnung realwirtschaftlicher Veränderungen.
- Phase des Innovationsprozesses: Häufig wird eine Unterscheidung zwischen Innovation und Diffusion getroffen. Demzufolge findet eine Innovation dann statt, wenn eine Neuerung marktfähig ist. Diffusion bezieht sich dagegen auf den (i.d.R. nicht automatisch ablaufenden) Prozess der Ausbreitung dieser Innovation, was auch ständige Verbesserungen und Anpassungen mit sich bringen kann. Versteht man die Diffusion als Teil der Innovation, steht der häufig diskontinuierliche Innovationsprozess und weniger das Innovationsergebnis zu einem bestimmten Zeitpunkt im Vordergrund. Bei dieser dynamischen Betrachtungsweise müssen viele Entscheidungsvariablen als variabel angesehen werden (je nach konkreter Technologie und dessen Eigenschaften, dem jeweils betrachteten Sektor mit seinen heterogenen Unternehmen und den weitergehenden Umfeldbedingungen). Typischerweise folgt die Diffusion jedoch einem S-förmigen Verlauf: Am Anfang müssen zahlreiche Barrieren überwunden werden, dann ergeben sich jedoch zahlreiche positive Skalen- und Lerneffekte, die zur Verbreitung der Innovation führen, und schließlich tritt eine Marktsättigung ein. Zu fragen ist allerdings, ob die Phase der raschen Verbreitung durch abwartendes Verhalten der Unternehmen verhindert wird (vgl. Kapitel B 2., Koordinationsprobleme).

¹¹ Ein Beispiel für eine solche weitreichende, pfadverändernde prozesstechnische Innovation ist das vorwiegend in Japan entwickelte Membranverfahren, das in Folge der sog. Minamata-Krankheit zur Substitution von Quecksilber führte (Hanhoff und Holm-Müller, 2003, S. 340).

- Art der umwelttechnologischen Maßnahme: Üblicherweise gibt es mehrere Technologien, die zu einem schonenderen Umgang mit den natürlichen Lebensgrundlagen beitragen. Am häufigsten zu finden ist die Unterscheidung zwischen additiven (*end-of-pipe*) und integrierten Technologien. Erstere sind im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass sie Prozesse und Produkte weitgehend unverändert lassen und lediglich versuchen, Umweltbelastungen im nachhinein zu verringern. Letztere versuchen dagegen Umweltbelastungen so weit wie möglich an der Quelle bzw. im Entstehungsprozess zu vermeiden oder zu minimieren, indem sie bestehende Produktionsprozesse verändern oder neue Verfahren entwickeln. Dabei kann es sich z.B. um die Substitution von Inputfaktoren handeln, aber auch um sog. anlagenintegrierte Maßnahmen wie die Optimierung einzelner Prozesskomponenten oder die Integration neuer Prozesskomponenten.¹² Bei end-of-pipe-Technologien ist der Umweltschutzzweck i.d.R. eindeutig, während Investitionen in integrierte Technologien oft auch aus „anderen“ Erwägungen erfolgen (Kostensenkungen, Qualitätsverbesserungen, allgemeine Produktionsumstellungen). Oft wird betont, dass die Umstellung auf integrierte und i.d.R. komplexe Umweltschutztechnologien mit relativ hohen Planungs- und Koordinierungskosten verbunden ist und längere Zeiträume in Anspruch nimmt. Anfänglich hohe Fixkosten sowie ggf. Anwendungsprobleme und Marktrisiken können allerdings langfristig durch Skalen- und Lerneffekte, neue technologische Gelegenheiten und Produktivitätsgewinne kompensiert werden (Jenkins, 1998; Meyer, 1997, S. 133). Bei end-of-pipe-Technologien ist es dagegen eher unwahrscheinlich, dass Produktivitätsgewinne realisiert werden (European Commission, 2004).¹³

In theoretischen Modellen lässt sich schließlich zumindest die schwache Version der Porter Hypothese weiter erhärten.¹⁴ Grob gesprochen könnte man bei den beiden folgenden Modellen von einem Umstrukturierungseffekt sprechen: So können die Anpassungskosten durch Umweltregulierungen zumindest abgemildert und die durchschnittli-

¹² Allerdings ist die Zuordnung nicht immer eindeutig, insbesondere bei Recyclingtechnologien. Hier wird gelegentlich noch zwischen prozessinternem primärem Recycling und prozesseexternem sekundärem Recycling unterschieden.

¹³ Da die Unterscheidung zwischen end-of-pipe-Technologien und prozessintegrierten Technologien allerdings selbst relativ grob und nur bedingt (für konzeptionelle Zwecke) hilfreich ist, bieten sich – wiederum in Abhängigkeit vom untersuchten Sektor u.ä. – genauere Typologisierungen an. Im Hinblick auf die Diffusion neuer Technologien stellt sich auch die Frage, ob integrierte und end-of-pipe-Technologien miteinander konkurrieren oder komplementär zueinander eingesetzt werden. Eine wichtige Frage ist auch, wie konkrete umweltpolitische Maßnahmen die Erwartungsbildung und die Entscheidung für oder wider der Investition in integrierte Techniken bestimmen (vgl. Kapitel B 5.).

¹⁴ Weitere Argumente, die z.T. auch bereits modelltheoretisch fundiert wurden, werden in den Folgekapiteln aufgegriffen.

che Profitabilität erhöht werden, wenn es zu einer durch technische Alterung bedingten Reduktion des gesamten Kapitalstocks (*downsizing*) sowie zu einer Modernisierung dieses, aus mehreren Jahrgängen bestehenden Kapitalstocks kommt (vgl. das Modell von Xepapadeas und de Zeeuw, 1999). Kostensenkend wirkt sich insbesondere aus, dass durch *downsizing* ein Druck auf die Preise nach oben entsteht, in Folge der Modernisierung die Kapitalstockproduktivität steigt (da neue Maschinen zwar teurer sind, aber (annahmegemäß) mit Produktivitätssteigerungen einhergehen) und beide Effekte zusammen Emissionsminderungen und damit Kostenersparnisse mit sich bringen. Feichtinger et al. (2003) verallgemeinern dieses Ergebnis teilweise auch für nicht-lineare funktionale Formen (Modell mit Abschreibung), wobei die Investitionskosten allerdings konkav mit dem Alter abnehmen müssen.¹⁵ Eine (unbeabsichtigte) Folge könnte darin bestehen, dass größere Unternehmen aufgrund ihrer größeren Anpassungs- und Forschungskapazitäten im Rahmen dieses Prozesses eher bestehen als kleinere Unternehmen.

Diese Aspekte verdeutlichen, dass bei einer dynamischen Betrachtungsweise Regulierungen bereits auf Unternehmensebene vielfältige Impulse auslösen können, die mit betriebs- und unternehmensinternen Faktoren interagieren. Zugleich wird deutlich, dass diese Auswirkungen eigentlich nicht unabhängig von den allgemeinen und spezifischen Angebots- und Nachfragebedingungen sowie den (branchenspezifischen) Wettbewerbsbedingungen diskutiert werden können, die es im folgenden noch näher zu erläutern gilt.

2. Wirkungen auf der Mesoebene

Auf der Mesoebene werden die Wirkungen staatlicher Interventionen auf ökonomische Strukturen betrachtet. Zum einen geht es dabei um die durch eine Struktur auszumachenden Teile eines Gegenstandes und ihre Interaktion, konkret also vor allem um die Marktstruktur und damit die Verbindung zwischen mikroökonomischer und sektoraler Ebene. Zum anderen lässt sich eine Struktur auch als Ganzes betrachten, so dass in unserem Fall die Wirtschaftsstruktur bzw. das Zusammenspiel zwischen sektoraler und

¹⁵ Wenn berücksichtigt wird, dass Produktivitätsunterschiede auch auf technologisches Lernen im Unternehmen zurückzuführen sind, Unternehmen also mit alten Maschinen zunächst besser umgehen und sie besser in den Produktionsprozess integrieren können als neue Maschinen, entstehen allerdings keine Kostenersparnisse. Auch die schwache Version der Porter Hypothese wird in diesem Fall nicht bestätigt (vgl. Feichtinger et al., 2003).

makroökonomischer Ebene im Vordergrund steht (Vosskamp, 1996, S. 20).¹⁶ Betrachtet man diese zwischenbetriebliche und sektorale Ebene, wird insbesondere deutlich, dass ökonomische Auswirkungen bei den unmittelbar von einer Umweltregulierung betroffenen Unternehmen weitere indirekte und nachgelagerte Effekte auslösen, die mit Verschiebungen in der Markt- und Wirtschaftsstruktur einhergehen können (primäre vs. sekundäre Impulse). Die Einbeziehung von nicht (vollständig) über den Markt vermittelten Wirkungen führt außerdem zu weiteren Komplikationen.

Von Interesse sind als erstes die allokativ i.d.R. nicht relevanten Struktureffekte. Abstrahiert man zunächst konzeptionell von induzierten Innovationseffekten auf der Mikroebene, gilt es die Preis- und Mengenwirkungen ins Auge zu fassen, die sich durch die höhere Nachfrage der von Regulierungen betroffenen Unternehmen nach Gütern und Dienstleistungen vor- oder nachgelagerter Spezialanbieter des Umweltsektors und sonstiger relevanter Anbieter (insbesondere im sog. Investitionsgütersektor) ergeben dürften.¹⁷ Produktionsveränderungen in einem Sektor aufgrund neuer Inputerfordernisse lösen neben einer veränderten Arbeitsnachfrage eine Nachfrageänderung nach diversen zirkulierenden und fixen Kapitalgütern aus. Die Nachfrage- und Produktionssteigerung in den vorgelagerten Kapitalgüterindustrien verursacht dort wiederum eine steigende Nachfrage nach Kapitalgütern usw. Der auf diese Weise durch eine Produktionsumstellung in einem Sektor hervorgerufene Nachfrageimpuls kann unter bestimmten Voraussetzungen in einer Vielzahl von Sektoren Produktionsänderungen induzieren. So gilt es etwa Umweltschutzanlagen zu bauen, Ausrüstungen für diese Systeme herzustellen, für eine logistische Infrastruktur zu sorgen und die Anlagen später zu betreiben und zu war-

¹⁶ Es wird bereits deutlich, dass es schwer fällt, die Mesoebene genau zu definieren und bestimmte Wirtschaftszweige dingfest zu machen. So lässt sich eine Ökonomie nach institutionellen oder funktionalen Kriterien gliedern. Im ersten Fall, der in der Wirtschaftsstatistik dominiert, spielt insbesondere die Zugehörigkeit zu bestimmten Arbeitgeber- oder Arbeitnehmerorganisationen eine Rolle. Funktionale Kriterien können entweder produktorientiert sein, also vor allem am Gebrauchsnutzen oder an den Verwendungsarten von Erzeugnissen anknüpfen (z.B. Ernährungsgüter vs. Bekleidung, Konsum- vs. Investitionsgüter), oder prozessorientiert sein, also insbesondere an der Art der verwendeten Stoffe und Vorprodukte (z.B. Steine und Erden) oder der Fertigungstechnik (z.B. Einzel- vs. Massenfertigung) ansetzen. Einfacher wird es offensichtlich, wenn Ein-Produkt-Unternehmen unterstellt werden, da dann ein Produkt genau einem Markt zugeordnet werden kann (Löbbe et al., 1993, S. 4ff.). Auch die Begriffe Markt- und Wirtschaftsstruktur sind nicht immer trennscharf. Die Marktstruktur wird im allgemeinen über Kriterien wie Konzentrationsgrad, Größenverteilung der Unternehmen und ggf. weiteren Kriterien wie dem Grad der Produktdifferenzierung bestimmt, unter der Wirtschaftsstruktur versteht man die Gliederung einer Wirtschaft in ihre verschiedenen Sektoren. Neben der Zahl und der Größenverteilung der Sektoren ist dabei auch die Vorleistungsverflechtung eingeschlossen (Vosskamp, 1996, S.38ff.).

¹⁷ European Commission (2004) legt mit Verweis auf Daten von Eurostat nahe, dass 40% der laufenden Ausgaben für den Umweltschutz durch die Industrie an andere private und öffentliche Unternehmen fließen (schwerpunktmäßig bei Abfall und Abwasser). Der größere Teil der Ausgaben erfolgt demnach für "in-house"-Aktivitäten. Allerdings dürfte eine derartige Zuordnung schwer zu messen sein.

ten (begleitende Dienstleistungen). Die Regulierung wird somit in diesem Bereich typischerweise einen marktschaffenden bzw. –erweiternden Effekt haben und zu einem Anstieg von Umsätzen und Gewinnen bei diesen Anbietern führen.¹⁸ Die Betrachtung auf Sektorebene zeigt damit, dass nicht nur die bestehenden, von einer Umweltregulierung betroffenen Unternehmen zu analysieren sind; vielmehr entstehen Folgewirkungen entlang der Wertschöpfungskette und ggf. kann es sogar zur Entstehung neuer Unternehmen kommen (Jenkins, 1998).

Allerdings kommt es im Hinblick auf die Innovationswirkungen auf verschiedenen Ebenen bereits zu einer Vielzahl von Interaktionen. Einige, für diese Untersuchung besonders plausiblen Effekte seien hier aufgeführt.

- Einige Innovationen (insbesondere bei Investitionsgütern) treten in zwei verschiedenen Erscheinungen (*appearances*) auf (Edquist et al., 2001, S. 100). Neue bzw. verbesserte Güter, die nach der Produktion auf einem Markt verkauft werden, können zunächst als Produktinnovationen klassifiziert werden. Werden sie von anderen Unternehmen im Produktionsprozess angewendet, stellen sie jedoch Prozessinnovationen dar. Somit sind die beiden Innovationstypen letztlich interdependent und die Unterteilung in Produkt- und Prozessinnovationen verliert an Eindeutigkeit.
- Auf der technischen Ebene ist zu berücksichtigen, dass induzierte Innovationen zugunsten integrierter Umweltschutztechniken auch zu Marktanteilsverlusten und Umsatz- und Beschäftigungsrückgängen im nachsorgenden Bereich und bei den Anbietern bisheriger Techniken führen können (intraindustrielle Effekte). Dies dürfte dann nicht (so sehr) der Fall sein, wenn ökologische Optimierungen und Komplementaritätseffekte den gleichzeitigen Einsatz additiver und integrierter Technik verlangen (Coenen et al., 1996), was im Falle des Einsatzes von BVT von besonderer Bedeutung sein dürfte. Dennoch können sich auch Änderungen in der Marktstruktur ergeben (sektorale Effekte). Ist die Anwendung einer neuen Technik mit einer Erhöhung der Energie- und Materialeffizienz verbunden, können sich schließlich auch im Bereich der Energiegewinnung und –umwandlung und der Rohstoffgewinnung und –verarbeitung Produktions- und ggf. Beschäftigungsrückgänge bemerkbar machen. Diese Wirkungen können sich schließlich weiter in der Wertschöpfungskette fortsetzen (intersektorale Effekte).

¹⁸ Denkbar ist sogar, dass sich bestimmte technologische Cluster bilden, die sich durch spill-over- und Lerneffekte gegenseitig stützen (vgl. z.B. Sijm, 2004). Demgegenüber können aber auch Koordinationsprobleme auftauchen, wenn – wie bei Umwelttechnologien häufig der Fall – Entwicklung und Anwendung neuer Technologie räumlich bzw. sektoral auseinanderfallen (vgl. dazu die Ausführungen weiter unten).

- Je mehr es sich um eine radikale und weniger um inkrementale Innovationen handelt, desto mehr ergeben sich weiterreichende Interdependenz- und Kompatibilitätseffekte. Dies ist z.B. der Fall, wenn eine bestehende Infrastruktur angepasst werden muss oder wenn eine Innovation einen Qualitätssprung mit sich bringt, der wiederum größere Strukturverschiebungen für einen größeren Teil der Wirtschaft impliziert (Bsp. Mikroelektronik).
- Insbesondere der Diffusionsprozess kann realwirtschaftliche Auswirkungen auf unterschiedlichen Ebenen aufweisen. So kann es zu Markteintritts- bzw. austrittsentscheidungen kommen, zu strukturellen Verschiebungen (Wachstums- und Schrumpfungprozessen) zwischen existierenden Unternehmen und Sektoren oder zu bloß marginalen Anpassungen in bestehenden Unternehmen kommen (sog. retrofitting) (vgl. z.B. Snyder, Miller und Stavins, 2003).

Eine wichtige Frage ist schließlich, welche Rückwirkungen über das Preissystem sich aus der Einführung einer neuen Technik ergeben. Wenn neue gegenüber bisherigen Techniken nur teurer angeboten werden können, sind negative Rückkopplungen zu erwarten. Preissteigerungen entlang bestimmter Wertschöpfungsketten würden dann dämpfend auf die sektorale Nachfrage auswirken und ggf. zu geringerer Produktion und Beschäftigung sowie zu sektoralen Verschiebungen führen. Dies hängt letztlich von einer Vielzahl von theoretisch und a priori nicht bestimmbar nachfrage- und Substitutionselastizitäten auf den Güter- und Faktormärkten ab.

Werden dagegen durch induzierte Innovationswirkungen auf der Mikroebene (d.h. durch neue Umweltschutztechniken) Kosten- bzw. Preissenkungen realisiert und Ressourcen für alternative Zwecke frei, könnten kompensatorische Effekte (oder Effekte der zweiten Runde) konzeptionell so behandelt werden, als wäre die Umweltschutzmaßnahme allein aus privatwirtschaftlichen Erwägungen vollzogen worden.¹⁹ So wäre zu vermuten, dass die Konkurrenzunternehmen sinkende Absatzmengen und Marktanteile in Kauf nehmen müssen (intraindustrielle Effekte). Eine Verschiebung der Marktanteile könnte dann ggf. auch eine Änderung der Marktstruktur (z.B. durch höhere Marktkonzentration) mit sich bringen (sektorale Effekte). Über die Input-Output-Verflechtung werden letztlich dann mehr oder weniger – vor allem in Abhängigkeit von der globalen Nachfrage nach den Gütern des Sektors – alle sektoralen Preise und Mengen tangiert. Dies erfolgt über die Vorleistungsverflechtung oder die Investitionsgüternachfrage (intersektorale bzw. gesamtwirtschaftliche Effekte).

¹⁹ Insofern würde hier die allgemeine Diskussion über die Wirkungen von Innovationen auf Beschäftigung, Qualifikationsstrukturen und Wachstum ansetzen (z.B. Edquist et al., 2001; Stille und Bitzer, 1998).

Ähnliche Wirkungsketten ergeben sich, wenn mit der Innovation nicht Kosten- und Preissenkungen, sondern Qualitätsverbesserungen und Verbesserungen in den Charakteristika eines Produktes einhergehen (ähnlich wie im Fall der Produktinnovation). Allerdings spielt hierbei die Nachfrageseite eine größere Rolle, der sich die innovierenden Unternehmen gegenübersehen. Auf der Ebene der Investitionsverflechtung ändert sich außerdem in jeder Periode nicht nur die Quantität, sondern auch die Qualität des Kapitalstocks, was dann ein detailliertes Fortschreibungsverfahren erfordert (vgl. Kapitel D zu vintage-Modellen).

Insgesamt sind daher verschiedene Verlagerungs- und Struktureffekte zu erwarten. Deren Nettoeffekt ist jedoch aus theoretischer Sicht unbestimmt und bedarf einer empirischen Betrachtungsweise. Außerdem spielt es eine wichtige Rolle, wie eng oder weit ein Sektor eingegrenzt wird. Eine weite Abgrenzung und eine Abgrenzung, die Märkte mit weitgehend komplementären Gütern einbezieht, würde wohl eher multiplikatorische Effekte hervorheben. Bei der Betrachtung ökonomischer Wirkungen in einem engen (Sub-)Sektor kämen dagegen eher wettbewerbliche Verdrängungseffekte ins Blickfeld.

Neben diesen vorwiegend pekuniären Effekten wird die Analyse auf Sektorebene deutlich komplexer, wenn verschiedene „Marktmängel“ und spezifische Sektorcharakteristika und deren realwirtschaftliche Auswirkungen mitberücksichtigt werden. Vor allem gilt es hierbei Rückwirkungen zu bedenken, die dann resultieren, wenn der Wettbewerb der Unternehmen bzw. die Wettbewerbsintensität auf den Gütermärkten „unvollkommen“ ist oder wenn die Struktur und Funktionsweise von Faktormärkten Mängel aufweist (Pfeiffer und Rennings, 1999, S. 11ff.). Da allerdings bereits theoretische Erklärungslücken und Kontroversen bestehen und eine vollständige Marktformenlehre (noch) nicht vorhanden ist, wird die Analyse deutlich erschwert. Eine Untersuchung, die auf unterschiedliche Marktstrukturen Rücksicht nimmt, müsste jedoch verdeutlichen, ob regulierungsbedingt Markteintrittsbarrieren existieren oder entstehen (Fall eines (temporären) Monopols). Wenn größere Unternehmen sich z.B. kostengünstiger an neue Umweltstandards anpassen können als kleine, würden erstere von einer Regulierung profitieren, wenn höhere Preise infolge verringerten Wettbewerbs ihre gestiegenen Kosten überkompensieren (Jaffe et al., 1995, S. 154). Bei oligopolistischen Märkten müsste außerdem noch strategisches Preissetzungsverhalten betrachtet werden.

Zu erwarten ist in jedem Fall, dass unterschiedliche Marktstrukturen Heterogenität bezüglich des Innovationsverhaltens eines Sektors generieren (Vosskamp, 1996, S. 58). Wenn in diesem Fall Aussagen auf aggregierter Ebene getroffen werden sollen, genügt es also nicht mehr von identischen Teilen bzw. identischen Unternehmen auszugehen.

Bei einer dynamischen Analyse ist zudem zu bedenken, dass sich die Struktur des Aggregats verändert (Meyer, 2005).

Zusätzliche Komplikationen resultieren außerdem, wenn die Organisation spezifischer Arbeits- und Kapitalmärkte berücksichtigt wird (z.B. angesichts der Bedeutung institutioneller Rigiditäten auf dem Arbeitsmarkt). Auch bei einer Fokussierung auf Umwelttechnologien spielen eine Vielzahl von staatlichen und halbstaatlichen Vorgaben und Rahmenbedingungen (nicht etwa nur die IVU-Richtlinie, sondern z.B. auch das Verhalten (sektoraler) Gewerkschaften in Tarifverhandlungen) eine entscheidende Rolle, die letztlich die „eigentlich“ zu bestimmenden ökonomischen Auswirkungen bestimmter Umwelttechniken sowohl auf einzelwirtschaftlicher als auch auf sektoraler Ebene mitbestimmen.

Im Zusammenhang mit der Wirkung von Innovationen sind schließlich gerade bei einer Betrachtung jenseits der Mikroebene neben den bereits erwähnten Preis- und Mengeneffekten i.d.R. auch sog. FuE-Spillover zu erwarten (Voßkamp, 2002, S. 16f.). Denn mit der Erforschung und Entwicklung neuer Prozesse und Produkte ist der Aufbau von Wissensbeständen verbunden, die im Laufe der Zeit mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und Intensität intra- und interindustriell diffundieren und somit auch anderen Unternehmen zumindest partiell zur Verfügung stehen.²⁰ Die Wissensdiffusion ist i.d.R. mit ökonomischen Transaktionen verbunden, wobei Wissen in gebundener Form auftritt und über die Vorleistungs- und Investitionsverflechtung weitergereicht wird oder explizit durch Patente an andere Unternehmen weitergegeben wird. Weitere Spillovers, die meistens nicht unmittelbar mit ökonomischen Transaktionen verbunden sind, sind außerdem damit verbunden, wie ähnlich sich z.B. bestimmte Produktionsprozesse sind (Kriterium der technologischen Nähe).

Insgesamt ist es nicht weiter erstaunlich, dass die verschiedenen (IVU-)Sektoren durch unterschiedliche (historische) Ausgangsbedingungen (z.B. technologiespezifische Trajektorien und Pfadabhängigkeiten) charakterisiert werden müssen und (ganz allgemein gesprochen) Spezifika und Heterogenitäten aufweisen, die sich nicht ohne Weiteres auf einen gemeinsamen Nenner bringen lassen. Tabelle 1 bietet in einer ersten Annäherung an die Fragestellung dieser Untersuchung eine Liste an Kriterien, an denen sich diese Unterschiede vergleichend festmachen lassen können.

²⁰ Zusätzlich zu prüfen wäre allerdings, inwiefern dies bei staatlich erzwungenen oder mitinitiierten Innovationen auch der Fall ist.

Tabelle 1: Typisierung von Sektorcharakteristika

- Welche Arten von Gütern (Konsumgüter, Investitionsgüter, intermediäre Güter; differenzierte Spezialprodukte vs. Massenproduktion) werden hergestellt, wie hoch ist der Grad an Produktspezifität und Marktfragmentierung?
- Wie schnelllebig, voraussehbar und regelmäßig (kontinuierlich – diskret/sprunghaft) sind die Produktlebens- bzw. Innovations-Investitionszyklen und damit in der Regel wie hoch die Kapitalintensität und wie rigide die Vintage-Struktur (z.B. durch lange Nutzungsdauern von Prozessen) des Sektors?
- Wie forschungs- und wissensintensiv ist der Sektor?
- Welche technologische „Reife“ hat eine Industriebranche bereits erlangt und in welchem Maße werden „normale“ Innovationen durchgeführt, an die sich eine Umweltinnovation (vor allem im prozessintegrierten Umweltschutz anschließen könnte)?
- Wie ist die Industriestruktur beschaffen (insbesondere bzgl. Unternehmensgrößenverteilung und damit verbundenen Kostenstrukturunterschieden)? Wie hoch fallen die Gewinnmargen des Sektors typischerweise aus? Wie leicht fällt es damit, potenzielle Kostensteigerungen zu absorbieren?
- Wie groß fällt der Konzentrationsgrad des Sektors aus und wie ist die Marktstruktur beschaffen? Wie leicht fällt es, höhere Kosten in Form höherer Preise an Kunden weiterzureichen?
- Wie kann die Interaktion der Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette charakterisiert werden (z.B. Bedeutung gegenseitigen Lernens vs. Geheimhaltung bei neuen technologischen Lösungen; Kundennähe)? Wie kann ggf. das Verhältnis zwischen dem Entwickler und dem Anwender einer neuen Umwelttechnik charakterisiert werden (z.B. Interesse des Entwicklers an end-of-pipe-Techniken aufgrund ihres größeren Absatzmarktes gegenüber sehr prozessspezifischen integrierten Techniken)?
- Durch welche Akteurskonstellationen kann eine Branche typisiert werden und welche kapazitätsbildende Aktivitäten (z.B. durch Netzwerke) zugunsten neuer Umwelttechnologien sind zu verzeichnen?
- Als wie umwelt- und ressourcenintensiv kann ein Sektor charakterisiert werden? Wie stark ist er generell von Umweltregulierungen tangiert und welchen Charakter haben diese Regulierungen? Welchen Anteil weisen umweltrelevante Kosten an den Gesamtkosten oder am Umsatz auf?
- Wie hoch ist das bereits erreichte Umweltschutzniveau des Sektors? Gibt es Nachholbedarf oder „Auszehrungstendenzen“?
- Handelt es sich um einen Sektor, der stark in den Welthandel eingebunden ist oder eher für einen (ggf. geschützten) lokalen Markt produziert?

Quelle: Eigene Zusammenstellung, vgl. auch Jenkins (1998)

Zumindest anhand verschiedener theoretischer Modelle lassen sich jedoch einzelne (allokativ) interessante ökonomische Effekte charakterisieren, die in unterschiedlichem Maße – und meist unter ziemlich restriktiven Annahmen – auf der Sektorebene auftreten

können.²¹ In Anlehnung an Xepapadeas und de Zeeuw (1999) diskutiert Mohr (2002) etwa eine Konstellation, die auf Koordinationsprobleme zwischen Unternehmen abzielt. Ausgegangen wird von einer neuen verfügbaren Umwelttechnologie, die gegenüber einer älteren und derzeit verwendeten Technologie weniger umweltbelastend ist, sich aber zugleich durch externe Skaleneffekte in der Produktion auszeichnet, so dass Produktivitätsgewinne von der kumulativen Erfahrung der Marktteilnehmer abhängen (technologische Spillover-Effekte, learning-by-doing). In einer derartigen Situation ist es aus der Sicht eines Unternehmens folglich zunächst unattraktiv in die neue Technologie zu investieren, und es besteht ein Anreiz, solange abzuwarten, bis andere Unternehmen investieren, um später in den Genuss von positiven Skaleneffekten zu gelangen. Eine (annahmegemäß) über die neue Technologie und ihre Charakteristika wohlinformierte Umweltpolitik könnte hier intervenieren und zu Linderung der Koordinationsprobleme beitragen.

Untersuchen ließe sich auch die Diffusionsgeschwindigkeiten und -muster von neuen Technologien, wenn sich die Art der Innovation unterscheidet bzw. wenn Innovationen nicht gleichzeitig von allen Unternehmen am Markt durchgeführt werden bzw. von Seiten der Regulierungsbehörde eingefordert werden (industrielle Dynamik). In dieser Übergangsphase dürften Produktivitäts- und Beschäftigungsveränderungen deutlichen Schwankungen ausgesetzt sein, je nachdem wie schnell sich (im Falle einer Änderung des Produkt-Mixes) die Nachfrage zu den Pionierunternehmen wendet und inwieweit eine Komplementarität zwischen neuen bzw. verbesserten Produkten und vorhandenen Produkten und Industrien vorliegt. Speziell im Hinblick auf Prozessinnovationen ist schließlich zu fragen, ob sich durch BVT der sog. Prozess-Mix eines Sektors verschiebt. Wenn z.B. Werkstoffe nicht wie bisher durch Primär- sondern durch Sekundärrohstoffe hergestellt werden, könnten sich etwa deutliche Verschiebungen in den Lieferverflechtungen eines BVT-Unternehmens ergeben, was dann entsprechend auch realwirtschaftliche Strukturverschiebungen hätte.

²¹ Es ist hier zu bedenken, dass sich hinter der obigen Aufzählung von Differenzierungsmerkmalen eine reichhaltige industrieökonomische Forschung verbirgt, die hier nicht in ihrer Breite gewürdigt werden kann (für einen kurzen Überblick siehe auch van Tongeren, 1995, S. 31ff.).

3. Gesamtwirtschaftliche Wirkungen auf nationaler Ebene

Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene spielen die durch Innovationen ausgelösten Niveaufekte (und weniger die Struktureffekte) eine wichtige Rolle.²² Angesichts der aggregierten Betrachtungsweise und der Vielfalt der Wirkungszusammenhänge können diese Effekte nicht mehr ohne Weiteres zugerechnet und auf ihre Ursachen zurückgeführt werden, so dass nicht zuletzt der theoretische Referenzrahmen eine wichtige Rolle spielt. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass die ursprünglichen Impulse (hier der IVU-Richtlinie) bei gesamtwirtschaftlicher Betrachtungsweise in viele verschiedene Richtungen diffundiert sind und z.B. verschiedenen zeitlichen Perioden zugerechnet werden müssen. Entsprechend der Fragestellung (und der theoretischen Perspektive) werden unterschiedliche zeitliche Verzögerungen, aber auch weiterreichende, oft nicht sichtbare und langsam ablaufende Anpassungs- und strukturelle Wandlungsprozesse berücksichtigt.

In der neoklassischen Wachstumstheorie interessieren vor allem die Auswirkungen von technischem Fortschritt auf das Produktionspotenzial, das Realeinkommensniveau und die Wachstumsraten einer Volkswirtschaft, während kurzfristige Schwankungen um den Trend konzeptionell zurücktreten.²³ Vielmehr wird gezeigt, dass die Zunahme des Pro-Kopf-Einkommens langfristig vor allem von erfolgreichen Innovationen abhängt. Technischer Fortschritt wirkt in den neoklassischen Wachstumsmodellen faktorvermehrend auf die beiden klassischen Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit oder neutral als allgemeine Effizienzsteigerung der Produktionsprozesse; im Modell fällt er „wie Manna vom Himmel“ und wird als Residualgröße (sog. Solow-Residuum) nicht näher beschrieben.²⁴ Technischer Fortschritt ist damit auch nicht als endogener Wachstumsfak-

²² Wie bereits erwähnt ist die Trennlinie nicht eindeutig, insbesondere dann wenn eine tiefgreifende strukturelle Betrachtungsweise in einen gesamtwirtschaftlichen Kontext integriert wird. Meyer (2005) lehnt vor diesem Hintergrund die Trennung von gesamtwirtschaftlicher Niveau- und Strukturanalyse ab.

²³ Der Begriff technischer Fortschritt signalisiert bereits, dass es sich nicht mehr so sehr um eine einzelne Innovation handelt; vielmehr wird davon ausgegangen, dass die Innovationsstadien (Invention, Innovation und Diffusion) bereits erfolgreich durchlaufen wurden.

²⁴ Dem technischen Fortschritt fällt damit die etwas paradoxe Rolle zu, einerseits die Knappheit der Produktionsfaktoren zu überwinden, andererseits aber ein unerklärter Restfaktor zu bleiben. Diese Konzeption ist vor dem Hintergrund der wirtschaftspolitischen Situation der 1950er und 60er Jahre zu verstehen, also einer Periode stetigen Wachstums bei Vollbeschäftigung, in der es nicht sehr dringlich schien, sich ein realistisches Bild der Entstehung und Wirkung des technischen Fortschritts zu machen. Ebenso bestand ein relatives großes Vertrauen in die Funktionsfähigkeit der Märkte, so dass man glaubte, zeitweilig auftretende Ungleichgewichte (z.B. auf dem Arbeitsmarkt) könnten durch eine (im Modell kostenlose und zeitlose) Wanderung von Produktionsfaktoren rasch wieder aufgelöst werden. Das nachfrageseitige Problem technologischer Arbeitslosigkeit spielte damit eine untergeordnete Rolle.

tor (politisch) beeinflussbar. Politischer Einfluss auf das Wachstum tritt in dem hier relevanten Zusammenhang allerdings insofern auf, wie durch externe umweltpolitische Restriktionen das Spektrum an Produktions- und Investitionsmöglichkeiten eingeschränkt wird und indirekt soziale Opportunitätskosten auftreten, die wiederum den „autonomen“ Fortschritt beeinträchtigen.²⁵ Vor diesem Hintergrund sind dann auch eine Reihe von Substitutionseffekten zu verstehen, die oft als „allgemeine Gleichgewichtseffekte“ bezeichnet werden (vgl. Palmer et al., 1995, S. 128f.; Jaffe et al., 1995). Neben den direkten regulierungsbedingten Anpassungskosten der Unternehmen führen die indirekten sozialen Opportunitätskosten dazu, dass Regulierungen

- den Output reduzieren, indem sie volkswirtschaftliche Ressourcen (inkl. die Zeit des Managements) in der „Produktion“ eines (annahmegemäß) nicht marktfähigen Gutes „Umweltqualität“ binden;
- den Kapitalstock gemessen an den betriebswirtschaftlichen Erträgen, die durch eine längere Lebenszeit z.B. einer Anlage entstanden wären, ggf. früher entwerten;
- unternehmerische Investitionen und die aus Unternehmenssicht „normale“ Expansion der Produktionskapazitäten bremsen, verzögern oder anderweitig (z.B. durch veränderte Risikowahrnehmung des Unternehmens) beeinträchtigen, insofern also „produktivere“ Investitionen mit höheren Marktrenditen verdrängen bzw. für den Kapazitätsausbau benötigte Mittel binden (Verdrängungseffekte);²⁶
- andere, „produktive“ Innovationen verdrängen oder verzögern, sofern die Regulierung FuE-Kapazitäten der Unternehmen bindet, das Angebot an FuE-Inputs unelastisch ist und diese alternativen FuE-Aktivitäten tatsächlich Innovationen hervorbringen;
- letztlich über die kumulativen Veränderungen im Investitionsniveau und die intersektoralen Verflechtungen das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts reduzieren und der Volkswirtschaft Einkommen entziehen.

²⁵ Dies folgt letztlich aus dem oben skizzierten mikroökonomischen Grundgerüst und den unterstellten Annahmen. Nicht gemeint ist allerdings, dass durch umweltpolitische Restriktionen nicht auch sozialer Nutzen gestiftet werden kann, der ggf. über den sozialen Kosten liegen kann. Von indirekten sozialen Kosten lässt sich insofern sprechen, als staatliches Eingreifen das unternehmerische Entscheidungskalkül verzerrt. Ob dies z.B. aus umweltpolitischen Gründen gerechtfertigt ist, wird dabei konzeptionell getrennt behandelt.

²⁶ Von produktiveren Investitionen wird hier gesprochen, weil in der klassischen Lesart Ressourcen von der Güterproduktion für nicht weiter marktfähige Umweltaufwendungen umgewidmet werden müssen (Emissionen als Inputfaktor). Dabei ist freilich zu bedenken, dass der Produktivitätsbegriff (ähnlich wie das Sozialprodukt) hier selbst ein verzerrtes Bild liefert und nicht-pekuniäre Wohlfahrtsverbesserungen nicht abbildet. Ebenso wäre die Produktivität der neuen Umwelttechnologie mit einer kontrafaktischen alternativen Investition zu vergleichen. Vgl. die Diskussion weiter unten.

Die Effekte einer regulierungsinduzierten Nachfrageausweitung für umweltorientierte Güter und Dienstleistungen sind also vor dem Hintergrund einer Vielzahl anderer, alternativer – und nach traditionellen neoklassischen Annahmen kostengünstigerer (aber nicht unbedingt „besserer“) – Verwendungszwecke zu sehen (vgl. auch Blazejczak et al., 1993, S. 1-7). Insofern besteht ein Zielkonflikt zwischen Wirtschaftswachstum und Verbesserung der Umweltqualität.

Bereits in der neuen Wachstumstheorie wird der technische Fortschritt jedoch teilweise endogenisiert. Im Hinblick auf seine Ursachen wird er also durch bestimmte (FuE-)Aktivitäten induziert; ebenso tritt er in durch Investitionen gebundener Form auf.²⁷ Insbesondere institutionelle Bedingungen, Infrastruktur, Qualifizierung sowie die Organisation der Generierung von Wissen und damit letztlich auch durch staatliche Interventionen (mit)beeinflusste Faktoren entscheiden hier über die Rate und die Richtung des technischen Fortschritts und das Wachstum (Stille und Bitzer, 1998, S. 24). So könnte man z.B. anführen, dass u.a. durch staatliche Umweltregulierungen (unternehmerische) Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ausgelöst werden, die Erträge der Forschung aber üblicherweise nicht vollständig bei einzelnen forschenden Unternehmen anfallen, sondern die Ergebnisse der Forschung auch Dritten zugute kommen. Wenn man neue Forschungsergebnisse als wichtigen strategischen Faktor für die Wettbewerbssituation von Industriezweigen und das Wirtschaftswachstum von Ländern ansieht, trägt Umweltregulierung in diesem Sinne indirekt zu Forschungsaktivitäten bei. Dabei wird in diesem Fall nicht nur (oder weniger) die Rate als vielmehr die Richtung von Innovationen tangiert. Im Falle von gebundenem technischen Fortschritt lässt sich außerdem argumentieren, dass technischer Fortschritt sich über sog. *learning-by-doing* bemerkbar macht, d.h. durch die Schaffung und Nutzung neuer Technologien vorangetrieben wird und vom kumulativen Investitionsniveau abhängt. Die globale Diffusion von neuen umweltfreundlicheren Technologien könnte im Extremfall dann sogar zu einem sog. negativen leakage-Effekt führen. Das technologisch führende Land könnte nicht nur ökonomische Renten attrahieren, sondern Emissionsreduktionen im eigenen Land könnten auch Emissionsreduktionen im Ausland nach sich ziehen (Sijm, 2004; Kapitel B 4).

Im Sinne der Schumpeter'schen endogenen Wachstumstheorie könnte man diese Aspekte auch kombinieren (vgl. zu theoretischen Modellen insbesondere Ricci, 2004 und Hart, 2004). So tragen Umweltregulierungen dazu bei, die Verteilung von Marktanteilen

²⁷ Letzteres bedeutet, dass die Homogenität des Faktors Kapital nicht mehr gegeben ist, sondern der Altersaufbau des Kapitalstock für seine Leistungsfähigkeit mitverantwortlich ist. Neuere Investitionen weisen folglich eine höhere Qualität auf (Vosskamp, 1996, S. 57).

von Gütern zu „verzerren“, die mit Technologien und intermediären Gütern unterschiedlicher Jahrgänge und unterschiedlicher Umweltbelastungsintensität produziert wurden.²⁸ Es würden dann (unter bestimmten Annahmen) mehr „moderne“ Güter hergestellt, die produktiver und weniger umweltverschmutzend sind. Um weitere Produktivitätsgewinnen zu realisieren, würde dies wiederum einen weiteren (endogenen) Anreiz mit sich bringen, in (jetzt kostengünstigere) Umwelt-FuE und dynamische Sektoren mit neuen Technologien zu investieren, was dann ggf. das Wachstum erhöhen, zumindest aber den trade-off zwischen Umweltpolitik und Wirtschaftswachstum abmildern würde.²⁹

Vor diesem Hintergrund treten dann die häufig ins Feld geführten kurzfristigen Kosten von (regulierungsinduzierten) Umweltschutzmaßnahmen in ihrer Bedeutung zurück (Grubb, Köhler und Anderson, 2002). Letztlich stellt sich die empirische Frage, inwiefern auch in der gesamtwirtschaftlichen Nettobetrachtung durch Umweltregulierungen substantielle privatwirtschaftliche Kostensenkungspotenziale, Effizienzgewinne und Wettbewerbschancen aufgedeckt werden (sog. win-win options) (vgl. auch die Diskussion in Jaffe et al., 1995).

Schließlich lassen sich noch positive gesamtwirtschaftliche Wirkungen benennen, die den problematischen soeben verwendeten Produktivitäts- und Wachstumsbegriff sowie den undifferenzierten Innovationsbegriff hinterfragen. Es ließe sich dann konzeptionell von „negativen Kosten“ (Jaffe et al., 1995, S. 139) oder sonstigen begleitenden (und oft nicht-pekuniären) Nutzen (*ancillary benefits*) sprechen. So kann eine durch Regulierung induzierte Verringerung von Umweltverschmutzungen und Ressourcenverbrauch (Um-

²⁸ Hart (2004) spricht von erweiterten Mohr-Modellen, da sie in einem gesamtwirtschaftlichen Kontext auf dem schon in Kapitel B 2. erwähnten Modell von Mohr (2002) aufbauen.

²⁹ Ricci (2004) untersucht zwei Kanäle, die den Einfluss der Umweltpolitik auf das Wirtschaftswachstum erklären. Da Emissionen einen impliziten Produktionsfaktor darstellen, entsteht neben dem erwähnten positiven Effekt ein gegenläufiger negativer Effekt auf das Wachstum dadurch, dass durch eine Innovation zugunsten sauberer Technologien eine geringere Menge eines zu Kapital komplementären Inputfaktors genutzt wird (sog. direkter Inputeffekt). Der Marginaleffekt von FuE und Innovationen auf das Produktivitätswachstum nimmt dadurch ab. In einer numerischen (empirisch nicht fundierten) Modelllösung überwiegt der direkte, wachstumsmindernde Effekt zwar den indirekten, wachstumserhöhenden Effekt; dennoch kommt der Autor zu dem Schluss, dass der trade-off zwischen Umweltpolitik und Wachstum nur in deutlich abgeschwächter Form auftritt. Hart (2004) kommt tendenziell zu einer noch positiveren Schlussfolgerung, macht aber noch auf eine Reihe weiterer Bedingungen aufmerksam, die es zu klären gilt: Wird Wachstum tatsächlich durch zu wenig FuE restringiert (öffentlicher-Guts-Charakter von FuE) oder lenkt FuE eher von produktiven Aktivitäten ab (sog. *business stealing effect*)? Wie sieht die „optimale“ Aufteilung zwischen alten und neuen Jahrgängen (vintages) von Technologien unter Wachstumsgesichtspunkten aus? Ist es aus einer dynamischen Perspektive wünschenswert, dass Ressourcen in FuE-Aktivitäten gelenkt werden, was langfristig zwar das Wachstum erhöht, aber kurzfristig Konsumeinbußen mit sich bringt?

weltschadenskosten) sich auch positiv auf das Produktivitätswachstum privater Unternehmen auswirken, so dass Investitionen in den Umweltschutz auch in diesem Sinne (d.h. neben den von Porter aufgeworfenen und empirisch näher zu klärenden Aspekten) nicht einfach als unproduktiv bezeichnet werden können. Eine Verbesserung des Gesundheitszustandes der Beschäftigten durch neue Technologien könnte z.B. die Anzahl der Fehltag verringern oder die Anzahl der Arbeitsunfälle senken und damit die Arbeitsproduktivität erhöhen. Ebenso würden Firmen, die etwa auf Prozesswasser als Inputfaktor angewiesen sind, von einer höheren Gewässerqualität profitieren, also die Qualität ihrer Produktionsfaktoren verbessern (sog. Ressourceneffekte). Schließlich könnte die Anwendung fortschrittlicher und sicherer Umwelttechnologien möglichen Schadensersatzklagen und Haftungsansprüchen entgegenwirken. Während sich viele derartige Beispiele aufführen lassen, ist es allerdings schwierig, Rückwirkungen einer Änderung des „Naturvermögens“ in Gegenwart und Zukunft auf den ökonomischen Prozess genau zu spezifizieren und abzubilden. Zu bedenken ist hierbei, dass aktive Umweltpolitik zwar i.d.R. zu einer Erhöhung sozialer Wohlfahrt insgesamt beiträgt, der dadurch induzierte Nutzenstrom aber wegen des – in weiten Teilen kaum zu leugnenden – öffentlichen-Guts-Charakters aktiven Umweltschutzes in aller Regel zeitlich verzögert anfällt und nicht genau zugeordnet werden kann (z.B. zu heute und in Zukunft am Markt agierende Unternehmen).³⁰

Folgt man der keynesianischen Theorietradition sind schließlich noch die Wirkungen von Umweltschutzmaßnahmen auf die gesamtwirtschaftlichen Nachfrageaggregate von Interesse. Letztlich stellt sich hier wiederum die Frage, ob es per saldo zu Kostensenkungen oder –steigerungen kommt und welche Anpassungen von Preisen und Mengen in der Volkswirtschaft induziert werden.

Berechnet werden könnten prinzipiell zunächst die möglichen, durch die gestiegene Nachfrage nach integrierten Umweltschutztechniken ausgelösten Bruttoeffekte, die über den volkswirtschaftlichen Kreislauf wirksam werden. Solange sie nicht bereits „versickert“ oder „verstreut“ sind, kann hier von Effekten der zweiten oder gar dritten Runde gesprochen werden.³¹ Sie entstehen dadurch, dass durch eine angenommene Endnachfrageerweiterung (Nicht-Sättigung) nicht nur mehr produziert wird, sondern auch zu-

³⁰ Hier ergibt sich z.B. auch eine Verbindung zu dem oben erwähnten Koordinationsproblem. Denn oft dürfte angesichts der Trittbrettfahrerproblematik ein Unternehmen allein nicht hinreichend selbst davon profitieren, wenn es Emissionen verringert. Substanzielle Anstrengungen auf Sektorebene könnten sich demgegenüber bereits durchaus auf die Arbeitsproduktivität des Sektors auswirken.

³¹ Die Trennlinie zu den weiter oben beschriebenen Wirkungen auf Sektorebene sind hier fließend. Vereinfacht wird hier unterstellt, dass bei gesamtwirtschaftlicher Betrachtungsweise insbesondere die Rückwirkungen von der Konsumseite zu bedenken sind, die sich wiederum auf einen bestimmten Ausgangssektor auswirken (feed-back-Effekte).

sätzliche Einkommen entstehen, die über den Anstieg des privaten Verbrauchs zu weiteren Nachfrage-, Produktions- und Beschäftigungseffekten führen können (keynesianische Multiplikatoreffekte). Ebenso kann – gewissermaßen mit dem Staat als Mittler der Konsumenten – eine Erhöhung der Konsumgüternachfrage wiederum zu einer Erhöhung der Investitionsgüternachfrage führen und Anpassungsreaktionen im bestehenden Kapitalstock hervorrufen (Akzeleratoreffekte). Inwieweit diese Effekte wirksam werden, hängt dabei u.a. von der Entwicklung der Spar- bzw. Konsumquoten ab. So werden sich Produktinnovationen bei kreislaufanalytischer Betrachtung nur dann endnachfrageerweiternd auswirken, wenn die gesamtwirtschaftliche Sparquote sinkt (Edler, 1990, S. 16).

Diesen Effekten müssten allerdings wieder diverse Substitutionswirkungen gegenübergestellt werden, die sich aus Rückwirkungen über das Preissystem und i.d.R. bei längerfristiger Betrachtung ergeben. Im Hinblick auf gesamtwirtschaftliche Beschäftigungswirkungen spielt etwa die Lohn- und Gehaltsflexibilität und damit der Arbeitsmarkt eine wichtige Rolle. Unterstellt man – wie in der keynesianischen Tradition üblich – eher starre Löhne sind Technikimpulse in der Regel mit stärkeren Mengenreaktionen der Beschäftigung verbunden, während flexible Löhne diese Ausschläge (positiv wie negativ) eher wieder kompensieren dürften (bei a priori unbekanntem Nettoeffekt).

Ebenso ist im Hinblick auf eine Veränderung realwirtschaftlicher Größen zu berücksichtigen, ob Produktion und Beschäftigung in voller Höhe angepasst werden oder die gestiegene Nachfrage vielmehr durch einen Abbau vorhandener Lagerbestände aufgefangen wird (gesamtwirtschaftlicher Auslastungsgrad). Gerade wenn die zusätzlichen Nachfrageimpulse für die begünstigten Liefer- oder Vorleistungssektoren gering sind, ist zu vermuten, dass kaum zusätzliche oder zumindest rasch wirksame nachfrageinduzierte Produktions- und Beschäftigungseffekte anfallen. Schließlich müsste für den beschriebenen Einkommenseffekt berücksichtigt werden, welchen Anteil bestimmte Güter am Gesamtoutput einnehmen.

4. Wirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit

Die bisherige Argumentation war explizit auf die nationale Ebene bezogen. Es wurde verdeutlicht, dass durch Umweltregulierungen einerseits Kostenimpulse ausgelöst werden, die die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen beeinträchtigen können und ggf. weiterreichende Effekte auf sektoraler und gesamtwirtschaftlicher Ebene auslösen. Schon bei stärker aggregierter Betrachtungsweise sind jedoch eine Reihe gegenläufige

Wirkungen und Rückkopplungen zu bedenken. Andererseits wurde auch deutlich gemacht, dass Unternehmen über Innovationen auf Regulierungsanforderungen reagieren können, was sich wiederum auch positiv auf deren Wettbewerbssituation auswirken kann und weitere Folgewirkungen mit sich bringt. Die Diskussion um die zugrunde liegenden Wirkungsmechanismen wird nun um eine zusätzliche Dimension erweitert: Es gilt zu fragen, ob durch die enge Verflechtung eines Landes mit anderen Ländern bzw. dem Weltmarkt Wettbewerbsvorteile oder –nachteile zu vermuten sind und welche Mechanismen diesen Vor- oder Nachteilen zugrunde liegen können.

In der Innovationsliteratur wird vor allem betont, dass weltweit erfolgreiche Innovationen aus der besonderen Nachfrage in einzelnen Ländern entstehen bzw. sich zuerst in einzelnen Ländern am Markt durchsetzen (Beise et al., 2002).³² Aufgrund des zeitlichen Vorsprungs eines Landes und den spezifischen dort herrschenden Marktbedingungen bei der Adoption von Innovationen gewinnen in diesem Markt agierende Unternehmen einen Wettbewerbsvorsprung auf dem Weltmarkt, der Heimatmarkt dient sozusagen als Innovationsquelle. Im Hinblick auf den Umweltschutz ist geltend gemacht worden, dass auch nationale Umweltregulierungen (bzw. dessen strikte und frühzeitige Implementierung) die Grundlage für die Diffusion von (technischen) Umweltinnovationen in anderen Ländern sein können. Insbesondere kann die heimische Industrie sich früher an die neuen Vorgaben anpassen, was zu *early-mover*-Vorteilen oder Erfahrungsvorsprüngen verhelfen kann. Zusätzlich ergäben sich Exporterfolge für die Anbieter von Umwelttechnologien bzw. die jeweilige Wertschöpfungskette (RSU, 2002, S. 76). Ebenso wird argumentiert, dass überhaupt erst durch die Einbeziehung der Handels- und Investitionsverflechtungen mit anderen Ländern ein hinreichender Innovationsimpuls ausgelöst werde.

Regionale Märkte (in der Regel Länder), auf denen Produkte und Technologien zu einem frühen Zeitpunkt nachgefragt werden, die sich später auch international durchsetzen, werden dabei als Lead-Märkte bezeichnet. *Lead-Märkte* sind dadurch gekennzeichnet, dass die dort adoptierten Innovationsdesigns einen Vorteil im internationalen Wettbewerb gegenüber anderen länderspezifischen Innovationsdesigns um den internationalen Standard besitzen.³³ Wenn unterschiedliche Innovationsdesigns miteinander

³² Als weniger entscheidend wird demgegenüber der technisch-wissenschaftliche Wissensvorsprung angesehen.

³³ Der Begriff Innovationsdesign bezeichnet eine ganz konkrete technische Umsetzung einer Funktion oder eines Funktionsbündels, die Spezifikation und Konfiguration einer Innovationsidee (Beise et al., 2002, S. 16). Produkte innerhalb eines Innovationsdesigns zeichnen sich durch einen technischen Standard oder eine gemeinsame Produktwahrnehmung aus. So sind z.B. zellulare Mobiltelefone, Satellitentelefone und Pager unterschiedliche Designs der Mobiltelefonie.

konkurrieren, lässt sich somit erklären, warum die frühzeitige Adoption einer Innovation in einem Land manchmal zu einem Exporterfolg werden kann, manchmal aber auch nicht. Beise et al. (2002) schlagen vor, diese Innovationsdesigns, die im einzelnen näher zu beschreiben wären, nach fünf sog. Lead-Markt Faktoren zu bewerten. Damit soll leichter beurteilt (bzw. ex-post begründet) werden, ob (bzw. warum) es sich bei einem Innovationsdesign um ein sog. dominantes Design handelt, das letztlich zum internationalen Standard wird, oder ob (bzw. warum) dieses Design nicht von anderen Ländern übernommen wird und daher von sog. idiosynkratischen Märkten mit temporärem Innovationserfolg der Unternehmen auszugehen ist. Die *Lead-Markt* Faktoren fassen damit im wesentlichen die länderspezifischen Vorteile zusammen, die einen *Lead-Markt* charakterisieren.³⁴ Auch für unsere Zwecke dienen sie als hilfreiches konzeptionelles Raster, mit dem potenzielle *Lead-Märkte* (ex-post oder ex-ante) identifiziert werden können:

- **Preis- und Kostenvorteile:** Ein häufig genannter Grund, warum das Produkt eines Ländermarktes einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Produkten aus anderen Ländern besitzt, ist sein geringerer Preis. Der Preis eines Produkts kann also soweit reduziert werden, dass es in anderen Ländern gegenüber konkurrierenden Innovationen bevorzugt wird (z.B. auch gegen zunächst vorherrschende Kundenpräferenzen).³⁵ Den geringeren Preisen liegen in der Regel Kostenreduzierungen einer Technologie- oder Produktvariante zugrunde, die wiederum auf Vorteile in der Massenfertigung, Marktgrößenvorteile, Lerneffekte oder starkes Marktwachstum in der Anfangsphase eines Produktlebenszyklus zurückgeführt werden können.
- **Nachfragevorteile:** Ein neues (verbessertes) Produkt oder ein neuer (verbesserter) Produktionsprozess wird in dem Land zuerst nachgefragt, in dem dessen Nutzen am höchsten ist. Spiegelt diese Nachfrage einen globalen (oder zumindest über mehrere Länder wirksamen) Trend wider oder entwickelt sich später in anderen Ländern ein entsprechendes Problembewusstsein (z.B. über drohende Umweltrisiken) kann dies später zu Exporterfolgen für die heimische Industrie führen (antizipatorische Nachfrage).
- **Exportvorteile i.e.S.:** In einem Land existieren zusätzliche Anreize für die lokalen Unternehmen, Innovationen für den Weltmarkt (oder Teilmärkte wie die EU) zu entwickeln. Dabei nimmt die Exportierbarkeit von Innovationen zum einen bei ähnlichen kulturellen, sozialen und ökonomischen Umfeldbedingungen zwischen exportierendem zu importierendem Land zu. Exportvorteile sind zum anderen dann zu vermuten, wenn die heimische Nachfrage gegenüber Problemen und Bedürfnissen

³⁴ Von einzelnen Faktoren kann auch ein eigenständiger *Lead*-Effekt ausgehen.

³⁵ Dabei kann es sich auch um einen Preistrend bei Input- oder komplementären Faktoren handeln.

fremder Länder aufgeschlossen ist, heimische Institutionen (z.B. Banken, Staat) Unternehmen unterstützen und die Unternehmen selbst langjährige Erfahrung im Auslandsgeschäft aufweisen. Auch die Adaptionfähigkeit der Innovation selbst kann eine wichtige Rolle spielen (Bedeutung sog. *dual-use*-Innovationen bzw. leicht handelbarer Querschnittstechnologien).

- **Transfervorteile:** Ein Land erhöht durch die Anwendung den (wahrgenommenen) Nutzen einer Innovation für andere Länder und potenzielle Nachahmer. Insbesondere das Adoptionsrisiko bzw. die Unsicherheit über die Probleme und Gefahren der Erstanwendung können reduziert werden, wenn bereits praktische Erfahrungen in Referenzmärkten bestehen (Demonstrationseffekt) oder die Anwender im *Lead*-Markt international mobil sind und ihre Nachfrage selbst in andere Länder „tragen“ (Bedeutung multinationaler Unternehmen). Auch Netzwerkexternalitäten und das Vorhandensein komplementärer Güter können Transfervorteile mit sich bringen. Eine wichtige Rolle spielt im allgemeinen die Intensität der Kommunikation zwischen den beteiligten Ländern und Akteuren.
- **Marktstrukturvorteile:** Eine hohe Wettbewerbsintensität auf dem Heimatmarkt führt in der Regel dazu, dass einer Reihe unterschiedlicher Innovationsdesigns „getestet“ werden und sich das Design durchsetzt, das am besten den Kundenwünschen entspricht (Innovationswettbewerb als Entdeckungsverfahren). Das dadurch ausgewählte Innovationsdesign kann sich auch international als wettbewerbsfähig erweisen, wenn sich in anderen Märkten aufgrund geringeren Wettbewerbs (z.B. aufgrund staatlicher und nicht nachfragegerechter Vorgaben) keine kundengerechte Technik etabliert (Beispiel: Minitel in Frankreich).³⁶

Auf Umweltinnovationen und Umweltschutzmärkte ist das Analysekonzept in einigen Punkten übertragbar, z.T. allerdings auch zu modifizieren (Beise und Rennings, 2003; Jacob et al., 2005, S. 29ff.). Auch bei Umweltinnovationen sind z.B. Nachfragevorteile zu erwarten, die dann entstehen, wenn ein ökologisches Vorreiterland einen internationalen Trend zugunsten umweltfreundlicherer Produktionsweise vorwegnimmt und zugleich davon auszugehen ist, dass das Ausland nach einer Weile exogen nachzieht (RSU, 2002, S. 76).³⁷ Exportvorteile wiederum können beispielsweise dadurch induziert werden, dass die deutsche Bevölkerung (bzw. stellvertretend Verbraucher- und Umweltverbände) ein Interesse daran zeigt, dass multinationale Unternehmen deutscher

³⁶ Es ist zu bedenken, dass hier noch die in Kapitel B 2. genannten Sektorcharakteristika näher zu beleuchten wären. So ließen sich z.B. auch bei oligopolistischen Märkten Innovationsrenten ins Inland umlenken.

³⁷ Dabei wird die (realistische) Prämisse zugrundegelegt, dass ein positiver Zusammenhang zwischen Pro-Kopf-Einkommen und der Nachfrage nach Umweltqualität besteht.

Herkunft eine hohe Umweltperformance auch im Ausland an den Tag legen. Ob diese Vorteile tatsächlich realisiert werden, hängt allerdings bereits von einer Reihe zusätzlicher Bedingungen ab, die als politik- und akteursspezifisch zu bezeichnen sind (Jacob et al., 2005, S. 20ff., vgl. auch die folgenden Ausführungen). Besonders die zuletzt genannten Marktstrukturvorteile sind schließlich diskussionswürdig, da Umweltinnovationen nicht primär (und zumindest nicht allein) durch Wettbewerb auf Märkten quasi autonom induziert werden, sondern Marktmängel den Wettbewerb zwischen Umweltinnovationen und „herkömmlichen“ Innovationen verzerren.³⁸ Die Frage, ob Marktstrukturvorteile realisiert werden, hängt damit entscheidend davon ab, welche Impulse durch umweltpolitische Regulierung gesetzt werden und wie diese wirken.³⁹

Ob ökologische *Lead*-Märkte entstehen, hängt allerdings in der Regel auch davon ab, wie umweltpolitische Regulierungen in anderen Ländern ausgestaltet sind, ob bzw. inwiefern sie nationalen Regulierungen ähneln und ob es ggf. international einheitliche Standards gibt oder diese zu erwarten sind. Folglich ist bei Umweltinnovationen ein spezifischer Diffusions- bzw. Internationalisierungsmechanismus zu bedenken. Da sich das Regulierungsverhalten eines anderen Landes also auf verschiedene Art und Weise auf das Innovationsverhalten sowie die Export- und die Wettbewerbssituation heimischer Unternehmen auswirken kann, bietet es sich an, nach bestimmten Fallkonstellationen zu unterscheiden:⁴⁰

1. Fall kosteninduzierter Wettbewerbsnachteile: Das Ausland führt hier keine (noch keine oder keine ähnlichen) Regulierungen ein und es kommt zu keiner Politikdiffusion. In diesem Fall wird im allgemeinen argumentiert, dass der umweltintensiven heimischen Industrie (zumindest kurz- bis mittelfristig) zusätzliche Kosten und Wettbewerbsnachteile entstehen.⁴¹ Ausgangspunkt ist das eingangs zitierte mikro-

³⁸ Die häufig geäußerte Ansicht, Innovationen könnten durch eine Deregulierungsstrategie erleichtert werden, ist also in diesem Fall als problematisch anzusehen. Es gilt vielmehr abzuwägen, über die Balance zwischen wettbewerblichen und nicht-wettbewerblichen Impulsen für das Innovationsverhalten der Unternehmen (z.B. in Abhängigkeit von der Reife einer zu fördernden Umwelttechnik). Über die Wirkungsweise von Regulierungen wird auch unter dem instrumentellen Aspekt noch zurückzukommen sein (vgl. Kapite B 5.).

³⁹ Beise und Rennings (2003) sprechen hier von dem „Porter-Effekt“, den sie in den Marktstruktureffekt einschließen und den sie als das Vorhandensein strikter Regulierung für das jeweilige Umweltproblem im *Lead*-Land definieren. Auf die Bedeutung der Ausgestaltung der Regulierung (Instrumente, Politikstil) wird im nächsten Abschnitt noch einzugehen sein.

⁴⁰ Es ist zu betonen, dass diese Fallkonstellationen auch gleichzeitig auftreten können und zwar insbesondere dann, wenn sie aus der Perspektive unterschiedlicher Unternehmen und Sektoren diskutiert werden (z.B. Technologieherstellern und Technologieanwendern).

⁴¹ Das hier sektor- und ggf. unternehmensspezifische Differenzierungen vorzunehmen sind, ist bereits in den Kapiteln B 1. und 2. erläutert worden.

ökonomische Argumentationsmuster (vgl. Abschnitt B 1.), wonach externe Beschränkungen in Form staatlicher Regulierungen die Gewinne schmälern und das Produktivitätswachstum verlangsamen.⁴² Der Verlust an Wettbewerbsfähigkeit gegenüber unregulierten ausländischen Konkurrenten kann sich dann in verschiedenen Formen manifestieren: a) in rückläufigen Exporten, steigenden Importen bzw. Veränderungen in den Handelsströmen mit umweltintensiven Gütern (Verlagerungseffekte); b) in zunehmenden Anreizen, Produktionskapazitäten ins Ausland zu verlagern (*pollution-haven*-Effekte), was sich im Inland u.a. in Friktionen auf dem Arbeitsmarkt bemerkbar machen kann; c) in zunehmenden Anreizen unternehmerische Investitionsentscheidungen (Direktinvestitionen) und Ansiedlungsentscheidungen zu Lasten des Inlands zu treffen (Umlenkungseffekte) (vgl. auch Jaffe et al., 1995).

2. Pilotmarktfall bei lebendiger heimischer Nachfrage: Die Regulierungen im In- und Ausland sind sehr kontextspezifisch, insbesondere weil sie auf spezifische nationale oder lokale Umweltprobleme und Präferenzen ausgerichtet sind oder von bestimmten Akteurskonstellationen geprägt werden. Ausländische Regulierungen induzieren damit eher ein spezifisches Innovationsdesign, das mit den Innovationsbestrebungen heimischer Unternehmen nicht kompatibel ist.⁴³ Im Ausland besteht damit ein geringerer Anreiz, ggf. früher entwickelte heimische Innovationen zu adoptieren. Allerdings kann sich dennoch auf nationaler Ebene ein umsatzstarker Pilotmarkt durch idiosynkratische Nachfrage herausbilden, so dass eine Innovation (zunächst nur) national adoptiert wird, aber nicht international diffundiert und im Ausland vermarktbar ist.
3. Fall idiosynkratischer Technik bei eng definierter heimischer Nachfrage: Dieser Fall ähnelt dem vorherigen insofern, dass auch hier angesichts kontextspezifischer Regulierungsmuster keine wesentlichen Exporterfolge erzielt werden können. Zusätzlich gelingt allerdings die Balance zwischen wettbewerblichen und nicht-wettbewerblichen Impulsen für das Innovationsverhalten der Unternehmen nicht. Angesichts einer zu präskriptiven Regulierung schreibt der Staat vielmehr einen Pfad der Technologieentwicklung vor, der die Anforderungen und Präferenzen der Kun-

⁴² Auch in einem neoklassischen Referenzrahmen sind allerdings bereits hier verschiedene Einschränkungen vorzunehmen, wenn man die spieltheoretisch fundierten Modelle international strategischer Umweltpolitik berücksichtigt. Eine strikte Umweltpolitik kann z.B. unter bestimmten Bedingungen eines Oligopolmodells dazu beitragen, dass Unternehmen auf internationalen Märkten sich glaubwürdig dazu verpflichten, ihren Marktanteil auszuweiten. Ausländische Unternehmen, die diese Form der „Unterstützung“ nicht haben, könnten dann gezwungen sein, ihren Output zu reduzieren, wenn sie nicht niedrigere Preise in Kauf nehmen wollen (vgl. zu derartigen Modellen kurz Jacob et al., 2005, S. 24ff.).

⁴³ Im Fall der IVU-Richtlinie betrifft dies häufi besonders kostenintensive BVTs wie z.B. den Einsatz von Raugasreinigungsanlagen („wet scrubber“) in der Zementindustrie, deren Einsatz sehr kontextspezifisch ist.

den in anderen Märkten aus dem Blickfeld verliert und damit das Marktpotenzial zugunsten eines engen Teilmarkts einschränkt.⁴⁴

4. Lead-Markt Fall: Das Innovationsdesign eines Landes wird zum dominanten Design, so dass es zur Diffusion der damit verknüpften heimischen Produkte und Technologien in andere Länder bzw. zu Exporterfolgen kommt. Ein oder mehrere der beschriebenen Lead-Markt Faktoren sind der Grund für diese Entwicklung.
5. Porter'scher Privatgut-Fall: Obwohl eine nationale Regulierung im Ausland nicht übernommen wird, drängt die nationale Regulierung die Unternehmen zu innovativem Verhalten, insbesondere zu einer höheren Ressourceneffizienz und zur Ausschöpfung ungenutzter technologischer Innovationsoptionen (Porter und van der Linde, 1995). Diese *win-win*-Optionen wurden innerhalb von Unternehmen aufgrund der bereits in Abschnitt B 1. angeführten Ineffizienzen (asymmetrische Information, organisatorische Trägheit, mangelndes Problembewusstsein etc.) bislang nicht realisiert. Konzeptionell treten in diesem Fall die Innovationsanreize durch Regulierung an die Stelle der Innovationsanreize durch den Wettbewerb (vgl. die Aussagen zu Marktstrukturvorteilen). Ansonsten sind Umweltinnovationen nicht fundamental verschieden von sonstigen marktgetriebenen Innovationen. Dass diese Konstellation in systematischer Weise auftritt und dass die Regulierungsaktivitäten des Auslands auf das Innovationsverhalten von Unternehmen keinen wesentlichen Einfluss nimmt, ist in der Literatur besonders umstritten (Jaffe, Newell und Stavins, 2002).

Sieht man von dem letzten, auf Porter und van der Linde zurückgehenden Fall ab, der in einem internationalen Kontext zumindest an Plausibilität verliert, gilt es daher festzustellen, dass die internationale Politikdiffusion, d.h. die Diffusion umweltpolitischer Regulierungen und eine ggf. eintretende internationale Harmonisierung ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Entstehung ökologischer *Lead*-Märkte darstellt. Um der Bedeutung politischer Einflussfaktoren Rechnung zu tragen und die Ursachen für die national unterschiedlichen Ausprägungen von *Lead*-Markt Faktoren erklären zu können, ist daher die Erweiterung des ursprünglichen Konzepts um eine Akteurs- und Politikebene sinnvoll (vgl. auch Beise et al., 2002, S. 28ff.; Jacob et al., 2005, S. 30f.). Denn diese Akteure prägen die *Lead*-Markt Faktoren, die für die Internationalisierung bestimmend sind und diese wiederum bestimmen das *Lead*-Markt Potenzial eines Landes.

⁴⁴ Typischerweise wird hier der Fall diskutiert, dass spezifische Lösungen für den nationalen Markt durch technische Normen festgeschrieben werden (z.B. in der Elektrotechnik) (vgl. Beise et al., 2002, S. 45). Es wäre zu überprüfen, ob eine derartige Festschreibung auch durch die lange Zeit vorherrschende Förderung von end-of-pipe Technologien im Umweltbereich stattgefunden hat.

In diesem Sinne ist auch der oben als Transfervorteil bezeichnete *Lead*-Markt Faktor zu modifizieren. So tragen Länder, die eine Schrittmacherfunktion in der Umweltpolitik (z.B. auf zu harmonisierende europäische Standards) einnehmen, dazu bei, die Effektivität neu eingeführter Regulierungen zu „testen“ und die Unsicherheit über deren Wirkungen (z.B. auf die heimische Wirtschaft) zu reduzieren. Dieses Wissen ist von Bedeutung für das Regulierungsverhalten anderer Länder, also der „Nachzügler“ (spill-over-Effekte). Analoge Überlegungen wären für die Implementierung von BVT anzustellen.

Ähnlich wie multinationale Unternehmen, die oft einheitliche Bedingungen und Standards innerhalb der weltweit verstreuten Filialen anstreben, können schließlich internationale Organisationen (NGOs; OECD u.a.) ausländische Regierungen davon überzeugen oder dazu drängen, spezifische Politikmaßnahmen zu ergreifen oder Standards anzugleichen. Vorreiterländer dürften wiederum im Falle positiver Erfahrungen im Inland bestrebt sein, eine starke Stellung in internationalen Organisationen und Gremien einzunehmen, um auf eigene Erfolge hinzuweisen (Reputations- und Marketingeffekte) und Druck auf die „Nachzügler“ auszuüben (Ankereffekt). Bei national erfolgreich umgesetzten Politikmaßnahmen dürften sie auch einen Anreiz haben, Transfergewinne gegenüber dem Ausland z.B. durch Innovationsförderung zu sichern oder zu vergrößern. Durch strikte Regulierung und Subventionen „oder anderswie anspruchsvoll gehaltene Märkte“ (RSU, 2002, S. 82) könnten dann sogar eine Anziehungswirkung auf Investoren ausüben und zu einem Zufluss an ausländischen Direktinvestitionen in Teilbereichen führen.

Zu bedenken ist schließlich noch, dass sich bei der Diffusion von Umweltinnovationen ein komplexes Wechselspiel zwischen technologischer und politischer Ebene sowie zwischen Innovation und Diffusion ergeben kann. Stellt man theoretische Wirkungsketten auf, könnte z.B. eine nationale Innovation auf politischer Ebene technologische Innovationen „erzwingen“, die wiederum diffundieren, wenn (zunächst) auch die politische Maßnahmen diffundiert (Bsp. Katalysator-Technologie Kalifornien). Denkbar ist aber u.a. auch der Fall, dass eine umwelttechnische Neuerung entsteht und erfolgreich diffundiert und erst danach politische Unterstützung auf nationaler als auch auf internationaler Ebene erhält (vgl. Jacob et al., 2005, S. 4f. mit insgesamt sechs denkbaren Konstellationen).

Schließlich ist allgemein zu berücksichtigen, dass sich die genannten *Lead*-Markt Faktoren in Abhängigkeit von den in Abschnitt B 2. genannten Sektorcharakteristiken unterscheiden. So spielen z.B. vom Konsumenten induzierte Nachfragevorteile in Sektoren, die weitgehend homogene Massengüter produzieren, eine geringere Rolle als in

Sektoren, die durch Produktdifferenzierung gegenüber dem Kunden einen Zusatznutzen bieten können. Auch die angebotsseitigen Bestimmungsgründe von Innovationen (vor allem die Forschungs- und Wissensintensität des Sektors und die bisherigen technischen Gegebenheiten) sind schließlich in einer detaillierteren Betrachtung nicht zu vernachlässigen.

Während das bisher dargestellte Lead-Markt Konzept auf länderspezifische Unterschiede abstellt, gilt es auch die Wirkung von Lead-Märkten entlang der Wertschöpfungskette im Auge zu behalten. So gibt es etwa Hersteller, die selber nicht exportieren, aber deutsche Unternehmen beliefern, die wiederum erfolgreich exportieren. Folglich profitieren sie indirekt von der Exportwirkung und den Impulsen der Lead-Märkte (sog. Ausstrahlungseffekte) (Beise et al., 2002, S. 31).

5. Wirkungen der Regulierungsform, des Regulierungsdesigns und des „Regulierungsklimas“

Die bisherige Betrachtungsweise ist insofern relativ unspezifisch geblieben, wie nicht deutlich wurde, was unter dem Begriff umweltpolitische Regulierung zu verstehen ist. Diese Sichtweise ist jedoch für unsere Zwecke nicht hinreichend, da die IVU-Richtlinie mit einem spezifischen Instrumentarium verknüpft ist und in einen bestimmten Regulierungskontext einzubetten ist.

Im Hinblick auf die Regulierungsform lassen sich verschiedene Instrumententypen unterscheiden, wobei meistens zwischen ordnungsrechtlichen Instrumenten, marktorientierten Instrumenten (Steuern, handelbare Emissionsrechte) und freiwilligen Instrumenten unterschieden wird. In dieser ersten Annäherung werden von ökonomischer Seite immer wieder – allerdings mit unterschiedlicher Schärfe – die Vorteile marktorientierter gegenüber ordnungsrechtlichen („*command-and-control*“-) Instrumenten hervorgehoben. Sie basieren auf dem Prinzip durch Preisaufläge auf bzw. Mengenfestsetzungen für Emissionen das öffentliche Gut Umweltqualität in den marktwirtschaftlichen Rahmen zu integrieren und (bislang kostenlose bzw. verbilligte) Umweltnutzungen zu verteuern, dabei aber den Marktprozess möglichst wenig zu stören. Während diese Auflagen bzw. Festsetzungen sich an übergeordneten Umweltqualitätszielen orientieren, überlassen sie es den Unternehmen diese Ziele in einer für sie kostengünstigen, flexiblen und „freiheitsfreundlichen“ Art und Weise zu erfüllen. Ordnungsrechtliche Instrumente sind demgegenüber (idealtypische) dadurch gekennzeichnet, dass für Unternehmen ein einheitlicher Standard, daraus abgeleitete spezifische Grenzwerte und

ggf. direkte verhaltensrelevante technologische Vorgaben gesetzt werden. Sie setzen auf einer niedrigen Ebene in der Zielhierarchie an, haben also oft nur einen sehr indirekten Bezug zu Umweltqualitätszielen, und sind wenig sensibel gegenüber Unterschieden in den Vermeidungskosten der Unternehmen. Wenn jedoch erhebliche Kostendifferentiale zwischen den Unternehmen (und ggf. auch von einer Emissionsquelle zur anderen innerhalb eines Unternehmens) vorhanden sind und weitere Kostenkategorien (insbesondere Transaktionskosten) und Einflussgrößen den Vorteilen marktwirtschaftlicher Instrumente nicht entgegenstehen, was jeweils empirisch zu überprüfen (und nicht pauschal zu unterstellen) wäre, wären mit ordnungsrechtlichen Instrumenten Effizienzeinbußen verbunden. Umweltpolitische Ziele hätten sich dann gesamtwirtschaftlich auf kostengünstigere Art und Weise erreichen lassen. Aus dem Blickwinkel der statischen Effizienz und einer (eingeschränkten) top-down Perspektive stellt sich die Frage, inwiefern auch mit der IVU-Richtlinie Effizienzeinbußen und „Konsistenzkosten“ einhergehen und ob diese insbesondere im Zusammenspiel mit anderen Instrumenten (vor allem dem Emissionshandel) abgebaut werden können.⁴⁵

Aus dynamischer Perspektive wird von ökonomischer Seite betont, dass insbesondere bei technologischen Standards die Gefahr besteht, dass die technologische Entwicklung (vorübergehend) nicht vorangetrieben wird, weil es im Gegensatz zu Preissignalen keinen kontinuierlichen Anreiz gibt, die staatlichen Vorgaben zu übertreffen, den Produktionsprozess ökologisch weiter zu optimieren und neue umweltfreundliche Technologien zu entwickeln (Jaffe et al., 2002, S. 50; Jaffe et al., 1995, S. 151). Vielmehr ist zu befürchten, dass die Unternehmen eine Verschleierungstaktik anwenden (ZEW und DIW, 2004, S. 97; Meyer, 1997, S. 135): Neu von den Unternehmen entdeckte, verbesserte Umweltschutzverfahren, die nicht ohnehin zu Kostenentlastungen führen, aber über bestehende Auflagen hinausgehen, würden gegenüber staatlichen Instanzen verschleiert, um eine Verschärfung der Regulierung und damit quasi eine Selbstbestrafung zu vermeiden (sog. Sperrklinkeneffekt). Wenn Standards von staatlicher Seite demgegenüber so stark spezifiziert werden, dass sie den Einsatz ganz bestimmter Technologien vorsehen (präskriptive Standards), besteht die Gefahr, dass Technologien vorgeschrieben werden, die sich im marktlichen Wettbewerb nicht halten können bzw. die Wettbewerbsstrategie stark beeinflussen (vgl. auch Kapitel B 4.). Diese Gefahr beruht

⁴⁵ So wird im Falle der IVU-Richtlinie aus dem Blickwinkel der Allokationseffizienz geltend gemacht, dass über Vorgaben zur Energieeffizienz und zu Kuppelemissionen (neben CO₂), die bei Verbrennungsprozessen anfallen, die Re-allokationspotenziale nicht ausschöpft werden, die sich durch den Emissionshandel erreichen lassen.

auf einem Auseinanderfallen von Beobachter- und Akteursperspektive im Allgemeinen und ggf. einem Mangel an Kompetenz auf Seiten der Behörde im Speziellen.⁴⁶

Die bisherige Darstellung kann jedoch als zu „instrumentalistisch“ und undifferenziert kritisiert werden. Sie vernachlässigt, dass die Wirkungen des Ordnungsrecht (insbesondere die Innovationswirkungen) aus einer stärkeren bottom-up Perspektive heterogen sind. So kann nicht nur von einem Instrument „an sich“ (und dessen quasi inhärenten Charakteristika und Dynamiken) ausgegangen werden. Vielmehr sind dessen konkrete Ausgestaltung sowie die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und weitere Kontextfaktoren zu berücksichtigen (vgl. auch Walz und Kuntze, 1999).⁴⁷

Betrachtet man die Ausgestaltung (*design*) und Implementation umweltpolitischer Instrumente wird oft geltend gemacht (gerade auch bei der IVU-Richtlinie), dass ordnungsrechtliche Regelungen ihre Wirkung z.T. analog zu einem Informationsinstrument entfalten. Sie lenken die Aufmerksamkeit also auf zuvor vernachlässigte Bereiche und (ökologische und ökonomische) Optimierungspotenziale, in denen ungenutzte Verbesserungsmöglichkeiten bestehen (Walz und Kuntze, 1999, S. 101). Im weiteren Sinne könnten zudem verschiedene Transaktionskosten und Unsicherheiten reduziert werden. Je nachdem wie diese Informationen diffundieren und ob sie ggf. neues, ökonomisch verwertbares Wissen generieren, wären dann die erwähnten Nachteile präskriptiver Standards zu relativieren. Im Hinblick auf die IVU-Richtlinie wäre daher insbesondere die Leistungsfähigkeit des (in seiner Form wohl beispiellosen) mehrstufigen und institutionalisierten Prozess des Dialogs und Informationsaustausches zu überprüfen (von den technischen Arbeitsgruppen auf europäischer Ebene bis zu den Abstimmungsgruppen auf nationaler Ebene). Die Wirkungen eines derartigen „aufklärerischen“ Ordnungsrechts hängen also u.a. davon ab

⁴⁶ Dies ist natürlich ein Extremfall. Im Fall der IVU-Richtlinie wird geltend gemacht, dass BVT nicht vorgeschrieben werden, sondern als Benchmark dienen, um die (in erster Linie ökologische) Performanz einer bestehenden Anlage oder den Vorschlag zu einer neuen Anlage einzuschätzen. Ebenso wird geltend gemacht, dass BVT ein dynamisches Konzept ist, weil ein Wachstum von neuen umweltfreundlichen Technologien und damit auch von Wissen zu erwarten ist (Rennings et al., 2003, S. 40). Vgl. die weiteren Ausführungen.

⁴⁷ Das Gegenstück zu den „instrumentalists“ sind die „proceduralists“ oder „contextualists“, bei denen Instrumente quasi nur als Nebenprodukt politischer Prozesse, Netzwerkbildungen u.ä. auftauchen und daher gar nichts mehr über deren relative Bedeutung und Performanz gesagt werden kann. Hier wird versucht, eine Brücke zwischen diesen Ansätzen zu schlagen.

- ob durch Informationsprozesse und Netzwerkbildungen die FuE- und Innovationsbemühungen der Unternehmen langfristig und dauerhaft beeinflusst werden können (z.B. auch durch kontinuierliche Erneuerung der BREFs);
- wie lange der Informationsaustausch im Rahmen bestimmter Zyklen dauert und welche zeitlichen „lags“ verstreichen (z.B. zwischen erstem informellem Austausch und letztlcher Kodifizierung), da hierdurch das Ausmaß an Transaktionskosten und an Unsicherheit auf Unternehmensseite tangiert wird und das Investitionsverhalten beeinflusst wird;
- wie kontinuierlich und verlässlich der Kommunikationsfluss zwischen staatlichen Einrichtungen und Industrie verläuft und wie er damit die Erwartungsbildung der Unternehmen beeinflusst;
- welchen Einfluss und welche Definitionsmacht die Beteiligten ausüben (z.B. bei der Formulierung der BREFs);
- wie der Informationsfluss im europäischen Mehrebenensystem verläuft (z.B. wie die (z.Zt. nur englisch verfügbaren) BREFs die letzte Genehmigungsentscheidung auf lokaler Ebene prägen);
- welche Ermessens- und Auslegungsspielräume (insbesondere bei der Auslegung von BVT) lokale und regionale Behörden ausschöpfen können und welche Freiheitsgrade den Unternehmen letztlich konkret erhalten bleiben.

Im Zusammenhang mit der IVU-Richtlinie wird natürlich auch betont, dass trotz der Vernetzung und Informationsflüsse zwischen den Mitgliedsstaaten die konkreten, fall-spezifischen Festlegungen, also die Regulierungsinhalte, insbesondere in Form von Emissionsgrenzwerten der jeweiligen Genehmigungsbehörden im Rahmen der Genehmigungsbescheide, von entscheidender Bedeutung sind (Ganzleben, 2002). Um die Wirkungen dieser Bescheide zu ermitteln, könnte man daher verschiedene Hypothesen überprüfen (z.B. Similä, 2002, S. 152ff.). So wäre zu fragen, ob es den Genehmigungsbehörden gelingt, Emissionsgrenzwerte so strikt auszugestalten, dass die Unternehmen zur Entwicklung (*invention*) einer neuen Technologie gezwungen werden (*technology forcing*) und nicht lediglich bestehende Technologien als Entscheidungsbasis herangezogen werden. Andererseits könnten aber auch durch einen weichen Politikstil, ein kooperatives, vertrauensvolles Klima zwischen Genehmigungsbehörde und einzelnen Unternehmen oder durch den Unternehmen belassene „Flexibilitätsreserven“ kontinuierliche Innovationen begünstigt werden und diffundieren. Aus der Perspektive der Genehmigungsbehörde könnte man schließlich auch überprüfen, ob durch die Erfahrungen mit der Regulierung mehrerer Anlagen Wissensvorsprünge generiert werden können und daraufhin eine Art Benchmarking Lern- und Verbesserungsprozesse katalysieren kann.

Ebenso wäre zu überprüfen, ob effektives Monitoring gewährleistet ist und Fehlverhalten sanktioniert wird.

Aspekte, die die Ausgestaltung und den Inhalt umweltpolitischer Regulierung betreffen, sind nun freilich auch im Zusammenhang mit den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu sehen, die auf den unterschiedlichen Betrachtungsebenen (einzelwirtschaftlich, sektoral, gesamtwirtschaftlich, international) wirksam werden (vgl. Kapitel B 1.-3.). Betrachtet man die Unternehmensebene ist zu fragen, wie sich die Innovationseffekte beschreiben lassen, die direkt durch die Implementation der IVU-Richtlinie und letztlich die Festlegung von Emissionsgrenzwerten induziert werden (vor allem nach Intensität, Einfluss auf die Phase des Innovationsprozesses, Einfluss auf die umwelttechnologische Maßnahme). Häufig wird etwa geltend gemacht, dass im Zuge des Genehmigungsprozesses eher die Diffusion von end-of-pipe-Technologien als von integrierten Technologien befördert wird (z.B. Similä, 2002, S. 158). Ebenso wird relativ direkt in betriebsinterne Prozesse sowie in Markt-, Wettbewerbs- und Verkaufsstrategien von Unternehmen eingegriffen. Von Interesse wäre in diesem Zusammenhang u.a., ob das Unternehmen Regulierungsanforderungen antizipiert und ggf. proaktiv handelt oder erst ein *“technology forcing“* zu Produktionsumstellungen bei einem Unternehmen führt. Umgekehrt wäre z.B. zu überprüfen, ob im Rahmen der Regulierung bestimmte Trends (z.B. gestiegene Kundenanforderungen) aufgegriffen werden können.

Schließlich dürfte die Ausgestaltung der ordnungsrechtlichen Regelung in Abhängigkeit von den Sektorcharakteristika unterschiedliche Wirkungen mit sich bringen (vgl. Tabelle 1, Kapitel B 2.). Aus der Vielzahl der zu berücksichtigten Determinanten spielt sicherlich eine große Rolle, welcher globalen Nachfrage sich der Sektor gegenüber sieht. Bei einer relativ spezifischen ordnungsrechtlichen Regelung wird aber auch angebotsseitig recht tief in das Verhältnis zwischen Entwickler und Anwender neuer Technologien eingegriffen. Zu bedenken sind folglich die branchenspezifischen Akteurskonstellationen und die gegebenen Industrie- und Marktstrukturen. Auch die technologische Reife, die Zyklizität des Innovationsverhaltens und das breitere Innovationsklima des Sektors spielen sicherlich eine wichtige Rolle.

Noch schwerer ordnen lassen sich die Wirkungszusammenhänge schließlich, wenn ein spezifisches Instrument in einen gesamtwirtschaftlichen Rahmen gestellt wird. Zu hinterfragen ist hier vor allem die Wirkungsbreite und –tiefe der jeweiligen Instrumente. Sie dürfte bei spezifischen, auf Einzelfälle gerichteten ordnungsrechtlichen Lösungen wohl geringer sein als z.B. bei breit streuenden Emissions- bzw. Energiesteuern.

Demgegenüber könnte die unterschiedliche Auslegung von BVT in den einzelnen EU-Mitgliedsländern durchaus spürbare ökonomische Implikationen für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen haben. So dürfte vor allem die Möglichkeit bei der Vorgabe von Emissionsgrenzwerten in den Genehmigungsbescheiden lokale und geographische Umstände zu berücksichtigen von Land zu Land und von Fall zu Fall unterschiedlich stark wahrgenommen werden (aus guten oder weniger guten Gründen). Die Attraktivität von Standorten könnte damit vor allem für die BVT-Anwender (und evtl. auch für Hersteller) beeinflusst werden.

Neben den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf den verschiedenen Ebenen könnte man schließlich noch weitere „weiche“ Kontextfaktoren berücksichtigen, um die Beziehung zwischen einer ordnungsrechtlichen Umweltregulierung und Innovationen zu bestimmen. Vor allem der weitere politische Kontext ist hier in die Betrachtung einzu beziehen (z.B. Bemühungen um Harmonisierung von Standards auf EU-Ebene, Abstimmung mit anderen Instrumenten etc.).

6. Zwischenfazit

In diesem Abschnitt wurden potenzielle Impulse und Wirkungsmechanismen behandelt, die von umweltpolitischer Regulierung auf Variablen ausgehen, die unter die Komplexe „Innovationen“ sowie „ökonomische Wettbewerbsfähigkeit“ fallen. Es wurden unterschiedliche Analyseebenen und unterschiedliche zeitliche Ebenen angesprochen.

Festzuhalten ist zunächst, dass von einem äußerst komplexen Wirkungsgeflecht auszugehen ist. Es ist daher unmöglich (und wohl auch sinnlos), sämtliche Wirkungsbeziehungen auf einer rein konzeptionellen Ebene gleichzeitig zu erfassen. So besteht schon ein Mangel an oder eine Konkurrenz von theoretischen Erklärungen. Zum einen beziehen theoretische Ansätze oft nur einen Teilbereich des Wirkungsspektrums ein und lassen andere Wirkungsdimensionen außen vor. Dabei ist insbesondere zu betonen, dass bislang keine befriedigende theoretische Erklärung für die sog. Mikro-Makro-Brücke vorliegt, und zwar insbesondere dann, wenn von Heterogenität auf der Mikroebene auszugehen ist. Zum anderen sind vorhandene theoretische Ansätze und darauf aufbauende Hypothesen auch deshalb nicht ohne Weiteres kompatibel, weil sie von unterschiedlichen Grundannahmen ausgehen (z.B. die Verhaltensannahmen in der neoklassischen und der evolutorischen Ökonomik).

Folglich ist schon aus diesem Grund vor zu pauschalen Aussagen über die Wirkungen umweltpolitischer Regulierungen und daraus sich ergebenden politischen Konsequenzen abzusehen. Vielmehr spielen für die Entwicklung eines hilfreichen Analyserasters immer auch Plausibilitätsüberlegungen eine Rolle. Diese Plausibilitätsüberlegungen werden von der vorgegebenen Fragestellung und den Erkenntnissen in der Literatur mitbestimmt.

Konkret im Hinblick auf die Porter-Hypothese – insbesondere dessen starke Version – wird in der Literatur vor allzu viel Enthusiasmus gewarnt. So werden immer wieder Zweifel daran geäußert, dass sog. win-win-Optionen systematisch auftauchen. Zwar werden positive Einzelfälle nicht geleugnet; dennoch wird oft vermutet, dass die notwendigen und hinreichenden Bedingungen, unter denen positive Wettbewerbswirkungen durch umweltpolitische Regulierung in der Realität auftreten, eher selten erfüllt sind (z.B. Jaffe et al., 1995; ZEW und DIW, 2004, S. 99). Betont wird jedoch die Notwendigkeit die Porter Hypothese auf unterschiedlichen Betrachtungs- und Analyseebenen zu diskutieren. Dies scheint in der theoretischen Literatur noch nicht hinreichend der Fall zu sein (Wagner, 2003, S. 42).

Zugleich wird immer wieder angemahnt die Bedeutung (Stärke, Richtung etc.) der vielfältigen Effekte und Wirkungsbeziehungen empirisch zu überprüfen. Damit ist also die Aufforderung verbunden, nach empirischen Methoden Ausschau zu halten, mit denen die im konzeptionellen Teil aufgeworfenen Wirkungsmechanismen überprüft werden könnten.

Betrachtet man die Fragestellung der vorliegenden Machbarkeitsstudie ist sicherlich im Vergleich zur sonstigen Diskussion über die Porter Hypothese hervorzuheben, dass die meso- und makroökonomische (und mit Abstrichen auch die internationale) Ebene bislang – jenseits bloßer Rhetorik – wenig Beachtung gefunden hat. Theoretisch ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass von einer einzigen Innovation eines einzelnen Unternehmens sämtliche Preise, Mengen und Marktanteile in allen Sektoren und damit die Marktstrukturen aller Märkte und die Wirtschaftsstruktur insgesamt betroffen sein können (so etwas paradigmatisch Voßkamp, 2002, S. 16). Dennoch gibt es – abgesehen von den erwähnten Plausibilitätserwägungen und empirisch-datentechnischen Problemen – sicherlich Gründe dafür, dass diese Ebenen bislang wenig tangiert wurden. So ist es auf höherer Aggregationsebene zunehmend schwierig die vielfältigen Effekte sauber auseinanderzuhalten und zuzurechnen. Wirkungen fallen vielmehr räumlich und zeitlich auseinander. Ebenso gibt es deutliche Hinweise, dass durch Regulierung ausgelöste ökonomische Wirkungen in hohem Maße sektor- oder gar unternehmens- bzw. betriebsspezifisch

sind. Zudem treten gerade die Innovationswirkungen in verschiedenen Dimensionen und Facetten auf. Dazu kommt noch, dass es zunehmend schwieriger wird, zwischen der Identifizierung und der Messung von Wirkungen zu trennen. Dies wurde z.B. am konventionellen Produktivitäts- und Wachstumsbegriff deutlich. Auch die Differenzierung von Wirkungen z.B. nach direkten und indirekten Kosten ist weniger eindeutig und zweckmäßig auf aggregierterer Ebene, da angesichts von Kreislaufzusammenhängen die Gefahr von Doppelzählungen besteht.

Insgesamt ist die Realisation einer Mikro-Makro-Brücke daher schon auf konzeptioneller Ebene mit großen Herausforderungen verbunden. Es stellt sich die Frage, inwiefern ein hinreichendes Maß an Konsistenz zwischen den Betrachtungsebenen gewährleistet werden kann. Allerdings könnte man bestimmte Interaktionsstrukturen auch für sich betrachten, ohne auf ein Höchstmaß an Konsistenz zu zielen.

C. Überblick über das Methodenspektrum

In den folgenden Abschnitten geht es nun darum, Möglichkeiten zu skizzieren, den konzeptionellen Rahmen zur Analyse der möglichen ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie empirisch zu füllen. Zunächst soll zu diesem Zweck ein kurzer Überblick über das für Szenario- bzw. Wirkungsanalysen relevante Methodenspektrum gegeben werden. Neben grundsätzlichen Anforderungen werden verschiedene Modelltypen und gängige Unterscheidungen beschrieben und Grenzen von bzw. Alternativen zu Modellen aufgezeigt.

1. Einige grundsätzliche Charakteristika von Modellen und Modellanalysen

Modelle stellen ein Abbild der Realität dar, spiegeln die Realität aber niemals 1:1 wieder. Angesichts der Komplexität der tatsächlichen Wirkungszusammenhänge bilden sie eine Volkswirtschaft oder Teile davon vielmehr auf vereinfachte Art und Weise ab. Im Kern dienen sie somit dazu, volkswirtschaftliche Zusammenhänge verständlich zu machen und problemadäquat darzustellen. Dies geschieht dadurch, dass durch Experimentieren mit dem Modell Rückschlüsse über mögliche Verhaltensweisen realer Akteure in der Volkswirtschaft unter veränderten Rahmenbedingungen gezogen werden können. Das Problem, dass realwirtschaftliche Veränderungen wie z.B. Beschäftigungs- und Produktionszuwächse in bestimmten Branchen i.d.R. auf eine Vielzahl von Einflussgrößen zurückzuführen ist, kann mit Hilfe von Modellen methodisch kontrolliert werden.

Modelle arbeiten immer mit Annahmen. Diese Annahmen erlauben es erst zu fragen, wie unter bestimmten Bedingungen gewisse Ereignisse eintreten. Indem also bestimmte Aspekte der Realität konstant gehalten oder nicht näher betrachtet werden, können systematische Zusammenhänge erforscht werden. Mit Modellen können dann sog. „als ob“-Hypothesen über das Verhalten von Unternehmen, Haushalten etc. getroffen werden.

Ebenso stellen Modelle diese Zusammenhänge in quantitativer Form dar, so dass große Datenmengen und Informationen verarbeitet werden können. Sie sind also darauf angewiesen, dass die zu analysierenden Aspekte der Wirklichkeit hinreichend operationalisiert, formalisiert und vergleichbar sind bzw. durch bestimmte Verfahren und Rechengänge operationalisiert, formalisiert sowie konsistent, vergleichbar und reproduzierbar gemacht werden können.

Aus dem bisher Gesagten folgt schließlich auch, dass ein Modell zwar dazu beitragen soll, die Wirklichkeit oder einen kleinen Ausschnitt davon zu interpretieren, sie aber niemals „vollständig“ oder „richtig“ abbilden kann. Damit besteht natürlich immer die Gefahr die Realität und die Modellwelt zu vermengen und zu vergessen, dass Modellaussagen Modellaussagen bleiben und ihre Gültigkeit kontextabhängig und auf den Modellrahmen beschränkt ist (vgl. z.B. Holub und Schnabl, 1994, S. 618ff.): Ob die Modellvoraussetzungen und Anwendungsbedingungen in der Realität erfüllt sind, muss erst überprüft werden und erfordert einen (weiteren) Interpretationsschritt. Wenn an der Schnittstelle von „Wirklichkeit“ und Modell das Modell mit bestimmten Daten und Hypothesen „gefüttert“ wird, unterliegt die Rückübertragung der Modellergebnisse in die Realität denselben Bedingungen, wie die Erfassung bzw. Hereinnahme von Daten und Hypothesen in das Modell. Folglich spielen bei diesem Interpretationsschritt vielfältige und aufeinander aufbauende (!) Wenn-Dann-Bedingungen eine wichtige Rolle (z.B. „Wenn die Ausgangsdaten schlecht sind, dann werden zusätzliche Daten zu weiteren Verzerrungen führen“).

Wenn man nun nicht – aus einer puristisch-wissenschaftstheoretischen Haltung heraus – zu dem Schluss gelangen will, dass das Analyseziel bzw. die Analyseziele nicht erreichbar sind, ist daher immer auch einzugestehen, dass „verwertbare“ Modellanalysen einen pragmatischen Zug haben. Sollen relevante Aussagen generiert und in die wirtschaftspolitische Diskussion eingespeist werden, spielt damit umgekehrt auch die Akzeptanz des Modells bzw. Untersuchungsrahmens eine wichtige Rolle. Dieser Untersuchungsrahmen wird wesentlich von der jeweiligen Fragestellung mitbestimmt. Somit bestehen zwischen Modellbildung und Modellanwendung immer auch Wechselwirkungen.

2. Typisierung von Modellen und Analysemöglichkeiten

Modelle können nach verschiedenen Kriterien systematisiert und typologisch erfasst werden. Für unsere Zwecke sollen an dieser Stelle einige wichtige Unterscheidungsmerkmale aufgeführt werden, die für die Ausführungen in den nachfolgenden Kapiteln von Belang sind. Diese Typisierung macht zugleich deutlich, dass es bislang nicht gelungen ist, alle, der in Kapitel B nur angedeuteten Wirkungsmechanismen gleichzeitig und gemeinsam zu erfassen. Vielmehr ist es notwendig, verschiedene Facetten des Problems und verschiedene denkbare Erkenntnisziele mit jeweils geeigneten Methoden und Modellen zu beleuchten (vgl. bereits Blazejczak et al., 1993, S. 1-9, S. 1-16).

Der klassischen Einteilung der Volkswirtschaftslehre in Mikro- und Makroökonomik folgend werden zunächst häufig mikroökonomische von makroökonomische Modellen unterschieden. Erstere modellieren einzelwirtschaftliche Sachverhalte, insbesondere das Verhalten einzelner Wirtschaftseinheiten wie Unternehmen und Haushalte und die Interaktionen dieser Wirtschaftseinheiten, in der Regel als Anbieter und Nachfrager auf Märkten. Eine zentrale Rolle spielen hierbei Preisbildungs- und Allokationsprozesse, wobei diese Prozesse auch von staatlichen Eingriffen beeinflusst werden können. Bei makroökonomischer Betrachtung werden dagegen Aggregate, also Gruppen von Wirtschaftssubjekten betrachtet. Diese Aggregate werden gebildet, wenn Regelmäßigkeiten zwischen den einzelnen Wirtschaftssubjekten erwartet werden können und die Rolle des einzelnen Wirtschaftssubjekts vernachlässigt werden kann. Ein direkter (nicht durch Simulation gestützter) Zugang durch Beobachtung eines spezifischen Phänomens oder dessen monetärer Werte ist auf dieser Ebene nicht möglich. Eine Verallgemeinerung der mikroökonomischen Beobachtungen und statistischen Messungen für eine höhere Aggregationsebene liefe nämlich schnell auf einen logischen Trugschluss hinaus (sog. *fal-lacy of composition*) (vgl. z.B. Fritsch, 1992).⁴⁸ Im Gegenzug rücken viele der indirekten Wirkungen und Impulse staatlicher Interventionen in den Vordergrund, die die Interdependenz von Märkten und Sektoren berücksichtigen.

Angesichts der typischerweise schwachen Verbindung zwischen Mikro- und Makromodellen und der Unmöglichkeit Makrorelationen aus dem Verhalten von Mikroeinheiten durch simple Addition abzuleiten sind immer wieder Versuche unternommen worden, beide Analyseformen konsistent zu verbinden oder gar eine Synthese zwischen beiden herzustellen, so dass von einer verbindenden Mesoökonomik bzw. von Mikro-Makro oder von Mikro-Meso-Makro-Modellen gesprochen wird (vgl. ausführlich Vosskamp, 1996). Dieser Modelltyp wird als notwendig erachtet, wenn (ebda., S. 70ff.)

- bei paralleler Betrachtung der Mikro- und der Makroebene widersprüchliche Aussagen generiert werden könnten (Kompatibilitätsargument);
- makroökonomische Modelle entscheidungstheoretisch fundiert werden sollen (Argument der entscheidungstheoretischen Fundierung);

⁴⁸ Wenn es z.B. in 50 von 100 Fällen eine positive Kovarianz zwischen dem Einsatz neuer Technologien und dem Beschäftigungsniveau gibt, während in den anderen 50 Fällen eine positive Kovarianz zwischen der Nichtnutzung neuer Technologien und Entlassungen festzustellen ist, dann lässt sich daraus nicht ableiten, dass alle Unternehmen vom Einsatz neuer Technologien profitieren würden, und dass die Beschäftigungsentwicklung aller einen positiven Verlauf nehmen würde. Denn es ist u.a. gut möglich, dass der Erfolg, der für die Hälfte der Firmen festgestellt wurde, vom Misserfolg der restlichen Firmen der Stichprobe abhängt, also Marktstruktureffekte vorliegen.

- die spezielle Fragestellung dies nahe legt, was gerade (aber nicht nur) bei der Beleuchtung des Zusammenhangs zwischen Innovation, Marktstruktur und Wirtschaftsstruktur der Fall ist (Argument der sachlichen Notwendigkeit).

Die meisten dieser Ansätze sind von der Allgemeinen Gleichgewichtstheorie inspiriert, basieren also üblicherweise auf der Annahme repräsentativer oder identischer Individuen bzw. Unternehmen. Zwar haben Modelle diesen Typs den Vorteil der Überschaubarkeit und der relativ leichten (empirischen) Handhabung; kritisiert worden ist aber u.a., dass sie gar nicht oder nicht hinreichend ökonomische Heterogenität abbilden und Strukturen darstellen und somit mit einem erheblichen Informationsverlust einhergehen (z.B. Pyka und Fagiolo, 2005).⁴⁹ Außerdem muss angenommen werden, dass die Aggregation unabhängig von Politikvariablen vorgenommen werden kann, um letztlich überhaupt einen Modellrahmen zu konstruieren, für den dann Berechnungen mit und ohne bestimmter Politikmaßnahmen durchgeführt werden können (van den Bergh und Gowdy, 2000).

Geringere Bedeutung hat demgegenüber eine andere Klasse von Mikro-Makro-Modellen erhalten, die wesentliche Elemente der evolutorischen Theorie aufgreifen (auch als Micro-to-macro-Modelle bezeichnet). Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie im Gegensatz zu der zuerst genannten Modellklasse auf einem expliziten Aggregationsprinzip aufbauen und somit möglichst viele Informationen auf der Mikroebene zu berücksichtigen und zu integrieren versuchen.⁵⁰ Der Verlust an Informationen und die Gefahr der Informationsverzerrung durch ein Überdecken von Heterogenität wird damit entgegengewirkt (vgl. auch Vögele, 2001). So wird im Extremfall z.B. jedes Unternehmen mit seinem spezifischen Kapitalstock, seinen speziellen Produktionsverfahren und ggf. sogar den Eigenschaften seiner Produkte modelliert, um darauf aufbauend diese spezifischen Variablen der einzelnen Unternehmen zusammenfassen und nach einem bestimmten Gewichtungsprinzip aggregieren zu können. Die Aggregation selbst ist

⁴⁹ Implizit wird vielmehr angenommen, dass die Struktur eines Ganzen durch ein repräsentatives Teil abgebildet werden kann. Das Aggregationsproblem wird damit gewissermaßen wegdefiniert und sog. "compositional effects" bleiben unberücksichtigt.

⁵⁰ Winker (2003, S. 90) unterscheidet noch weiter in Ansätze, in den heterogene Agenten und deren Interaktion explizit modelliert werden, Ansätzen, die von mehreren in sich homogenen Teilpopulationen ausgehen, deren Gewichte sich ändern können, und Ansätzen, die sich primär an statistischen Eigenschaften der aggregierten und disaggregierten Zusammenhänge orientieren. Deutlich wird damit, dass es nicht bloß einen "one-to-one-link" zwischen Mikro- und Makroebene geben kann (van den Bergh und Gowdy, 2000). Pyka und Fagiolo (2005) kritisieren, dass in den Mainstream-Modellen Agenten entweder gar nicht explizit miteinander interagieren (allgemeine Gleichgewichtsmodelle) oder in einem Netzwerk alle mit allen interagieren (spieltheoretische Modelle), aber keine verbindende Zwischenebene modelliert wird.

dann kein einfaches Additionsverfahren, da die Interaktion der Mikroeinheiten auf Märkten und unter verschiedenen institutionellen Bedingungen zu bedenken ist (Klevenmarken, 2001). Folglich wird in diesen Modellen auch bewusst ein hohes Maß an nicht-zufälliger (nonrandom) Heterogenität (z.B. intra-kategoriale Heterogenität) abgebildet, was dann nicht selten zu sehr komplexen Strukturen führt.⁵¹ Über das Modell gilt es gleichzeitig Phänomene auf unterschiedlichen Aggregationsebenen abzubilden (sog. joint reproduction of stylized facts, vgl. Pyka und Fagiolo, 2005). Wenn Eigenschaften aus der Interaktion von Agenten (die Interaktionsstrukturen) nicht mehr einfach auf die Aggregation der Eigenschaften dieser Agenten zurückgeführt werden kann, spricht man dann auch von emergenten Eigenschaften.

Ähnlich wie zwischen Mikro- und Makromodellen wird oft zwischen sog. top-down und bottom-up-Modellen unterschieden, wobei diese Diskussion bislang fast ausschließlich vor dem Hintergrund energie- und klimapolitischer Fragestellungen geführt wird (vgl. Grundmann, 1999; Löschel, 2001)⁵², gelegentlich aber auch explizit für die Technologiefolgenabschätzung gebraucht wird (Fritsch, 1992; Meyer-Krahmer, 1989). Top-down-Modelle zeichnen sich dadurch aus, dass sie auf einem hohen Aggregationsniveau angesiedelt sind und ausgehend von volkswirtschaftlichen Aggregaten wie Sozialprodukt, Konsum, Staatsausgaben etc. ein theoretisch konsistentes Bild gesamtwirtschaftlicher Zusammenhänge anbieten. Einzelne Sektoren und Technologien beschreiben sie nur in rudimentärer und indirekter Form durch neoklassische Produktionsfunktionen, die Substitutionsmöglichkeiten und Substitutionselastizitäten abbilden. Bottom-up-Modelle sind dagegen durch partialanalytische Ansätze gekennzeichnet, die einen jeweils relevanten Ausschnitt der Volkswirtschaft mit einem hohen Detaillierungsgrad wiedergeben und darauf aufbauend eine explizite Aggregation anstreben. Damit können z.B. viele Energietechnologien modelliert werden und entsprechend Substitutionsmöglichkeiten zwischen Energieträgern, Effizienzverbesserungen im Produktionsprozess oder Energieeinsparungen dargestellt werden. Bottom-up-Modelle können auch neue Technologien leichter abbilden und – zumindest näherungsweise – die Diffusion dieser Technologien auf der Basis bestimmter Kosten- und Performance-Charakteristika auf-

⁵¹ In diesem Sinne ist etwa Wagner (2003, S. 37) zu verstehen, der das zentrale Dilemma der Makroökonomik darin sieht, dass sie Aggregationsprobleme durch Homogenitätsannahmen umgeht, viele der unterstellten Makrofunktionen aber erst bei Annahme von Heterogenität auf der Mikroebene Sinn machen.

⁵² Hier wird oft eine Unterscheidung in Energiesystemmodelle und Energiewirtschaftsmodelle getroffen. Erstere konzentrieren sich oft auf technikorientierte Fragestellungen wie z.B. die zukünftige Struktur der Energieversorgung, die technische Realisierbarkeit von Klimaschutzstrategien und deren Kosten. Letztere haben schwerpunktmäßig die sektoralen und gesamtwirtschaftlichen Effekte von Umwelt- und Klimaschutzstrategien im Blick und modellieren den volkswirtschaftlichen Kreislauf und die Wirkungszusammenhänge zwischen größeren Aggregaten.

zeigen.⁵³ Der technische Wandel lässt sich dann an Veränderungen im Produkt- und Prozess-Mix ablesen. In top-down-Modellen wird technischer Wandel dagegen kaum unterhalb der Sektorebene einbezogen, so dass auch Defizite hinsichtlich der Erfassung potenzieller, noch nicht implementierter Techniken bestehen (Frohn et al., 1998, S. 86). Vielmehr wird der technische Wandel i.d.R. lediglich über Vergangenheitstrends, autonome Effizienzfaktoren oder Preisabhängigkeiten in den sektoralen Produktionsfunktionen mehr oder weniger ad-hoc integriert (Nathani, 2003, S. 3). Der komparative Vorteil der top-down-Modelle liegt allerdings darin, dass sie Interaktionen mit anderen (Nicht-Energie-)Märkten und gesamtwirtschaftliche Rückwirkungen (feedbacks) endogen behandeln, so dass sie die hiervon ausgehende Dynamik auf den Sektor- bzw. Energiemarkt und seine Technologien (vor allem über veränderte relative Preise) berücksichtigen können. Im Gegensatz zu bottom-up-Modellen sind sie weniger auf exogene Vorgaben insbesondere bzgl. der Höhe und Struktur der Güternachfrage oder des Außenhandels angewiesen.

Mittlerweile gibt es auch einige Ansätze, bottom-up und top-down-Modelle in sog. hybriden Modellen zu verbinden, um die jeweiligen Stärken der beiden Modelltypen zu nutzen. Somit kann einerseits eine detaillierte, technikbasierte Analyse angestellt werden, andererseits können aber auch die gesamtwirtschaftlichen Zusammenhänge (vollständiger) abgebildet werden. Die Verbindung kann dabei (idealtypisch gesehen) entweder als sog. soft-link oder als sog. hard-link vollzogen werden (Böhringer und Wiegand, 2003, S. 18; Wing, 2004). Im ersten Fall werden zwei oder mehr Modelle miteinander gekoppelt, die unabhängig voneinander entwickelt werden und auch eigenständig genutzt werden können. Damit kann auf bereits etablierte Modelle zurückgegriffen werden, wobei Detailinformationen an „dezentraler“ Stelle, also in den einzelnen (oft interdisziplinären) Modellen verwaltet werden und selektiv über den Modellnutzer als exogener Input in andere Modelle (typischerweise iterativ) eingehen. Bei einem hard-link-Ansatz wird dagegen großer Wert auf interne (theoretische) Konsistenz gelegt, so dass ein einziger integrierter und formalisierter Modellrahmen gebildet wird. Insofern werden Informationen aus anderen Modellen so kondensiert, synthetisiert und kodiert, dass sie mit der Struktur eines Kernmodells kompatibel sind und die Rechenabläufe des gekoppelten Modells simultan erfolgen. Das Soft-Linking wird besonders dann als zweckmäßig angesehen, wenn an verschiedenen Stellen Daten angepasst werden müssen und Plausibilitätsüberlegungen zu Zwischenergebnissen notwendig sind, bevor die

⁵³ Zu einem Überblick über den Stand der Dinge bei der klimapolitischen Modellierung mithilfe von bottom-up Modellen sowie die noch vorherrschenden Defizite (z.B. bei der Abbildung von Lern- und Verhaltenseffekten) vgl. Sijm (2004).

Ergebnisse der verschiedenen Modelle weiter verarbeitet werden (Nathani, 2003, S. 47; Ekvall, 2002, S. 405). Die Befürworter sehen in diesem Vorgehen auch Vorteile bzgl. Transparenz, Überschaubarkeit und methodischen Lernens (Vögele, 2001). Ein (einmal implementiertes) Hardlinking hat demgegenüber Vorteile bzgl. Schnelligkeit und Rechenkapazität, da die Rechenabläufe mehr oder weniger automatisch ablaufen. Diese grobe Unterscheidung lässt sich anhand weiterer Modellklassen weiter verfeinern (vgl. Kapitel D).

Unterschieden werden kann des weiteren im Hinblick auf den Umfang der modellierten Umweltschutzmaßnahmen (vgl. Blazejczak et al., 1993). Für die vorliegende Fragestellung liegt es nahe, die Folgewirkungen von ausgewählten Umweltschutztechniken möglichst detailliert und umfassend abzubilden, dabei aber Synergieeffekte und Interdependenzen mit anderen Umweltschutzmaßnahmen eher zu vernachlässigen. Denkbar ist es aber ebenso einen breit angelegten Katalog an Umweltschutzmaßnahmen zu betrachten, bei dem die technologiespezifische Dimension nur ein Aspekt unter mehreren ist und entsprechend auch nicht so detailliert abgebildet werden kann. Dieser Maßnahmenkatalog kann in Form von Szenarien gebündelt werden, mit denen bestimmte Entwicklungsrichtungen vorgedacht werden, die Konsequenzen unterschiedlicher Rahmenbedingungen durchgespielt werden und somit der Politik Informationen und Anregungen vermittelt werden. Der Vorteil dieses Vorgehen liegt darin, dass in sich konsistente und vollständige Sätze an Annahmen über Rahmenbedingungen vorgegeben werden. Diese Konsistenz resultiert dabei aus Leitgedanken, die an die Untersuchung herangetragen werden (z.B. zu angenommenen ökologischen Werthaltungen einer Gesellschaft in der Zukunft).

Neben diesen, für unsere Zwecke wichtigen Basisunterscheidungen besteht eine Vielzahl weiterer Klassifikationsmöglichkeiten. So besteht u.a. die Möglichkeit zu unterscheiden zwischen

- Simulations- und Optimierungsmodellen: Bei ersteren wird nicht unbedingt ein Optimierungskalkül zugrundegelegt, so dass komplexe Sachverhalte und z.B. unorthodoxe (nicht neoklassische) Verhaltensannahmen modelliert werden können.
- Wirkungs- und Prognosemodelle: Bei Wirkungsmodellen steht die Erklärung einer ökonomischen Situation im Vordergrund. Die Wirkung (der sog. Dann-Teil) ist bekannt, während deren Ursache (der Wenn-Teil) ermittelt werden soll. Bei Prognosemodelle geht es um die Vorhersage einer zukünftigen ökonomischen Situation, indem vergangene Ereignisse analysiert und daraus Rückschlüsse gezogen werden. Üblicherweise sind dann Ursachen und Determinanten bekannt oder müssen grob

zugerechnet werden, während deren Wirkung modelliert wird (Werker und Brenner, 2004, S. 3).

Die Typisierung von Modellen verdeutlicht, dass es kein ideales Modell geben kann, sondern Modelle immer im Hinblick auf die jeweilige Fragestellung als mehr oder weniger geeignet anzusehen sind. Die Fragestellung kann dabei unterschiedliche Betrachtungsebenen tangieren. Sie kann sich auch dahingehend unterscheiden, ob es eher um ein „*modelling for insights, not for numbers*“ geht oder – was hier natürlich nahe liegt – großer Wert auf „realistische“ Darstellung der Zusammenhänge gelegt wird. Werden die an das Modell gerichteten Fragen relativ offen formuliert, ist allerdings auch zu bedenken, dass die Modellwahl die Fragestellung in eine bestimmte Richtung lenken oder auf bestimmte (ggf. unerwünschte) Art und Weise einengen kann.⁵⁴ Im Rahmen der Diskussion konkreter Modelle im folgenden Abschnitt gilt es daher zu fragen, inwiefern eine bestimmte Engführung schon modellimmanent angelegt ist.⁵⁵ So differieren neoklassische und evolutorische Modelle etwa recht deutlich im Hinblick auf die zugrundeliegenden Verhaltenshypothesen (Optimierungsverhalten vs. regelgesteuertes Verhalten).

Von diesen grundsätzlichen Unterschieden abgesehen werden bei Verwendung bestimmter Modelle natürlich auch eine Reihe weiterer *trade-offs* deutlich. Sie haben nicht nur mit Fragen der Datenverfügbarkeit und Datenverarbeitungsfähigkeit zu tun, sondern betreffen auch die Festlegung der Modellgrenzen, die Art der Modellierung und die Spezifikation der Modellparameter. Diese Unterschiede gilt es daher auch (sofern relevant) zu verdeutlichen.

Angesichts von *trade-offs* kann es auch sinnvoll sein, mehrere Modelle gleichzeitig einzusetzen, um die Wirkung einer Politikmaßnahme zu analysieren.⁵⁶ Durch den Einsatz verschiedener Modelle oder Modellvarianten ist es möglich, Kontrollrechnungen durchzuführen, mit denen kritische Annahmen und Modellspezifizierungen hinterfragt werden können. Schließlich könnten die Ergebnisse stark von den Eigenarten der Modelle oder Modellklasse beeinflusst sein. Bei unterschiedlichen Simulationsergebnissen könn-

⁵⁴ Dieser Aspekt erscheint von Bedeutung, da die Frage nach den ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie sich in einen Katalog von genauer spezifizierten Unterfragen aufteilen lässt (vgl. die Vorgaben des Angebots dieser Studie und die Aufstellung in Kapitel A 1.).

⁵⁵ Diese Aussage ist allerdings nicht vorschnell zu interpretieren, da Modelle immer auch mehr oder weniger gut angepasst werden können. Allgemein ist jedoch zu bedenken, dass die Modellbildung auch von Meinungsverschiedenheiten über die Relevanz theoretischer Wirkungszusammenhänge geprägt wird und gewisse subjektive Einflüsse durch den Modellbauer nicht ausgeschlossen werden können.

⁵⁶ Vielfältige Erfahrungen bestehen hier z.B. bei der Analyse der Wirkungen der ökologischen Steuerreform (vgl. u.a. Bach et al., 2001; Frohn et al., 2003).

ten somit neuralgische Punkte im System identifiziert werden. Insgesamt kann die vergleichende Modellbetrachtung daher den Grad an Zuverlässigkeit der erarbeiteten Ergebnisse erhöhen. Ebenso können allerdings auch Synergieeffekte bei der Modellspezifikation ausgenutzt werden (Frohn et al., 2003, S. 2).

Eine wichtige Restriktion von Modellanalysen besteht (wie bereits angedeutet) darin, dass nur solche Komponenten und Wechselwirkungen berücksichtigt werden können, die hinreichend formalisierbar und quantifizierbar sind. Dadurch bleiben aber eine Reihe von interessanten Wirkungen oder Wirkungsdimensionen unberücksichtigt oder werden unvollkommen abgebildet. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob es für eine empirische Untersuchung Komplemente und Alternativen zu Modellanalysen gibt, die dennoch für den Fragenkatalog dieser Untersuchung von Belang sein können (vgl. Kapitel D 5.).

D. Möglichkeiten des Einsatzes vorhandener sektor- und makroökonomischer Modelle vor dem Hintergrund der vorliegenden Fragestellung

1. Anforderungen an einen empirisch ausgerichteten Forschungsansatz

Auf der Basis der konzeptionellen Überlegungen und des groben, im weiteren noch zu verfeinernden Überblicks über das Methodenspektrum sollen nun konkret empirische Ansätze vorgestellt werden, mit denen sich die ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie untersuchen lassen können. Zu betonen ist dabei nochmals, dass die dieser Machbarkeitsstudie zugrundegelegte Fragestellung sich recht deutlich von inhaltlich verwandten Studien zu den ökonomischen Auswirkungen von BVT unterscheidet (Hitchens et al., 2002). Denn bisherige Studien hierzu sind als mikroökonomisch zu charakterisieren und untersuchen umweltpolitisch bedingte Wettbewerbswirkungen fast ausschließlich auf Prozess- und Betriebsebene. Weiterreichende, vor allem nachfrage- und innovationsinduzierte Wirkungen auf sektoraler und gesamtwirtschaftlicher Ebene sowie Wettbewerbseffekte in international bedeutsamen Teilmärkten (Lead-Märkte) spielen quasi keine Rolle. Ziel dieser Untersuchung ist es jedoch, Methoden und Datenanforderungen zusammenzustellen, um diese bislang weitgehend vernachlässigten Ebenen empirisch zu beleuchten.

Mit Hilfe des Analyserasters in Abschnitt B konnten die vielfältigen Wirkungsmechanismen zwischen umweltpolitischer Regulierung, technischem Wandel und ökonomischer Wettbewerbsfähigkeit geordnet werden. Dieses Raster ist zweifellos hilfreich, weil es die empirische Untersuchung anleitet und dafür bestimmte Kriterien anbietet. Allerdings verbleibt – von einigen allgemeinen Plausibilitätsüberlegungen oder theoretischen „a-priori-Erwägungen“ abgesehen – weitgehende Unsicherheit über die empirische Bedeutung der einzelnen Effekte und deren Zusammenwirken. So wurde z.B. darauf hingewiesen, dass einige Effekte von der Höhe diverser Elastizitäten abhängen. Deutlich wurde allerdings, dass sich die Wirkungen in Abhängigkeit von der jeweiligen Untersuchungsebene und des zugrundegelegten Untersuchungszeitraums unterscheiden.

Schließlich zeigt auch der kurze Überblick über das Methodenspektrum, dass ganz allgemein kein ideales Modell verfügbar ist, und Modellanalysen gewissen allgemeinen und speziellen Restriktionen und Grenzen unterliegen. Unterteilt man die Modelle nach verschiedenen Modelltypen, kann zudem verdeutlicht werden, dass Modelle (neben anderen Aspekten wie z.B. den Anforderungen an die Daten) oft bestimmten Modell-

philosophien verpflichtet sind und sich für bestimmte Fragestellungen mehr oder weniger eignen. Gerade die Modellierung der Schnittstellen zwischen Mikro- und Makroökonomik ist etwa angesichts der oft postulierten säuberlichen Zweiteilung der beiden Bereiche lange vernachlässigt worden und erst in jüngerer Zeit wieder in den Vordergrund gerückt.

Vor dem Hintergrund der Fragestellungen und den bisherigen Ausführungen bietet es sich daher an, im Hinblick auf denkbare Folgeuntersuchungen zu den ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie zunächst einige zentrale Anforderungen an einen empirisch ausgerichteten Forschungsansatz zu stellen. Mit Hilfe dieser Anforderungen gilt es im folgenden die Aufmerksamkeit auf solche verfügbaren empirischen Methoden zu richten, mit denen realistischerweise die umwelt- und wirtschaftspolitische Diskussion befruchtet werden kann, die also nicht nur von rein akademischem Interesse sind. Da allerdings einzelne Ansätze immer bestimmte Stärken und Schwächen haben und nur einen Teil der für plausibel oder als wichtig erachteten Wirkungszusammenhänge berücksichtigen können, gilt es gleichermaßen dies auch deutlich zu machen, mögliche Erweiterungen und Ergänzungen zu diskutieren und den Rückbezug zu der konzeptionellen Diskussion zu verdeutlichen.

In diesem Sinne schlagen wir folgende Anforderungen vor:⁵⁷

- Es sollte möglich sein, Heterogenität auf der Mikroebene abzubilden, was in unserem Fall vor allem bedeutet, dass eine konkrete, genau abgegrenzte BVT oder Technik in der Entwicklung modelliert werden kann.⁵⁸ Damit bietet sich ein Ansatz an, der technikspezifisch ist und den Begriff „Innovation“ bzw. „technischer Wandel“ in diesem (engen) Sinne operationalisiert. Zudem müssen zur Bestimmung der von BVT ausgehenden Impulse technische Aspekte in ökonomische Kategorien übersetzt werden können.
- Der Ansatz sollte die Auswirkungen von BVT und Techniken in der Entwicklung auf die sektorale Struktur der Volkswirtschaft in möglichst tief disaggregierter Form abbilden können. Darüber hinaus sollte der Ansatz einen möglichst hohen Endogenisierungs- und Vernetzungsgrad aufweisen, insbesondere also auch Kreislaufzusammenhänge und internationale Verflechtungszusammenhänge berücksichtigen.

⁵⁷ Vgl. zu einem vergleichbaren Vorgehen auch Edler (1990, S. 24ff.).

⁵⁸ Prinzipiell ist es auch denkbar, ein Bündel genau definierter Techniken zu untersuchen, sofern diese hinreichend ähnlich sind (z.B. im selben Sektor angewendet werden) und/oder Synergieeffekte von Bedeutung sind.

- Der Ansatz sollte die zeitliche Struktur berücksichtigen, in der die realwirtschaftlichen Effekte der Einführung von BVT und Techniken in der Entwicklung wirksam werden.
- Da die Wirkungen der Einführung von BVT und Techniken in der Entwicklung auf unterschiedlichen Aggregationsebenen anfallen, zugleich aber sowohl technik- und unternehmensspezifische Detailinformationen als auch (gemäß Fragestellung) sektorale und gesamtwirtschaftliche Implikationen von Belang sind, sollte der Ansatz einen hinreichend konsistenten und einen hinreichend flexiblen Rahmen bieten. Er sollte also für einen überzeugenden Mikro-Makro-Brückenschlag geeignet sein.

Im folgenden soll zunächst mit der Input-Output-Analyse und seinen Weiterentwicklungen ein Modellansatz beschrieben werden, der diesen Anforderungen recht nahe kommt. Gegenüber „reinen“ Input-Output (IO) Modellen sind hierbei vor allem mit technischen Submodellen gekoppelte „hybride Modelle“ eine interessante Weiterentwicklung. Der nachfrageorientierte Charakter von IO-Modellen und der begrenzte Endogenisierungs- und Schließungsgrad erweist sich allerdings als nachteilig. Daher werden daraufhin Erweiterungen des ökonomischen Modellrahmens diskutiert, insbesondere die Möglichkeiten sog. „vollintegrierter“ Modelle. Als eine alternative Methode werden schließlich noch Mikrosimulationsmodelle und deren Erweiterungen zu Mikro-Makro-Simulationsmodellen vorgestellt. Diese Modelle werden insbesondere von der evolutorischen Ökonomik geschätzt und können ein relativ hohes Maß an Heterogenität und Verhaltensvielfalt auf der Mikroebene abbilden. Abschließend wird noch ergänzend auf (weitere) mikroökonomische Ansätze zurückgegriffen. Zum einen werden mit diesen Methoden Innovationswirkungen und Wirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit untersucht, die ja auch von Interesse sind (Kapitel A 1.); zum anderen lässt sich damit zeigen, welche Schwächen die zuvor diskutierten Methoden mit sich bringen und welche komplementäre Rolle mikroökonomisch orientierte Ansätze spielen könnten.⁵⁹

⁵⁹ Wie an der Gliederung ersichtlich, werden im folgenden Aspekte diskutiert, die auf die Modellstruktur und –charakteristika eingehen. In Kapitel E werden dann vor diesem Hintergrund Datenaspekte diskutiert.

2. Überwindung der Mikro-Makro-Brücke über Input-Output-Rechnung und –analyse

Mit Hilfe der Input-Output Analyse werden schwerpunktmäßig sektorale Verflechtungen zwischen den Sektoren einer Volkswirtschaft untersucht. Die volkswirtschaftliche Produktion wird dabei in die Produktion der einzelnen Konsumgüter, Zwischenprodukte und Investitionsgüter aufgespalten. Die Produktion eines Gutes konstituiert jeweils einen Sektor und jedes Gut wird mit Arbeit und Kapitalgütern (Zwischenprodukten und Investitionsgütern) hergestellt. Folglich ist der sektorale Kapitalgüteroutput auch Input in anderen Sektoren, so dass vielfältige Lieferverflechtungen zwischen den Sektoren und produktionsseitige Interdependenzen bestehen, die explizit dargestellt werden. Somit macht die IO-Analyse Ernst mit der Feststellung, dass in modernen Volkswirtschaften vielfältige Abhängigkeiten und Zusammenhänge bestehen. Ziel ist es letztendlich, die von den Veränderungen bestimmter ökonomischer Variablen ausgehenden Gesamtwirkungen zu quantifizieren, möglichst unter Beachtung nicht nur direkter, sondern auch zahlreicher indirekter Effekte. Zu betonen ist dabei zusätzlich, dass die IO-Rechnung und –analyse sich durch ein großes Maß an Flexibilität auszeichnet und somit für viele verschiedene Fragestellungen und Anwendungen herangezogen werden kann.⁶⁰

Die IO-Analyse baut auf IO-Tabellen auf, die die Güterströme und Lieferbeziehungen (üblicherweise) eines Jahres innerhalb einer Volkswirtschaft sowie zwischen ihr und dem Ausland quantitativ und in monetären Größen erfassen. Im Rahmen der IO-Analyse treten Annahmen und Hypothesen hinzu, so dass sie Erklärungen und (zumeist bedingte) Prognosen liefern kann, während die IO-Tabellen allein lediglich deskriptiv ausgewertet werden können. Im folgenden sollen die vielfältigen Modelle der IO-Analyse nach den für diese Untersuchung wichtigsten Kriterien (s.o.) charakterisiert und eingeordnet werden. Dabei sollen Eigenschaften diskutiert werden, die für einen empirisch implementierbaren Modellansatz zu berücksichtigen sind. Vor diesem Hintergrund werden in Abschnitt E dann noch einmal die empirisch-statistischen Probleme (insbesondere bzgl. der Tabellenerstellung bzw. –modifikation und damit verbundenen Fehlern und Verzerrungen) explizit aufgegriffen.⁶¹

⁶⁰ Zu einem umfassenden Überblick über die Input-Output-Rechnung und Analyse vgl. Holub und Schnabl (1994).

⁶¹ Angesichts der engen Verknüpfung zwischen theoretisch-analytischen Vorstellungen und der empirisch-statistischen Darstellung sind die Trennlinien dabei als fließend anzusehen.

2.1 Einordnung von IO-Modellen

Holub und Schnabl (1994, S. 80) strukturieren die Vielfalt der IO-Modelle zunächst nach folgenden drei Begriffspaaren:

- Offene und geschlossene Modelle
- Mengenmodelle und Preismodelle
- Statische und dynamische Modelle.

Der Unterschied zwischen offenen und geschlossenen Modellen liegt im Umfang der exogenen und endogenen Bereiche im Modell. Offene Modelle sind dadurch gekennzeichnet, dass sie mindestens einen „exogenen Sektor“ haben, dessen Variablen als unabhängig von den übrigen Sektoren der Volkswirtschaft angesehen werden. Die Endnachfrage (oder Teile davon) sind also exogen vorgegeben. In geschlossenen Modellen kommt es dagegen zu einer größeren Schließung oder Endogenisierung von Wirkungszusammenhängen, was (bei statischer Betrachtung) insbesondere die Behandlung des Haushaltssektors als „normalen“ Produktionssektor impliziert.⁶² Die Unterscheidung zwischen Mengen- und Preismodellen stellt dagegen darauf ab, ob Mengen oder Preise bei der Analyse der Auswirkungen von Kosten- oder Nachfrageänderungen analytisch konstant gehalten werden. So werden in Mengenmodellen Bewegungen und Veränderungen physischer Gütermengen durch Nachfrageänderungen betrachtet, wobei als Einheit jene Menge gewählt wird, die für genau eine Währungseinheit bei den jeweiligen Preisen gekauft werden kann, so dass „Mengen“ als monetäre Größen behandelt werden. Mengenmodelle eignen sich daher besonders gut für Untersuchungen, bei denen nicht mit wesentlichen Preisänderungen zu rechnen ist bzw. bei denen die Entwicklung der Preise im Hintergrund steht (z.B. für eine kleinräumliche Analyse). Beim Preismodell werden demgegenüber – bei konstant gesetzten Mengen – die Auswirkungen hypothetischer, vor allem kosteninduzierter Preisveränderungen von Vorleistungsströmen und/oder Primärfaktoren auf alle anderen Preise analysiert. Die Unterscheidung zwischen statischen und dynamischen Modellen betrifft demgegenüber die Frage, ob sich die Größen des Modells auf dieselbe oder unterschiedliche Zeitperioden beziehen. Dabei spielen in dynamischen Modellen zeitliche Prozesse und Stromgrößen-Bestandsgrößenbeziehungen, in statischen Modellen dagegen nur Stromgrößen einer Analyseperiode eine Rolle.

⁶² Die Endogenisierung der Investitionsnachfrage impliziert demgegenüber notwendigerweise bereits eine dynamische Betrachtungsweise, weil die strukturellen Beziehungen zwischen Inputs und Outputs in unterschiedlichen Perioden anfallen (vgl. daher die Ausführungen weiter unten).

Das einfachste, ursprünglich von Leontief entwickelte Modell ist das statische, offene Mengenmodell. In einer einfachen Bilanzgleichung wird hier die Abhängigkeit des sektoralen Güteroutputs von einer exogen vorgegebenen Endnachfrage beschrieben. Dargestellt werden sowohl die Güterlieferungen zwischen den verschiedenen Sektoren (intermediäre Outputs) als auch die direkten Güterlieferungen eines Sektors i an die Endnachfrage. Von zentralem Interesse sind die sog. Inputkoeffizienten, die oft als Approximation für „Technologien“ dienen und die „Produktionsprozesse“ widerspiegeln sollen, mit denen die einzelnen Sektoren operieren.⁶³ Ein Inputkoeffizient eines Sektors j gibt dabei den Bedarf an Vorleistungen aus dem Sektor i zur Produktion einer Mengeneinheit des eigenen Outputs wieder und lässt sich mathematisch als Quotient der Güterlieferung von Sektor i an Sektor j und der Güterlieferung von Sektor j an die Endnachfrage definieren. Aus einer $m \times n$ -Matrix der Inputkoeffizienten A , dem Endnachfragevektor y und dem Outputvektor x lässt sich dann die Grundgleichung des statischen Mengenmodells $x = (I - A)^{-1} y$ (mit I als sog. Einheitsmatrix) schreiben. Der Zusammenhang zwischen Endnachfrage und Güteroutput wird dann durch folgende Annahmen mitbestimmt:

- Die Endnachfragegrößen (wie Konsum, Bruttoinvestitionen, Exporte) werden als exogen vorgegeben und verändern sich während der modellmäßigen Abläufe nicht. Rückkopplungen aus dem restlichen System (z.B. höherer Konsum durch höheres Einkommen) werden nicht modellendogen abgebildet.
- Es liegt ein proportionales Verhältnis zwischen den Faktoreinsatzverhältnissen und in Relation zum Output eines Sektors vor. Die Faktoreinsatzverhältnisse sind unabhängig von der produzierten Menge. Unterstellt werden damit linear-limitationale Produktionsfunktionen, die Substitutionen zwischen Inputs ausschließen. Es liegen konstante Skalenerträge vor.
- Es wird unterstellt, dass jeder Produktionsbereich ein homogenes Durchschnittsgut mit einer homogenen Durchschnittstechnologie herstellt. Zwar kann ein Sektor verschiedene Güter produzieren und verschiedene Technologien zu deren Herstellung verwenden; es wird aber unterstellt, dass das Aggregationsproblem lösbar ist, also einzelwirtschaftliche Verhaltensweisen in einer Art sektoralen Reaktionsfunktion und sektoralen Strömen mit Durchschnittscharakter (d.h. nicht in detaillierten einzelwirtschaftlichen Angebots- und Nachfragefunktionen für Güter und Produktionsfaktoren) abgebildet werden können. Damit wird von einer Konstanz des Produkt- und des Prozess-Mix ausgegangen.

⁶³ Dieses Proxy gilt es im folgenden wiederholt zu problematisieren, insbesondere auch unter empirisch-statistischen Gesichtspunkten (vgl. Kapitel E).

Der Vorzug dieser Modellklasse liegt darin, dass sie einfach, überschaubar und ökonomisch interpretierbar bleibt. Es werden in recht umfassender Weise sektorale Verflechtungszusammenhänge abgebildet, dafür aber bewusst einfache sektorale Reaktionsfunktionen in Kauf genommen (Holub und Schnabl, 1994, S. 609). Zudem werden die Inputkoeffizienten und damit die Lieferverflechtungen über die Zeit konstant gehalten. Soll jedoch der Diffusionsverlauf spezifischer Umwelttechnologien und deren realwirtschaftliche Auswirkungen untersucht werden, wie das hier nahe liegt, erscheint diese Modellklasse zu wenig realitätsnah und zweckmäßig. Bevor noch näher auf den spezifischen Anpassungsbedarf eingegangen wird, ist daher zunächst allgemein darauf hinzuweisen, welche wesentlichen Vorzüge dynamische Modelle mit sich bringen können (vgl. Edler, 1990, S. 39ff.):

- Der Zeitbedarf von Anpassungsreaktionen auf Veränderungen jeglicher Art kann in – möglichst sektoral spezifizierten – lag-Funktionen zum Ausdruck gebracht werden.
- Zeitliche Verzögerungen und die Erwartungsbildung können im Prinzip in Konsum- und Investitionsfunktionen berücksichtigt werden.
- Insbesondere die Investitionsgüternachfrage kann aus der exogen gegebenen Endnachfrage ausgegliedert werden, so dass die Investitionsgüterlieferungen nicht mehr unrealistischerweise direkt an die Endnachfrage fließen, sondern von den entsprechenden investierenden Sektoren absorbiert werden, also in den Kapitalstock dieser Sektoren eingehen. Aus den autonomen Investitionen des statischen Modells werden damit Investitionen, die durch die belieferten Sektoren induziert werden (Akzelerationsprinzip). Die Veränderung des sektoralen Kapitalstocks (der Kapazitätseffekt) wird dabei gleichzeitig über Kapitalkoeffizienten an die Entwicklung der Bruttowertschöpfung gekoppelt. Ebenso werden Strom- und Bestandsgrößen formal verknüpft.
- Wenn die Produktionskapazitäten ausgelastet sind, dann erfordert eine Produktionserhöhung in einem Sektor Zeit, da die Unternehmen zuerst ihre Kapazitäten erhöhen müssen. Ein dynamisches Modell kann idealerweise die Konstruktionsphase und Ausreifungszeit der Investitionen berücksichtigen und die Zeitverzögerungen modellieren.

Auch wenn diese Merkmale von dynamischen Modellen schon aus konzeptionellen und interpretatorischen Gründen nur bedingt und nicht immer gleichzeitig Berücksichtigung finden können (vgl. D 2.5), weist die Modellierung der Zeit dennoch gerade für die vorliegende Fragestellung Vorteile auf. So ist in den statischen Modellen lediglich eine komparativ-statische Betrachtungsweise möglich, bei der die Auswirkungen von Veränderungen exogener Größen beschrieben werden (Knottenbauer, 2000, S. 167ff.). Während die Analyse von zwei modellierten Gleichgewichtszuständen im Vordergrund

steht, spielt jedoch der Entwicklungs- und Anpassungsprozess, also der jeweilige Zeitbedarf und die zeitliche Entwicklung der Variablen in historischer Zeit von ihren Anfangs- zu ihren Endwerten keine Rolle.

Eng mit den allgemeinen Defiziten der statischen gegenüber den dynamischen Modellen verbunden ist auch die Frage, ob zweckmäßigerweise von konstanten Inputkoeffizienten für die ganze Dauer der Analyse ausgegangen werden soll. So haben empirische Analysen bereits die zeitliche Konstanz der Inputkoeffizienten infrage gestellt (Richter, 1991). Gerade bei prospektiv ausgerichteten Untersuchungen ist hier zu bedenken, dass die Konstanz- und Proportionalitätsannahme die Prognosequalität deutlich beeinflussen kann (insbesondere bei längeren Projektionszeiträumen). Zudem wird damit die hier zentrale Frage nach dem technischen und intrasektoralen Wandel durch Einführung neuer Technologien ausgeschaltet und der Diffusionsprozess nicht mehr dynamisch modelliert. Die Substitutionsbeziehungen in der Zeit zwischen laufenden Inputs und Kapitalgütern sollten jedoch möglichst durch eine Endogenisierung der Investitionsnachfrage dargestellt werden (Idenburg und Wilting, 2005, S. 159). Somit gilt es zu fragen, wie die Vielzahl der Faktoren, die für die Variabilität der Inputkoeffizienten verantwortlich sein kann, im Modell berücksichtigt werden kann.

2.2 Zur Abbildung technischen Wandels über variable Inputkoeffizienten

Die Darstellung der Wirkungszusammenhänge zwischen umweltpolitischer Regulierung, Innovationen und Indikatoren ökonomischer Wettbewerbsfähigkeit auf der Mesoebene in Abschnitt B hat bereits verdeutlicht, dass technischer und struktureller Wandel auf dieser Betrachtungsebene nicht monokausal, also nur als Ergebnis der IVU-Richtlinie, erklärt werden kann. Die Ausgangsbedingungen und Spezifika eines Sektors im besonderen und die sonstigen Rahmenbedingungen im allgemeinen sind vielmehr miteinzubeziehen. In diesem Sinne führt z.B. auch Nathani (2003, S. 31) eine Vielzahl von Determinanten auf, die für die Veränderung von Inputkoeffizienten verantwortlich sein können und oft nur unterhalb der Sektorebene zu beobachten sind. Als unmittelbare Ursachen sind Veränderungen der Anteile der einzelnen, in einem Produkt-Mix enthaltenen Güter (inkl. neuer Güter) sowie Veränderungen der Anteile einzelner Prozesse an

der Herstellung des Sektoroutputs (Prozess-Mix) anzusehen.⁶⁴ Als mittelbare Ursachen kommen jedoch Einflussfaktoren hinzu, die auf die unmittelbaren Ursachen einwirken. Hierzu zählen etwa Veränderungen der relativen Preise (z.B. zwischen Vorleistungsgütern), „der“ technische Fortschritt (z.B. in Gestalt neuer oder verbesserter Güter), die Möglichkeit, Größendegressionseffekte zu realisieren und nicht zuletzt Veränderungen in den politischen und weltwirtschaftlichen Rahmenbedingungen sowie Angebotsrestriktionen bei Inputfaktoren (z.B. angesichts rigider Arbeitsmärkte).

Offensichtlich können diese vielfältigen Determinanten in einer empirischen Untersuchung nur näherungsweise bzw. nur bei entsprechend hohem Aufwand abgebildet werden. Im Rahmen der IO-Modellierung bestehen in diesem Zusammenhang diverse Möglichkeiten, über eine ex-post-Analyse die bei einer Veränderung von Inputkoeffizienten wirkenden Determinanten zu approximieren.⁶⁵ Unterscheiden lässt sich zwischen eher formalen und eher pragmatischen Ansätzen: Erstere zielen darauf ab, die Einflussfaktoren im Modell zu endogenisieren, letztere dagegen nehmen einen gezielten Modelleingriff auf der Basis bestimmter Annahmen und Erwartungen vor, der dann im IO-Modell (als konsistentem Rahmen für Simulationsrechnungen) verarbeitet wird (vgl. Richter, 1991; Nathani, 2003, S. 34ff.). Zu den formalen Ansätzen zählen:

- Schätzungen auf der Basis von Vergangenheitstrends: Anhand möglichst langer und konsistenter Zeitreihen und ökonometrischer Schätzfunktionen bzw. statistischer Methoden werden häufig beobachtbare Trends aus der Vergangenheit extrapoliert.⁶⁶ Neben Datenproblemen bieten diese Ansätze jedoch keine inhaltlich Erklärung der erfolgten und prognostizierten Änderungen. Es findet also keine Differenzierung nach Einflussfaktoren statt und die Zeit fungiert als „Stellvertretervariable“, so dass implizit unterstellt wird, dass die für die Vergangenheit beobachteten Trends gleichermaßen auch für die Zukunft gelten (was insbesondere bei grundlegenden Neuerungen und radikaleren Innovationen problematisch ist).

⁶⁴ Es wird dabei im Modellrahmen unterstellt, dass einzelne Produktionsverfahren eines Sektors jeweils limitational sind, in einem Sektor jedoch mehrere derartige limitationale Produktionsverfahren eingesetzt werden. Ein Technikwechsel liegt also dann vor, wenn entweder die gesamte sektorale Produktion auf ein anderes Verfahren umgestellt wird, oder die Verfahren anteilsmäßig neu kombiniert werden (Knottenbauer, 2000, S. 164).

⁶⁵ In Kapitel D 5. wird deutlich, dass diese Approximationen aus mikroökonomischer Sicht tendenziell unbefriedigend sind.

⁶⁶ Z.T. wird auch lediglich von bestimmten festen Raten ausgegangen, mit denen es im Zeitablauf zu (autonem) technischem Fortschritt kommt (vgl. auch Vögele, 2001, S. 23).

- Schätzungen auf der Basis preisabhängiger Inputkoeffizienten: Es werden preisinduzierte Substitutionen zwischen Inputfaktoren ökonometrisch geschätzt. Somit wird den relativen Preisen gegenüber anderen Determinanten ein hoher Erklärungswert beigemessen. Mit substitutionalen Produktionsfunktionen können damit zwar die Auswirkungen von Preisveränderungen auf die Nachfrage nach Vorleistungen erfasst werden, es bleibt jedoch offen, ob es sich dabei um eine Veränderung des Einsatzes von Inputs innerhalb eines Prozesses oder um einen Wechsel zu einem anderen Prozess bzw. Prozess-Mix handelt. Um diese Veränderungen besser zu erklären, müssten vielmehr auch andere Einflussfaktoren berücksichtigt werden (z.B. die Höhe der Nachfrage, rechtliche Restriktionen, sektorspezifische Besonderheiten) (Vögele, 2001, S. 25).
- Kombinationen von Trendfunktionen und Preisabhängigkeiten: Die beiden Ansätze werden kombiniert, was zu einer gewissen Endogenisierung des technischen und intrasektoralen Wandels beiträgt (Kapitel D 3.)
- Jahrgangskonzepte (auch Vintage-Analyse): Bei Trendfortschreibungen (s.o.) wird implizit faktorungebundener technischer Fortschritt unterstellt, so dass dieser nicht an bestimmte Investitionstätigkeiten gekoppelt ist und die Abhängigkeit der technischen Entwicklung vom Altersaufbau, der Langlebigkeit und der Struktur des Kapitalstocks vernachlässigt wird. Jahrgangskonzepte modellieren demgegenüber die Entwicklung des Kapitalstocks und berücksichtigen, dass ein Großteil des technischen Fortschritts von der Art, der Anzahl und der Nutzungshäufigkeit der neu hinzukommenden Techniken abhängt und somit faktorgebunden ist (Vögele, 2001, S. 19). Über ein *“vintage accounting“* können sowohl prozessspezifische Einflussfaktoren, z.B. die unterschiedlichen Kostenstrukturen der einzelnen heterogenen Prozesse, als auch der Einfluss der Entwicklung der Absatzmenge sowie der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung auf die technische Entwicklung berücksichtigt werden. Neue Prozesse bzw. Prozessbündel unterscheiden sich gegenüber älteren dann oft durch die Art und die Form der unterstellten Produktionsfunktion, wobei deren Produktivität üblicherweise (über die Nutzung neueren technischen Wissens) auch höher ist.⁶⁷

⁶⁷ Damit legt die unterschiedliche Modellierung des dem technischen Fortschritts zugrunde liegenden Kapitalstocks die Substitutionsmöglichkeiten zwischen den Inputfaktoren fest (Grundmann, 1999, S. 66). Kann das Verhältnis der Produktionsfaktoren jederzeit (d.h. vor und nach dem Konstruktionszeitpunkt) auf die kostengünstigste Weise gewählt werden, so dass altes und neues Kapital voll flexibel ist, spricht man von einem putty-putty-Ansatz. Im Falle eines clay-clay-Ansatzes ist demgegenüber weder ex-ante noch ex-post eine Faktorsubstitution möglich. Dazwischen liegt der sog. putty-semi putty und der putty-clay Ansatz. Das vintage-bezogene Potenzial zur Inputsubstitution hängt dabei offensichtlich vom zugrunde liegenden Aggregationsgrad der Betrachtung ab (Ruth, Davidsdottir und Amato, 2004).

Zu den pragmatischen Ansätzen zählen Richter (1991) und Nathani (2003, S. 35) dagegen:

- Ansätze, die vorwiegend auf der Nutzung von Expertenwissen aufbauen (vgl. auch Vögele, 2001, S. 18ff. mit einem Überblick): Es wird davon ausgegangen, dass Experten ein besonderes Wissen über bestimmte Sachverhalte (z.B. bzgl. technischer Entwicklungspotenziale) verfügen und idealerweise auch die Bedeutung verschiedener Einflussfaktoren abschätzen bzw. antizipieren können. Dieses Wissen wäre insbesondere dann verfügbar, wenn bereits Demonstrations- bzw. Pilotanlagen oder detaillierte wissenschaftliche Studien zu neuen Techniken existieren und als Basis für Projektionen genutzt werden können. Die Voraussetzungen für die Prognose von Kosten, Inputstrukturen und Diffusionsverläufen müssten dann entsprechend überprüft werden (insbesondere bzgl. der Datenlage, des Wissensumfangs der Experten und damit verbundenen Unsicherheiten).
- der sog. *Best-Practice*-Ansatz (vgl. z.B. Idenburg und Wilting, 2004): Es wird angenommen, dass die Inputstruktur eines Sektors einen Durchschnitt der Inputstruktur fortschrittlicher und weniger fortschrittlicher Betriebe darstellt. Indem die Inputkoeffizienten der fortschrittlichen Betriebe über sog. *engineering*-Daten identifiziert werden (ggf. u.a. auch wieder mit Hilfe von Expertenwissen), könnten dann unter der Annahme, dass kapitalgebundener technischer Fortschritt vorliegt, also die heute verfügbaren (oder zumindest bekannten) *best-practice* Technologien die Zukunftstechnologien von morgen werden, Gewichtsverschiebungen zugunsten dieser Betriebe abgebildet werden.

Dabei lassen sich formale und pragmatische Ansätze auch kombinieren. Zu finden sind z.B. Kombinationen aus ökonometrischen Schätzungen und *engineering*-Daten (Ruth, Davidsdottir und Amato, 2004, S. 128ff.). Auch *vintage*-Ansätzen werden i.d.R. mit Expertenbefragungen verknüpft, um den Datenbedarf gering zu halten (Vögele, 2001, S. 20).

Nathani (2003, S. 36) weist darauf hin, dass sich pragmatische Ansätze vor allem dann als zweckmäßig erweisen, wenn Vergangenheitstrends und Preisabhängigkeiten als Einflussfaktoren auf die Veränderung von Inputkoeffizienten nicht mehr ausreichend sind. Dies ist insbesondere dann zu erwarten, wenn sich Strukturbrüche gegenüber der Vergangenheit abzeichnen und sich die Rahmenbedingungen (z.B. durch die Umweltpolitik) deutlich verändern. Außerdem ist zu bedenken, dass gerade die Diffusion von Umweltinnovationen auf eine Vielzahl von Einflussfaktoren und Kontextbedingungen zurückzuführen ist und nicht allein in veränderten Preisrelationen abgebildet werden kann

(sog. Multi-Impuls-Hypothese, vgl. Klemmer, 1999). Die größere Flexibilität und die größeren Freiheitsgrade für die Modellierung bei pragmatischen Ansätzen ermöglichen es schließlich auch sektorspezifische Besonderheiten und fallspezifische Zusammenhänge (vor allem bzgl. der Modellierung der Techniken) besser zu berücksichtigen.

In der Literatur lassen sich bereits eine Reihe derartiger pragmatischer Ansätze finden. Sie können im Hinblick auf die Art der Abbildung des technischen und intrasektoralen Fortschritts, die verwendeten Modelltypen und das methodisch-technische Vorgehen weiter differenziert werden. Dabei werden implizit auch Unterschiede in der Zielsetzung deutlich:

- Orientierung an Fallbeispielen vs. detaillierte Modellierung von Prozess- oder Wertschöpfungsketten (inhaltliche Ebene): Einige Untersuchungen greifen neue, aber hinreichend repräsentative und breit eingesetzte Techniken isoliert heraus (z.B. Edler, 1990 am Beispiel der Diffusion von Industrierobotern). Synergie- und Rückkopplungseffekte zwischen der neuen Technik und anderen Techniken sowie dem Technikumfeld werden hierbei höchstens relativ grob oder außerhalb des Modells betrachtet. Auf der anderen Seite des Spektrums liegen Studien, die zur Abbildung des intrasektoralen technischen Fortschritts eigene Submodelle konzipieren, wobei diese wiederum in unterschiedlicher Form mit dem eigentlichen IO-Modell verbunden sind. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt demnach auf einer detaillierten Darstellung technischer und produktionsstruktureller Gegebenheiten, der Veränderungen im Produkt- und Prozessmix und der Vernetzungen innerhalb eines vertieft betrachteten Teilsystems einer Volkswirtschaft. Ausgangspunkt ist damit die Feststellung, dass tatsächliche Produktionsprozesse jenseits ihrer gütermäßigen Dimension über die herkömmliche IO-Rechnung und –Analyse gar nicht erfasst werden können (Richter, 1995, S. 185). Anstelle einzelner Techniken werden dann also verschiedene – ggf. auch für umweltpolitische Strategien relevante – „Stellen“ einer ganzen Prozess- bzw. Wertschöpfungskette beleuchtet (Nathani, 2003 am Beispiel von Materialeffizienzstrategien in der Wertschöpfungskette Papier). Von der Zielsetzung geht es damit zwar in beiden Fällen um meso- und makroökonomischen Implikationen, bei Edler ist der Ausgangspunkt aber eine bedeutende Querschnittstechnologie, während bei Nathani die Darstellung der vielfältigen Rückkopplungen entlang einer Wertschöpfungskette im Vordergrund steht. Einen möglichen Mittelweg wählen Idenburg und Wilting (2000), die in einer Technologiesdatenbank mehrere bestehende und künftig (verstärkt) verfügbare Technologien für ausgewählte Sektoren ablegen und damit nicht nur die Wirkungen einzelner Techniken, sondern auch einige Wechselwirkungen darstellen können. Idenburg und Wilting (2005, S. 163) betonen, dass es

einfacher ist, die technischen Koeffizienten eines Mix an Technologien zu bestimmen (ex-post und ex-ante) als einer (neuen) „reinen“ Technologie.

- Kopplungsintensität (eher methodische Ebene): Bei den Untersuchungen, die kein eigenständiges Submodell heranziehen, kann danach unterschieden werden, ob lediglich einzelne Modellparameter punktuell verändert werden oder ob an das IO-Modell ein größerer, (u.a. zur Darstellung von Kuppelproduktion) in sich weiter ausdifferenzierter Sektor angehängt wird (im Hinblick auf letzteres z.B. Leontief (1982, zitiert nach Nathani, 2003) bzgl. der Projektion des Bedarfs an mineralischen Rohstoffen). Bei den Arbeiten, die sich auch auf Submodelle stützen, kann schließlich noch hinsichtlich der Richtung der einbezogenen Wechselwirkungen unterschieden werden. Einige Modelle sehen keine Rückkopplung vom Submodell zum IO-Modell vor (*sequentially linked models*). So wird z.B. bei Ayres (1995; zitiert nach Nathani, 2003) im IO-Modell nur ein Gesamtbedarf an Produktion vorgegeben, um im Prozesskettenmodell (Submodell) zu berechnen, mit welchen Ressourcen- und Materialflüssen sowie Umweltverbrauch die Bereitstellung dieses Güterbündels verbunden ist. Die Rückwirkungen der Veränderungen im Prozesskettenmodell auf die Struktur des IO-Modells bleibt dagegen unberücksichtigt. In anderen Studien werden die Ergebnisse des Submodells verwendet, um (teilweise) entsprechende Variablen und Parameter im IO-Modell anzupassen (*mutually linked models*). Die Rechenabläufe in beiden Modellen sind dann häufig iterativ angelegt und werden bis zu einem festgelegten Abbruchkriterium verfolgt.

Die Unterscheidung zwischen einzelnen Parameteränderungen und der Abbildung der betrachteten Prozesse in einem eigenen Sektor kann schließlich auch auf der Ebene des Submodells getroffen werden (Nathani, 2003, S. 49). Im letzteren Fall wäre dies allerdings mit einem überproportional hohen Anpassungsaufwand verbunden, um die konsistente Verknüpfung der im Submodell abgedeckten und nicht abgedeckten Aktivitäten in der Modellkopplung zu bewerkstelligen. Einfacher ist es demgegenüber nur eine „gedankliche“ Trennung der im Submodell abgebildeten und nicht abgebildeten Aktivitäten und Transaktionen vorzunehmen. In diesem Fall werden die erklärten und nicht erklärten Aktivitäten im Rahmen der Projektion dann unterschiedlich gehandhabt (vgl. Kapitel D 2.3).

- Entscheidungstheoretische Fundierung: Die Modelle können desweiteren danach unterschieden werden, ob sie als reines Simulationsmodell oder als Optimierungsmodell ausgelegt sind. Im letzten Fall liegt der Technikwahl ein (idealerweise verhaltenstheoretisch fundiertes) Entscheidungskalkül zugrunde. Idenburg und Wilting (2000) legen den Entscheidungen der Sektoren über die Investition in neue Technologien z.B. ein explizites Kostenminimierungskalkül zugrunde. Da sich hierbei aber

möglicherweise bestimmte (auch in Kapitel B 1. thematisierte) Verhaltensanomalien (z.B. asymmetrische Informationsstrukturen im Unternehmen) nicht abbilden lassen, könnten Simulationen Vorzüge bei der Abbildung „weicher Faktoren“ haben (dies legt Nathani, 2003, S. 39 nahe).

2.3 Zur Kompatibilität von ökonomischen IO-Modellen mit technischen Submodellen: Wege zu einer Modellkopplung

Für die Analyse der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie erweist es sich sicherlich als sinnvoll, die im Sinne der klassischen IO-Untergliederung vernachlässigten intrasektoralen Produktionsbedingungen und –prozesse (Produkt- und Prozess-Mix) Ernst zu nehmen. Ebenso ist zu vermuten, dass die zu untersuchenden BVT zwar verschiedene indirekte und nachgelagerte Effekte anstoßen können (vgl. Kapitel B 2.), der Anwendungsbereich bezogen auf die Gesamtwirtschaft jedoch begrenzt bleibt. Von genuinen Querschnittstechnologien (wie im Fall der Industrieroboter) dürfte daher nicht auszugehen sein.⁶⁸ Vor diesem Hintergrund bietet sich daher die Kopplung eines Submodells mit einem IO-Modell im Rahmen eines *soft-linking* an, wie sie insbesondere von Nathani (2003) allgemein und exemplarisch für die Wertschöpfungskette Papier demonstriert wurde.

Allgemein weist ein Submodell einen höheren Detaillierungsgrad auf (insbesondere bzgl. der Darstellung von Ko-Input- und Ko-Produkt-Relationen) und kann Aggregationsfehler einer zu groben traditionellen Input-Output-Analyse vermeiden. So ist etwa schon der ökonomische Vorleistungsbegriff im Vergleich zum technischen Technologiebegriff viel weiter und oftmals nicht hinreichend zur Beschreibung von Produktionsverfahren und deren spezifischen technischen Bedingungen. Dies führt nicht nur zur Begriffsverwirrung, sondern auch leicht zu Inkongruenz (dazu insbesondere Richter, 1995, S. 180ff.). Außerdem können Nicht-Linearitäten (z.B. durch Recycling Aktivitäten) in derartigen Submodellen teilweise besser berücksichtigt werden (vgl. weiter unten). Eine alleinige Konzentration auf Prozessmodelle wäre im Hinblick auf die vorliegende Fragestellung jedoch nachteilig. So werden in derartigen Modellen ökonomische Mechanismen und insbesondere die Triebkräfte ökonomischer Entscheidungen und ökonomischen Verhaltens gar nicht abgebildet, da zwar (wie im IO-Modell) ein System von Aktivitäten abgebildet wird, dieses sich jedoch nicht auf Güterströme, sondern auf

⁶⁸ Als Querschnittstechniken bezeichnet Grundmann (1999, S. 93) mit Blick auf den Energiebereich Anlagen und Komponenten zur Energieumwandlung, die in unterschiedlichen Endverbrauchssektoren auf gleiche Weise genutzt werden. Sie entstammen i.d.R. der Serienfertigung und haben eine Vielzahl von technischen Merkmalen und Optimierungskriterien gemeinsam.

physische Ströme bezieht (vgl. auch Bouman et al., 1999). Außerdem können Wechselwirkungen eines eng definierten Sektors oder Teilausschnitts einer Volkswirtschaft (wie z.B. einer Prozesskette oder Technik) mit anderen Sektoren sowie Rückkopplungseffekte (insbesondere über den Einkommenskreislauf) nicht erfasst werden. Für derartige umfassendere Fragestellungen sind Prozessmodelle aber auch gar nicht konzipiert worden.

Im Hinblick auf eine Modellkopplung ist andererseits (neben den Anforderungen an die Datenbasis, vgl. auch Abschnitt E) zu fordern, dass technische Prozessmodelle überschaubar und nachvollziehbar bleiben, so dass deren Ergebnisse auch in meso- und makroökonomischen Modellen verarbeitet werden können. Folglich gilt es zu fragen, wie im Hinblick auf die Modellkopplung ein hohes Maß an Kompatibilität erreicht werden kann.⁶⁹

Der unterschiedliche Charakter und die unterschiedliche „Philosophie“ des IO- und des technischen Modells erfordern es zunächst, die Grundstruktur der Modelle einander anzugleichen. Damit sind eine Reihe an Zwischenschritten bzw. „Bereinigungsverfahren“ notwendig (vgl. im folgenden Nathani, 2003, S. 50ff.):⁷⁰

- Die Aktivitätsdefinition muss einander angeglichen werden. Schließlich werden in IO-Modellen nach rein statistischen Kriterien verschiedene Basisaktivitäten mit spezifischen Inputs und Outputs zugehörigen Sektoren zugeordnet. Für die Zuordnung sind dabei nicht technisch identifizierbare Prozesse von primärem Interesse, sondern die Festlegungen der Produktionsstatistik, die sich vor allem an den auf dem Markt

⁶⁹ Im Hinblick auf das linking kann allgemein zwischen unterschiedlichen Graden an Kompatibilität zwischen den Modellen unterschieden werden (vgl. auch de Haes, 2004): Geringe Kompatibilität (bzw. ein sog. tool-box-Ansatz) liegt vor, wenn einzelne Modellbausteine mehr oder weniger nebeneinander existieren und bzgl. Modellphilosophie und –struktur kaum vereinbar sind. Demgegenüber ist der „Werkzeugkasten“ durch ein hohes Maß an Flexibilität gekennzeichnet und kann eine Vielzahl sehr heterogener Informationen verarbeiten. Mittlere Kompatibilität (der eigentliche Hybridansatz) liegt dagegen vor, wenn die Modelle interagieren und an bestimmten Verbindungen und Schnittstellen kompatibel sind. Die Informationsverarbeitungsfähigkeit und Flexibilität ist – besonders gegenüber einem bloß erweiterten Ursprungsmodell – immer noch relativ hoch. Dieser letztere Fall trifft hier zu. Wohl eher dem too-box-Ansatz zuzurechnen sind Lebenszyklusanalysen und Materialfluss- bzw. Substanzflussanalysen (LCA, MFA), die ökonomische Variablen aufnehmen bzw. ökonomische Mechanismen darstellen können.

⁷⁰ Eine etwas anders geartete Kopplung eines technischen Prozesskettenmodells mit einem ökonomischen Modell haben Poganietz (2001) für die Aluminiumindustrie und Poganietz, Kuckshinrichs und Zapp (2003) für die Kupferindustrie vorgenommen. Es wird ein partielles Gleichgewichtsmodell verwendet, das 14 bzw. 15 Weltregionen unterscheidet, aber keine Interdependenzen zu anderen Materialien oder Märkten berücksichtigt. Ausgangspunkt ist jedoch die Prozesskette eines bestimmten Sektors. Ökonomische Elemente werden dann gewissermaßen um die Prozesskette herum angesiedelt und direkt verknüpft (insbesondere was die Allokation von Outputs zu Techniken über Markträumungsmechanismen anbelangt). Diese Modelle werden in Kapitel E.4 nochmals aufgegriffen.

gehandelt Gütern orientiert. In einem technischen Modell werden demgegenüber physische Inputs und Outputs nach technisch abgrenzbaren Prozessschritten und in Abhängigkeit von dem zu analysierenden Produktionssystem abgegrenzt und abgebildet. Folglich gilt es ein oder mehrere Prozesse einem Sektor zuzuordnen (z.B. die verschiedenen Prozesse zur Herstellung chemischer Grundstoffe zur chemischen Industrie) oder einen Prozess mehreren Sektoren zuzuordnen (z.B. die Verarbeitung von Verpackungspapier zu den Sektoren Papierverarbeitung und Nahrungsmittelherstellung).

- Eine Überleitung von einer institutionellen zu einer funktionalen Sichtweise ist erforderlich. Es ist also möglichst zu fragen, welche Tätigkeiten im einzelnen erfasst werden und welchem Zweck diese dienen. Damit kann das erwähnte Zuordnungsproblem entschärft werden (Prozess-Sektor). In diesem Zusammenhang ist außerdem möglichst zwischen Haupt- und Nebenaktivitäten zu unterscheiden, da Prozesse als Hauptaktivität zum Produktionswert eines Sektors beitragen, Nebentätigkeiten aber nur dann „relevant“ sind, wenn das Produkt der Nebentätigkeit statistisch gemeldet wird.
- Insbesondere Entsorgungsprozesse müssen nach verschiedenen Fallkonstellationen zugeordnet werden (in Abhängigkeit davon, wer den Reststoff abgibt (Produktionsbereich oder Haushalt) und ob damit Kosten oder Erlöse verbunden sind). Dieses Problem tritt auf, weil in IO-Modellen Transaktionen im Entsorgungsbereich nur teilweise erfasst werden, während in technischen Modellen üblicherweise Kreisläufe abgebildet werden können (Produktions-, Nutzungs-, Entsorgungsphase).

Eng damit verbunden ist schließlich das Problem, dass unterschiedliche Einheiten verwendet werden, monetäre Einheiten im IO-Modell und physische Einheiten im technischen Modell. Dies impliziert folgendes:

- Grundsätzlich müssen physische Stoff- und Energieströme mit Preisen bewertet werden, was den Aufbau einer Preismatrix erfordert.
- Im einzelnen sind damit weitere Abgrenzungen und Zuordnungen verbunden. So müssen die Reststofftransaktionen unterschiedlich verbucht werden. Ebenso müssen Prozesse mit monetär nicht bewertbaren Erzeugnissen auf andere monetär bewertbare Prozesse aufgeteilt werden („Eliminierung“). Schließlich müssen die im technischen Modell unberücksichtigten Inputs (z.B. modellfremde Dienstleistungen) und der Kapitalbedarf (idealerweise nach prozessspezifischer Zusammensetzung) ermittelt und integriert werden.

Diese Verfahren der Bereinigung und Angleichung unterschiedlicher Konzepte und Einheiten machen damit besonders deutlich, dass es einen *trade-off* zwischen Merkmalsfülle und analytischen Zielsetzungen (insbesondere nach Homogenität) gibt (Richter, 1995, S. 183; Fritsch, 1992, S. 429f.). So nimmt bei größeren Einheiten die Merkmalsfülle zu, dies führt jedoch quasi zwangsläufig dazu, dass die Distanz zu den eigentlichen Produktionsprozessen und zum Ideal der „Homogenität“ nach technologischen Kriterien zunimmt. Somit kommt es dann – je nachdem wie detailliert im Einzelfall vorgegangen wird – zu Verzerrungen durch Aggregation über verschiedene Einheiten und unähnliche Verfahren.

Auf der Basis dieser mehr oder weniger befriedigenden Datentransformation und -imputation können dann die Modellschnittstellen festgelegt werden, über die die Modelle interagieren. Die Richtung der Abhängigkeiten wird dabei durch eine sog. Input- und eine Outputschnittstelle und darin enthaltene abhängige und unabhängige Variablen gekennzeichnet. Über einen Abgleich der Modelle für ein Basisjahr wird dann überprüft, zu welchen Anteilen die Größen des IO-Modells durch Größen des technischen Modells abgedeckt bzw. erklärt werden und zu welchen Anteilen sie von diesem Modell unbeeinflusst bleiben.⁷¹ Für die Ermittlung der Anteile müssen Umrechnungen mit verschiedenen Matrizen vorgenommen werden (vgl. ebda., S. 74ff.).

Die eigentliche Modellierung mit dem gekoppelten Modell umfasst dann mehrere Schritte:

1. einen Basislauf mit dem ungekoppelten IO-Modell: Dies dient zum einen der Ermittlung der modellexogenen Nachfrage für das technische Modell für jedes Projektionsjahr. Zum anderen bieten die Ergebnisse die Basis für den späteren Vergleich mit dem gekoppelten Modell.
2. die Ermittlung der modellexogenen Nachfrage für das technische Modell: Die in 1) ermittelten Ergebnisse werden als Vorgaben für das technische Modelle in geeigneter Weise disaggregiert und in physische Mengeneinheiten überführt. Dabei kann über den Soft-link in das Modell eingegriffen werden (z.B. um zu erwartende Änderungen im Produkt-Mix auf der Basis von spezifischen Marktprognosen aufzugreifen).
3. die Durchführung von Simulationsrechnungen mit dem technischen Modell: Es wird simuliert, wie die modellexogene Nachfrage gedeckt wird. Zu diesem Zweck können verschiedene Szenarien betrachtet werden, die mögliche zukünftige Entwicklungspfade des betrachteten Subsystems bis zu einem bestimmten Projektionsjahr abbilden. Es können z.B. Annahmen über die Veränderung bestehender oder die Diffusion neuer Technologien sowie Veränderungen in den Prozessverflechtungen (zwischen

⁷¹ Hier greift die oben erwähnte „gedankliche“ Herauslösung.

Primär- und Sekundärrohstoffen) eingehen, die wiederum u.a. von Politikvariablen abhängen.

4. die Übersetzung der Simulationsergebnisse ins IO-Modell: Damit ist es möglich die zuvor für das Projektionsjahr berechnete IO-Tabelle so anzupassen, dass technischer und struktureller Wandel innerhalb des im technischen Modell abgebildeten Teilsystems aufgenommen werden kann. Die Ergebnisse aus dem technischen Modell sind dafür zu monetarisieren und in die Gliederungssystematik des IO-Modells zu überführen (über die oben beschriebenen Verfahren).
5. weitere Anpassungen im IO-Modell: Weitere Anpassungen sind erforderlich, um solche Auswirkungen von politisch induzierten Maßnahmen abzubilden, die im technischen Modell nicht oder schwieriger dargestellt werden können. So ergeben sich in ausgewählten Sektoren des IO-Modells Veränderungen bei Variablen und Parametern (bzgl. Lieferungen an die Endnachfrage, Inputkoeffizienten, Kapitalkoeffizienten), die möglichst konsistent aufzunehmen sind (vgl. auch Kapitel D 2.4).
6. die Modellrechnung mit dem angepassten Modell: Ein Modelllauf mit angepassten Matrizen und Vektoren ermöglicht es, einen (kontrafaktischen) Vergleich mit dem ungekoppelten Basislauf vorzunehmen (d.h. auch einen Vergleich mit einer Situation ohne die modellierten Politikvariablen). Damit lassen sich die sektoralen Struktureffekte identifizieren, die durch politikinduzierte Veränderungen im Subsystem angestoßen werden. Da sich allerdings die angepassten Projektionsergebnisse wiederum auf die im Stoffstrommodell anzusetzende modellexogene Nachfrage auswirken, liegt ein neuer Modelllauf nahe. Er kann iterativ bis zu einem festgelegten Abbruchkriterium fortgeführt werden.

2.4 Erweiterung von IO-Modellen durch nachgelagerte Simulationsrechnungen

Mit den bisher dargestellten (pragmatischen) IO-Modellen sowie dem gekoppelten Modell von Nathani (2003) werden relativ gut die primären Effekte der Einführung einer neuen Technik sowie die davon ausgehenden direkten und indirekten Sektorstruktureffekte (bzgl. Produktion, Investitionen und ggf. Beschäftigung) abgebildet. Nicht modellendogen erfasst werden jedoch jene Wirkungszusammenhänge und i.d.R. kompensierende Effekte, die als Preis- und Wettbewerbseffekte, gesamtwirtschaftliche Kreislaufeffekte (Einkommens- und Umverteilungseffekte) und Außenhandelseffekte klassifiziert werden könnten (Edler, 1990, S. 183; Nathani, 2003, S. 89). Dies würde letztlich eine vollständige Modellschließung implizieren, was jedoch im IO-Rahmen nicht möglich ist (vgl. Kapitel D 2.5 und 3.).

Für unsere Zwecke sind diese Effekte jedoch zweifellos von großem Interesse, wird doch vielfach geltend gemacht, dass die politikinduzierte Einführung von BVT und Neuen Techniken Kostensteigerungen mit sich bringen, die über höhere Preise und/oder veränderte Wettbewerbsrelationen (auch zum Ausland) letztlich gegenläufige realwirtschaftliche Auswirkungen mit sich bringen können. Folglich wären eigentlich auch Kostenstrukturen zu endogenisieren und Folgewirkungen im gesamtwirtschaftlichen bzw. internationalen Zusammenhang von zentraler Bedeutung. Sofern keine empirisch abgesicherten und differenzierten Elastizitäten (Preis- und Einkommenselastizitäten) für alle (!) IO-Sektoren vorliegen, können diese Effekte im IO-Rahmen allerdings nur durch ergänzende und sehr grobe Simulationsrechnungen „abgegriffen“ werden. Die Größenordnung und die Richtung dieser zusätzlichen Wirkungen wird damit also grob erfasst. Zu diesem Zweck müssen dann vereinfachende Annahmen getroffen werden, wie Preissteigerungen über die Liefer- bzw. Investitionsverflechtung weitergereicht werden und wie letztlich die Güternachfrage in den verschiedenen Szenarien darauf reagiert (Überwälzungshypothesen).⁷² Es kann z.B. eine vollständige Überwälzung simuliert werden, was bei funktionierendem Wettbewerb relativ plausibel ist (vgl. zu verschiedenen Varianten Nathani, 2003, S. 172ff; Edler, 1990, S. 183ff.).

2.5 Stärken und Schwächen der bisherigen IO-Modelle und Zwischenfazit

In den bisherigen Ausführungen ist deutlich geworden, dass IO-Modelle einen wesentlichen Baustein bilden, um meso- und makroökonomische Auswirkungen der IVU-Richtlinie erfassen zu können. Die IO-Analyse baut auf einem statistisch fundierten Rahmen auf, in dem die vielfältigen Vernetzungen zwischen den Sektoren einer Volkswirtschaft dargestellt werden können.⁷³ Diese Vernetzungen können in IO-Modellen prinzipiell so abgebildet werden, dass die Wirkungen exogener Impulse (insbesondere politischer Maßnahmen) auf einfache und transparente Art und Weise verdeutlicht sowie ökonomisch interpretiert werden können. Nicht nur die direkten, sondern auch die indirekten Effekte auf vor- und nachgelagerte Produktionsstufen sowie die Produktionsstruktur können dabei abgebildet werden.

⁷² Wenn nicht Preissteigerungen sondern –senkungen resultieren, was zumindest theoretisch möglich wäre (vgl. Kapitel B 2.), könnte man auch von zusätzlichen Pioniergewinnen der betroffenen Unternehmen ausgehen und dann deren unterschiedlichen nachfragewirksamen Verwendungsmöglichkeiten über Kapitaleigner und Beschäftigte simulieren.

⁷³ Wie der statistische Rahmen ausgefüllt wird und welche Besonderheiten dabei zu beachten sind, wird in Kapitel E noch dargestellt.

Auf einer anderen Ebene ist zudem positiv zu vermerken, dass sich die IO-Modellklasse durch eine große Flexibilität auszeichnet und die vielfältigen Ausprägungen von IO-Modellen eng an verschiedene Analyse- und Untersuchungszwecke angepasst werden können (vgl. auch Holub und Schnabl, 1994, S. 609f.). So ist der IO-Rahmen z.B. sowohl für Berechnungen mit physischen als auch mit monetären Variablen geeignet.

Im Rahmen dieser Untersuchung galt es ausgehend von dem einfachen statischen Mengenmodell Modifikationen zu diskutieren, da dieses, in der Praxis häufig angewendete Grundmodell, für unsere Zwecke zu wenig aussagekräftig schien. Während spezifische Anpassungen des Grundmodell im Sinne einer stärkeren Dynamisierung und Endogenisierung von Variablen sowie durch Linkage-Ansätze notwendig erscheinen, sind damit allerdings diverse *trade-offs* verbunden, die an dieser Stelle nochmals explizit zu verdeutlichen sind. Sie werfen letztlich die Frage auf, ob durch Umformulierungen, Modifikationen und Erweiterungen nicht der „typische“ Rahmen der IO-Analyse verlassen wird (was nicht unbedingt negativ sein muss, aber deutlich gemacht werden sollte).

Ein dynamischer Modelltyp erscheint zunächst zweckmäßig, um nicht lediglich einen komparativ-statischen Vergleich zwischen zwei (implizit modellierten) Gleichgewichtszuständen vorzunehmen. Vielmehr interessiert vor allem der durch exogene (Politik-)Impulse ausgelöste tatsächliche Entwicklungs- und Anpassungsprozess in der Volkswirtschaft. In diesem Zusammenhang ist es dann auch wenig realistisch von einem undifferenzierten Impuls durch die Endnachfrage auszugehen. Denn hier steht ja gerade die Modellierung des Kapitalstocks und der Investitionen im Vordergrund, so dass diese folglich nicht einfach der Endnachfrage zugeschlagen werden können, sondern als endogene Variable zu behandeln sind.

So wünschenswert es ist, das statische Modell um dynamische Komponenten zu erweitern und die Investitionsgüternachfrage endogen zu bestimmen, müssen bei der empirischen Implementierung dynamischer IO-Modelle dennoch deutliche Einschränkungen in Kauf genommen werden (Edler, 1990, Vögele, 2001, S. 29f.):

- Der formale Rahmen muss in Teilbereichen so angepasst werden, dass ökonomisch sinnvolle Lösungen generiert werden (insbesondere angesichts der Tatsache, dass nicht alle Sektoren Kapitalgüter produzieren).
- Um die zeitliche Entwicklung angemessen darstellen zu können, müssen modellimmanente Stabilitätsprobleme überwunden werden (z.B. zyklische und sich aufschaukelnde Fluktuationen in der Produktion). Dies erfordert unrealistische Annahmen und/oder pragmatische Abgrenzungen. So wird in theoretisch orientierten Modellen

z.B. die Annahme eines gleichgewichtigen proportionalen Wachstums der sektoralen Produktionsmengen bei vorgegebenen Startwerten getroffen. In empirisch orientierten Modellen mit ungleichgewichtigem Wachstum müssen demgegenüber einige ad-hoc Entscheidungen getroffen werden (z.B. bzgl. Auslastungsgrad der Produktion, vgl. Edler, 1990, S. 51ff.; Idenburg und Wilting, 2005, S. 162).

- Die Modellierung der Investitionsnachfrage weist i.d.R. Schwächen auf. So werden z.B. bei Edlers offenem, dynamischen Mengenmodell Ersatz- und Erweiterungsinvestitionen unsymmetrisch behandelt (Edler, 1990, S. 62f.). Denn die Abgänge aus dem Kapitalstock können nicht endogen im Modell bestimmt werden, wenn keine differenzierte sektorale Anlagenvermögensrechnung zur Verfügung steht (empirisch-statistische Ebene) bzw. nicht die unrealistische Annahme getroffen wird, dass Investitionsentscheidungen allein auf der Basis von Mengeninformatoren getroffen werden (konzeptionelle Ebene). Als Ausweg kann daher nur eine Fortschreibung anhand der sektoralen Produktionskapazitäten vorgenommen werden.

Insgesamt ist es daher bislang nur gelungen, IO-Modelle partiell zu dynamisieren (vgl. auch Knottenbauer, 2000, S. 325).

Prinzipielle Schwierigkeiten ergeben sich schließlich dadurch, dass die typischerweise verwendeten IO-Modelle Endnachfragekomponenten und Preise nur teilweise endogenisieren. So wird insbesondere die Interdependenz von Preisen und Mengen auf Faktor- und Gütermärkten und damit ihre simultane Bestimmung im IO-Rahmen nicht verfolgt. Vielmehr lassen die Mengenmodelle nur Mengenreaktionen bei konstant gehaltenen Preisen zu, während die Preismodelle die Bewegung der Preise unabhängig von den Mengen untersuchen. Da es keine ausformulierten (und nur z.T. dynamisierte) Angebots- und Nachfragefunktionen für Güter- und Faktordienste gibt, bauen Produktions-, Güterbezugs- und Preissetzungsentscheidungen relativ mechanisch auf sektoral disaggregierten limitationalen Produktionsfunktionen auf (Holub und Schnabl, 1994, S. 607). Angebotsrestriktionen fehlen und können höchstens – wie kurz in Kapitel B. 2.4 erwähnt – losgelöst vom eigentlichen Modellablauf partiell (Preiseffekte, z.T. Außenhandelseffekte) oder aber gar nicht bzw. nicht integrativ (Fragen der internationalen Wettbewerbsfähigkeit, Kreislaufzusammenhänge) abgeprüft werden. Somit wird in den einfachen nachfrageorientierten IO-Mengenmodellen ein völlig elastische Angebot an Inputfaktoren unterstellt, die in den Produktionsprozess eingehen. Es wird damit auch angenommen, dass eine neue Technologie einer alten einfach überlegen ist. Preisinduzierte Substitutionsprozess und die Rückkopplung von den Primärinputs (Wertschöpfung) zur Endnachfrage über marktliche Mechanismen – wie sie typischerweise in neoklassischen Marktmodellen aufgezeigt werden – bleiben damit unberücksichtigt (West,

1995, S. 215). Diese Restriktion kann zwar z.T. im Rahmen der IO-Modelle überwunden werden, allerdings bestehen bei einer (Teil-)Endogenisierung der Preise sowie einer Dynamisierung und Endogenisierung von Endnachfragekomponenten nicht nur Schwierigkeiten in der empirischen Umsetzung, sondern es droht auch die Gefahr, dass die Modelle in ihrem Verhalten nicht mehr hinreichend robust sind und daher die Klasse der „gutmütigen Modelle“ (Holub und Schnabl, 1994, S. 608) verlassen wird.⁷⁴ Auch grundlegende Vorzüge der IO-Analyse (Einfachheit, Verständlichkeit, umfassende sektorale Vernetzung) könnten damit letztlich verloren gehen. Folglich ist zu fragen, ob eine weitere Modellklasse bzw. die Kopplung mit einer solchen hier Abhilfe verspricht (vgl. Kapitel D 3.).

Ein Vorteil der IO-Modelle ist allerdings darin zu sehen, dass sie ein Bindeglied zwischen der Ökonomie und der Industrieökologie (*industrial ecology*) darstellen können. Wie gezeigt können mit Hilfe von Modellkopplungen die Vorteile von ökonomischen und technischen Modellen miteinander verbunden werden. Erstere haben dabei den Vorzug sektorale Vernetzungen widerzuspiegeln und in diesem Sinne ein umfassenderes und vollständigeres Bild volkswirtschaftlicher Produktions- und Konsumbeziehungen abzugeben; letztere können demgegenüber einen bestimmten Teilbereich oder technischen Prozess mit höherem Detaillierungsgrad abbilden (vgl. auch Kytzia und Nathani, 2004). Für unsere Fragestellung erweist sich dieses relativ detailorientierte Vorgehen zweckmäßig, um technischen und intrasektoralen Wandel im Zuge der Einführung von BVT und Neuen Techniken abbilden zu können und zumindest einige der im Rahmen der IO-Modellierung auftretenden Aggregationsprobleme zu vermeiden. Über eine Modellkopplung lässt sich dann dem traditionellen Vorwurf entgegenzutreten, technischer Fortschritt lasse sich in IO-Modellen wegen der unterstellten Konstanz der Inputkoeffizienten nicht darstellen. Die Modellkopplung erfordert dann jedoch eine Reihe von Modifikationen und Zwischenschritten, um eine höhere Kompatibilität der Teilmodelle zu gewährleisten.

Abgesehen von empirisch-statistischen Problemen lässt sich sicherlich feststellen, dass die Modellierung mikroökonomischer und mesoökonomischer Vielfalt im IO-Kontext auch an die Grenzen der noch analytisch handhabbaren und interpretatorisch überschaubaren Komplexität geht (vgl. auch Knottenbauer, 2000, S. 309). Im Hinblick auf die Modellierung von Prozessinnovationen sind IO-Modelle etwa vor allem daraufhin angelegt, einmalige, in einem bestimmten Sektor wirksame und durch einen exogenen Im-

⁷⁴ Ruth, Davidsdottir und Amato (2004, S. 126) gehen sogar so weit, dynamische IO-Modelle als bloße akademische Übungen ohne Bezug zu Stakeholdern aus Politik und Industrie zu bezeichnen.

puls ausgelöste Innovationen abzubilden. Wenn (im Extremfall) von stetigen Prozessinnovationen und insbesondere parallelen Innovationen in mehreren oder allen Sektoren auszugehen ist, sind der IO-Analyse jedoch eindeutig Grenzen gesetzt.⁷⁵ Die Konzentration auf einen (oder wenige) exogene Impulse und Faktoren, die strukturellen Wandel (über im Modell verankerte Mechanismen) auslösen, macht es zugleich auch nicht möglich Hypothesen über die Ursachen und Determinanten des strukturellen und technischen Wandels detailliert zu überprüfen. Diese Ursachen und Determinanten müssen vielmehr mehr oder weniger grob zugerechnet werden, was jedoch keineswegs als trivial bzw. selbstverständlich angesehen werden kann. Die Analyse der Ursachen und Folgen von Innovationen ist somit typischerweise unvollständig bzw. ungenau (vgl. daher auch Kapitel D 5.).

3. „Große“ makroökonomische Modelle: Möglichkeiten zu einer „vollintegrierten“ Mikro-Makro-Modellierung

Makroökonomische Modelle zeichnen sich im Gegensatz zu der Klasse der „reinen“ IO-Modelle dadurch aus, dass sie einen größeren Endogenisierungs- und Schließungsgrad aufweisen und die Interdependenz volkswirtschaftlicher Größen auf gesamtwirtschaftlicher Ebene besser und konsistenter erfassen können. Da in der empirischen Umsetzung einer Dynamisierung und Endogenisierung von Endnachfragekomponenten innerhalb der IO-Modellklasse relativ enge Grenzen gesetzt sind, ist daher zu diskutieren, inwiefern makroökonomische Modelle die bisherigen Defizit überwinden könnten. Der großen Unterscheidung zwischen makroökonomischen Modellen und angewandten Allgemeinen Gleichgewichtsmodellen (AGE) folgend sollen hier vor allem Erweiterungen im Rahmen des ersten Modelltyps diskutiert werden und nur einige ergänzende Anmerkungen zu AGE-Modellen gemacht werden.⁷⁶ Die Ausführungen bieten damit keinen umfassenden Modellvergleich an (vgl. etwa West, 1995), sondern orientierten sich an der Fragestellung dieser Untersuchung.

⁷⁵ Knottenbauer (2000, S. 329f.) weist hier auf die Vorzüge des komplexen, empirisch aber kaum handhabbaren Pasinetti-Modells hin, dass konzeptionell auf vertikal integrierten Sektoren aufbaut.

⁷⁶ Die Terminologie der einzelnen Modelltypen ist insgesamt nicht immer einheitlich. Vollintegrierte, makroökonomische Modelle werden z.B. mitunter auch als ökonomische IO-Modelle bezeichnet, AGE-Modelle werden demgegenüber konzeptionell oft totalanalytischen mikroökonomischen Modellen zugeordnet. Angesichts des größeren Endogenisierungs- und Schließungsgrades sowie der Bedeutung von Aggregatdaten (mangels begrenzt verfügbarer Mikrodaten) in beiden Modelltypen wird hier vereinfacht von makroökonomischen Modellen gesprochen.

3.1 Makroökonomische Modelle

Vielversprechend sind insbesondere die sog. vollintegrierten makroökonomischen Modelle, da diese den IO-Teil unter Berücksichtigung der wechselseitigen Interdependenzen voll in das Modell einbeziehen.⁷⁷ Zudem stehen einige dieser Modelle der evolutionistischen Theorie nahe, so dass Heterogenität auf der Mesoebene Ernst genommen wird und gesamtwirtschaftliche Variablen durch explizite Aggregation bestimmte werden. Ebenso wird von beschränkter Rationalität der Agenten ausgegangen. Vor diesem konzeptionellen Hintergrund spielt es daher eine große Rolle, reale ökonomische Verhaltensweisen auf empirisch gehaltvolle Weise ökonometrisch zu schätzen und im Modell abzubilden (vgl. Meyer, 2005).

Der wesentliche Vorteil einer Integration von IO-Modell und ökonometrischem Modell besteht nun darin, dass einerseits die detaillierte – bei der Kopplung mit einem technischen Prozessmodell sogar noch detailliertere – sektorale Disaggregation des IO-Rahmens beibehalten wird (bottom-up-Prinzip), dieser aber andererseits durch ein System von ökonometrisch geschätzten Verhaltens- und Reaktionsfunktionen geschlossen wird (West, 1995, S. 212). Mit dieser Schließung wird damit der in den IO-Modellen typischerweise vernachlässigte Rückkopplungsmechanismus zwischen Primärinputs und Endnachfrage und die simultane Bestimmung von Preis- und Mengenänderungen berücksichtigt. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang, dass auch die Abhängigkeit der sektoralen Inputkoeffizienten von den Preisen und somit Substitutionsprozesse abgebildet werden und somit die übliche Proportionalitätsannahme gelockert wird.⁷⁸ Die Bestimmung der Preisabhängigkeit der Koeffizienten orientiert sich dabei wiederum

⁷⁷ Weniger anspruchsvoll sind die sog. „gekoppelten Modelle“, die im wesentlichen aus zwei rekursiv angeordneten Modellteilen bestehen, einem makroökonomischen Modell zur Ermittlung der wichtigsten makroökonomischen Größen und einem IO-Modell zur Erklärung sektoraler Größen. Damit können bereits einige Schwächen der dynamischen IO-Modelle abgemildert werden (z.B. bzgl. der Annahmen bei den sektoralen Wachstumsraten und Startwerten). Nach Meyer (2005) sind diese Modelle jedoch abzulehnen, da ausgehend von dem makroökonomischen Modell Strukturen starr und top-down auf die Mesoebene „heruntergebrochen“ werden und keinerlei Interdependenz zwischen gesamtwirtschaftlicher und struktureller Ebene abgebildet wird. Zu einer alternativen Taxonomie bzgl. der Verbindung zwischen IO-Modellen und ökonometrischen Modellen (nach sog. coupling, embedding und linking) vgl. Rey (1998).

⁷⁸ Auf der nicht im Modell beobachtbaren Mikroebene wird dennoch wie im IO-Modell Limitationalität der Faktoren angenommen. Da sich die auf Branchenebene beobachtbaren Inputkoeffizienten aber auch bei gegebenen Technologien verändern können, wenn die Güterstruktur der betrachteten Branche sich ändert (Änderung des Produkt-Mix), ist es wichtig auch die Preisabhängigkeit der Koeffizienten abzubilden (Meyer, 2005). Eine Verschiebung der relativen Preise und (anderweitig bedingter) technischer Fortschritt können somit auseinandgehalten werden. Die Preisabhängigkeit der Inputkoeffizienten kann daher als Ergebnis eines technischen Fortschritts interpretiert werden, der über Kostensenkungen induziert wird (Lutz et al., 2005, S. 1146).

weniger an Marktgleichgewichtsbedingungen (wie in den AGE-Modellen), sondern an einem branchenspezifisch geschätzten Preissetzungsverhalten der Unternehmen, das wiederum von bestimmten *demand-pull* und *cost-push*-Faktoren abhängt. Da diese ökonomischen Gleichungen dynamisiert sind, kann die Schließung außerdem als ein Anpassungsprozess in der Zeit dargestellt werden, was die Untersuchung kumulativer Effekte miteinschließt. Typischerweise wird ein dynamischer Zeitpfad einer Ökonomie modelliert, die sich über einen längeren Zeitraum in einem Ungleichgewicht befinden kann. Je nach Modellierung könnten hierbei lag-Strukturen, Reaktionsschwellen u.ä. eingebaut werden.

Sektorale Investitionsfunktionen (oder Funktionen anderer Endnachfragekomponenten) in den integrierten Modellen werden somit auf der Basis einer Vielzahl erklärender Variablen geschätzt, wie relativen Preisen, Einkommen, Zinssätzen und Gewinnen, aber eben auch Variablen, die Änderungen in den Populationen messen (wie z.B. in unserem Fall Änderungen in den Produktionsprozessen). Idealerweise würde ein solches Vorgehen damit ein Aggregationsproblem der IO-Modelle abbauen. Statt wie dort das Verhalten von Wirtschaftssubjekten trotz intrasektoraler Inhomogenität zu mesoökonomischen Durchschnittsfunktionen zusammenzufassen, würden einzelwirtschaftliche Reaktionsfunktionen dann explizit zu einer sektoralen Reaktionsfunktion aggregiert. Dabei müssten auch Interaktionen zwischen Wirtschaftseinheiten desselben Sektors und somit nicht-lineare Zusammenhänge miteinbezogen werden.

Bei der Modellierung des technischen und strukturellen Wandels können vollintegrierte Modelle somit prinzipiell die in Kapitel D 2.2 aufgeführten formalen und pragmatischen Ansätzen kombinieren. Allerdings steht die empirische Umsetzung komplexerer funktionaler Zusammenhänge erst am Anfang. So wurden lange z.B. im Rahmen des bereits öfter für umweltpolitische Fragen eingesetzten makroökonomischen Simulations- und Prognosemodells PANTHA RHEI die Auswirkungen des Einsatzes neuer Umwelttechniken nicht direkt modelliert. Vielmehr wurden in einer sog. *reduced-form-type*-Schätzung indirekt preisabhängige Inputkoeffizienten aus einer Zeitreihe abgeleitet, die das Ergebnis von Innovationen wiedergeben sollen. Um den *black-box*-Charakter dieser Schätzungen zu vermeiden und technische Veränderungen direkt auf disaggregierter Ebene abbilden zu können, wurde jüngst in einer Reihe von Anwendungen demgegenüber ein sog. structural-form-type-Ansatz zugrundegelegt. Dabei wird politikinduzierter technischer Fortschritt über best-practice Technologien zugelassen und die Wahl zwischen mehreren limitationalen Prozesstechnologien abgebildet und modellendogen er-

klärt sowie gleichzeitig der Bezug zum ökonometrischen Modell mit seinen IO-Strukturen gewahrt (Lutz et al., 2005; Lutz et al., 2004; Nathani et al., 2004):⁷⁹

Die tatsächlichen technologischen Gegebenheiten werden in den meisten Inputkoeffizienten abgebildet, die für zwei zu vergleichende Produktionslinien eines Sektors von Bedeutung sind. Dabei wurden bislang drei Sektoren untersucht: die Rohstahlproduktion (mit dem Vergleich zwischen Oxgenstahl- und elektrische Stahlproduktion), die Papier- und Pappeindustrie (mit Unterscheidung zwischen Prozesslinien auf der Basis von Primär- vs. Sekundärfasern) und die Zementindustrie. Zu diesem Zweck werden u.a. Investitionen, Produktionsmengen, detaillierte Inputstrukturen und die prozessspezifische Inputnachfrage der beiden best-practice Technologien (Trajektorien) für eine historische Beobachtungsperiode (1980-2000) für die verschiedenen Prozesslinien (Paradigmen) bestimmt. Die paradigma-spezifischen Investitionen, d.h. die Technologiewahl und die Entwicklung des technischen Fortschritts kann dann daraus ökonometrisch innerhalb des Modells geschätzt werden (OLS-Schätzung) als Funktion von Preisen und anderen, für die Wahl einer neuen Technik relevanten Variablen (z.B. den FuE-Ausgaben der Stahlindustrie und den FuE-Ausgaben von Branchen, die ihre Investitionsgüterlieferungen auf die Bedürfnisse des Stahlsektors ausrichten). Damit werden also Unterschiede bzgl. relativer Profitabilität, Kapitalkosten, Produktions-/Kapazitätsverhältnis u.ä. zwischen den beiden Technologien widergegeben. Zusätzlich wurden noch Gewichtungindices verwendet, die im Hinblick auf Unternehmensgröße und Konzentrationsgrad kontrollieren (Lutz et al., 2004). Die ermittelten Korrelationen dienen daraufhin als Basis für ex-ante Politiksimulationen (über die Abbildung einer CO2-Steuer im Modell). Die Ergebnisse zeigen u.a. die Bedeutung der Kapital- und Vintagestruktur des Sektors und – insbesondere bei kapitalintensiven Sektoren – die relativ langsame Veränderung der Input- und Produktionsstruktur im Zeitablauf auf (Bedeutung von versunkenen Kosten und Pfadabhängigkeiten). Der Sektorvergleich macht zudem deutlich, dass es eine Rolle spielt,

- wie viele technologische Paradigmen in einem Sektor wirksam sind (in der Zementindustrie sind nach Lutz et al. (2004) z.B. nur Drehofenanlagen (*rotary kilns*) von wesentlicher Bedeutung, während in den anderen beiden Industrien mehrere Prozesslinien gleichzeitig eingesetzt werden);
- wie vielfältig die Anpassungsmöglichkeiten an veränderte Politikparameter sind (in der Stahlindustrie gibt es z.B. vergleichsweise mehr Möglichkeiten sich an höhere

⁷⁹ Vielfach vergleichbar sind auch Berechnungen mit einem systemdynamischen Modell für die amerikanische Papier-, Stahl- und Ethylenindustrie von Ruth, Davidsdottir und Amato (2004).

Energiepreise anzupassen als in der Papierindustrie, was dann auch stärkere realwirtschaftliche und technologische Effekte hat).

- in welchem Maße die Impulse durch politische Maßnahmen auf „autonome“ (technologische) Veränderungen in den Sektoren treffen (Nathani et al., 2004 im Hinblick auf die unterschiedlichen Einflussfaktoren in der Papierindustrie);
- in welcher marktlichen Beziehung der Sektor zu Zulieferern und Abnehmern steht (die Papierindustrie gilt z.B. weitgehend als „*supplier-dominated*“, Nathani et al., 2004).

3.2 Allgemeine Gleichgewichtsmodelle

Ein alternativer Modelltyp für empirische Strukturanalysen stellen Berechenbare Allgemeine Gleichgewichtsmodelle (AGE) dar.⁸⁰ Sie basieren auf der totalanalytischen mikroökonomischen Gleichgewichtstheorie. Faktor-, Güter- und Arbeitsmärkte werden in einem Modell integriert und auf dieser Grundlage wird die Volkswirtschaft als Ganzes modelliert, mit dem Ziel, die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen wirtschaftspolitischer Maßnahmen zu erfassen und zu quantifizieren. Den Modellen liegt Optimierungsverhalten zugrunde, wobei Unternehmen ihren Gewinn (über Güterangebot und Faktornachfrage) und Haushalte ihren Nutzen (über Güternachfrage und Arbeitsangebot) maximieren. Normalerweise wird auch davon ausgegangen, dass Haushalte und Unternehmen vollständige Informationen über ihre Handlungsalternativen haben und dass alle Wirtschaftssubjekte Preisnehmer bei vollständiger Konkurrenz sind, also Preise nicht direkt beeinflussen können. Die Bestimmung der auf den einzelnen Märkten bestehenden Gleichgewichte zwischen Angebot und Nachfrage erfolgt simultan. Die Preise werden dabei endogen bestimmt und Angebotsrestriktionen werden – anders als in den IO-Modellen – über marktliche Rückkopplungsmechanismen abgebildet. Es wird dabei stets von einer Marktträumung ausgegangen, so dass Ungleichgewichte nur vorübergehend bestehen und konzeptionell zurücktreten.

Um formale und theoretische Konsistenz zu gewährleisten und aufgrund des hohen Datenbedarfs werden in AGE-Modellen zahlreiche vereinfachende Annahmen und Spezifikationen getroffen. Dies gewährleistet zwar Klarheit, Geschlossenheit und Stringenz,

⁸⁰ Die Betrachtung dieses Modelltyps bleibt hier sehr oberflächlich und kursorisch, weil er aus den weiter unten aufgeführten Gründen (noch) nicht oder zumindest nicht allein für die vorliegende Fragestellung geeignet ist (vgl. aber auch Kapitel D 4.3). Für eine allgemein zugängliche Einführung in AGE-Modelle vgl. Böhringer und Wiegard (2003). Für einen Modellvergleich zwischen AGE-Modellen, IO-Modellen und ökonomischen IO-Modellen vgl. West (1995).

bringt jedoch für eine empirisch orientierte Untersuchung, die schwerpunktmäßig heterogene Verhaltensweisen und Strukturen sowie Innovationen und technischen Wandel erfassen will, deutliche Nachteile (vgl. auch West, 1995, S. 214ff, Vögele, 2001, S. 31ff.; Meyer, 2005):

- Die Heterogenität von Technologien und Produkten innerhalb einer Branche wird nicht explizit abgebildet. In Branchenproduktionsfunktionen gehen vielmehr Homogenitätsannahmen auf der Mikroebene ein. Zudem lässt sich kritisieren, dass Änderungen von Inputkoeffizienten auf der Branchenebene nicht notwendigerweise das Ergebnis der Substitution von Vorleistungsinputs ist (bei üblicherweise unterstellten substitutionalen Produktionsfunktionen).⁸¹
- Das Verhalten der einzelnen Gruppen von Wirtschaftssubjekten wird ebenfalls als im Grunde homogen und rational gesteuert dargestellt. Regeln und Routinen (z.B. im Investitionsverhalten) spielen keine Rolle.
- Im Gegensatz zu makroökonomischen Modellen tritt die empirische Fundierung der funktionalen Formen und Modellparameter (sowie deren Validierung) zugunsten interner Konsistenz zurück (durch Übernahme von Elastizitätsschätzungen aus der Literatur, exogene Setzungen und Kalibrierung mit dem Ausgangsgleichgewicht als Benchmark). Die Freiheitsgrade und die Flexibilität bei der Schätzung funktionaler Formen ist außerdem begrenzt, um das Modell überhaupt noch handhabbar zu machen. Spezifische technische Parameter können daher nur sehr indirekt abgebildet werden. Die Daten haben zudem i.d.R. einen relativ hohen Aggregationsgrad und es werden nur relativ wenige Sektoren berücksichtigt.
- Der technische Fortschritt wird traditionell als exogene Variable gehandhabt (d.h. technologische Veränderungen sind nur das Ergebnis nicht weiter erklärter preislicher Substitutionsvorgänge). Endogenisiert wurde er in jüngster Zeit auch nur teilweise, so dass technische Veränderungen explizit von sozio-ökonomischen (Politik-)Variablen abhängen. Induzierter technischer Fortschritt wird bislang vorwiegend in Form von unternehmerischen FuE-Investitionen, FuE-spillover-Effekten und learning-by-doing sowie auf grob vereinfachte und deterministische Art und Weise dargestellt (vgl. Löschel, 2001). Pfadabhängigkeiten und „evolutionäre Elemente“ werden bislang kaum betrachtet (vgl. auch Jaffe, Newell und Stavins, 2002, S. 44f.).

In der techno-ökonomischen Literatur, die sich mit den ökonomischen Auswirkungen spezifischer Innovationen und deren Diffusion beschäftigen, werden AGE-Modelle insgesamt kritisch betrachtet oder sogar als gänzlich ungeeignet angesehen. Auf eher grundsätzlicher Ebene wird die Gleichgewichtsperspektive kritisiert, da sie dynamische

⁸¹ Meyer (2005) sieht hierbei sogar einen logischen Widerspruch.

industrielle Systeme, die sich in ständigem Fluss befinden und unter erheblicher Unsicherheit operieren, nicht adäquat beschreiben können (z.B. Ruth, Davidsdottir und Amato, 2004, S. 127f.). Gleiches gilt für die restriktiven Verhaltens- und Informationsannahmen. Nach Voßkamp (1996, S. 103), Hillebrand et al. (1998, S. 80) oder Vögele (2001, S. 37) scheiden diese top-down orientierten Modelle schließlich bei Fragestellungen, die die Determinanten und heterogenen Wirkungen von Innovationen auf die Markt- und Wirtschaftsstruktur betreffen aus, da sie den technischen Fortschritt nicht sinnvoll abbilden können. Allerdings können mithilfe dieser Modelle strukturelle Zusammenhänge in einem konsistenten (idealtypischen) Rahmen aufgezeigt werden.⁸² Zudem sind die Grenzen zu und Verbindungen mit anderen Modelltypen mittlerweile ziemlich fließend (vgl. auch Kapitel D 4.3).

3.3 Zwischenfazit

Insgesamt weisen insbesondere die makroökonomischen Modelle (PANTHA RHEI) interessante und ermutigende Weiterentwicklungen auf, so dass es nun auch möglich ist, politikinduzierten und prozessspezifischen technischen Fortschritt zu modellieren. Einige Restriktionen der klassischen IO-Analyse können damit in einem anderen Modellrahmen überwunden werden. Dabei kann insbesondere eine überzeugendere Verbindung zu gesamtwirtschaftlichen Größen (Beschäftigung, Bruttoinlandsprodukt, Investitionsentwicklung, Staatshaushalt) geschlagen werden.

Zu betonen ist allerdings, dass die Modellentwicklung bzgl. der besseren Abbildung des technischen Fortschritts noch am Anfang steht (Komplexität und Datenbedarf der Vintage-Analyse) und erst einige Pilotanwendungen vorliegen. Die Analyse der Ursachen und Wirkungen von Innovationen ist insofern noch relativ grob. Bislang ist es wohl höchstens möglich, einige gut identifizierbare und zu verortende BVT und Neue Techniken im Modell abzubilden.

Ein Vorteil der „großen“ Modelle ist auch darin zu sehen, dass internationale Verflechtungsbeziehungen in der Regel gut abgebildet werden können, da nationale Modelle in

⁸² So gibt es (nicht nur) im umweltpolitischen Rahmen vielfältige Anwendungen mit diesem Modelltypus (z.B. zur Analyse der Auswirkung der Ökologischen Steuerreform). Nach Conrad (2003, in S. 147) konnte mit AGE-Modellen auch z.B. die von manchen Ökonomen immer wieder ins Feld gebrachte Unterlegenheit von ordnungsrechtlichen Standards gegenüber marktwirtschaftlichen Instrumenten gezeigt werden. So wäre in einem Zeitraum von zehn Jahren das BSP-Wachstum um 0,06% pro Jahr höher und die Arbeitslosenzahlen um 1,4% niedriger gewesen, wenn anstelle von Geboten und Verboten Emissionssteuern eingesetzt worden wären.

einen internationalen Modellverbund eingebettet sind. Allerdings dürfte es nur schwer möglich sein, unterschiedliche länderspezifische technologische Entwicklungen und insbesondere die damit verbundenen (temporären) Kostenunterschiede bei den Technologieanwendern detailliert im Modell zu verankern (vgl. daher D 5.).

Weniger geeignet sind makroökonomische Modelle freilich, wenn die Wirkungen von sehr spezifischen und kleinteiligen Politikimpulsen zu ermitteln sind. Im Vergleich zu den makroökonomischen Aggregaten sollte der Politikimpuls also im allgemeinen eine „kritische Masse“ überschreiten und hinreichend große Wirkungstiefe überschreiten. Zudem ist die Abschätzung wohl schwierig, wenn die ökonomischen Wirkungen nur marginal sind (Fahrenkrog et al., 2002, S. 95). Ein weiteres Problem ist für diese Untersuchung darin zu sehen, dass es kaum Modelle gibt, die die ökonomischen Wirkungen von nicht-preisbasierten Politikmaßnahmen abbilden können.⁸³ Zumindest liegen hier jedoch weniger Anwendungsfälle vor (Ruth, Davidsdottir und Amato, 2004, S. 157).

4. Überwindung der Mikro-Makro-Brücke über Mikrosimulationsmodelle und Mikro-Makro-Simulationsmodelle

Die bisherige Darstellung möglicher Modellansätze hat verdeutlicht, dass es nicht leicht fällt, einerseits ein hohes Maß an Vielfalt und Komplexität auf der Mikroebene abzubilden und andererseits auch Aussagen auf einer höheren Aggregationsebene zu generieren. Ein zu den „traditionellen“ Ansätzen alternatives Instrumentarium zur Überwindung des Aggregationsproblems bietet die Mikrosimulation. In zunehmendem Maße werden jedoch auch Komplementaritäten zwischen partialanalytischen Mikrosimulationsmodellen und totalanalytischen Makro- bzw. AGE-Modellen diskutiert. Nachfolgend gilt es daher Grundkonzeption und Modellierungsvarianten vorzustellen und schließlich die Anwendbarkeit des Ansatzes für die Fragestellung dieser Untersuchung zu prüfen. Dies geschieht vor dem Hintergrund vergleichbarer Erfahrungen mit diesen Simulationsverfahren und ihren Vor- und Nachteilen.

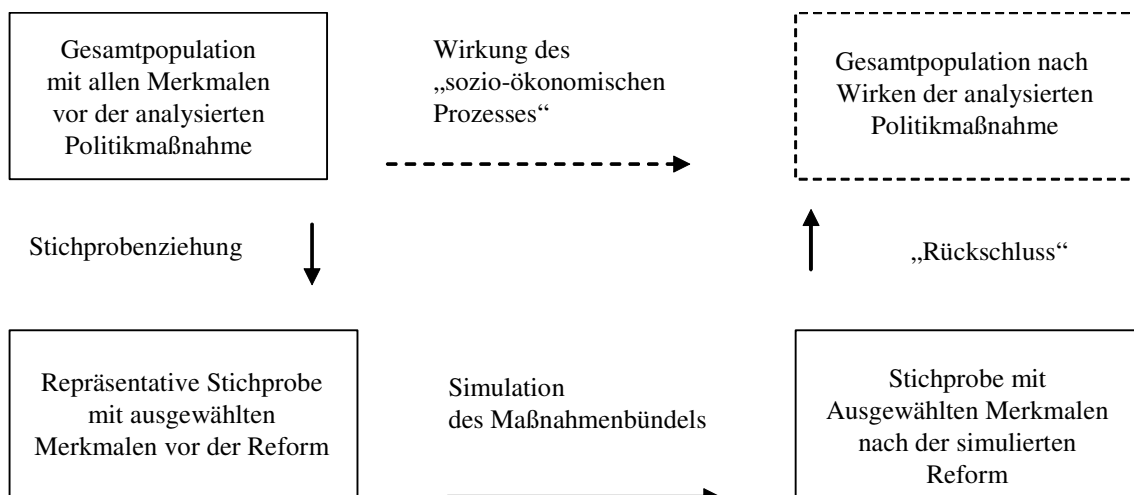
⁸³ So werden in den oben beschriebenen Anwendungen die Auswirkungen einer CO₂-Steuer untersucht, so dass die Übertragbarkeit auf die IVU-Richtlinie nicht ohne Weiteres gegeben ist.

4.1 Grundkonzeption und Modellierungsmöglichkeiten

Mikrosimulationsmodelle (MSM) sind bereits in den 1960er Jahren in den USA durch Guy Orcutt populär geworden. Ihre Entstehungsgeschichte steht nicht zuletzt in engem Zusammenhang mit den eher ernüchternden Erfahrungen mit strukturellen Makromodellen und dem in den 1950er und 60er Jahren (noch) lebhaft diskutierten Aggregationsproblem (Davies, 2004). Gegenüber Modellen, die auf Aggregatdaten basieren, bilden in MSM Mikroeinheiten (wie z.B. Haushalte, Familien, Einzelpersonen oder Betriebe) mit bestimmten Charakteristika die Simulationsgrundlage. Wenn auch praktisch nie eine vollständige Population erfasst werden kann und daher mit Stichproben zu arbeiten ist, sollen Mikroeinheiten und -strukturen möglichst genau anhand bestimmter Variablen abgebildet und deren Verhalten unter alternativen Annahmen simuliert werden. Über die Stichprobe soll demnach die Struktur einer großen Population von Mikroeinheiten (und bei Panelerhebungen auch die zeitliche Entwicklung der Prozesse auf der Mikroebene) hinreichend genau und differenziert erfasst werden (Galler, 1994, S. 371). Durch eine anschließende Modellierung des Verhaltens und der Interaktion einer Vielzahl von Mikroeinheiten können dann induktiv Aussagen auf der Meso- bzw. Makroebene getroffen werden, die ggf. wiederum mit der Mikroebene rückgekoppelt werden. „Der wesentlich Vorteil von Mikrosimulationsmodellen liegt [also] darin begründet, dass aggregiertes Verhalten unmittelbar aus Entscheidungen auf Mikroebene abgeleitet werden kann, wobei auch Interaktionen zwischen Individuen sowie Rückwirkungen des Aggregates (z.B. in Form von Marktpreisen) berücksichtigt werden können“ (Winker, 2003, S. 94ff.). Auf der Basis eines möglichst umfassenden Wissens über die Veränderungen der Untersuchungsobjekte in der Vergangenheit lassen sich dann zukünftige Entwicklungen mithilfe von empirisch geschätzten Trendvariablen und Übergangswahrscheinlichkeiten ableiten (Werker und Brenner, 2004, S. 7).

Abbildung 1 verdeutlicht die generelle Vorgehensweise: So wird der durch eine politische Maßnahmen (bzw. ein Maßnahmenbündel oder Regelset) ausgelöste sozioökonomische Prozess für die in der Stichprobe vorhandenen Mikroeinheiten nachgezeichnet. Rückschlüsse über die Gesamtpopulation erfolgt durch Hochrechnung mithilfe entsprechender Gewichte, die anhand von gesamtwirtschaftlichen Aggregaten so zu wählen sind, dass die Stichprobe die Grundgesamtheit repräsentiert. Ein hohes Maß an Flexibilität ist jedoch dadurch gegeben, dass die aus der Simulation resultierenden disaggregierten Effekte einer Reform erst nach der Simulation je nach Fragestellung entsprechend aggregiert und hochgerechnet werden (Peichl, 2005).

Abbildung 1: Prinzip der Mikrosimulation



Quelle: übernommen aus Peichl (2005, S. 25)

Die Konzeption von MSM bedingt, dass diese Modelle in erster Linie nicht mit Durchschnittsgrößen operieren (wie sonst häufig der Fall), sondern die gesamte Verteilung von Variablen simulieren, auf die politische Maßnahmen gerichtet sind (z.B. die Wirkung einer Steuerrechtsänderung auf unterschiedliche Gruppen und Subgruppen von Einkommensbeziehern). Sie eignen sich damit vor allem für die Analyse der distributiven Effekte von Politikentscheidungen und nicht-linearer ökonomischer Beziehungen.

Ähnlich wie in IO-Modellen werden MSM häufig im Hinblick auf die Behandlung der zeitlichen Dimension in statische und dynamische Modelle unterschieden (Galler, 1994; Merz, 1994). Statische MSM vergleichen im Prinzip zwei Zustände miteinander ohne den Anpassungs- und Übergangsprozess (d.h. die dynamischen Veränderungen der Charakteristika der Mikroeinheiten) dazwischen explizit durch das Modell zu erklären. In der Regel beruhen sie auf Querschnittsdatensätzen (möglichst einer repräsentativen Stichprobe). Dynamische MSM versuchen demgegenüber die zeitliche Entwicklung endogen zu erklären, indem sie die relevanten Mikroprozesse modellieren bzw. simulieren. Sie können auf Querschnittsdaten beruhen, die periodenweise für eine ganze Population fortgeschrieben werden, aber auch auf Längsschnittsdaten, was eine Fortschreibung der Daten für eine bestimmte Alterskohorte über ihren gesamten Lebenszyklus erfordert. Betrachtet man nur Querschnittsmodelle ist der wesentliche Unterschied zwischen statischen und dynamischen MSM bei der empirischen Umsetzung in dem zugrundeliegenden Fortschreibungsverfahren zu sehen (Merz, 1994, S. 6f.). In statischen MSM, die zunächst an eine Zeitperiode gebunden sind, können im Rahmen des sog. "static a-

geing“ die Charakteristika der Mikroeinheiten über Gewichtungsfaktoren auf einen späteren Zeitpunkt extrapoliert bzw. fortgeschrieben werden. Exogen vorgegebene Strukturveränderungen (z.B. aus makroökonomischen Prognosemodellen) und bekannte Änderungen in der Zusammensetzung der Grundgesamtheit können hierbei berücksichtigt werden, massive strukturelle Änderungen, die die Struktur der Stichprobe und die Anzahl der Einheiten selbst verändern, und starke kurzfristige Verhaltensanpassungen durch eine Reform können allerdings nicht untersucht werden. Beim sog. „dynamic ageing“ wird demgegenüber jede Mikroeinheit individuell durch eine empirisch gestützte „Überlebenswahrscheinlichkeit“ in der Zeit fortgeschrieben sowie der Zutritt neuer Mikroeinheiten zugelassen, was zu neuen Interaktionsmustern führen kann. Damit lässt sich das Hinzutreten und Ausscheiden sowie das Wachstum und ggf. die räumliche Relokation einer Mikroeinheit ermitteln. Prozesse auf der Mikroebene (z.B. der Unternehmensebene) können dann unmittelbar und konsistent zur Erklärung von Veränderungen in der Sektor- und Marktstruktur herangezogen werden (Galler, 1994, S. 374). Insgesamt sind – abgesehen von Daten- und Umsetzungsproblemen (vgl. Abschnitt E) – statische Modelle ausreichend, wenn zumindest näherungsweise von konstanten Strukturen ausgegangen werden kann und primär die Auswirkungen von Eingriffen bei gegebenen Strukturen interessieren, was häufig für kurzfristige Fragestellungen zutrifft. Wenn jedoch Strukturwandel bzw. Strukturbrüche zu erwarten sind, sind dynamische MSM vorzuziehen, um die für Strukturveränderungen relevanten (ökonomischen) Prozesse explizit zu modellieren. Wenn allerdings Veränderungen in einer Population selbst über die Stichprobe simuliert werden sollen, ist es quasi unmöglich den Rückschluss (*inference*) auf die Gesamtpopulation vorzunehmen (Klevmarken, 1997, S. 25).⁸⁴

Ähnlich wie zwischen statischen und dynamischen MSM lässt sich danach unterscheiden, ob MSM Verhaltensreaktionen abbilden oder nicht.⁸⁵ Wenn Verhaltensänderungen nicht abgebildet werden, können nur kurzfristige Verteilungswirkungen (Effekte erster Ordnung) ermittelt werden. Von Interesse sind allerdings oft die Anpassungsreaktionen, die Wirtschaftssubjekte als Reaktion auf veränderte Rahmenbedingungen vornehmen. Um Verhaltensreaktionen zu modellieren, müssen geeignete externe Module konstruiert werden, die der Berechnung bestimmter Angebots- und Nachfrageeffekte (z.B. auf dem

⁸⁴ Klevmarken plädiert dann dafür von diesem Rückschluss abzusehen und die MSM als Repräsentation eines Datengenerierungsprozess zu betrachten. Die Modellergebnisse können dann gegenüber alternativen Daten mit konventionellen ökonometrischen Methoden getestet werden. Wenn sie den Test bestehen, können dann Vorhersagen getroffen und stochastische Eigenschaften evaluiert werden.

⁸⁵ Unterscheiden lässt sich auch danach, ob die Veränderung der Charakteristika der Mikroeinheiten stochastisch oder deterministisch simuliert wird (vgl. van Tongeren, 1995, S. 40f.).

Arbeitsmarkt) dienen. Damit ergeben sich hohe Anforderungen im Hinblick auf die Modellstruktur, um nicht nur Schätz- und Testprobleme in den Griff zu bekommen, sondern auch interne Konsistenz zu gewährleisten. Ein sequentielles Vorgehen bzgl. der Verbindung von Modulen kann etwa aus praktischen Erwägungen erforderlich sein, dafür aber zu Inkonsistenzen führen (ausführlich Klevmarken, 1997). Insgesamt bestehen daher bislang erhebliche Schwierigkeiten, Verhaltensreaktionen in MSM adäquat abzubilden (Klevmarken, 2001; Davies, 2004; vgl. auch unten).

Unterscheidet man im Hinblick auf den sachlichen Untersuchungsgegenstand finden sich die meisten Anwendungen in der Praxis im Bereich der Sozial- und Steuerpolitik, was angesichts der Bedeutung distributiver Fragestellungen nicht weiter erstaunt. Ebenso sind in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle nicht Unternehmen, sondern Haushalte, Familien und Einzelpersonen Simulationsobjekt.⁸⁶ Dennoch sind die Anwendungsmöglichkeiten vielfältig. So finden sich in den letzten Jahren Bestrebungen, MSM auch auf Unternehmensebene und zur Simulation technischen und organisatorischen Wandels einzusetzen. Wichtige Impulse hierfür sind von der evolutorischen Ökonomik und insbesondere der bahnbrechenden Studie von Nelson und Winter (1982) *“An evolutionary theory of economic change“* ausgegangen. So wird mehr und mehr anerkannt, dass evolutorische Simulationsmodelle sich gut dazu eignen, intrasektoralen Strukturwandel und die (in analytischen Modellen kaum handhabbare) Dynamik wirtschaftlicher Anpassungsprozesse abzubilden (z.B. Löbke et al., 1993, S. 9f. aus dem Blickwinkel der empirischen Wirtschaftsforschung).

4.2 Empirisch interessante und anwendbare Modelle

In jüngster Zeit werden MSM im breiteren Rahmen der sog. agentenbasierten Computerökonomik (*agent-based computational economics*) verstärkt diskutiert (vgl. das gleichnamige Handbuch und darin speziell den Überblickaufsatz von Dawid, 2005 zum Thema Innovation und technologischer Wandel). In dieser aufstrebenden, aber noch sehr jungen Forschungsgemeinschaft lassen sich grob zwei Modelltypen unterscheiden. Dominant ist bislang der erste Typ der abstrakten oder prototypischen Modelle. Ihr Ziel ist es stilisierte Fakten zu empirisch beobachteten und empirisch abgesicherten Phänomenen zu reproduzieren. Es soll damit ein Verständnis über die komplexen Zusammenhänge und Interaktionsstrukturen generiert werden, die diesen aggregierten Phänomenen

⁸⁶ Die Konzentration auf die Haushaltsebene lässt sich allerdings auch auf konzeptionelle und datenbedingte Probleme zurückführen (vgl. Kapitel E).

zugrunde liegen. Dabei werden jedoch nur potenzielle Mechanismen und keine tatsächlichen Kausalbeziehungen aufgezeigt; ebenso mangelt es oft an empirischen Validierungs- und Testverfahren (Dawid, 2005, S. 28; Windrum, 2004, S. 13). Für unsere Zwecke relevanter sind dagegen Modelle, die mit empirischen Daten arbeiten und versuchen möglichst realitätsnah zu modellieren (was dann auch mit verschiedenen Einschränkungen verbunden ist, siehe unten). Von diesem Modelltyp seien hier drei Beispiele aufgeführt, die wichtige Hinweise für eine Modellierungsstrategie bzgl. der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie geben könnten:⁸⁷

- „geschichtsfreundliche“ MSM-Modelle (Dawid, 2005, S. 28ff.):

Diese Modelle berücksichtigen auf detaillierte Art und Weise empirisch relevante Industrie- bzw. Firmencharakteristika und deren historische Entwicklung in Fallstudien. Es sollen möglichst nicht nur allgemein verfügbare statistische Daten, sondern auch Erkenntnisse über qualitative, technologische und nachfrageseitige Entwicklungen einfließen. Die Struktur dieser Charakteristika wird zunächst verbal-deskriptiv erfasst und dann in ein formales Modell übersetzt. Das Modell sollte dann in der Lage sein, die wesentlichen „Fakten“ in der Entwicklung des Sektors zu reproduzieren (sog. history replication). Wenn die „wahre“ Parameterkonstellationen (z.B. die historischen Ausgangsbedingungen) manipuliert werden, kann dann ein alternatives Muster der Marktentwicklung modelliert werden, das z.B. bestimmten Technologien einen größeren Marktanteil gewährt (am Bsp. der Entwicklung der synthetischen Farbstoffindustrie etwa Brenner und Murmann, 2003). Der Vorteil dieser Modelle liegt darin, dass sie es erlauben, Entwicklungen zu unterscheiden, die durch die Ausgangsbedingungen bedingt sind (Stichwort Pfadabhängigkeiten), die durch „Interventionen“ an bestimmten Punkten eingetreten sind und die bloß auf stochastische Größen zurückzuführen sind. Ebenso ist es möglich durch eine kontrafaktische Analyse nicht nur unmittelbar einsichtige und verbal erklärable Muster in der Geschichte hervorzuheben, sondern auch sequentielle logische Rückschlüsse bei mehreren erklärenden Variablen oder multiplen Iterationen zu ziehen. Über Simulationen können schließlich auch kausale Beziehungen zwischen Variablen generiert werden, wenn zunächst nur wenig empirische Beobachtungen zur Verfügung stehen. Kritisch wird allerdings eingewendet, dass diese Modelle leicht überspezifiziert werden könnten (sog. „*over-fitting*“). Es stellt sich dann auch die Frage, wie groß die Erklärungskraft des Modells außerhalb eines sehr spezifischen Kontextes (also z.B.

⁸⁷ Zwischen abstrakten und empirischen Modellen könnte man in Anlehnung an Voßkamp (2002, S. 31) auch noch sog. semi-artifizielle Modelle ansiedeln, da sie nur teilweise statistischen und ökonometrischen Verfahren zugänglich sind.

auch für zukünftige Entwicklungen) ist (Dawid, 2005, S. 30). Ein weiteres Problem ist darin zu sehen, dass die Wahl der Modellparameter zu einem gewissen Grad subjektiv und willkürlich ist, weil Geschichte sich nicht ohne Weiteres „vollständig“ erfassen und operationalisieren, sondern nur grob typisieren lässt (Windrum, 2004, S. 24ff.). Auch die empirische Validierung wird als noch unzureichend angesehen (Werker und Brenner, 2004, S. 6).

- MSM-Demografiemodelle (van Wissen, 2000)

Ein interessantes Unternehmens-MSM, das explizit für Prognosen gedacht ist, ist in Holland für regionalpolitische Zwecke entwickelt worden. Es basiert auf dem Konzept der Demografie von Unternehmen (auch economic oder industrial demography), legt also Wert auf die Beschreibung und Erklärung der Veränderungen in der Unternehmenspopulation, sei es durch Marktzutritte, Marktaustritte oder Migrations- bzw. Lokationsentscheidungen. Ähnlich wie in MSM für sozialpolitische Zwecke werden probabilistische Übergangsfunktionen für einzelne demografische Komponenten und für Unternehmenswachstum abgeleitet. Die Entwicklung eines Betriebs über die Zeit wird zu diesem Zweck über aufeinanderfolgende Zustände (*states*), die ein Betrieb im Laufe seines Daseins erfährt, und die Verweildauer in den jeweiligen Zuständen beschrieben. Der Zustand wird endogen in Abhängigkeit von einer Kombination von Attributen primärer Variablen definiert (z.B. industrielle Aktivität, Größe, Alter und Ort von Betrieben). Im Gegensatz zur Demografie von Menschen, die wesentlich von Alter und Geschlecht abhängt, wird die betriebliche Demografie allerdings wesentlich von Marktkräften bestimmt. Um das Verhalten der Population und die ökonomische Performanz von Betrieben zu approximieren wird (in einer ersten Annäherung) ein relativ einfacher Indikator herangezogen. Der Wachstumspfad einer Population wird dabei von einer intrinsischen Wachstumsrate und einem kapazitätsabhängigen Marktdruck oder –stress bestimmt. Interessanterweise wird die sog. Marktkapazität von einem nachfrageorientierten, multisektoralen und räumlich disaggregierten IO-Modell abgeleitet. Das Verhältnis zwischen der „Marktdruckvariable“ und dem demografischen Verhalten auf der Betriebsebene (das wie gesagt auch von Firmencharakteristika abhängt) wird dann in einem statistischen Modell geschätzt. Anders als in den in Kapitel D 2. beschriebenen IO-Modellen können somit insbesondere Verhaltensparametern näher untersucht werden, die die Intensität demografisch relevanter „Ereignisse“ und Anpassungsverläufe mitbestimmen. In der empirischen Umsetzung ergeben sich allerdings noch hohe Unsicherheiten und Messprobleme, so dass auch im Rahmen der ersten Projektionsrechnungen weniger die quantitativen Ergebnisse als der heuristische Wert des Ansatzes im Vordergrund stehen.

- Weiterreichende Mikro-Makro-Modelle

In der Literatur gibt es schließlich noch einige wenige empirische Simulationsmodelle, die eine explizite Verknüpfung zwischen dem Verhalten heterogener, individueller Unternehmen und dem sektoralen und gesamtwirtschaftlichen Rahmen vornehmen (Mikro-Makro-Brücke). Die Modelle unterscheiden sich dabei allerdings in einigen wichtigen theoretischen und methodischen Aspekten.

Pionierarbeit hat insbesondere Eliasson geleistet, der mit MOSES (Model of the Swedish Economic System) bereits Ende der 1970er Jahre ein umfassendes, vollständig operationales und auf Mikrodaten beruhendes (Total-)Modell für die schwedische Wirtschaft entwickelt hat.⁸⁸ Das Modell soll die Entwicklung der Industrie modellieren und über Parameteränderungen die Folgen mikroökonomischer Verhaltensänderungen sowohl auf gesamtwirtschaftliche Aggregate als auch auf Verteilungsmuster innerhalb des Industriesektors (z.B. zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Unternehmen) abbilden und quantifizieren. Zu den mikroökonomischen (und z.T. mesoökonomischen) Phänomenen zählen so unterschiedliche Themenbereiche wie technologischer Wandel auf Unternehmensebene, Markteintritts- und austrittsverhalten, Fragen der Marktorganisation oder die Wirkung von Industriesubventionen. Der Industriesektor wird für einzelne Unternehmen und für vier Subsektoren (Rohstoffmarkt, Halbfertigerzeugnismarkt sowie Märkte für dauerhafte und nichtdauerhafte Konsumgüter) modelliert, während ansonsten (z.B. bei den Dienstleistungen) nur die Sektorebene erfasst wird (insgesamt elf Sektoren). Die Industrie wird durch 225 Unternehmen repräsentiert, von denen 154 vor allem größere Unternehmen tatsächlich existieren (und jährlich befragt werden) und die restlichen synthetische Unternehmen darstellen, die durch einen Abgleich („Kalibrierung“) mit gesamtwirtschaftlichen Konten und mesoökonomischen IO-Daten gewonnen werden. Für die befragten Unternehmen gehen umfangreiche Daten aus Bilanzen, Gewinn- und Verlustrechnungen sowie Investitionsrechnungen ein. Markttransaktionen und Wettbewerbsprozesse (sowie Marktein- und -austritte) werden explizit abgebildet, allerdings findet in der Regel keine Markträumung statt, so dass oft ungenutzte Kapazitäten und Lagerbestände bestehen. Auf aggregierter Ebene interagieren die Sektoren über eine Input-Output-Struktur (im Sinne von Leontieff), wobei über die Mikrodaten

⁸⁸ An dieser Stelle kann die komplexe Modellstruktur nur sehr grob skizziert werden. Vgl. für eine kurze Darstellung Eliasson, Johansson und Taymaz (2002) oder auch Voßkamp (1996) und van Tongeren (1995, S. 43ff.).

und die Darstellung der Marktprozesse eine explizite Aggregation vorgenommen wird.⁸⁹ Eliasson modelliert damit *gleichzeitig* neben der Unternehmensheterogenität auch eine (aufgrund der Gegebenheiten in Schweden allerdings nur relativ) differenzierte Wirtschaftsstruktur. Über die Abbildung des Haushaltssektors und des Staates werden zudem verschiedene Rückkopplungsmechanismen berücksichtigt. Somit werden fundamentale Definitionsgleichungen, die aus dem System der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung stammen, im Modell verankert (insbesondere der Einkommenskreislauf). Der technische Fortschritt ist im Ursprungsmodell exogen und entwickelt sich für alle Betriebe mit der gleichen Rate, was sich darin ausdrückt, dass die Kapazitätsgrenze über Investitionen in sog. best-practice Technologien bei gegebenem Arbeitseinsatz angehoben wird. Durch den Einbau neuer Module sind der technische Fortschritt und insbesondere Prozessinnovationen allerdings in wichtigen Teilbereichen endogenisiert worden (Ballot und Taymaz, 1999). Durch betriebspezifische Spezifikationen kann modelliert werden, ob bzw. in welchem Ausmaß ein Betrieb Ausgaben für FuE (radikal und inkrementell), Trainingsmaßnahmen (allgemein und spezifisch) und physisches Kapital tätigt. Die Ressourcenallokation auf diese verschiedenen Optionen, die letztlich den Markterfolg im (Schumpeterschen) Wettbewerb wesentlich mitbestimmen, wird dabei als so komplex angesehen, dass die Firmenentscheidung über (begrenzt rationale) Regeln und Heuristiken gesteuert wird und über sog. Entscheidungstypen (*simple, informed, optimiser, follower*) modelliert wird. Zugleich wird allerdings Lernverhalten explizit berücksichtigt, so dass Regeln über die Klassifikation von Entscheidungssituationen (z.B. nach kurzfristig vs. langfristig) endogen generiert werden (und z.B. schlechte Regeln abgelegt werden). Berücksichtigt werden außerdem techno-ökonomische Paradigmen, die das Lern- und Suchverhalten der Unternehmen bestimmen und für technologische *lock-in*-Situationen verantwortlich sein können. Über sog. user-producer learning kann zudem die Diffusion von Innovationen zwischen Sektoren modelliert werden (Eliasson, Johansson und Taymaz, 2002).

Insgesamt können mit einem derartigen Mikro-Makro-Simulationsmodell ähnliche Fragen beantwortet werden wie mit einem makroökonomischen Modell (z.B. nach den mikroökonomischen Bestimmungsgründen gesamtwirtschaftlichen Wachstums). Die besondere Hervorhebung evolutorischer Elemente, wie Heterogenität, Dynamik, ungleichgewichtigen Prozessen und nicht-optimierendem Verhalten, machen das Modell allerdings sehr komplex und unorthodox. Es stellt sich insbesondere auch die Frage, ob die empirischen Ergebnisse wesentlich von der spezifischen Modellierung begrenzt ra-

⁸⁹ Unterschiedliche Marktformen (insbesondere oligopolistischer Wettbewerb) werden allerdings nur z.T. aufgegriffen. Auch die IO-Verflechtung ist relativ grob (Voßkamp, 1996, S. 232).

tionalen Unternehmensverhaltens (über Regeln und Algorithmen) geprägt sind (vgl. auch Jaffe, Newell und Stavins, 2002, S. 45).

Vergleichbar mit Eliasson ist in vielerlei Hinsicht (insbesondere im Hinblick auf die Modellierung heterogenen und regelorientierten Unternehmensverhaltens) der Ansatz von van Tongeren (1995), der ein Mikro-Makro-Simulationsmodell für die Niederlande vorstellt. Empirisch ist es allerdings weniger aufwendig, schon weil „nur“ zehn Großunternehmen explizit modelliert werden, von einem jeweils homogenen (nicht nach Betriebsteilen aufgegliederten) Unternehmensoutput ausgegangen wird, aber auch weil Investitionsentscheidungen nur z.T. endogen erklärt werden.⁹⁰ An einigen Stellen werden allerdings andere Akzente gesetzt. Während man bei Eliasson von einer „radikalen nicht-neoklassischen Modellierung“ sprechen kann (so Voßkamp, 1996, S. 97), bemüht sich van Tongeren nämlich um einen Brückenschlag zu allgemeinen Gleichgewichtsmodellen und zu industrieökonomischen Fragestellungen. Der Mikrosimulation wird eine Brückenfunktion zugeschrieben, indem sie mikroökonomische Theorien der Unternehmung (im Sinne von Nelson und Winter), industrieökonomische Fragestellungen und gesamtwirtschaftliche AGE-Modelle verknüpft (van Tongeren, 1995, S. 207). Das Vorgehen kann außerdem als eher modulartig charakterisiert werden. So werden drei separate numerische Simulationen gerechnet, die das Zusammenspiel der interdependenten Aggregationsebenen und die jeweiligen Mechanismen beleuchten sollen: Die erste „bottom-up-Simulation“ behandelt den Einfluss von Unternehmensentscheidungen (hier veränderten Verkaufserwartungen) auf gesamtwirtschaftliche Größen und deren Rückwirkung auf die Entscheidungssituation der Unternehmen, wobei letztlich interessiert, welcher Mechanismus einen größeren Einfluss auf das „Endergebnis“ hat. Die zweite „top-down-Simulation“ analysiert die Reaktion von Unternehmen mit unterschiedlichen Charakteristika auf veränderte allgemeine Rahmenbedingungen und insbesondere auf Veränderungen die durch Politikmaßnahmen (hier breit gestreuten „Subventionen“) induziert wurden, wobei im untersuchten Fall (interessanterweise) individuelle Investitionsentscheidungen von Unternehmen und die diversen (auch politiku-

⁹⁰ Dennoch werden Investitionsentscheidungen explizit modelliert, wobei der aggregierte Kapitalstock aus technologisch heterogenen Investitionsgütern besteht (vintage-Struktur). Anders als in den üblichen Vintage-Modellen wird ein Jahrgang hier jedoch nicht notwendigerweise vollständig ersetzt, wenn die sog. Quasi-Rente auf Null fällt, d.h. die variablen Kosten den Gesamtkosten eines neuen Jahrgangs der selben Größe entsprechen (Van Tongeren, 1995, S. 71f.).

nabhängigen) Einflussfaktoren auf diese Investitionen modelliert werden.⁹¹ Auch hier wird der (umgekehrte) *feedback* von der Unternehmens- auf die staatliche Ebene (hier insbesondere den Staatshaushalt) betrachtet. Die dritte Simulation ist auf der Mesoebene angesiedelt und untersucht strukturelle Veränderungen, und zwar den Einfluss von Markteintritten durch KMU auf die Wettbewerbsintensität und Performance eines Sektors sowie die intrasektorale Renditeverteilung. Berücksichtigt wird hier insbesondere graduelles Lernverhalten und eine schrittweise Anpassung von Routinen und Erwartungen.⁹²

Das modulartige Vorgehen von van Tongeren (1995) verdeutlicht damit, dass es auch verschiedene Möglichkeiten gibt, Modelle zu kombinieren. So sind Mikro-Makro-Simulationsmodelle als neue Modellklasse in den letzten Jahren etwa vor allem auch im entwicklungspolitischen Kontext zur Anwendung gekommen, um die Schwächen abzumildern, die bei der Anwendung „reiner Modelltypen“ auftauchen können (Davies, 2004; auch Peichl, 2005 im steuerpolitischen Kontext, der die Zukunft in dieser Neukombination sieht). Davies (2004) diskutiert Verknüpfungen der MSM zu AGE-Modellen und reinen Makromodellen und ihre jeweiligen Vor- und Nachteile.⁹³ MSM können allgemein als Input für makroökonomische Modelle dienen; Makromodelle können umgekehrt aber auch dazu verwendet werden, Vorhersagen des MSM zu modifizieren bzw. anzugleichen. So wird im Rahmen des Projektes DIECOFIS zur Simulation der Unternehmensbesteuerung in einem iterativen Verfahren zunächst eine makroökonomische Prognose des Steueraufkommens vorgenommen (über einfache Steueraufkommensfunktionen), die dann aber mit Hilfe des MSM angepasst wird (über die Residuen dieser Funktionen). Dieser Prozess wird wiederholt, bis es zu einer Konvergenz kommt (Ahmed et al., 2003, S. 6).

⁹¹ Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Subventionen die Gewinnerwartungen der Unternehmen nicht wesentlich beeinflussen konnten (Mitnahmeeffekte angesichts ohnehin günstiger Nachfragebedingungen). Bei einem geeigneten *timing* und *sequencing* der Politikveränderungen im Steuer-Subventionssystem hätten die Subventionen demgegenüber ein effektives Politikinstrument darstellen können. Diese dynamischen Aspekte werden in traditionellen Modellanalysen nicht immer offensichtlich (van Tongeren, 1995, S. 194).

⁹² Die Ergebnisse zeigen, dass defensive Reaktionen bestehender Unternehmen für Marktanteilsverluste verantwortlich sind. Außerdem sind die technologischen Charakteristika der existierenden Unternehmen für die langfristige Performance wichtiger als die Zahl und Größenverteilung der Unternehmen des Sektors (van Tongeren, 1995, S. 205f.).

⁹³ Innovations- und technikbezogene Aspekte bleiben dabei allerdings unberücksichtigt.

- Wege zur Modellierung von Umweltinnovationen

Die bisher dargestellten, empirisch orientierten Mikro-Simulationsmodelle (bzw. Mikro-Makro-Simulationsmodelle) behandeln nicht explizit Umwelttechnologien und –innovationen. Unseres Wissens besteht auch bislang keine empirisch ausgerichtete Mikrosimulationsstudie zu diesem Thema, so dass in dieser Hinsicht Neuland zu betreten wäre. Dennoch ist kürzlich eine interessante französische Studie publiziert worden, die Umweltinnovationen in der Tradition der evolutorischen Ökonomik simuliert (vgl. im folgenden Oltra und Saint-Jean, 2005). Es handelt sich zwar nur um eine explorative Untersuchung, so dass kein besonderer Wert darauf gelegt wird, das Modell und seine Parameter über empirische Daten zu spezifizieren; das Vorgehen und die generierten Ergebnisse erscheinen aber trotzdem von Interesse zu sein und könnten für die Modellierung der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie eine Vorbildfunktion haben.

Das Modell bezieht sich explizit auf die Porter Hypothese, wonach Unternehmen die Möglichkeit haben, regulierungsbedingte Kosten über innovatives Verhalten abzumildern oder gar zu kompensieren (sog. *innovation offsets*, „Innovationsrenten“). Es formalisiert diese Hypothese, indem es Muster über die Evolution integrierter Technologien (*clean technologies*) sowie das Zusammenspiel zwischen Unternehmensstrategie und unternehmerischer Wettbewerbsfähigkeit erklärt. Die Erklärung basiert einerseits auf der Erkenntnis, dass für die erfolgreiche Entwicklung und Diffusion integrierter Technologien mehrere Zieldimensionen zu berücksichtigen und zu kombinieren sind (Umweltziele, prozessspezifische und betriebswirtschaftliche Effizienzziele und die Performance/Qualität des hergestellten Produkts). Andererseits werden auch die in der evolutorischen Ökonomik immer wieder herausgestellten stilisierten Fakten über die Merkmale technologischen Wandels miteinbezogen (hier insbesondere die Spezifität, Unsicherheit und der kumulative Charakter von Innovationen). Die Evolution sauberer Technologien wird daher über drei stilisierte Trajektorien in einem multidimensionalen technologischen Raum dargestellt. Den konkreten Hintergrund bildet dabei die VOC-Richtlinie, die auf eine drastische Reduktion der VOC-Emissionen hinwirkt und u.a. die Verbreitung lösemittelfreier Farben und Lacke (als neuem technologischem Paradigma) fördert.

Die drei Trajektorien bilden nun nicht nur drei Typen prozessspezifischer Innovationsrenten ab; welche Trajektorie beschritten wird, hängt vielmehr von der unternehmerischen Innovationsstrategie ab. Drei prototypische Strategien werden hierzu unterschieden und anhand verschiedener Praxisbeispiele unterlegt:

- eine betriebswirtschaftliche Effizienzstrategie, bei der Innovationsrenten hauptsächlich über Ressourcen- und Energieeinsparungen realisiert werden, aber keine Abkehr von dem „Lösungsmittelparadigma“ erfolgt und VOC-Emissionen nicht wesentlich zurückgehen;
- eine Umweltstrategie, bei die Umweltperformance über neue Techniken oder sogar radikale Veränderungen im Produktionsprozess (d.h. einen Paradigmenwechsel) deutlich gesteigert wird, die Produktionseffizienz aber nur marginal gesteigert werden kann;
- eine kombinierte Strategie, bei der eine simultane Zunahme der Umweltperformance und der Produktionseffizienz stattfindet und über radikale Innovationen langfristig erhebliche Innovationsrenten und Wettbewerbsvorteile realisiert werden.

Als zusätzliche Strategiekomponente wird schließlich noch berücksichtigt, ob sich durch Innovationen die (Performance-)Charakteristika des jeweils hergestellten Produkts verändern.

Über das Modell wird nun der Einfluss der Innovationsaktivitäten auf die Entwicklung der Industriestruktur untersucht. Charakteristisch ist (wie in den oben aufgeführten MSM auch) die Heterogenität des Unternehmensverhaltens bzgl. ihres FuE- und Innovationsverhaltens und die Unsicherheit im Hinblick auf den Innovationserfolg (d.h. nicht-lineare Dynamik im Modell). Ebenso wird die Gefahr von Pfadabhängigkeiten und Irreversibilität abgebildet. Angenommen wird dabei allerdings, dass die industrielle Dynamik durch die wettbewerbliche Interaktion von Unternehmen auf Märkten getrieben wird; folglich handelt es sich um ein angebotsorientiertes Modell, bei dem Nachfragerestriktionen keine Rolle spielen. Die Modellergebnisse, die wie gesagt empirisch und insbesondere bzgl. der jeweils relevanten Sektorcharakteristika nicht hinreichend abgesichert sind, zeigen, dass Unternehmen mit kombinierter Strategie langfristig die höchsten Marktanteile erreichen. Mittelfristig müssen allerdings auch diese Unternehmen Einbußen hinnehmen, die sich durch den Paradigmenwechsel und damit verbundene „Übergangskosten“ erklären lassen (sog. *competence destroying effect* in Anlehnung an Schumpeter). Unternehmen mit betriebswirtschaftlicher Effizienzstrategie expandieren demgegenüber zwar zunächst, haben langfristig aber mit Sättigungserscheinungen zu kämpfen, da sie keinen Paradigmenwechsel vornehmen. Unternehmen, die eine reine Umweltstrategie verfolgen, müssen demgegenüber kurzfristige Anteilsverluste im Zuge des Paradigmenwechsels hinnehmen und können ihren Marktanteil langfristig nur stabilisieren, da ihre „einseitige“ (FuE- bzw. Innovations-)Ausrichtung kaum Produktivitätsgewinne mit sich bringt. Die Ergebnisse legen damit eine stärkere Koordination der

Umwelt- und Technologiepolitik nahe, um Innovationsrenten zu generieren. Neben Impulsen durch Regulierungen und Fördermaßnahmen wird auch gezeigt, dass starke vertikale Beziehungen zwischen den Anbietern von Investitionsgütern und ihren Kunden der als am effizientesten erachteten kombinierten Strategie zum Durchbruch verhelfen können.

4.3 Vor- und Nachteile von Mikrosimulations- und Mikro-Makro-Simulationsmodellen

Insgesamt weisen die soeben diskutierten Simulationsverfahren eine Reihe von Vor- und Nachteilen auf, die an dieser Stelle in synthetisierter Form diskutiert werden sollen.⁹⁴

Ein wesentlicher Vorteil von numerischen Simulationen ist sicherlich – gerade auch für die empirisch gestützte Politikberatung – darin zu sehen, dass komplexe Sachverhalte auf der Mikroebene abgebildet werden können und von einigen der oft sehr heroischen Annahmen traditioneller Makromodelle abgerückt wird. Empirische Tatsachen werden bewusst Ernst genommen. Insbesondere ein hohes Maß an Heterogenität im Verhalten der Wirtschaftssubjekte kann hierbei wiedergegeben werden. Da die Modellierung von Heterogenität zugleich eine wichtige Voraussetzung ist, um Fragen des technischen Fortschritts besser zu erklären, erscheint die Mikrosimulation auch für die vorliegende Fragestellung ein geeignetes Verfahren darzustellen. Interessant erscheint insbesondere die Modellierung des Unternehmerverhaltens in Form spezifischer Restriktionen oder weitergehender unorthodoxer Verhaltensannahmen. Schließlich wurde in Kapitel B 1. bereits festgehalten, dass die Porter Hypothese nur schwer aufrechterhalten werden kann, wenn im Modell von einem vollkommen rationalen, wohl informierten und gewinnmaximierenden Einzelunternehmer ausgegangen wird. Neben dem individuellen Verhalten wird zudem die (marktliche und nicht-marktliche) Interaktion vieler Mikroeinheiten (d.h. einer Population) unter bestimmten institutionellen Rahmenbedingungen explizit modelliert. Das Aggregationsproblem wird folglich nicht einfach durch Homogenitäts- und Verteilungsannahmen überspielt, sondern es wird zugelassen, dass sich aus komplexen Interaktionen ökonomisch interessante, aber nicht unmittelbar einsichtige (emergente) Phänomene und heterogene Strukturen auf höherer Aggregationsebene einstellen. So können Fragestellung aus der Industrieökonomik und der Mesoökonomik

⁹⁴ Wie stark sich diese Vorteile und Nachteile konkret bemerkbar machen, muss im Einzelfall diskutiert werden.

aufgegriffen werden und idealerweise mit der mikro- und makroökonomischen Betrachtungsweise verknüpft werden. Inhaltlich stehen zudem Phänomene im Vordergrund, die in konventionellen Modellen leicht vernachlässigt werden. So wird z.B. erklärt (oder zumindest im Modell reproduziert), dass zwischen Unternehmen länger anhaltende Rentabilitäts- und Produktivitätsunterschiede bestehen bleiben können (keine Konvergenz), dass technologischer Wandel kumulativ erfolgt und oft entlang bestimmter Trajektorien und Paradigmen auftritt, oder dass die industrielle Evolution und die ökonomische „Demografie“ von Sektor zu Sektor sehr unterschiedlich sein können (vgl. auch Dawid, 2005, S. 7).

Modelltechnisch haben MSM den Vorteil einer relativ großen Flexibilität. So können im Prinzip funktionale Formen aufgenommen werden, die in hohem Maße nicht-linear sind und keine „gutmütigen“ Eigenschaften aufweisen (Klevmarken, 2001, S. 6; Winker, 2003, S. 98). Wenn Gleichungssysteme nicht explizit lösbar sind und zudem stochastische Elemente eine Rolle spielen, können Simulationen Prozesse abbilden, die analytisch nicht zu fassen sind. Durch Fortschritte in der Computersimulationstechnik und höhere Rechenkapazitäten wird es außerdem zunehmend einfacher ein großes Modellspektrum (z.B. auch den Mikro-Makro-Link) über Computersimulation zu erschließen (Pyka und Fagiolo, 2005).

Im Gegenzug sind mit diesen Vorzügen auch (z.T. spiegelbildliche) Nachteile verbunden. So sind die Modelleigenschaften und Modellergebnisse üblicherweise zunehmend schwerer zu verstehen und zu interpretieren, je größer und komplexer sie ausgestaltet sind. MSM drohen also den festen Boden analytischer Modelle zu verlassen. Nicht zuletzt aus diesem Grund sind (aufwendige) MSM bislang in der ökonomischen Zukunft nicht voll akzeptiert (so Klevmarken, 2001, S. 6). Der black-box-Charakter tritt natürlich gerade dann besonders hervor, wenn Modellformulierung, Spezifikationen und Datenbasis nicht vollständig angegeben und (z.B. bei „unorthodoxen“ Verhaltensannahmen) begründet werden.

Möglicherweise werden auch interne Konsistenzmängel und theoretische Erklärungsdefizite verdeckt. Diesen Mängeln wird allerdings von Befürwortern der Simulationsmodelle entgegengehalten, dass manch konventionelle Modelle (z.B. viele AGE-Modelle) nur scheinbare Konsistenzvorteile haben, da die Konsistenzanforderungen Ergebnis der Annahmen (Rationalitäts- und Gleichgewichtsannahmen) sind (Pyka und Fagiolo, 2005). Zudem sehen Befürworter gerade die Stärke der MSM darin, mehrere alternative Theorien kombinieren zu können (van Tongeren, 1995, S. 37).

Betrachtet man die derzeit vorhandenen Simulationsmodelle, wird man allerdings dennoch einen *trade-off* konstatieren müssen, zwischen deskriptiver Genauigkeit einerseits und der Fähigkeit sinnvolle und interpretierbare Ergebnisse zu generieren (Dawid, 2005, S. 34).⁹⁵ Dieser *trade-off* wird sich wohl erst langsam „hinausschieben“ lassen (Pyka und Fagiolo, 2005). Dies wird etwa daran deutlich, dass vorhandene Modelle meist in detaillierter Form einige wichtige Aspekte (z.B. bzgl. des technologischen Wandels) abbilden, während andere Aspekte der Ökonomie in hoch-stilisierter Art und Weise wiedergegeben werden. Letzteres geschieht oft (ähnlich wie bei AGE-Modellen) durch eine empirisch wenig befriedigende Kalibrierung. Damit stellt sich jedoch das Problem der Tragfähigkeit und Allgemeingültigkeit der Ergebnisse (Voßkamp, 2002, S. 30).

Aber selbst der möglichst genauen Abbildung von Prozessen auf der Mikroebene für Projektionszwecke sind offensichtlich Grenzen gesetzt. Schließlich müssen bei einer dynamischen MSM viele Mikroprozesse und ihre Interaktion möglichst gleichzeitig modelliert werden (O'Donoghue, 2001). Neben Datenproblemen (vgl. Abschnitt E) mangelt es mitunter an einem grundlegenden Verständnis über die Dynamik der Zusammenhänge. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass das gewonnene Wissen über Prozesse auf der Mikroebene in hohem Maße zeit- und kontextspezifisch sein kann, was offensichtlich Probleme im Rahmen einer Prognose mit sich bringt.

Angesichts dieser Schwierigkeiten müssen an das Modell im Prinzip hohe statistische und ökonometrische Anforderungen gestellt werden. Vor allem ist dessen empirische Validität zu überprüfen, also zu fragen, ob das Modell und die Modellparameter einen Output generieren können, der eine „adäquate“ Darstellung der Untersuchungsobjekte leistet und mit (möglichst anderweitig erhobenen) statistischen Daten übereinstimmt.⁹⁶ Diese Validierung kann erst ein Mittel sein, um das Modell ggf. zu falsifizieren. Gerade bei der Schätzung von Parametern und der Validierung wird in der Literatur allerdings noch Forschungsbedarf konstatiert (Klevmarken, 2001; Winker, 2003).⁹⁷

⁹⁵ van den Bergh und Gowdy (2000) sprechen in ihrem Aufsatz zur Mikrofundierung der Makroökonomik auch allgemeine von einem *trade-off* zwischen Allgemeinheit, Präzision und Realitätsgehalt der Aussagen.

⁹⁶ Die Validierung ist zu unterscheiden von (der ebenfalls wichtigen) Sensitivitätsanalyse, die nach der Robustheit der Outputs fragt, indem die Werte von Schlüsselparametern oder zufälligen Größen geändert werden (Windrum, 2004).

⁹⁷ Tongeren (1995, S. 141) stellt z.B. fest, dass kaum gute ökonometrische Schätzmethoden für sein MSM verfügbar sind.

4.4 Zwischenfazit

Mikrosimulationsmodelle und Mikro-Makro-Simulationsmodelle stellen sicherlich eine reizvolle Möglichkeit dar, die ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie zu ermitteln. Wie im letzten Abschnitt erläutert, bieten sie ein alternatives, z.T. auch komplementäres Instrumentarium zu den eher traditionellen ökonomischen Modellen. Schwerpunktmäßig sind sie dazu geeignet, Heterogenität auf der Unternehmensebene und komplexe Interaktionsmuster zwischen Mikroeinheiten abzubilden, was in den zuvor aufgeführten Modellansätzen nur ansatzweise gelingen dürfte. Gerade bei der Abbildung potenzieller, durch die IVU-Richtlinie induzierter Innovationswirkungen könnten MSM daher Erkenntnisse zutage fördern, die bei den bislang skizzierten Methoden leicht vernachlässigt oder unterbelichtet werden (z.B. bzgl. der Abbildung von technologischen Trajektorien und Nicht-Linearitäten). Durch ihren flexiblen, modulartigen Aufbau kann zudem prinzipiell eine Mikro-Makro-Brücke verwirklicht werden. Dabei sind allerdings verschiedene Kompromisse in der Modellierung zu machen. So wird z.B. selbst in dem bislang aufwendigsten Mikro-Makro-Simulationsmodell von Eliasson und seinen Mitstreitern kaum simultan Unternehmensheterogenität, Marktstruktur und Wirtschaftsstruktur untersucht (vgl. auch Voßkamp, 1996, S. 106f.). Die primäre Stärke von MSM dürfte daher auch in erster Linie dann zum Tragen kommen, wenn Effekte „höherer Ordnung“ und längerfristige Wirkungen vernachlässigt werden können (van Tongeren, 1995, S. 42). Um derartige weiterreichende Effekte – also z.B. Wirkungen auf Wirtschaftswachstum und Beschäftigung – abbilden zu können, müsste man vielmehr ein MSM mit einem IO- bzw. einem makroökonomischen Modell koppeln.

Um interpretierbare und sinnvolle Aussagen sowie (wirtschafts-)politisch relevante Ergebnisse (z.B. für prognostische Zwecke) mit Hilfe von MSM zu generieren, sind generell allerdings hohe Hürden zu überwinden und hohe Anforderungen zu erfüllen. So ist es erklärbar, dass der Anteil an empirische gehaltvollen Arbeiten bislang nicht sehr groß ist (Dawid, 2005, S. 8). Der Politikbezug im allgemeinen wird als noch gering angesehen (Pyka und Fagiolo, 2005), und auch an Simulationen über die Rolle des Staates im Innovationsprozess mangelt es noch (Windrum, 2005, S. 28). Dem steht jedoch ein lebhaftes Interesse gegenüber, eher theoretische und prototypische Modelle auch für politikberatende Zwecke einzusetzen. Über einen Impuls von politisch-administrativer Seite und ein entsprechend dotiertes Forschungsprojekt (auch über die IVU-Richtlinie hinaus) könnte folglich die Methodenentwicklung soweit vorangetrieben werden, dass Forschungsergebnisse stärker für politikberatende Zwecke genutzt werden könnten.

5. Mikroökonomische Studien, Indikatorenansätze und Fallstudien: Einige „ergänzende“ Anmerkungen

Wie in Kapitel A 1. erläutert beschäftigt sich diese Machbarkeitsstudie mit potenziellen Auswirkungen der IVU-Richtlinie auf meso- und makroökonomischer Ebene. In den letzten drei Abschnitten sind hierzu verschiedene Modellansätze vorgestellt worden. Da allerdings nicht bloß eine allgemeine Darstellung verschiedener Methoden und ihrer Stärken und Schwächen geleistet werden sollte, wurden im Hinblick auf die durch die IVU-Richtlinie vorgegebenen Rahmenbedingungen einige Anforderungen vorangestellt. Demzufolge sollte der jeweilige Ansatz nicht abgehoben über mesoökonomische und makroökonomische Wirkungen „philosophieren“, sondern prozess- und technikorientiert sein, ein hohes Maß an Heterogenität auf der Mikroebene abbilden können und sich für eine Mikro-Makro-Brücke eignen. Vor allem zwei eng miteinander verbundene Themenbereiche, die von Interesse sind, werden in der (thematisch verwandten) Literatur allerdings bislang in erster Linie mit mikroökonomisch orientierten Methoden bearbeitet: regulierungsinduzierte Innovations- und Diffusionswirkungen und Implikationen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit. Z.T. ist dafür die schlechte Datenlage verantwortlich (vgl. Abschnitt E), z.T. würden die ohnehin schon verschachtelten Modellgerüste damit noch komplexer. Aus diesem Grund sollen hier nur kurz einige alternative – und für die vorliegende Fragestellung illustrative – Methoden und ihre Vor- und Nachteile vorgestellt werden, wobei zunächst eher quantitative und dann eher qualitative Ansätze behandelt werden.

Quantitative, mikroökonomische Studien, die die Wirkungen alternativer Politikinstrumente auf umwelttechnologische Innovationen analysieren (induzierte Innovationshypothese), sind bislang noch recht dünn gesät; die meisten vorhandenen Untersuchungen beziehen sich hier noch auf energieeffiziente Technologien (vgl. ausführlich Jaffe et al., 2002, S. 55). Ein grundlegendes Problem besteht darin, dass sich die Anstoßwirkung über Unternehmen und/oder Industriebereiche hinweg nur schwer messen lässt. So müsste idealerweise das Verhältnis zwischen einer Innovation und dem impliziten Preis (Schattenpreis) der Umweltverschmutzung oder den verwendeten „Umwelinputs“ betrachtet werden. Da diese jedoch nicht leicht ermittelbar sind, müssen Approximationen verwendet werden, wie die getätigten Umweltschutzausgaben der Unternehmen und die Preise der umweltintensiven Inputs. Auch die Charakteristika der jeweils relevanten Umweltregulierung und insbesondere ihre Striktheit (*stringency*) müssen approximiert werden, wobei z.B. Expertenurteile, Unternehmensbefragungen, Ausgaben für Vollzug und Überwachung oder Performance-Indikatoren verwendet werden können (vgl. auch

Jeppesen et al., 2002). Folgende Untersuchungen erscheinen an dieser Stelle dennoch erwähnenswert:⁹⁸

- Lanjouw und Mody (1996) weisen einen starken Zusammenhang zwischen unternehmerischen Umweltschutzausgaben und der Zahl der Patentanmeldungen in verwandten Technologiebereichen nach, wobei Patente als Innovationsindikator verwendet werden. Die Analyse wird dabei – was bislang eher die Ausnahme ist – im Ländervergleich vorgenommen. Jaffe und Palmer (1996) können die Wirkung auf Patentanmeldungen in einer ähnlichen Untersuchung zwar nicht nachweisen (möglicherweise wegen Mess- und Zuordnungsproblemen), dafür aber einen Effekt auf das Niveau der FuE-Ausgaben. Patentdaten erscheinen vorteilhaft, da sie ein detailliertes Bild einzelner Erfindungen wiedergeben und Daten über mehrere Länder hinweg verfügbar sind. Da Patentschutz für mehrere Länder angemeldet werden muss, kann prinzipiell auch die Diffusion von Innovationen beobachtet werden. Allerdings verbergen sich hinter verschiedenen Patentdaten oft erhebliche Unterschiede bzgl. der Qualität und dem Wert der patentierten Technologie. Ebenso ist zu fragen (gerade im Zusammenhang mit BVT), inwieweit überhaupt Patente angemeldet werden und von wem (auch innerhalb der Wertschöpfungskette) die Erfindungen ausgehen (vgl. auch Popp, 2004, S. 11ff.).
- Newell et al. (1999) untersuchen die Wirkungen von Energieeffizienzstandards (und veränderten Energiepreisen) auf das Angebot an verfügbaren Haushaltsgeräten über einen Zeitraum von 35 Jahren. Produktcharakteristika (inkl. Kostenkomponenten) werden dabei in Form eines Vektors abgebildet und die Maßnahmenwirkungen werden ökonometrisch geschätzt und dynamisch simuliert. Die Effizienzstandards (im Zusammenspiel mit Umweltlabels) bewirken in erster Linie, dass energieineffiziente Geräte aus dem Markt ausscheiden, während die Markteinführung neuer Geräte wesentlich auf höhere Energiepreise und „autonome“ (im Modell nicht erklärte) technologische Veränderungen zurückzuführen ist.

Geht man davon aus, dass im Zusammenhang mit der IVU-Richtlinie das Innovationsgeschehen wesentlich von staatlicher Seite mitbestimmt wird, sind insbesondere Studien von Interesse, die untersuchen, wie Innovationen im Markt aufgenommen werden (adaptation), dort diffundieren (diffusion) und entsprechend ökonomische Auswirkungen zeitigen:

⁹⁸ Für einen umfangreicheren Überblick und viele weitere Ergebnisse, vor allem im Bereich von Energieeffizienztechnologien vgl. Jaffe et al. (2002) und Sijm (2004). Hier wird lediglich eine Auswahl angeboten, die eine inhaltliche bzw. methodische Nähe zum Thema dieser Studie hat.

- Kerr und Newell (2003) untersuchen die Wirkungen staatlicher Maßnahmen zum Abschmelzen des Bleigehalts von Benzin auf die Technologiediffusion in der Mineralölindustrie zwischen 1971 und 1995. Sie verwenden ein sog. *duration model*, um die Entscheidung zur Übernahme einer neuen Technologie (hier der sog. Isomerisierung) durch die Unternehmen zu modellieren. Mit den Daten und der Modellspezifikation kann dabei insbesondere auch die bedingte Wahrscheinlichkeit berechnet werden, mit der ein Ereignis (hier: die Übernahme einer neuen Technologie) in Abhängigkeit von dem bisherigen Prozessverlauf eintritt. Einbezogen werden dabei verschiedene erklärende Variablen, die über die Zeit variabel sind (u.a. Kosten der Technologie, Industriecharakteristika, Variablen für Striktheit und Form der Regulierung). Im Ergebnis wirkt sich die (aus verschiedenen Komponenten zusammengesetzte) Variable für Striktheit positiv auf die Entscheidung zur Technologiesubstitution aus. Bei einem System handelbarer Zertifikate ist im Vergleich zu individuell bindender *performance*-Standards die Technologiesubstitution jedoch mit deutlichen Effizienzgewinnen verbunden, weil die Adoptionswahrscheinlichkeit von Raffinerien mit günstigeren Kostenstrukturen höher ausfällt (im Vergleich zu Raffinerien mit hohen Vermeidungskosten).
- Ähnlich angelegt ist die Studie von Snyder, Miller und Stavins (2002), die die Wirkung verschiedener (vor allem ordnungsrechtlicher) Regulierungen auf die Diffusion der Membrantechnologie in der Chlorchemie untersuchen (gegenüber der ökologisch problematischeren Diaphragma- oder Quecksilberzellentechnologie). Es wird ein vergleichbares, mikroökonomisch fundiertes *hazard*-Modell verwendet, das das "timing" bzgl. der Technologiewahl abbildet und zeigt, welche Vorteile (*returns to adoption*) die Unternehmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten daraus ziehen. Interessant erscheint u.a., dass eine erklärende Variable (neben Variablen für die Größe des Unternehmens, die ökonomischen Bedingungen und die verschiedenen Regulierungsregime) eingebaut wird, die angibt, wie stark die Chlorproduktion in andere Produktionsprozesse am selben Standort (z.B. die Papierproduktion) eingebunden ist. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Umweltregulierungen einen Einfluss auf die Diffusion haben. Dabei kommt es allerdings nicht bei bestehenden Einrichtungen zur Übernahme der Technologie; vielmehr wird die *downstream* bzw. nachgelagerte Nachfrage nach Chlor gedämpft, so dass die Schließung von Einrichtungen mit alten Technologien angeregt wird und gleichzeitig der Marktanteil neuer Technologie zunimmt. Ein systematischer Einfluss besteht somit auf den Marktaustritt (*exit*) und die Adoption bei neuen Marktteilnehmern, nicht jedoch auf die Adoption bei bestehenden Einrichtungen (im Rahmen einer Konversion (*retrofitting*) oder einer Kapazitätserweiterung).

- Die Studie von Popp (2004) ähnelt der Patentstudie von Lanjouw und Mody (1996), ist aber differenzierter. Mit Hilfe von Patentdaten für die USA, Japan und Deutschland wird über drei Länder hinweg die Innovation und Diffusion von Anlagen zur Verminderung der Luftverschmutzung (*air pollution control equipment*) in Abhängigkeit von über die Zeit hinweg unterschiedlich strikten SO₂- und NO_x-Standards untersucht (vor allem bei der Elektrizitätserzeugung).⁹⁹ Auf diese Weise können drei interessante Fragen betrachtet werden: Inwieweit induziert die Umweltpolitik Umweltinnovationen? Welchen Einfluss haben nationale Regulierungen auf das Innovationsverhalten heimischer als auch ausländischer Unternehmen? Welche Rolle haben internationale Wissens-spillovers (*knowledge spill-over*) und inwiefern werden inländische Unternehmen durch Patentierungsaktivitäten ausländischer Unternehmen zu Innovationen angeregt? Popp stellt damit (mit der zweiten Frage) explizit auch auf das in der Porter Hypothese aufgeworfene Verhältnis zwischen technologisch führenden Ländern (*leader countries*) und Nachzüglern (*follower countries*) ab, wobei er danach unterscheidet, ob Technologien direkt übernommen werden können oder erst über nationale FuE- und Patentaktivitäten an die heimischen Bedingungen angepasst werden müssen. Popp zeigt, dass heimische Unternehmen auf Regulierungsimpulse innovativ reagieren. Der Technologietransfer in andere Länder scheint (im Hinblick auf die untersuchten Technologien) dagegen indirekt zu verlaufen: So spielen bei den Nachzüglern weiterhin der heimische Markt und die (verspäteten) heimischen Innovationsaktivitäten eine dominante Rolle; allerdings werden hierbei – wie Patentzitationen zeigen – technologische Entwicklungen in anderen Ländern aufgenommen.
- Die neueste Studie, die den Zusammenhang zwischen Innovationen und der Striktheit der Umweltregulierung über Patentdaten untersucht, stammt schließlich von de Vries und Withagen (2005). Sie bezieht sich nur auf Technologien zur Reduktion von SO₂-Emissionen, umfasst dagegen 14 Länder. Im Gegensatz zu Popp (2004) werden Patentdaten zum einen mit einem gründlicheren Verfahren ermittelt; zum anderen wird nicht bloß eine Zeitreihenanalyse durchgeführt, sondern über ökonometrische Schätzungen verschiedene Modelle und Modellspezifikationen getestet, die auf unterschiedliche Weise die Striktheit der Umweltregulierung approximieren. Sie kommen zu dem Schluss, dass im theoretisch überzeugendsten Modell die schwache Version der Porter-Hypothese bestätigt wird, Regulierung also Innovationen stimuliert, die die Anpassungskosten der Umweltregulierung vermindern.¹⁰⁰

⁹⁹ Es wird also nicht bloß über die Höhe der Umweltausgaben ein grobes proxy verwendet; vielmehr werden die Abweichungen in den Regulierungen sorgfältig identifiziert und abgebildet.

¹⁰⁰ Die Autoren stellen weitere Forschungen für andere Emissionen wie CO₂, NO_x und VOC in Aussicht.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen, dass umweltpolitische Regulierungen über FuE-Aktivitäten zu Innovations- und Diffusionsprozessen bei Umweltechnologien beitragen können, allerdings auch eine Vielzahl anderer Faktoren zu bedenken sind. Neben den Innovationsauswirkungen gibt es auch eine Vielzahl von mikroökonomischen Studien, die den Einfluss von Umweltregulierungen auf die ökonomische Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen untersucht haben. Erklärt werden soll hierbei die Wirkung auf die Produktivität bzw. das Produktivitätswachstum von Unternehmen, die Verbindung zwischen strikter Umweltregulierung und Veränderungen im Handel mit umweltintensiven Gütern oder der Einfluss auf Direktinvestitionsströme bzw. unternehmerische Standortentscheidungen.¹⁰¹ Allerdings gibt es bislang keine mikroökonomische Untersuchungen i.e.S., die gleichzeitig den Einfluss von Umweltregulierungen auf die ökonomische Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und das Innovationsverhalten abbilden, was für eine integrierte Sichtweise hilfreich wäre.¹⁰²

Der Vorteil der mikroökonomischen Methoden liegt insgesamt sicherlich darin, dass die verschiedenen Determinanten relativ genau und in Relation zum Verhalten einzelner Unternehmen und Sektoren isoliert, quantifiziert und zugerechnet werden können.¹⁰³ Schließlich werden Innovationen und deren Verbreitung nicht allein durch staatliches Handeln beeinflusst. Eher ist von einer „Ko-evolution“ von Innovationen, ökonomischer Performanz der Unternehmen und des Sektors, Politikvariablen und Umweltbe- bzw. -entlastung auszugehen; folglich muss ein breites Set an potenziell erklärenden Variablen verwendet werden, wenn die Entstehung und Verbreitung von Innovationen ökonomisch überzeugend modelliert werden soll (vorbildlich jüngst Mozzanti und Zoboli, 2005).

¹⁰¹ Diese Studien nehmen einen zentralen Stellenwert in der Literatur ein. Die zugrunde liegenden Fragestellungen sind jedoch für diese Untersuchung nur z.T. von Interesse, weil entweder keine Aussage zur Rolle von Umwelttechnik gemacht wird (vor allem bei den Studien mit aggregierten Handelsdaten) und/oder nur Aussagen bzgl. Produktivität für einen eng definierten Sektor von Unternehmen gemacht werden und dabei ein eingeschränkter Produktivitätsbegriff zugrundegelegt wird. Etwas weiterreichender sind allerdings Studien, die auf die Beschäftigungswirkungen abzielen. Interessant erscheint auch der Ansatz von Gray und Shadbegian (2003): Der Zusammenhang zwischen Produktivität und Striktheit der Umweltregulierung (über die Umweltausgaben als Proxy) wird hier nach Anlagenjahrgang (vintage) und Technologie für die Papier- und Pappeindustrie differenziert. Einen Überblick zu diesem Spektrum an Studien bietet z.B. Roediger-Schluga (2004) oder bzgl. älterer Studien Jenkins (1998). Sie kommen zu dem Schluss, dass deren Ergebnisse uneinheitlich sind, und es weder eindeutige „Beweise“ für oder gegen die Porter-Hypothese gibt. Porter und Linde (1995) selbst äußern sich skeptisch zu diesen Studien.

¹⁰² Vgl. dazu jedoch den Absatz weiter unten zu Roediger-Schluga (2003).

¹⁰³ Dabei spielt natürlich auch die Qualität des Datensatzes eine Rolle (vgl. Kapitel E).

Im Gegensatz zu qualitativ orientierten Fallstudien können mit diesem Ansatz über theoretisch fundierte Hypothesen insbesondere kausale Beziehungen und Mechanismen bestimmt werden (über kontrafaktische Analyse) und nicht beobachtbare Einflüsse methodisch kontrolliert werden. Aus der Vogelperspektive betrachtet werden mit bisherigen mikroökonomischen Ansätzen allerdings vorwiegend direkte Wirkungen staatlicher Interventionen auf die davon betroffenen Unternehmen erfasst, während die vielen indirekten Wirkungen nur teilweise berücksichtigt werden (z.B. Wissens-spillovers bei Popp (2004) und einige intersektorale Effekte bei Snyder, Miller und Stavins (2002))¹⁰⁴. Die weitergehende Frage, ob Umweltregulierungen die Gesamtheit der Innovationsaktivitäten einer Wirtschaft positiv oder negativ beeinflussen wird damit auch nicht erfasst (Roediger-Schluga, 2004, S. 29). Einige der in Kapitel B 3. angesprochenen Wirkungsdimensionen (z.B. die indirekten Opportunitätskosten) werden ebenfalls nicht thematisiert. Ebenso liegt der Schwerpunkt mikroökonomischer Ansätze in der Erklärung von Wirkungen und nicht in der Prognose (vgl. die Unterscheidung in Kapitel C 2. bzgl. Prognose- und Wirkungsmodellen). Diese Schwerpunktsetzung erscheint dabei nicht zuletzt deshalb zweckmäßig, weil Innovationswirkungen in all ihren Dimensionen sich nicht monokausal auf einzelne Politikimpulse zurückführen lassen und grobe Zurechnungen (wie tendenziell bei der IO-Analyse) insofern nicht unproblematisch sind. Im Vergleich zu Mikrosimulationsmodellen lässt sich schließlich noch feststellen, dass typischerweise von neoklassisch-mikroökonomischen Verhaltenshypothesen ausgegangen wird, so dass sich einige „Anomalien“ (z.B. auch die starke Version der Porter Hypothese) nur schwer modellieren lassen.

Inhaltlich wird deutlich, dass bei ordnungsrechtlichen Instrumenten die Striktheit und das Design eine wesentliche Rolle spielt. Im direkten Instrumentenvergleich mit marktorientierten Instrumenten werden allerdings immer wieder Effizienzmängel beklagt und empirisch im Rahmen der gewählten Forschungsmethode belegt (vgl. Jaffe et al., 2002 mit einem Überblick zu diesen Studien). Die Effizienzmängel kommen darin zum Ausdruck, dass bei aggregierter Betrachtungsweise höhere Kosteneinsparungen bei marktorientierten gegenüber standardorientierten Instrumenten möglich gewesen wären, wo-

¹⁰⁴ Diese Schwäche konventioneller mikroökonomischer Verfahren könnte allerdings durch moderne raumökonomische Methoden abgemildert werden, die in der Lage sind, räumliche und sektorale Interdependenzen zu untersuchen. Als raumökonomische Verfahren können generell solche zur Untersuchung von Abhängigkeiten im Datenquerschnitt betrachtet werden (z.B. Zusammenhänge über Input-Output-Verflechtungen oder räumliche Prozesse i.e.S.). In diesem Kontext wäre dann auch eine integrierte Betrachtung von den Determinanten von Innovationen und ihren Wirkungen auf unternehmerische Variablen wie Firmenproduktivität denkbar. Bislang wurden diese neuen Methoden noch nicht auf umweltpolitische Fragestellungen angewendet.

bei die Quelle dieser Kosteneinsparungen häufig in den vorteilhafteren Anreizwirkungen marktorientierter Instrumente gesehen wird.

Selbst mikroökonomische Untersuchungen sind wegen Datenmangels bzw. mangelnder Datenqualität nicht immer möglich (vgl. Kapitel E). Außerdem gelten auch diese rein quantitativen Ansätzen aus der Perspektive der (im Hinblick auf die ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie bislang dominanten) Fallstudienforschung in mancherlei Hinsicht als zu einseitig. Fallstudien lassen sich allgemein dadurch beschreiben, dass sie ein reales Phänomen auf gründliche Art und Weise untersuchen und dabei eine Vielfalt von Perspektiven zulassen. Diese vielfältigen Perspektiven können daher rühren, dass multiple Methoden bei der Datensammlung verwendet werden können, insbesondere also qualitative und quantitative Daten kombiniert werden, sie können aber auch daraus resultieren, dass den Sichtweisen und Interessen verschiedener Akteure Rechnung getragen wird. Fallstudien haben damit einen vergleichsweise holistischen Charakter. Analytisch sind sie weniger auf eine einzige exakt definierte Fragestellung ausgerichtet, sie haben überhaupt oft einen eher deskriptiven und explorativen Charakter. Inhaltlich spielen zudem der (historische) Kontext und die Umfeldbedingungen des zu analysierenden oder beschreibenden Phänomens eine zentrale Rolle (vgl. auch European Commission, 2003). Vor diesem Hintergrund können wichtige Aspekte oder Details für die Ermittlung der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie bei einem rein quantitativ und modellgestützten Vorgehen leicht vernachlässigt werden:

- Einige Faktoren, die die Auswirkungen von BVT und Neuen Techniken (mit)bestimmen, können nicht (allein) quantitativ erfasst werden (z.B. das Umweltbewusstsein und die strategische Positionierung des Unternehmensmanagements gegenüber dem Umweltschutz). Fallstudien können diese intangiblen Faktoren beleuchten.
- Einige dieser Faktoren lassen sich nicht, nur mit erheblichen Schwierigkeiten oder nur ausschnittshaft modellmäßig darstellen bzw. spezifizieren. Insbesondere können sie nicht bzw. kaum durch bestimmte Verfahren und Rechenvorgänge operationalisiert, formalisiert sowie konsistent, vergleichbar und reproduzierbar gemacht werden. So ist z.B. bei der Modellierung von Umweltinnovationen geltend gemacht worden, dass zu aggregierte und unvollständige Daten die Komplexität des Innovationsprozesses verschleiern (Taylor, Rubin und Hounshell, 2005, S. 351 im Hinblick auf die alleinige Verwendung von Patentdaten). Auch in einer kürzlich entstandenen Dissertation, die potenzielle Innovationswirkungen der IVU-Richtlinie zu ermitteln versucht, wird geltend gemacht, dass über einen Fallstudienansatz (mit Hilfe semi-

strukturiertes Interviews und semi-strukturiertes Fragebögen) die Vielfalt und Komplexität des Forschungsobjektes aufrechterhalten und ein besseres Verständnis für die Beweggründe der Akteure (im Gegensatz zu „bloß“ aggregierten „*outcomes*“) erzielt werden kann (Ganzleben, 2002).

- Quantitative Modellanalysen lassen Schlussfolgerungen innerhalb eines mehr oder weniger engen Modellrahmens zu. Fallstudien lassen demgegenüber schon bei der Datenanalyse mehr Interpretationsspielräume zu (Fahrenkrog et al., 2002, S. 174). Dies kann vorteilhaft sein, wenn z.B. die Ausgangsdaten schon sehr umstritten sind und eine quantitative Transformation dieser Daten nur für zusätzliche Intransparenz sorgt. Wenn die Datenbasis hinreichend und der gewählte Modellrahmen zweckmäßig und allgemein akzeptiert ist, können quantitative Modelle also durchaus Vorteile im Hinblick auf Präzision, Konsistenz, Vergleichbarkeit und Objektivität der Ergebnisse haben. Fallstudien haben demgegenüber Vorteile, wenn es gilt, im konkreten Fall abzuwägen und z.B. in „ausgewogener“ Art und Weise die fördernden und hemmenden Faktoren von BVT auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen darzustellen.
- Modelle untersuchen systematische Zusammenhänge, verlieren dabei aber typischerweise den Einzelfall aus den Augen. Fallstudien ermöglichen es demgegenüber, aus erfolgreichen und weniger erfolgreichen Beispielen der BVT-Implementation zu lernen und dabei die Rolle eines breiten Kreises an Determinanten zu diskutieren. Möglicherweise können dann weiterreichende Analogieschlüsse gezogen werden (vgl. z.B. Beise et al., 2002). Ebenso kann mit Fallstudien auf unerwartete Ereignisse hingewiesen werden (z.B. Roediger-Schluga, 2004).
- Die technikbezogene Fragestellung dieser Untersuchung erfordert es, ein hohes Maß an Heterogenität auf der Unternehmensebene abzubilden und technische in ökonomische Größe zu übersetzen. Ökonomische Modelle, die zugleich Aussagen auf aggregierterer Ebene treffen sollen, können Heterogenität auf dieser Ebene gar nicht, nur teilweise oder (noch) unvollständig abbilden und ein verzerrtes Bild technischer Prozesse vermitteln. Deskriptive Fallstudien können hier ein größeres Maß an Informationen auf der Mikroebene verarbeiten. Durch ihre größere Flexibilität können sie auch die spezifischen Eigenschaften einer bestimmten Technologie umfassender darstellen. Auch das Wechselspiel zwischen den Entwicklern und Anwendern neuer Technologien (z.B. in Innovationsnetzwerken) bzw. allgemein die durch Technik ausgelösten veränderten Interaktionsbeziehungen können detailliert untersucht werden (z.B. Dupuy, 1997 bzgl. BVT in Kanada).
- Im Rahmen der IVU-Richtlinie spielt der Implementationsprozess in den Mitgliedsstaaten letztlich auch im Hinblick auf deren ökonomische Wirkungen eine zentrale

Rolle (vgl. Kapitel B 5.). Auf unterschiedlichen Ebenen (national, regional, lokal) werden dabei unscharfe Begrifflichkeiten (z.B. die Definition von BVT) konkretisiert und spezifische Anforderungen ausgehandelt und festgelegt. Da hierbei spezifische Akteurskonstellationen und national (regional) geprägte Regulierungsmuster von Bedeutung sind, eignen sich deskriptive Fallstudien besonders gut.

Die Aufstellung dieser von Befürwortern des Fallstudienansatzes aufgeführten Defizite von Modellstudien bietet somit natürlich auch einige Erklärungen dafür, warum Fallstudien bislang im Zusammenhang mit der IVU-Richtlinie dominiert haben. Wie stark diese Defizite zum Tragen kommen, lässt sich allerdings nicht allgemeingültig beantworten. Vor dem Hintergrund der Methodendiskussion in den vorangegangenen Abschnitten lässt sich schließlich auch zeigen, dass die aufgeführten Defizite bei einigen Methoden abgemildert werden können. So lässt sich z.B. anführen, dass die evolutorischen Simulationsmodelle nicht wie sonst oft üblich von gewinnmaximierendem Unternehmerverhalten ausgehen, sondern auch von Routinen und Daumenregeln gesteuertes Verhalten abbilden können. Ebenso können durch Linkage-Ansätze bzw. Modellkoppelungen Variablen und Parameter auf relativ spezifische Art und Weise angepasst werden, um Heterogenität auf der Mikroebene abzubilden (vgl. Kapitel D 2). Der Modellrahmen wird folglich flexibler.

Insgesamt schließen sich für die Realisation einer Mikro-Makro-Brücke die verschiedenen Methoden damit nicht aus. Vielmehr sind sie an verschiedenen Stellen komplementär zueinander. Eine wichtige Funktion von Fallstudien kann dann insbesondere darin bestehen, die Konsistenz und Plausibilität ökonomischer Berechnungen zu überprüfen und quantitativ ausgerichtete Studien auf „wirklich relevante“ Faktoren zu fokussieren (Fahrenkrog et al., 2002, S. 115).

Zu betonen ist schließlich auch, dass die Grenze zwischen Fallstudien und quantitativ ausgerichteten Methoden fließend ist. So ist etwa die bisherige Studie von Hitchens et al. (2002) im Grenzbereich zwischen Fallstudienansatz und mikroökonomischem Ansatz anzusiedeln. Im Rahmen der dort vorgenommenen sog. *matched-plant*-Analyse werden BVT-Betriebe und Nicht-BVT-Betriebe miteinander verglichen, und es wird versucht die jeweils wirksamen Einflussfaktoren auf die betriebliche Wettbewerbsfähigkeit zu bestimmen. Mit Hilfe mikroökonomischer Verfahren könnten dabei erzielte (Teil-)Ergebnisse allerdings noch auf ihre Robustheit überprüft werden (vor allem, indem der Einfluss einzelner Determinanten isoliert und quantifiziert wird).

Von Interesse ist hier auch die Untersuchung von Roediger-Schluga (2002), die (erstmal?) in einem einzigen Untersuchungsrahmen den Einfluss von Umweltregulierungen – in diesem Fall der VOC-Richtlinie – auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und das unternehmerische Innovationsverhalten gleichzeitig behandelt. Im Vergleich zu den hier (noch) nicht befriedigenden mikroökonomischen Ansätzen wird auch ein anderes Vorgehen gewählt: Während letztere ein Proxy für die Striktheit von Umweltregulierungen verwenden und es auf angemessene Proxies für Wettbewerbsfähigkeit oder Innovationen regressieren, geht Roediger-Schluga (2002) von einem Set an Umweltregulierungen aus, die „bekanntermaßen“ einen erheblichen Einfluss auf die von der Regulierung betroffene Industrie haben, und sucht daraufhin nach Evidenz für das Eintreffen der Porter Hypothese. Vorteilhaft ist bei diesem Ansatz nicht zuletzt, dass auf relativ genaue Unternehmensdaten sowie hoch disaggregierte Außenhandelsdaten für eine Teilpopulation (hier den Sektor Farben, Lacke, Klebstoffe) zurückgegriffen werden kann, was nicht zuletzt undifferenzierten Aussagen (bei Variabilität innerhalb des untersuchten Sektors) entgegenwirkt; andererseits wird allerdings die deskriptive Ebene nicht wirklich verlassen.¹⁰⁵

Eine Art erweiterten Fallstudienansatz bieten auch die Arbeiten von Beise et al. (2002, S. 31ff.) und Jacob et al. (2005, S. 229ff.), um die Entstehung von Lead-Märkten zu erklären (vgl. Kapitel B 4.). So werden für ein möglichst breites Set an einzelnen Produkten und Technologien auf der Basis eines konzeptionellen Rasters (Lead-Markt-Modell) Faktoren analysiert, die für oder gegen Lead-Markt Eigenschaften eines Landes sprechen. Jacob et al. (2005, S. 7) behandeln dabei sowohl solche Fälle, die in der Literatur gut dokumentiert sind (ex-post Orientierung), als auch neue Technologien (*emerging technologies*) (ex-ante Orientierung).¹⁰⁶ Eine Verallgemeinerung der Fallstudienresultate wird jedoch in einer vergleichenden quantitativen Analyse angestrebt, indem gefragt wird, wie oft einzelne Lead-Markt Faktoren jeweils als besonders relevant angesehen wurden. Auf diesem Weg werden „allgemeine“ und spezifische Ergebnisse mit-

¹⁰⁵ Auch die Ergebnisse erscheinen interessant. Die VOC-Standards scheinen den Importwettbewerb gemildert zu haben. Die Standards haben ebenso das Produktsortiment vergrößert und offensichtlich auch die Rate der Produktinnovationen erhöht. Die FuE-Ausgaben, die der Entwicklung standardgerechter Produkte dienen, sind demgegenüber sehr uneinheitlich verteilt. Es bestehen auch Hinweise dahingehend, dass alternative FuE-Aktivitäten verschoben werden mussten. Allerdings gibt es Anzeichen dafür, dass die regulierungsinduzierte Suche nach neuen Produkten zum (unerwarteten) Aufbau neuer technologischer Kompetenzen beigetragen hat. Vor allem die technologisch rückständigen und kleinen Unternehmen scheinen hier „Boden gut gemacht zu haben“.

¹⁰⁶ Der Ansatz von Beise et al. (2002), der nicht speziell auf Umweltinnovationen abstellt, ist hier breiter (vgl. dort insbesondere Kapitel 4 und 6). Es werden in einer auf Unternehmensdaten basierenden Querschnittsbetrachtung für möglichst viele Produktbereiche bzw. Technologiefelder Lead-Markt Faktoren identifiziert (sog. screening-Ansatz).

einander verkoppelt, was deren empirische Plausibilität erhöht und die Formulierung relativ gut fundierter Hypothesen erlaubt (vgl. S. 229ff.). Nach Fahrenkrog et al. (2002, S. 173) sind derartige vergleichende Fallstudien, die Analogien zwischen jeweils ermittelten Einflussfaktoren bzw. Attributen herstellen, zunehmend beliebter geworden. Mit einem sorgfältigen Sampling-Verfahren können auch vorsichtige Extrapolationen vorgenommen werden (so European Commission, 2003).

E. Zum Umgang mit Daten- und Informationsproblemen

1. Vorbemerkung

Die Verfügbarkeit über „gute“ Daten ist von zentraler Bedeutung für die Modellierung sozio-ökonomischer Zusammenhänge. Modelle sind damit – gerade wenn sie realistisch sein sollen – zu einem großen Teil so gut wie die zugrunde liegenden Daten. In fast allen der in den bisherigen Kapiteln aufgeführten Modellanwendungen wird jedoch beklagt, dass es mehr oder minder an Daten mangelt oder deren Qualität zu wünschen übrig lässt. Auch für diese Untersuchung ergeben sich offensichtlich hohe Anforderungen an die Datenbasis. So gilt es ja (wie mehrfach betont) Heterogenität auf der Mikroebene über Mikrodaten abzubilden, gleichzeitig aber möglichst Aussagen auf höherer Aggregationsebene zu treffen. Außerdem ist die Fragestellung (BVT, IVU-Richtlinie) in gewissen Maße neu und wird nicht regelmäßig (z.B. in der empirischen Innovationsforschung) untersucht.

Wenn in diesem Abschnitt über den Umgang mit Daten zu sprechen ist, sind damit vielfältige Problembereiche verbunden, denen sich die empirische Wirtschaftsforschung stellen muss (vgl. Richter, 2002). Elementar ist sicherlich die Frage der Datenverfügbarkeit, da Daten wesentlich unsere Vorstellung davon prägen, was in der Wirtschaft vor sich geht. Mindestens ebenso bedeutsam ist die Qualität der Daten. Zum einen geht es hier um das Kriterium der numerischen Genauigkeit und das Wissen um die Bedeutung von Beobachtungs- und Messfehlern. Zum anderen ist die grundsätzliche Eignung der Daten für den Zweck zu untersuchen, für den sie eingesetzt werden. Vor allem im Hinblick auf letzteres werden daher auch üblicherweise eine Reihe von Kriterien formuliert. Sie umfassen neben der grundsätzlicheren Frage nach der Adäquation auf der Ebene der Konzepte (vgl. ebenda, 2002, S. 8ff.)

- die Repräsentativität der Daten, um das Verhältnis zwischen den beobachteten Phänomenen zur Gesamtpopulation der Phänomene zu bestimmen;
- die Homogenität und damit (räumliche, zeitliche, sektorale) Vergleichbarkeit der Daten, um interessierende Phänomene isolieren und das ökonomische Analyseinstrumentarium anwenden zu können;
- die Objektivität und Robustheit der Daten (gegenüber Überprüfungen durch Dritte);
- die Eindeutigkeit, Genauigkeit und Nachvollziehbarkeit der Daten (als Voraussetzung für deren Transformation);

- die Kohärenz der Daten, um diese in eine wechselseitige Beziehung setzen und in einen konsistenten Rechenrahmen einbetten zu können;
- die Aktualität der Daten.

Allerdings stehen die Kriterien oft in einem Spannungsverhältnis zueinander und können nicht gleichzeitig erfüllt werden (z.B. Genauigkeit und Repräsentativität). Im Einzelfall müssen daher Kompromisse eingegangen werden, die möglichst transparent zu machen sind. Ebenso sind oft verschiedene Erhebungen und Verfahren der Datenverarbeitung (sowie konkurrierende Analysemethoden) sinnvoll, um sich der zugrundeliegenden Fragestellung einer Untersuchung zu nähern und möglichen Einseitigkeiten vorzubeugen.

Nachfolgend wird nun ein Überblick darüber gegeben, welche Datenquellen vorhanden sind sowie beispielhaft erläutert, wie im Rahmen von Studien die Datenbasis gewonnen und Datenprobleme „bewältigt“ worden sind. Schließlich wird beispielhaft auf Umsetzungsoptionen in ausgewählten IVU-Sektoren eingegangen.

2. Umsetzung bei Vorhandensein guter primärer und sekundärer Daten

Wesentliche Daten für die empirische Umsetzung von ökonomischen Modellen bietet die amtliche Statistik. Dies betrifft bestimmte Basisvariablen wie z.B. die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts, der Preise und Löhne oder der Export-Import Relationen, aber auch stärker disaggregierte Größen etwa im Hinblick auf die Entwicklung von Umsätzen oder der Kostenstrukturen einzelner Wirtschaftsbereiche. Diese Daten sind für unsere Zwecke zwar wichtig – als Inputs oder Kontrollgrößen – aber keineswegs hinreichend.

So stellt sich zunächst das grundsätzliche Problem, dass im Gegensatz zu amtlichen Haushaltsbefragungen (z.B. dem Mikrozensus) Mikrodaten auf Unternehmensebene aus Vertraulichkeitsgesichtspunkten lange Zeit nicht verfügbar waren, aggregierte Daten demgegenüber offensichtlich für unsere Zwecke von geringerem Aussagewert sind. Erfreulich ist allerdings, dass sich diese Situation in den letzten Jahren durch die Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen statistischen Ämtern und Forschung und die Impulse der Kommission zur Verbesserung der informationellen Infrastruktur zumindest in Teilbereichen deutlich verbessert hat (Zühlke et al., 2005). So ist es seit dem Frühjahr 2005 möglich für Forschungszwecke sog. faktisch anonymisierte Mikrodaten zu drei Fachstatistiken zu erlangen, neben der Einzelhandels- und der Umsatzsteuersta-

tistik auch die für unsere Zwecke wohl besonders relevante Kostenstrukturstatistik für das produzierende Gewerbe, die eine direkte Verbindung zur Buchhaltung einzelner Unternehmen gewährleistet.¹⁰⁷ Weitere Fortschritte sind hier in der nächsten Zeit zu erwarten, z.B. über sog. kontrollierte Ferndatenverarbeitung¹⁰⁸, aber auch im Hinblick auf die Analyse von anonymisierten Paneldaten. Zu letzterem gibt es z.B. bereits interessante Pilotanwendungen zur Mikrostruktur der Investitionsdynamik in der Industrie zwischen 1995 und 2002 anhand von Betriebspaneldaten für Niedersachsen (Wagner, 2005).¹⁰⁹

Ein weiteres, damit verbundenes Problem ist zudem, dass die Wirtschaftsstatistik einen ausgesprochenen *multi-purpose*-Charakter hat (vgl. Richter, 1995). Sie muss bei knappen öffentlichen Ressourcen, begrenzter Belastbarkeit der Auskunftgebenden und unter bestimmten institutionellen und rechtlichen Rahmenbedingungen möglichst mehreren analytischen Zielen gerecht werden und damit verschiedene methodische Kompromisse schließen. Aus dem Blickwinkel einer spezifischen Fragestellung folgt damit jedoch, dass der amtlichen Statistik oft suboptimale statistische Einheiten, inadäquate Klassifikationssysteme und wenig zweckmäßig Begrifflichkeiten zugrunde liegen. Allgemein lässt sich dabei sicherlich sagen, dass die Beobachtung und Beschreibung technologischer Produktionsprozesse und damit verbundener Innovationsaktivitäten kein primäres Kriterium für die Wirtschaftsstatistik darstellt (vgl. dazu unten).¹¹⁰

Folglich ist es für unsere Fragestellung notwendig, primär andere Datenquellen jenseits der amtlichen Statistik heranzuziehen. Eine wesentliche Datenquelle bilden zunächst die

¹⁰⁷ Die jährliche Erhebung erfasst als geschichtete, hochrechnungsfähige Stichprobe max. 18.000 Unternehmen mit 20 Beschäftigten und mehr, wobei die Stichprobe i.d.R. alle vier Jahre neu auf der Basis des deutschen Unternehmensregisters gezogen wird und damit von einem rotierenden Längsschnittpanel gesprochen werden kann. Diese Rotation dient der Entlastung von KMU mit statistischen Aufgaben. Unternehmen mit mehr als 500 Beschäftigten sind jedoch vollständig einbezogen. Außerdem werden seit 2001 auch ca. 6.000 Unternehmen mit weniger als 20 Beschäftigten in einem vereinfachten Verfahren berücksichtigt. Die Statistik enthält einige interessante Variablen, vor allem bzgl. Output-, Bestands- und Kostengrößen (vgl. Fritsch et al., 2004).

¹⁰⁸ Über die neu eingerichteten Forschungsdatenzentren von Bund und Ländern können nicht anonymisierte Daten dabei nach bestimmten Vorgaben der Wissenschaft analysiert werden (vgl. Zühlke et al., 2005).

¹⁰⁹ Diese Studie ist übrigens auch inhaltlich interessant und bestätigt einige der konzeptionellen Überlegungen zur Bedeutung von Heterogenität auf der Unternehmensebene aus Kapitel B. So lassen sich unter 3.020 als wirtschaftsaktiv erfassten Betrieben 701 unterschiedliche Entwicklungspfade des Investitionsverhaltens im Zeitraum zwischen 1995 und 2002 beobachten.

¹¹⁰ Dies trifft im Prinzip auch auf die Umweltstatistik zu, auch wenn es dort einige Differenzierungen nach technologischen Kriterien gibt. Aber selbst die gängige Unterscheidung von Umweltschutzausgaben nach additivem und integriertem Umweltschutz ist für unsere Belange nicht ausreichend, da BVT sowohl additive als integrierte Techniken umfasst. Vgl. zu den neuesten Änderungen jüngst Grundmann und Becker (2004) und Eurostat (2005).

von einigen deutschen Forschungsinstituten initiierten Innovationserhebungen, die jeweils übliche Datenerhebungs-, aufbereitungs- und hochrechnungsverfahren einsetzen. Folgende drei Erhebungen haben sich hierbei etabliert (vgl. auch Tabelle 2):

- Der seit 1979 durchgeführte Innovationstest des ifo Instituts für Wirtschaftsforschung. Er besteht zum einen aus einer Sonderfrage „Innovation“ im ifo Konjunkturtest (KT), die der Identifikation von Innovatoren dient, und einer separaten Kernbefragung, die der Quantifizierung und Evaluierung gemeldeter Innovationen dient (z.B. nach Innovationsaufwendungen, -zielen, -hemmnissen und -impulsen). Beide Fragenkomplexe werden jeweils jährlich erhoben. Durch die Verknüpfung der Testdaten mit anderen (statistischen) (Befragungs-)Daten eröffnet sich durch die ifo Befragung ein breites Anwendungsspektrum (vgl. Penzkofer, 2004).
- Die seit 1993 jährlich durchgeführte Erhebung des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (Mannheimer Innovationspanel MIP). Hervorzuheben ist, dass das MIP 2002 das Lead-Markt Konzept bereits operationalisiert hat (vgl. Kapitel B 4.; Beise et al., 2002, S. 33ff.) und im Jahre 2003 u.a. der Einfluss von Regulierungen auf das Innovationsverhalten abgefragt wurde. Außerdem bildet die ZEW Erhebung den deutschen Teil der von Eurostat koordinierten und harmonisierten *Community Innovation Survey CIS* (Rammer et al., 2005).¹¹¹
- Die seit 1993 alle zwei Jahre durchgeführte Produktionsinnovationserhebung des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung. Im Gegensatz zu den beiden oben genannten „großen“ Innovationserhebungen konzentriert sich diese Erhebung auf einen kleineren Kernbereich des verarbeitenden Gewerbes und dabei vor allem auf Prozess- und weniger auf Produktinnovationen. Die Befragungen sind stark themenspezifisch ausgerichtet, wobei u.a. Themenfelder wie „Diffusion neuer Produktionstechniken“, „Der lange Weg zur Kreislaufwirtschaft“ oder „Stand, Entwicklung und Effekte von Produktionsverlagerungen“ bereits untersucht wurden (Lay, Shapira und Wengel, 1999, www.isi-fhg.de).

¹¹¹ Eine weitere interessante Untersuchung im Auftrag des BMBF („Zur technologischen Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltwirtschaft im internationalen Vergleich“) wird außerdem gerade bearbeitet. Vom ZEW sollen dabei im Rahmen des Gesamtprojekts anhand von vorhandenen Daten aus MIP und CIS u.a. der Verbreitungsgrad von Umweltinnovationen in der deutschen Wirtschaft und die Bedeutung von Umweltregulierungen auf die Einführung von Innovationen sowie damit verbundene ökonomische Effekte ermittelt werden. Um welche Regulierung es sich konkret handelt, lässt sich allerdings lediglich anhand einer offen gestellten Frage aus dem Jahre 2003 beantworten (vgl. www.zew.de).

Tabelle 2: Charakteristika deutscher Innovationserhebungen

	Ifo Innovationstest	Mannheimer Innovationspanel (ZEW)	ISI-Produktionsinnovationserhebung
Grundgesamtheit (Population)	Produzierendes Gewerbe und wesentliche Dienstleistungssektoren, funktional strukturiert nach rd. 300 Erzeugnisbereichen (also Teilen von Unternehmen)	Produzierendes Gewerbe und wesentliche Dienstleistungssektoren	Metall- und Elektroindustrie, seit 2001 auch chemische und kunststoffverarbeitende Industrie
Stichprobenziehung	Freiwillig von Unternehmen gebildete Informationsgemeinschaft, durch hohe Stabilität als Panel auswertbar, zudem geschichtet nach Größe, Branche, Region	Panelerhebung geschichtet nach Größe, Branche, Region aus Datenbank des Verbandes der Vereine Creditreform e.V.	Strukturiert und geschichtet aus ABC-Industriedatenbank, Datenbank des IWH Halle, ggf. weiteren Quellen
Bruttostichprobe	Keine Stichprobe i.e.S.	25.791 (2003);	13.259 (2003)
Rücklaufquote	Repräsentationsgrad nach erfassten Beschäftigten in % der Industriebeschäftigten: ca. 22% in der Sonderfrage des KT, ca. 12% in der Kernbefragung	Rd 20%; Erfassungsquote nach Non-Response Interviews: rd. 38%	Zwischen 11-18%

Quellen: Penzkofer (2004); Rammer et al. (2005); Lay et al. (1999), www.isi-fhg.de.

Diese Innovationserhebungen können somit grundsätzlich einen wichtigen Baustein für eine zukünftige Studie zur IVU-Richtlinie darstellen. Den Erhebungen des ifo und des ZEW liegt dabei ein breiterer Erhebungskreis zugrunde. Dies ermöglicht es grundsätzlich auch Innovationsverflechtungen zwischen Branchen und Sektoren zu approximieren (anhand von Indikatoren wie branchenspezifischen FuE- bzw. Innovationsaufwendungen und Informationen aus IO-Tabellen). Technologienehmer- und -geberstrukturen konnten bislang allerdings nur grob beschrieben werden (sog. Technologieverflechtungsmatrizen). Da Technik nur sehr unspezifisch und undifferenziert gemessen wird, wären für die Identifikation von konkreten Technikflüssen erhebliche zusätzliche Anstrengungen erforderlich (vgl. kritisch Gerstenberger, 1991, S. 99ff.).¹¹² In der Erhebung

¹¹² In der einleitend in Kapitel A 2. erwähnten META II-Studie wurden technikspezifische mit technikspezifischen Analysen verknüpft. Letztere hatten zum Ziel sektorale Unterschiede der Auswirkungen moderner Techniken (approximiert über FuE) auf die Beschäftigung, die Preise und den Außenhandel zu identifizieren (über das sog. FIND-Modell) und gesamtwirtschaftliche Innovationsszenarien zu entwickeln (über DIW-Langfristmodell) (vgl. Mayer-Krahmer, 1989).

des ISI ist der Berichtskreis wesentlich enger gefasst. Damit nehmen zwar Verflechtungsbeziehungen einen geringeren Stellenwert ein; demgegenüber kann die Befragung relativ flexibel auf eine bestimmte Fragestellung ausgerichtet werden. Umgangen wird damit eher das Problem, das bei der Integration von Zusatzfragen in breitere Erhebungen (wie hier speziell zur IVU-Richtlinie und BVT) immer auch zahlreiche Betriebe angeschrieben werden, die davon nicht tangiert sind oder mit der spezifischen Frage nichts anfangen können.

Während die oben aufgeführten Erhebungen gar nicht oder nur teilweise für umweltpolitische Fragestellungen eingesetzt worden sind (vgl. jedoch Fußnote 111), gibt es mittlerweile jedoch auch breit angelegte Unternehmensbefragungen, die gezielt auf umweltspezifische Fragestellungen ausgerichtet sind und sich gleichzeitig zu weiterreichenden statistischen und ökonometrischen Analysen eignen. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang eine Umfrage der OECD in sieben verschiedenen Mitgliedsländern (darunter auch Deutschland), die den Zusammenhang zwischen umweltpolitischen Maßnahmen und Management- und Innovationsaktivitäten auf Unternehmensebene (Stichwort: Umweltmanagementsysteme) untersucht (OECD, 2003; Rennings et al., 2004). Gegenüber den bislang dominierenden Fallstudienansätzen zu Umweltinnovationen wird hier also ein breiterer Ansatz gewählt; zudem kann durch die einheitliche Ausgestaltung der Befragung eine ländervergleichende Analyse vorgenommen werden (z.B. bzgl. unterschiedlicher rechtlicher Rahmenbedingungen). Kritisiert wird an diesem Ansatz jedoch, dass die Zahl der Determinanten, die Umweltinnovationen erklären können, nicht besonders groß ist und daher detailliertere Daten erforderlich seien, die möglicherweise unterschlagene Faktoren berücksichtigen (so kritisch Mazzanti und Zoboli, 2005, S. 6).¹¹³

Die bislang erwähnten Befragungen (bzw. Befragungsapparate) können aber auch aus der Technikperspektive kritisiert werden, weil sie eher querschnittsorientiert sind, nur grobe Unterscheidungen zwischen additiven und integrierten Technologien treffen und einzelne Technikanwender und –hersteller von spezifischen BVT (oder anderen spezifischen Umwelttechnologien) nicht gezielt bzw. umfassend genug abbilden. Im Rahmen einzelner Untersuchungen, die Ähnlichkeiten zu unserer Fragestellung aufweisen, ist demgegenüber auf besonders reichhaltige und detaillierte Datenbestände zurückgegriffen worden. Tendenziell sind diese Studien jedoch weniger repräsentativ und können

¹¹³ Im Rahmen der deutschen Befragung wurden 5000 Betriebe aus dem verarbeitenden Gewerbe angeschrieben. Zurück kamen 899 Fragebögen (Rücklaufquote 18%). Z.T. sind einige Branchen deutlich über- oder unterrepräsentiert (vgl. Rennings et al., 2004).

nicht so leicht auf eine Grundgesamtheit hochgerechnet werden (insbesondere bei nicht-amtlichen Daten):

- So untersuchen Gray und Shadbegian (2003) den Einfluss von amerikanischen Umweltregulierungen (approximiert über die Höhe der Umweltschutzausgaben) auf die Produktivitätsentwicklung in Abhängigkeit vom Alter des Betriebs (*plant vintage*) und der verwendeten Technologie. Es konnte dabei auf einen an sich vertraulichen Paneldatensatz des statistischen Amtes (*Census Bureau*) zurückgegriffen werden, der nicht nur einen Zeitraum von 12 Jahren umfasst, sondern es auch erlaubt, einzelne Betriebe der Papier- und Zellstoffindustrie zu erfassen (insgesamt 116 Fabriken) und diese nach Kriterien wie Output, Investitionen, Produktivität, Umweltschutzausgaben, Alter und verwendeter Technologie (integrierte vs. nicht-integrierte Fabriken) zu charakterisieren.¹¹⁴ Vorteilhaft ist dabei nicht nur, dass einzelne heterogene Betriebe identifiziert und über einen längeren Zeitraum beobachtet werden können, sondern über Paneldaten im Gegensatz zu Querschnittsdatensätzen auch der Einfluss nicht beobachtbarer betriebsspezifischer Effekte methodisch kontrolliert werden kann (über sog. fixed-effects- oder random-effects-Modelle). Ein derartiger „offizieller“ Datensatz steht aber für Deutschland in dieser Form wohl nicht zur Verfügung.
- Eine wichtige Datenquelle stellen auch detaillierte Verbandsdaten dar. So ermöglichen die bereits in Kapitel D 5. erwähnten Studien von Snyder, Miller und Stavins (2003) zur regulierungsinduzierten Technologiediffusion in der Chlorindustrie und von Kerr und Newell (2003) in der Mineralölindustrie nicht zuletzt deshalb fundierte mikroökonomische Analysen, weil auf vorher teilweise vertrauliche betriebs- und technologiespezifische Daten über einen Zeitraum von jeweils rd. 25 (!) Jahren zurückgegriffen werden konnte. Es müsste daher überprüft werden, ob für unsere Zwecke derartige branchenspezifische Daten zumindest teilweise verfügbar sind (vgl. Kapitel E 4.).
- Eine sehr technologiespezifische und ansatzweise auch international vergleichende Analyse erlauben schließlich auch Patentdaten (vgl. Kapitel D 5.). Derartige Daten können über das Europäische Patentamt und verschiedene Datenbanken bezogen werden. Die Vielzahl der jüngsten Publikationen zu diesem Thema weisen dabei darauf hin, welche Aspekte im Umgang mit den Daten zu beachten sind (im Hinblick auf Klassifikation, Zuordnung u.ä., vgl. de Vries und Withagen, 2005; für Deutschland auch Legler et al., 2003).

¹¹⁴ Das Ergebnis zeigt, dass die Technologie das Ergebnis signifikant beeinflusst, das Alter des Betriebes dagegen nicht.

3. Umsetzung vorwiegend über Datenmodifikation und –integration

Die zuletzt genannten Ansätze können insofern als idealtypisch angesehen werden, wie der Modellbildung ein von Anfang an relativ einheitlicher Datensatz zur Abbildung von Produktions- bzw. Umwelttechniken zugrunde liegt. Sie beziehen sich zugleich auf die in Kapitel D 5. kurz abgehandelten und als mikroökonomisch charakterisierten Methoden.

Daneben besteht die Möglichkeit und zumeist (aus Mangel an Alternativen) auch die Notwendigkeit, vorhandene primäre und sekundäre statistische Daten zu ergänzen oder zu modifizieren, um gerade spezifische Produktionstechniken und technische Bedingungen und Prozesse besser abbilden zu können. Dabei kann es sich um punktuelle „Eingriffe“ handeln, aber auch um weiterreichende Korrekturen und Ergänzungen, die bis zum Aufbau einer separaten Datenbasis reichen. Dieses Vorgehen ist in vielerlei Hinsicht typisch für die in den Kapiteln D 2.-4. und im Zentrum dieser Untersuchung behandelten Methoden.

Im Rahmen der erweiterten IO-Analyse, aber auch bei den Kopplungsansätzen und voll-integrierten Modellen spielen (mündliche) Befragungen, Expertengespräche und sog. *engineering estimates* eine wichtige Rolle (vgl. auch bereits Kapitel D. 2.2). Die grundlegende Vorgehensweise wird dabei bereits bei den vergleichsweise „einfachen“ Ansätzen deutlich.

Erwähnt sei hier zunächst die einzeltechnikorientierte Untersuchung von Edler (1993), der die Wirkung des forcierten Einsatzes von Wärmetauschern zur Abwärmenutzung in einem erweiterten dynamischen IO-Modell modelliert. Für die empirisch-statistische Umsetzung nehmen leitfadengestützte und sehr ausführliche mündliche Befragungen bei den Herstellerbetrieben eine zentrale Bedeutung ein. Auf der Basis der zunächst zu identifizierenden technologischen Änderungen und damit den jeweils unterschiedlichen technischen Standards müssen in ökonomischen Kategorien Änderungen bei den Vorleistungen, den Investitionserfordernissen und der Beschäftigung erfasst werden. Zum einen werden die Kostenstrukturen der Herstellerbranche dadurch tangiert, in welchem Umfang und in welcher Art Vorleistungen und Kapitalgüter aus den übrigen Sektoren der Volkswirtschaft in Anspruch genommen werden und wieviele Personen der unterschiedlichen Berufskategorien im Produktionsprozess eingesetzt werden. Zum anderen gilt es die Output- bzw. Absatzstruktur der Herstellerbranche zu beschreiben, da diese ja auch Vorleistungen und Kapitalgüter an andere Branchen liefert und Güter für die End-

nachfrage bereitstellt. Bei einer Disaggregationstiefe von 52 Produktionsbereichen müssen damit für jedes Jahr des Untersuchungszeitraums bereits rund 300 Parameter spezifiziert werden, um das Modell formal zu schließen. Um die von einer neuen Technik ausgehenden Effekte, insbesondere beim Anwender, abzubilden, sind zudem weitere empirische Informationen und zusätzliche Modellmodifikationen notwendig. So verändert eine neue Technik den Produktionsprozess in den Anwenderbranchen. Das Ausmaß der Veränderung hängt wiederum vom Verbreitungsgrad der neuen Technik in der Zeit (d.h. dem Diffusionsverlauf) ab und wiederum ergeben sich entsprechende Änderungen in den Vorleistungsbezügen und in Niveau und Struktur des Kapitalstocks. Für jede Anwenderbranche resultieren also Parameteränderungen, die über die Zeitachse je nach sektorspezifischer Adoptionsrate variieren. Quantitative Anhaltspunkte über die Absatzmärkte der neuen Technik sind außerdem sowohl unter status-quo-Bedingungen als auch bei einem politisch (hier durch die Abwärme-Nutzungsverordnung) induzierten forcierten Einsatz der Technik zu ermitteln. Dies führt dann zu einer nach Anwendersektoren differenzierten Potenzialabschätzung (als Basis für eine weitergehende Modellierung). Die über Befragungen erhobenen Daten werden schließlich noch durch weitere Expertengespräche sowie die Auswertung der zur Verfügung stehenden Fachliteratur „abgerundet“. Mehr oder weniger (und in Abhängigkeit vom betriebenen Erhebungsaufwand) muss jedoch auch auf plausible Annahmen und Setzungen ausgewichen werden (vgl. auch Edler, 1990, S. 133ff.). Insgesamt wird selbst für die Abschätzung der Wirkung einer einzelnen Technik (ohne Berücksichtigung von Synergieeffekten mit anderen Techniken) die Erhebung der erforderlichen Einzeldaten immer wieder als aufwendig angesehen (z.B. auch Idenburg und Wilting, 2005). Hinzu kommen die zahlreichen Anpassungen innerhalb des Modells (vgl. illustrativ Edler, 1990, S. 126ff. sowie den nächsten Absatz).

Eine noch stärker prozessorientierte Darstellung der Einführung einer neuen Technik oder miteinander verbundener Technikkomponenten, wie sie Prozesskettenmodellen (und daran gekoppelten IO-Modellen) zugrunde liegen, ist (auch) mit einigen (weiteren) Einschränkungen verbunden (Nathani, 2003, S. 94ff, S. 208f.). So sind die für den Aufbau eines Submodells benötigten Daten nur z.T. statistisch erfasst, so dass sie aus unterschiedlichen Quellen zusammengeführt werden müssen. Neben Daten der amtlichen Statistik und Verbandsdaten bedarf es etwa zusätzlicher Informationen über spezifische Prozessinputs und -outputs. Nathani zieht hier im einzelnen Stoffstromanalysen, Ökobilanzen, Untersuchungen zu Altpapieraufkommen und –einsatz in der Papierherstellung, Verfahrensbeschreibungen in der papiertechnischen Fachliteratur sowie Marktanalysen heran. Zunächst sind hier gewisse kleinere Datenauslassungen unvermeidlich (z.B. bzgl. der Erhebung immaterieller Vorleistungen). Ebenso können sich durch die Verwendung

unterschiedlicher Datenquellen gewisse Abgrenzungsprobleme ergeben, weil die erhobenen Daten einem jeweils unterschiedlichen Erhebungszwecken dienen. Als besonders zeitaufwendig und mühsam wird letztlich die Harmonisierung und der Abgleich technischer und ökonomisch-statistischer Daten angesehen. So unterscheiden sich die Daten typischerweise im Hinblick auf räumliche und zeitliche Bezüge, Aggregationsgrad, Repräsentativität und Vollständigkeit, was den Einsatz diverser Korrektur-, Umrechnungs- und Hochrechnungsverfahren erfordert. Ebenso heikel kann die Anpassung der Gliederungssystematik (funktional-institutionell) in der modelltechnischen Umsetzung sein (vgl. Kapitel D 2.2, 2.3). Idealerweise wäre es daher erforderlich, über die Art der Erstellung der originären IO-Tabellen Bescheid zu wissen, da sich in diesen „reinen“ Daten selbst bereits verschiedene Kompromisse und modellhafte Elemente verstecken. Je größer im Einzelfall die Inkongruenz zwischen ökonomischer und technischer Betrachtungsweise ist und je stärker deskriptive und modellhafte ineinanderfließen, desto mehr nähert man sich also letztlich einem „kaum nachvollziehbaren Hybridansatz“ bzw. einem *“modeling on the basis of models“*.¹¹⁵

Daten- und Schätzprobleme ergeben sich schließlich auch in den makroökonomischen Modellen, die die Entwicklung von *best-practice* Technologien (Trajektorien) für eine historische Beobachtungsperiode (1980-2000) für verschiedene Prozesslinien (Paradigmen) schätzen und dies als Grundlage von ex-ante Simulationen verwenden (vgl. Kapitel D 3.). Allgemein lässt sich dabei sagen, dass der Detaillierungsgrad bei der Modellierung von Sektorcharakteristika und der Datenverfügbarkeit bestimmt wird (im einzelnen Nathani et al., 2004). So kann bei der Modellierung der Papier- und Zellstoffindustrie z.B. aus empirischen Gründen nicht (wie idealerweise der Fall) ein mehrstufiger Produktionsprozess dargestellt werden, so dass „nur“ ein grober *“composite technology approach“* zur Anwendung kommt, der nach zwei Prozesslinien unterscheidet (zu ähnlichen Problemen im Bereich der Stahlindustrie Lutz et al., 2005, S. 1146). Die Abbildung der Techniken im Modell und die ökonometrische Schätzung der Entwicklung von best-practice Technologien (die kontinuierlich in den Kapitalstock eingehen) ist auch deshalb besonders anspruchsvoll, weil für die jeweiligen Prozesslinien über einen längeren Zeitraum spezifische Daten erforderlich sind. So vollzieht sich die Technologiewahl ja über Investitionen in zwei (oder mehr) Verfahrenslinien, wobei die Investitionen wiederum als Funktion der paradigmaspezifischen Produktionsmengen, der vorhandenen Produktionskapazitäten und des realen Zinssatzes abgebildet werden. Schon

¹¹⁵ Vgl. Richter (2005, S. 128) sowie ders. (2005, S. 124) allgemein zum Problem der Adäquation der Datenbasis zur analytischen Fragestellung. Zum Theoriegehalt der Datenproduktion allgemein auch Werker und Brenner (2004, S. 3).

hier sind relativ genaue Daten (z.B. für die Modellierung im Bereich des Stahlsektors zu Erz- und Schrottpreisen) und spezifische Schätzungen notwendig. Die Endogenisierung des technischen Fortschritts im Modell erfordert darüber hinaus weiteren Daten- und Schätzaufwand. Im Stahlbeispiel muss etwa der Zusammenhang zwischen der zeitlichen Entwicklung des best-practice Energieverbrauchs der Elektro- bzw. Oxygenstahlerzeugung und einer Anzahl von Preisvariablen (z.B. Strompreisen) sowie der FuE-Ausgaben der Stahlindustrie und der Sektoren Maschinenbau und Elektrotechnik ökonometrisch geschätzt werden.

Generell ist zudem darauf zu achten, dass die Daten in ihren funktionalen Bezügen konsistent mit dem Gesamtmodell und den dort verankerten treibenden Größen verknüpft werden können. Wegen Datenmangels können somit nur einzelne Technologien abgebildet werden. Aber selbst wenn bestimmte Technologien in vereinfachter Form modelliert werden können, muss auf eine Vielzahl an Datenquellen und ein nicht unerhebliches Maß an technischem Expertenwissen zurückgegriffen werden.

Da es oft an differenzierten Datensätzen über ein breites Spektrum an Betrieben mangelt bzw. bestimmte Unternehmensdaten (z.B. zu den verwendeten Produktionstechniken) nicht zentral verfügbar sind, kann sich der Aufbau einer eigenständigen, integrierten Datenbasis als zielführend erweisen. Im umweltpolitischen Kontext zu erwähnen ist hier insbesondere die Studie *“Measuring Environmental Performance of Industry“*, die Daten zu 280 Unternehmen und 430 Produktionsstätten in sechs europäischen Ländern umfasst und in Teilbereichen noch erweitert wurde (Berkout et al., 2001; Azomahou, Van und Wagner, 2004 bzgl. einer Erweiterung für die Papierindustrie).¹¹⁶ Diese Studie beschäftigt sich zwar weniger mit der Rolle von Umwelttechniken, das Vorgehen bzgl. Aufbau der Datenbasis und Bildung von ökologischen und ökonomischen Performance-Indikatoren ist aber dennoch interessant und geht wohl über das hinaus, was in der bereits mehrfach erwähnten Hitchens-Studie für die Evaluierung von BVT geleistet wurde (Hitchens et al., 2002).

Ähnlich ist auch der Aufbau einer integrierten Datenbank und die anschließende mikrofundierte Analyse über Mikrosimulationsmodelle möglich. Wie bereits in Kapitel D 4. erwähnt können hiermit eine Reihe interessanter Fragestellungen distributiver und wirtschaftsstruktureller Art analysiert werden. Allerdings sind umwelt- und technikspezifi-

¹¹⁶ Die Datenbasis ergibt sich z.T. aus Umfragedaten, wird aber auch über öffentlich verfügbare Daten, Unternehmensberichte, Angaben aus verschiedenen Datenbanken u.ä. gebildet. Ein Abgleich erfolgt dabei über ein sog. *data collection protocoll*. Die Datensammlung und –konsolidierung sowie die Bildung verschiedener Indikatoren wird dabei als arbeits- und zeitaufwendig beschrieben.

sche Aspekte mit diesem Instrumentarium noch nicht auf empirisch befriedigende Art und Weise betrachtet worden, so dass hier Neuland zu betreten wäre. Die empirisch-statistischen Anforderungen zum Aufbau und zur Nutzung von MSM sind dabei groß, weil hier besonders detaillierte und vielfältige Daten verwendet und zusammengeführt werden müssen (Feenberg und Gupta, 2000). Wie eine derartige integrierte Datenbasis (sog. integrierte Mikrodatenfiles) aufgebaut und ein Simulationsmodell konstruiert werden könnte, sei hier dennoch kurz in Anlehnung an Erfahrungen im steuerpolitischen Kontext skizziert (Bork, 2000; Oropallo, 2004).

Oropallo (2004) schlägt vor, das zentrale Unternehmensregister als „Anker“ für den Datenintegrationsprozess zu nutzen. Dieses könnte man dann mit anderen Datenquellen verknüpfen (z.B. den oben aufgeführten Kostenstrukturerhebungen, Innovationserhebungen, umwelttechnikspezifischen Erhebungen und prozessproduzierte Daten der Umweltverwaltung), da einzelne Datensätze Mängel bzw. Lücken aufweisen, die durch Verwendung von mindestens zwei Datensätzen abgemildert werden können.¹¹⁷ Dies erfordert im Prinzip folgendes (Bork, 2000, S. 113ff.):

- Vorbereitende Transformationen sind durchzuführen, insbesondere eine Aggregation bzw. Disaggregation der Daten und verschiedene Zuordnungen und Umgruppierungen, um ein Mindestmaß an Konsistenz zu erreichen (ähnlich wie bei den anderen oben erwähnten Methoden);
- Aus den potenziellen Datenverknüpfungsverfahren (sog. *matching*) ist eine geeignete Technik auszuwählen und anzuwenden. So können die an den primären Datensatz anzufügenden Daten mit Hilfe eines multiplen Regressionsmodells, das aus den Beziehungen der Variablen zwischen dem primären und sekundären Datensatz gewonnen wird, geschätzt werden (vor allem bei hinreichend großer Zahl anzufügender Variablen). Alternativ oder zusätzlich kann auch die multifaktorielle Verknüpfung angewendet werden, wobei mit Hilfe einer in beiden Datensätzen vorhandenen Schnittmenge zusätzliche Variablen eingefügt bzw. imputiert werden (über sog. Distanz- oder Ähnlichkeitsfunktionen, clusteranalytische Verfahren).
- Um Simulationen für eine Teilpopulation durchzuführen, kann es außerdem erforderlich sein, bestimmte Gewichtungen und damit verbundene Schätzverfahren anzuwenden.

¹¹⁷ Inwiefern das im einzelnen möglich ist und inwiefern etwa ein anderer „Anker“ zu wählen ist, kann hier nicht im Detail überprüft werden. Entscheidend ist nicht zuletzt, welche weiteren Fortschritte bei der Nutzung von Unternehmensdaten in der nächsten Zeit erzielt werden (vgl. die Diskussion im vorherigen Abschnitt). Zudem ist von Bedeutung, welcher Sektor näher untersucht wird (vgl. Kapitel E 4.). Hier soll nur das grundsätzliche Vorgehen grob skizziert werden.

Prinzipiell ließe sich somit ein Modell operationalisieren, wobei numerische Werte den Parametern zuzuordnen, die Ausgangswerte festzulegen und exogene Variablen zu bestimmten wären. Auf dieser Basis könnte dann – wie generell bei Simulationen üblich – ein Basislauf erfolgen, der als Benchmark für experimentelle Simulationsläufe mit den zu analysierenden Politikmaßnahmen dient (vgl. beispielhaft van Tongeren, 1995, S. 101ff.).

Ähnlich wie bei den anderen beschriebenen Methoden ist jedoch wiederum ein möglichst genaues Bild über das unternehmerische Investitionsverhalten und den zugrunde liegenden Determinanten über einen längeren Zeitraum zu zeichnen. Hier wären wiederum idealerweise detaillierte und vergleichbare Mikrodaten für die Betriebsebene erforderlich, die in amtlichen Daten nicht hinreichend genau oder gar nicht verfügbar sind und aus Unternehmensberichten, GuV u.ä. ermittelt werden müssten (vgl. auch Wagner, 2005). Selbst wenn einige Probleme hier mit den erwähnten Transformations- und Verknüpfungsverfahren gemildert werden dürften, sind quasi zwangsläufig unüberwindliche Erfassungsschwierigkeiten zu erwarten, die die Belastbarkeit der Ergebnisse beeinträchtigen (z.B. bzgl. den leicht konkurrierenden Kriterien der Objektivität und Genauigkeit). Ebenso sind irgendwann auch die Grenzen der Rechenkapazität erreicht. Insofern wird man sich entweder darauf beschränken müssen, eine kleine Anzahl von Unternehmen bzw. Betrieben (üblicherweise seit längerem bestehende große Unternehmen) detailliert abzubilden und die übrige Population in synthetischer Form darzustellen (vgl. van Tongeren, 1995), was dann üblicherweise mit Abstrichen bzgl. der Repräsentativität der Ergebnisse einhergeht.¹¹⁸ Ebenso könnte man aber auch von vorneherein mit stärker aggregierten, aber weniger genauen Daten arbeiten und diese als Mikrodaten behandeln (sog. Gruppensimulationsmodelle) (vgl. Peichl, 2005).

Besonders anspruchsvoll ist es dann sicherlich ebenso, funktionale Beziehungen zwischen den Variablen zu spezifizieren und zu schätzen, die das unternehmerischen Investitions- und Innovationsverhaltens beeinflussen (darunter auch politische Einflussgrößen). Van Tongeren (1995) betont, dass es keine allgemein akzeptierten ökonometrischen Techniken für ein auf Betriebsdaten basierendes MSM gibt. Er greift daher auf partielle ökonometrische Schätzungen und die empirisch nicht sehr befriedigende Kalib-

¹¹⁸ Auch Voßkamp (2002, S. 31) sieht eine Umsetzungsmöglichkeit darin, wichtige „Schlüsselsektoren“ herauszugreifen, zu denen wenige und publizitätspflichtige Unternehmen zählen, die den Großteil des Marktes abdecken (Voßkamp, 2002, S. 31). Vogt (1997) folgt diesem Vorschlag in einer empirischen Simulationsstudie zum Weltautomobilmarkt. Ein grundsätzliches Problem ist allerdings, dass die deutsche (im Gegensatz etwa zur schwedischen) Volkswirtschaft durch sehr hohe Marktanteile kleiner und mittlerer Unternehmen geprägt ist, was erhebliche Erfassungsprobleme mit sich bringt (Vosskamp, 1996, S. 221).

rierung zurück und unterzieht das so operationalisierte Modell zumindest näherungsweise einer empirischen Validierung (über Variablen auf Mikro-, Meso- und Makroebene, die die Anpassungsgüte des Modells messen sollen) (vgl. ebda., S. 148ff.). Letztlich hängt damit der empirische Gehalt eines MSM wesentlich davon ab, wie gut funktionale Beziehungen mit Hilfe anderer Methoden geschätzt werden können und sich als Module in das MSM integrieren lassen.

In dieser Hinsicht wäre sicherlich auch für die Analyse der ökonomischen Auswirkungen umweltpolitischer Regulierungen viel empirisches Neuland zu betreten. Die jüngsten Erfahrungen mit der Simulation der Unternehmensbesteuerung zeigen jedoch, dass es im Prinzip möglich ist, mikrofundierte Indikatoren abzuleiten, die die sehr unterschiedlichen Wirkungen der Steuerlast auf die ökonomische Performanz von Unternehmen und das unternehmerische Innovationsverhalten nachzeichnen (Oropallo, 2004).¹¹⁹ Wenn eine fundierte und zweifellos aufwendige vergangenheitsorientierte Analyse gelingt, könnte dann schließlich ein MSM auch für prognostische Zwecke eingesetzt werden. Auch hier bestehen einschlägige Erfahrungen mit Fortschreibungsverfahren, dem Einsatz von Übergangswahrscheinlichkeiten u.ä. im steuerpolitischen Kontext (Eason, 2000).

4. Umsetzungsmöglichkeiten in ausgewählten „IVU-Sektoren“

Schon auf konzeptioneller Ebene ist deutlich geworden, dass bei der Untersuchung der ökonomischen Auswirkungen umweltpolitischer Regulierungen Sektorcharakteristika zu berücksichtigen sind (Kapitel B 2.). Darüber hinaus ergeben sich auch Unterschiede zwischen Sektoren, weil die Möglichkeiten für die Durchführung von empirischen Studien mehr oder weniger günstig sind. An dieser Stelle soll daher ein erster Überblick über Umsetzungsoptionen für ausgewählte IVU-Sektoren gegeben werden (Tabelle 3).

Eine Möglichkeit besteht sicherlich darin, die Frage nach den meso- und makroökonomischen Wirkungen sowie den Innovationswirkungen der IVU-Richtlinie für die Sektoren näher zu untersuchen, für die bereits ähnliche Studien vorliegen und für die daher von einer relativ guten Datenlage auszugehen ist. Hervorzuheben sind zunächst die Sektoren, die bereits in der Hitchens-Studie beleuchtet wurden und zugleich bereits Gegenstand von (allerdings nicht IVU-spezifischen) Modelluntersuchungen waren: die Papier- und Zellstoffindustrie, die Zementindustrie und der Bereich der NE-Metalle.

¹¹⁹ Es wird dabei mit unterschiedlichen Verteilungsmaßen (z.B. dem Gini-Index) gearbeitet.

Tabelle 3: Anzahl der Tätigkeiten in den wesentlichen „IVU-Sektoren“ in Deutschland

Sektor bzw. Tätigkeit nach Anhang I der IVU-Richtlinie	Anzahl der Tätigkeiten in Anlagen
Energiewirtschaft, darunter u.a.: Feuerungsanlagen (> 50 MW)	1093 879
Herstellung und Verarbeitung von Metallen, darunter u.a.: Schmelzanlagen NE-Metalle Anlagen zur Oberflächenbehandlung von Metallen/Kunststoffen	1908 527 564
Mineralverarbeitende Industrie, darunter u.a.: Anlagen zur Herstellung keramischer Erzeugnisse Anlagen zur Herstellung von Zement/Kalk in Drehrohöfen	589 329 140
Chemische Industrie	2257
Abfallbehandlung, darunter u.a.: Anlagen zur Beseitigung/Verwertung gefährl. Abfälle	1282 697
Sonstige Industriezweige, darunter u.a.: Anlagen zur Intensivtierhaltung Anlagen zur Oberflächenbehandlung von Stoffen, Gegenständen oder Erzeugnissen mit organischen Lösungsmitteln Anlagen zur Herstellung von Papier und Pappe Anlagen zur Vorbehandlung/Färben von Fasern oder Textilien	2590 1413 365 158 70
Summe der Tätigkeiten	9759
Gesamtzahl der IVU-Anlagen (ohne Mehrfachzählungen)	7705

Quelle: vereinfacht nach Bundesregierung (2003)

Die Papier- und Zellstoffindustrie ist wohl schon deshalb von Interesse, weil Deutschland größter Papierproduzent in der EU ist und an fünfter Stelle weltweit steht. Derzeit wird für diese Branche ein jährliches Wachstum von knapp 3% pro Jahr bis 2020 prognostiziert; zugleich ist der Energie- und Rohstoffverbrauch sowie die Umweltbelastungsintensität jedoch vergleichsweise hoch, was sich auch in der Kostenstruktur niederschlägt (Buttermann, 2003/04).

Charakteristisch für den Papiersektor ist u.a. die gegenüber dem sonstigen verarbeitenden Gewerbe hohe Kapitalintensität der Papiererzeugung, die über die Zeit sogar noch im Rahmen von Konsolidierungs- und Konzentrationsprozessen zugenommen hat (Gre-

fermann, 1997, S. 23ff.). Der Grad an Mechanisierung, Technisierung und Automatisierung ist folglich hoch. Die Struktur der Industrie ist allerdings nicht nur von betriebswirtschaftlich hocheffizienten Großanlagen bestimmt, sondern wesentlich auch von „urbanen Mini-Fabriken“, die eher innovative Teilsegmente bedienen. Insgesamt ist die Branche von unterdurchschnittlicher Innovationsdynamik geprägt und bezieht neues (technologisches) Wissen häufig von anderen Sektoren und Zulieferern (z.B. den Herstellern von Papiermaschinen oder Chemikalien) (Grefermann, 1997, S. 71ff.). Technischer Fortschritt tritt auch typischerweise zu einem geringen Maße in Form häufiger Produktinnovationen auf. Innovationsaufwendungen fließen jedoch in überdurchschnittlichem Maße in Verbesserungen des Produktionsprozesses und Innovationen treten meistens in (an die Investitionstätigkeit) gebundener Form auf. Art und Ausmaß des technischen Fortschritts bestimmen zudem lang ausgereifte technologische Paradigmen, so dass zum Großteil keine technologischen „Quantensprünge“ zu erwarten sind.¹²⁰

Im Rahmen einer empirischen Untersuchung stellt sich vor diesem Hintergrund u.a. die Herausforderung, die Investitionstätigkeit differenziert über einen längeren Zeitraum nachzubilden, die Mehrstufigkeit des Produktionsprozesses mit seinen unterschiedlichen technischen Prozesslinien (integrierte vs. nicht-integrierte Fabriken, chemischer vs. mechanischer Aufschluss etc.) zu berücksichtigen und die Verflechtungen mit anderen Sektoren der Volkswirtschaft abzubilden. Tabelle 4 gibt einen Überblick über Studien zum deutschen Papiersektor, die sich diesen Herausforderungen auf unterschiedlichem Wege genähert haben (vgl. auch bereits zum Methodischen Kapitel D).

¹²⁰ Die meisten Investitionen sind „Standardinvestitionen“ für Ersatzbeschaffung und Rationalisierung. Dieser Sockel erfährt jedoch ca. alle zehn Jahre einen Ausschlag nach oben im Rahmen von Kapazitätserweiterungen (Investitionszyklus) (vgl. Grefermann, 1997, S. 57ff.).

Tabelle 4: Methoden zur Modellierung des deutschen Papiersektors unter besonderer Berücksichtigung von Datengesichtspunkten und der Abbildung von Technik

	Hitchens et al. (2002)	Nathani et al. (2004)	Nathani (2003)	Buttermann (2003/04)
Kurzcharakterisierung der Untersuchung	Analyse der Wirkung einer strengen Umsetzung der IVU-Richtlinie auf die Papier- und Zellstoffindustrie und dessen Wettbewerbsfähigkeit in einer fallstudienartigen <i>“matched plant analysis“</i>	Analyse (steuer-)politikinduzierten technischen Fortschritts über best-practice Technologien im Rahmen des makroökonomischen Modells PANTHA RHEI	Analyse von Materialeffizienzstrategien entlang der Wertschöpfungskette „Papier“ in einem technisch-ökonomisch gekoppelten dynamischen IO-Modell	Prognose für die Papierindustrie unter besonderer Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Steigerung der Energie- und Rohstoffeffizienz in einem auf die Papierbranche gerichteten ökonomischen Strukturmodell
Zeiträumen	Interviews in 1999 und 2001, ohne Projektion	Historischer Beobachtungszeitraum 1980-2000 für die verschiedenen Prozesslinien (Paradigmen); CO ₂ -Steuerszenario bis 2020	Überprüfung der Abbildungstreue der Papierkette in den amtlichen IO-Tabellen zwischen 1978 und 1990, verschiedene Szenarien bis 2020 mit Basisjahr 1995	Prognose bis 2020, ohne detaillierte Angaben zum historischen Beobachtungszeitraum
Abbildung von Technik	36 Vor-Ort-Besuche in der EU in Betrieben mit und ohne BVT(s) im Einsatz, Zuordnung zu Kostenkomponenten und Vergleich mit anderen Wettbewerbsfaktoren; berücksichtigte Prozesse/Produkte: chemische Zellstoffherstellung, Karton, Kopierpapier, Spezialpapier	Modellierung von zwei Prozesslinien (Primär- und Sekundärfasern) mit jeweiligem Verarbeitungsprozess und durchschnittlich verwendeter Energieangebotstechnologie, endogene Modellierung von Kapital- <i>Vintages</i> und der Entwicklung von best-practice Technologien	Modellierung von zahlreichen Prozessen entlang der Wertschöpfungskette Papier, nur sehr grobe Abbildung der technikspezifischen Investitionskosten einzelner Prozesse (S. 124)	Modellierung des zur Papierproduktion notwendigen Kapitalstocks differenziert nach Investitionsjahrgängen (<i>putty-clay vintage</i> -Modell), Unterscheidung von vier Papiersorten, grobe Unterteilung nach Anlagekategorien

(Fortsetzung)

	Hitchens et al. (2002)	Nathani et al. (2004)	Nathani (2003)	Buttermann (2003/04)
Einige Probleme/Schwächen/unberücksichtigte Aspekte	Probleme bzgl. Verallgemeinerbarkeit, Repräsentativität u.ä.; Kostendaten teilweise unvollständig; zeitaufwendige Datenermittlung; manchmal schwierige Kooperation mit Verbänden; Abhängigkeit von Expertenmeinungen; keine Analyse von ökonomischen Auswirkungen im weiteren Sinne	Vereinfachte Darstellung des mehrstufigen Produktionsprozesses, Mangel an Daten für stärker detaillierte technikspezifische Analyse; bisher keine Analyse der Wirkung ordnungsrechtlicher Umweltregulierungen	Abbildung einzelner Techniken und damit verbundener Investitionskosten wegen Datenmangel schwierig bzw. mit Unsicherheiten verbunden; generelle Schwächen von IO-Modellen; bisher keine Analyse der Wirkung ordnungsrechtlicher Umweltregulierungen	Keine Statistik über Maschinenpark verfügbar; Erfassung von Daten unterhalb der Sektorebene aufwendig bzw. nur über indirekte Rückschlüsse möglich; relativ viele exogene Größen im Modell; bisher keine Analyse der Wirkung ordnungsrechtlicher Umweltregulierungen
Stärken	Unmittelbare inhaltliche Nähe zu den Vorgaben der IVU-RL, detaillierte Berücksichtigung von heterogenen Firmencharakteristika (Größe, Alter des Kapitalstocks etc.) und Kontextbedingungen; Möglichkeit eines Ranking von Einflussfaktoren auf die betriebliche Wettbewerbsfähigkeit	Einbindung in ein vollintegriertes, kombiniertes top-down – bottom-up-Modell mit hohem Endogenisierungsgrad, Darstellung von Struktur-, Niveau- und Rückkopplungseffekten im gesamtwirtschaftlichen Rahmen	Abbildung von miteinander verknüpften Produktionsprozessen in Wertschöpfungsketten, zugleich Aussagen zum sektoralen Strukturwandel möglich	Eigenständiges, aktualisiertes und empirisch gehaltvolles „Papiermodell“; lässt sich wohl mit anderen Modulen des Modellinstrumentariums des RWI-Instituts bzw. des EEFA-Instituts verbinden

Quellen: Hitchens et al. (2002); Nathani (2003); Buttermann (2003/04); Nathani et al. (2004)

Mit der Papier- und Zellstoffindustrie in mancherlei Hinsicht vergleichbar ist die Zementindustrie. So handelt es sich auch hier um eine kapital- und energieintensive Branche, deren Innovationsmuster wesentlich von den Anbietern von Kapitalgütern mitbestimmt werden (sog. *supplier dominated sector*) und sich in den unterschiedlichen Investitionsjahrgängen widerspiegeln (Lutz et al., 2004). Allerdings ist der Output des Sektors vergleichsweise homogen und auch die verwendeten technologischen Prozesse sind relativ überschaubar.

Gedanklich verläuft die Zementherstellung grob gesprochen in zwei Stufen: dem Brennen der kalk- und tonmineralhaltigen Ausgangsstoffe zu Zementklinker und dem Mahlen des Klinkers zu Zement, wobei in der ersten Stufe unterschiedliche Ofentechniken

und in der zweiten Phase unterschiedliche Mahlanlagen zum Einsatz kommen. Für unsere Zwecke hervorzuheben ist das ebenfalls der Klasse der *vintage*-Modelle zuzurechnende und rekursiv in Blöcken angeordnete „Zementmodell“ des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung RWI, das inzwischen im Energy-Environment-Forecast-Analysis-Institut EEFA „ausgelagert“ ist und ausführlich in Buttermann (1997) beschrieben wird.¹²¹ Es modelliert den Kapitalstock des Sektors und seine Veränderung differenziert nach Ofentechniken und Mahlanlagen (darunter Zyklonvorwärmer-, Rostvorwärmer, lange Trocken-, Schacht- und Naßöfen); zudem wird der Energieverbrauch nach Einsatz von Brennstoffen und Stromverbrauch sowie der Materialverbrauch nach Einsatz von Rohstoffen und übrigen Vorprodukten berechnet. Ein Stärke dieses aus 98 Gleichungen bestehenden Modells ist sicherlich der relativ hohe technische Differenzierungsgrad, da eine umfangreiche Datenbasis über eine lange historische Beobachtungsperiode (den sog. Stützbereich) verwendet wird (z.B. nach Ofenbauarten differenzierte Unterlagen des Vereins deutscher Zementwerke über den Stand der Ofenkapazitäten sowie die Neuzugänge seit 1954).¹²² Allerdings müssen Kapazitätszugänge im Rahmen von ex-post Analysen exogen gesetzt werden, da die sprunghafte Entwicklung der Vergangenheit ökonomisch nicht zufriedenstellend geschätzt werden kann.¹²³ Insgesamt scheinen daher auch für diesen Sektor relativ günstige Bedingungen für eine Modellierung der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie gegeben.

Im Bereich der NE-Metalle ist nach einzelnen Metallen zu unterscheiden, da der Sektor in sich zu heterogen ist. Hervorzuheben ist unter den insgesamt mindestens 42 Nichteisenmetallen insbesondere Kupfer, Aluminium, Blei, Nickel und Zink. Zu den ersten beiden bestehen Vorarbeiten aus dem mehrjährigen (inzwischen aber beendeten) DFG-Sonderforschungsbereich 525 „Ressourcenorientierte Gesamtbetrachtung von Stoffströmen metallischer Rohstoffe“, die u.a. im Forschungszentrum Jülich durchgeführt

¹²¹ Die Zementindustrie ist auch in PANTHA RHEI prozessspezifisch modelliert worden (Lutz et al., 2004). Allerdings liegt hierzu keine genauere Beschreibung vor. Auch die Stahlindustrie ist im Rahmen der Modelle des RWI/ EEFA und der GWS bereits detaillierter modelliert worden (vgl. Lutz et al., 2005; Buttermann und Hillebrand, 2005; für einen umfassenden Modellvergleich Frohn et al., 2003). Der Bemerkung in der Clearing-Studie von Hillebrand et al. (1998, S. 57), wonach „außerordentlich hohe“ empirische Anforderungen an einen Ansatz zu stellen sind, der den Diffusionsprozess neuer Techniken erfassen will (Jahrgangsansatz), da Informationen nicht nur über die Altersstruktur des Kapitalstocks und die technischen Standards der jeweiligen Investitionsjahrgänge, sondern insbesondere über alternative Techniken mit einem höheren Effizienzgrad vorhanden sein müssen, ist damit zumindest partiell begegnet worden.

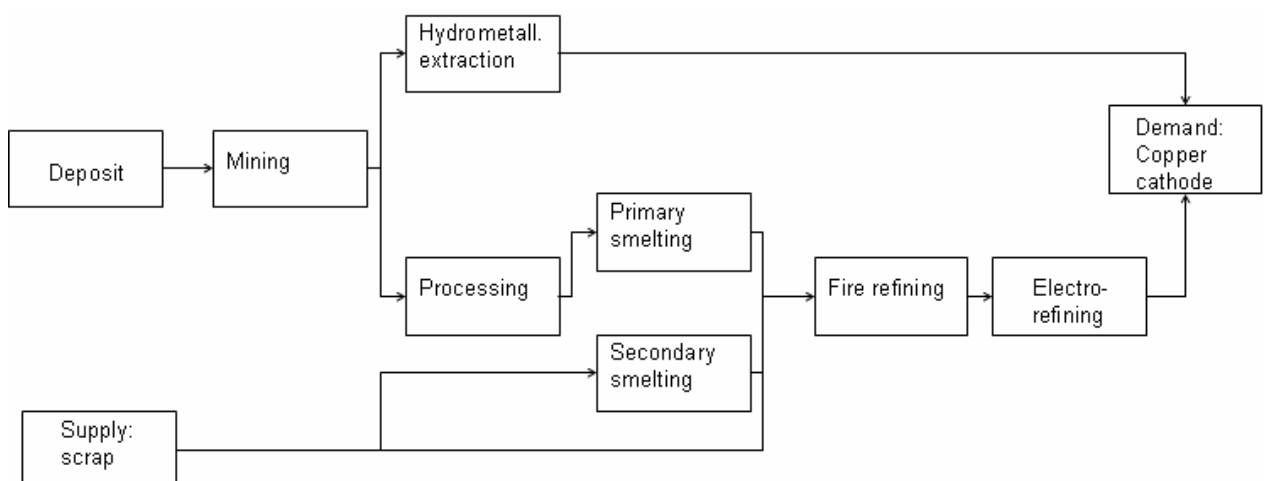
¹²² Die Mahlkapazität, die maßgeblich von der inländischen Produktion und der langfristigen durchschnittlichen Auslastung der Produktionsanlagen abhängt, kann allerdings wegen fehlender Informationen über technischer Entwicklungen, Energiesparinvestitionen u.ä. nicht disaggregiert dargestellt werden.

¹²³ Für die Prognose sind die Zugänge allerdings dann endogenisiert.

wurden. Entwickelt wurden dort prozessbasierte partielle Gleichgewichtsmodelle, die zum einen globale ökonomische Vernetzungen im Kupfer- bzw. Aluminiummarkt, zum anderen aber auch die Prozesskette von Kupfer bzw. Aluminium mit ihrem jeweiligen Spektrum an Prozesstechnologien abbilden.¹²⁴

Das Kupfermodell berücksichtigt die beiden Prozessrouten bis zur Herstellung von Kupferkathoden (d.h. ohne die weiteren Verarbeitungsstufen): die an Bedeutung deutlich überwiegende pyrometallurgische Route (83%) und die für die EU nicht bedeutsame hydrometallurgische Route (Abbildung 2; Poganietz et al., 2003; IPTS, 2004, S. 139ff. zur Darstellung der Kupferproduktion). Außerdem wird die Möglichkeit zum Kupferrecycling während des Schmelzvorgangs und der Brandraffinierung (fire refining) berücksichtigt. Nicht modelliert wird demgegenüber die Sammlung und die sekundäre Verarbeitung von Schrott.

Abbildung 2: Modellierte Prozesskette bis zur Kupferkathode im Jülicher Kupfermodell



Quelle: Poganietz, Kuckshinrichs und Zapp (2003)

Die Prozesskette und die entstehenden Materialflüsse werden möglichst detailliert abgebildet. Allerdings müssen einzelne Prozessschritte im Modell wegen Datenmangels in kombinierter Form dargestellt werden (z.B. während des Schmelzens und Umwandelns) (vgl. Poganietz, Kuckshinrichs und Zapp, 2003, S. 415f. zu weiteren Vereinfachungen). Während des mehrstufigen Produktionsprozesses konnten auch einige Produktionstech-

¹²⁴ Im folgenden werden kurz diese beiden Modelle dargestellt, um zu zeigen, wie weit die Modellierung von Techniken angesichts von Datenrestriktionen (und sonstigen Restriktionen) gediehen ist. D.h. natürlich nicht, dass für die Modellierung dieser NE-Bereiche nicht auch andere Modelle eingesetzt werden könnten.

niken nur in stilisiert-aggregierter Form dargestellt werden (Tabelle 5). Den jeweils modellierten Prozessschritten und Techniken können jedoch spezifische Faktorkosten (Arbeit, Energie, Rohstoffe etc.) und sonstige für das Modell wichtige Parameter (z.B. Kapazitätsbeschränkungen) zugeordnet werden, wobei auch hier Befragungen durchzuführen oder einschlägige Literaturquellen auszuwerten sind.

Tabelle 5: Modellerte Technologien in der Kupferprozesskette im Jülicher Kupfermodell

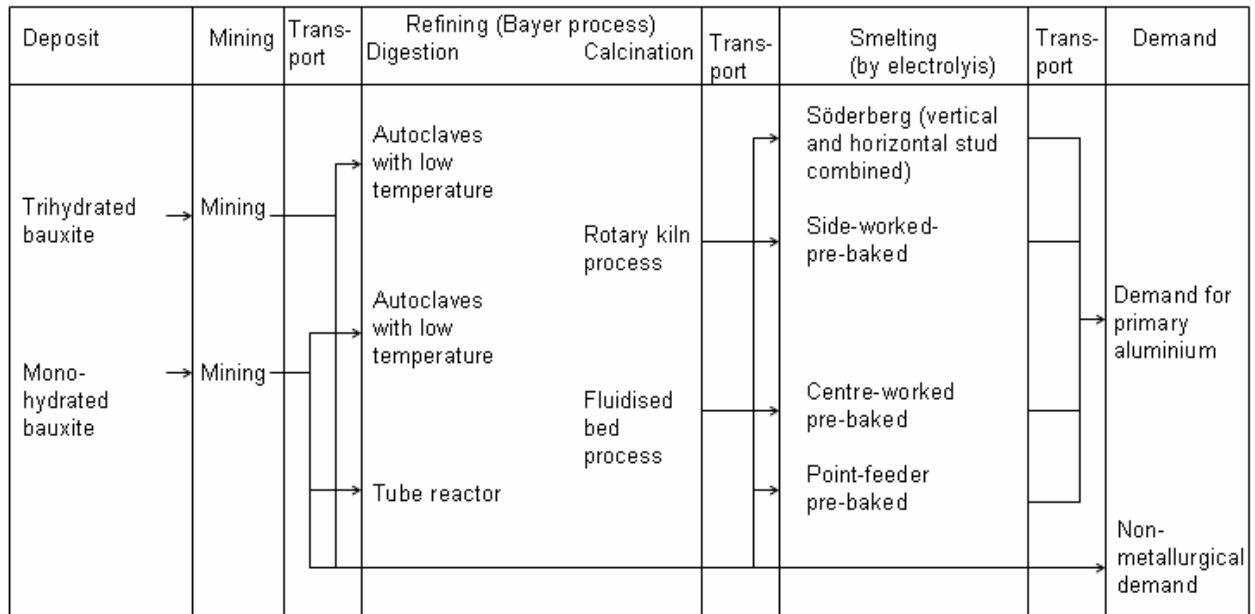
Modellierung Bergbau	Tagebau, Untertagebau
Modellierung der Verarbeitung von Rohstoffen	Eine „Standardtechnik“
Modellierte primäre Schmelztechnologien	Blast, Teniente, Electro, Inco Flash, Isasmelt, Kivcet, Mitsubishi, Noranda, Outokumpu, Reverberatory, Vanyukov
Modellierte sekundäre Schmelztechnologien	Knudsen-Blast, Recycling-Electro, Recycling-Isasmelt, Recycling-Reverbaratory, TBRC-Minismelter
Modellierte Umwandler (converter)	Conventional, Flash, C-converter
Modellierte Technologien in der pyrometallurgischen Raffinierung	Kombination mit kontinuierlichem Guss, Kombination mit konventionellem Guss (<i>casting plant</i>)
Modellierte Technologien in der elektrischen Raffinierung	Conventional, Isa-Kidd (nur kombiniert modellierbar)
Modellierte Technologien in der hydrometallurgischen Extraktion	Eine „Standardtechnik“

Quelle: Poganietz, Kuckshinrichs und Zapp (2003)

Der technische Fortschritt, der die Parameterwerte des Modells im Zeitablauf verändert, wird einerseits über ungebundenes learning-by-doing dargestellt und kann auf allen Prozessstufen auftreten. Andererseits wird auch gebundener technischer Fortschritt insofern berücksichtigt, wie die Anbieter von Blisterkupfer, Kupferanoden und elektrisch raffiniertem Kupfer Investitionen in neue Technologien tätigen.

In seiner Struktur mit dem Kupfermodell vergleichbar ist das Aluminiummodell Global, das ursprünglich von Schwarz (2000) entwickelt und am Forschungszentrum bis vor kurzem gepflegt und ausdifferenziert wurde (Poganietz, 2001). Abgebildet wird die Prozesskette für die Herstellung von Primäraluminium unter unterschiedlichen, umweltpolitisch bedeutsamen technologischen Randbedingungen (vgl. Abbildung 3). Die Verarbeitung von Primäraluminium und die Wiederverwendung über das Recycling von verarbeitetem Aluminium wird bislang allerdings nicht berücksichtigt.

Abbildung 3: Prozesskette der Primäraluminiumherstellung und modellierte Techniken



Quelle: Schwarz, 2000; Pogonietz, 2001

Insgesamt steht damit ein Instrumentarium zur Verfügung, das im Hinblick auf die Modellierung von Technik schon relativ ausdifferenziert ist. Für die Untersuchung der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie könnte es weiter verfeinert und bzgl. des noch groben ökonomischen Modellteils genauer spezifiziert werden.

Bislang ist verdeutlicht worden, dass es denkbar ist, vorhandene Modelle auszubauen bzw. zu ergänzen, die sich bestimmter Sektoren angenommen haben. Neben der Papier- und Zellstoffindustrie, der Zementindustrie, der Stahlindustrie und dem Komplex der NE-Metalle wäre hier sicherlich auch an die Energiewirtschaft zu denken. So gibt es eine Vielzahl von bottom-up-Modellen, die z.B. den Kraftwerkspark relativ detailliert modellieren (z.B. Vögele, 2001). Zudem ergeben sich Schnittstellen zwischen der IVU-Richtlinie und dem seit 2005 angelaufenen Emissionshandel. Für eine detaillierte Untersuchung dieses Sektors würde sich dann der zusätzliche Aufwand (auch bei der Datenproduktion bzw. -verarbeitung) vermutlich in Grenzen halten.

Allerdings besteht auch die Möglichkeit, ein bestimmtes Modellinstrumentarium auf einen „neuen“ Sektor anzuwenden. Ein möglicherweise interessanter Anwendungsfall könnte die Textilindustrie bzw. die textile Wertschöpfungskette sein. Denkbar wäre es hier Synergieeffekte mit einer Reihe von Studien zu realisieren, die sich dieses Sektors

kürzlich unter verschiedenen Gesichtspunkten angenommen haben: einer Untersuchung zu den BVT in Anlagen der Textilindustrie, in der u.a. auch auf Erhebungen der Autoren zu Textilveredelungsbetrieben zurückgegriffen wird (Schönberger und Schäfer, 2003); eine Analyse zum Lead-Markt Potenzial für deutsche Hightech-Textilien (Beise et al., 2002); eine Untersuchung zur textilen Wertschöpfungskette im Rahmen der Implementation der neuen EU-Chemikalienverordnung REACH (ADL, 2002).

Interessant könnte dieser Sektor nicht zuletzt deshalb sein, weil sich in der deutschen Textilindustrie in den letzten Jahren und Jahrzehnten ein erheblicher Strukturwandel konstatieren lässt (vgl. ausführlich Grömling und Matthes, 2003). So ist allein im westdeutschen Textilbereich (ohne Bekleidungsindustrie) zwischen 1960 und 2000 die Zahl der Betriebe von 6.817 auf 2.441 zurückgegangen, was sich entsprechend auch in geringeren Beiträgen zur Bruttowertschöpfung und Beschäftigung niederschlägt. Als Ursachen der rückläufigen Produktion im Textilsektor gelten vor allem hohe Produktions- und Arbeitskosten im Inland bei zunehmender Niedriglohnkonkurrenz mit dem Ausland. Häufig wird in diesem Zusammenhang auch angeführt, dass die strengen deutschen Umweltauflagen und –gesetze kostentreibend waren bzw. sind (bei einer Kostenstruktur des Sektors, die mit einem Anteil von rund 50% am Produktionswert von den Energie- und Materialkosten geprägt ist) und Unternehmen zur Auslagerung der Produktion ins Ausland veranlasst haben. Gleichzeitig wird allerdings auch deutlich, dass der Textilsektor wesentlich heterogener geworden ist, sich in Teilmärkten stark ausdifferenziert hat und verschiedene Anpassungsstrategien an veränderte Rahmenbedingungen verfolgt worden sind. Hervorzuheben ist die (auch für den Export) zunehmende Bedeutung von technischen und Hightech Textilien (35% Anteil an der Gesamtmenge der verarbeiteten Fasern, 39% Anteil am Gesamtumsatz). Im Laufe der Zeit haben sich dann auch verschiedene umweltpolitisch interessante Verflechtungsbeziehungen herausgebildet: So werden technische Textilien einerseits in zunehmendem Maße für Umweltzwecke verwendet (z.B. für Isolierungen, Küstenbefestigungen, zur Luft- und Wasserreinigung mit Filtern), was wiederum auch mit staatlichen Vorgaben zusammenhängt (Beise et al., 2002, S. 71ff.). Andererseits gibt es deutliche Anzeichen dafür, dass die Textilindustrie als vorleistungsintensive Branche vom umwelttechnischen Fortschritt in anderen Branchen (insbesondere dem Maschinenbau und der Chemischen Industrie) profitiert. So arbeiten nach Angaben des Forschungskuratoriums Textil e.V. (2004) Textilunternehmen eng mit dem Textilmaschinenbau in Forschungsprojekten zusammen, um die Produktivität der Anlagen zu steigern, neue Produkte zu realisieren und die weltweite Konkurrenzfähigkeit des deutschen Textilmaschinenbaus mit fast 95% Exportanteil zu sichern.

Offensichtlich bereitet es erhebliche empirische Schwierigkeiten diese Verflechtungen und Innovationsmuster so abzubilden, dass nicht nur Aussagen für Einzelfälle auf der Basis von Interviews und Expertenbefragungen gewonnen werden.¹²⁵ Wenn ein erhebliches Maß an Aufwand und Kosten nicht gescheut wird und/oder sich Synergien mit anderen Forschungsprojekten ergeben, könnte man jedoch an eine mehrjährige Betriebspanelbefragung denken, mit der sich der Wandel ganz bestimmter, in der amtlichen Statistik nicht hinreichend genau erfasster Variablen und Variablenbündel im Zeitablauf erfassen lässt. Idealerweise könnte man mit einem abgestimmten und intensiv betreuten Panel auch Probleme minimieren, die z.B. den Umfang des Fragebogens, die Nachvollziehbarkeit des Fragebogenprogramms, dessen Relevanz für den Probanden, die Sensibilität der abgefragten Informationen u.ä. betrifft. Schon aus Kostenerwägungen liegt es allerdings nahe, vorhandene Datenbestände darauf zu überprüfen, in welchem Maße sie ein Substitut für originär erhobene Paneldaten darstellen können. Als kleines, sektoral ausgerichtetes Panel käme ggf. das NIFA-Panel (Neue Informationstechnologie und flexible Arbeitssysteme) in Betracht, das über die 1990er Jahre hinweg als DFG-Projekt finanziert wurde und sich auf den Sektor Maschinenbau konzentriert (vgl. Widmaier und Hauptmanns, 1997).¹²⁶ Dieses Panel wurde dabei auch für eine interessante Mikrosimulationsstudie genutzt, in der der Erfolg unterschiedlicher Produkt-, Markt- und Innovationsstrategien von Unternehmen differenziert (d.h. nicht nur im Durchschnitt) überprüft wurde (Widmaier, Niggemann und Merz, 1994).

5. Fazit

Aufgabe dieses Kapitels war es, eine Reihe von Problemen anzusprechen, die sich durch den Mangel an Daten bzw. den Mangel an „guten“ Daten ergeben. Ebenso sollten Strategien und Optionen verdeutlicht werden, die angesichts der Datenlage in thematisch

¹²⁵ Vgl. den verdienstvollen, aber bereits mühsamen Versuch von Beise et al. (2002, S. 61ff.) eine Expertenbefragung mit einem Indikatorenansatz auf der Basis der Lead-Markt Konzepts zu verbinden. Auch Legler et al. (2003) beschreiben die Schwierigkeiten, die sich mit der Verwendung von Innovationsindikatoren zur Umweltwirtschaft ergeben wie sie seit einiger Zeit regelmäßig in die Berichterstattung zur technologischen Leistungsfähigkeit eingehen. So eignet sich der dort verwendete angebotsorientierte, funktionale Ansatz nicht zur Verwendung von Unternehmensdaten (z.B. zum Investitionsverhalten). Technologien müssten erst eindeutig Gütergruppen zugeordnet werden, um dann auf dieser Basis Handelsströme mit Umweltschutzgütern zu erfassen und Analysen mit Indikatoren für internationale Wettbewerbsfähigkeit auf sektoraler Ebene durchzuführen (revealed comparative advantage, relativer Welthandelsanteil u.ä.).

¹²⁶ Ebenso ins Auge zu fassen wären natürlich die weiter oben beschriebenen Innovationserhebungen oder ggf. das Betriebspanels des Instituts für Arbeitsmarkt und Berufsforschung.

einschlägigen Untersuchungen gewählt wurden bzw. für eine zukünftige Studie zu den ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie in Frage kommen.

Im allgemeinen stellen Datenprobleme sicherlich einen Knackpunkt für die Realisierung der hier angestrebten Mikro-Makro-Brücke dar. So ist der Informationsbedarf einfach besonders hoch, wenn Strukturanalyse betrieben werden soll und nicht (oder nicht nur) ein Ganzes, sondern vor allem (auch) die Interaktion von Teilen analysiert werden soll. Erfahrungsgemäß werden zudem die „wahren“ Schwierigkeiten erst deutlich, wenn man ihnen im Einzelfall und im Detail begegnet.¹²⁷

Datenprobleme werden sicherlich aber auch mehr oder weniger deutlich oder treten in unterschiedlichen Formen auf. Dies hängt nicht zuletzt von dem gewählten methodischen Vorgehen ab. Wie bereits an verschiedenen Stellen verdeutlicht treten etwa zusätzliche Daten-, Informations- und Wissensprobleme auf, wenn man von einem Wirkungs- zu einem Prognosemodell „übergeht“ (vgl. die Unterscheidung in Kapitel C 2.). So zeigen schon die mikroökonomischen, ex-post orientierten Wirkungsmodelle, welche methodischen und datenbedingten Schwierigkeiten es bereitet, die Determinanten technologischer Neuerungen zu bestimmen und diese kausal zuzurechnen. Wenn ein Prognosemodell jedoch nicht auf einem wohldefinierten System von kausalen Beziehungen beruht und die Wirkungsfrage „geklärt“ ist, ist der Informationsgehalt der Prognose im allgemeinen gering (Löbke et al., 1993, S. 8). Diese Beziehungen zwischen Variablen und zwischen Ursache und Wirkung sind jedoch in aller Regel von verschiedenen (institutionellen, ökonomischen, sozialen) Rahmenbedingungen und insbesondere von sich oft rasch ändernden Politikentscheidungen abhängig; außerdem sind sie in ständigem Fluss und variabel in der Zeit. Gerade weil diese Komplexität nicht vollständig modelltechnisch beherrschbar ist und Daten-, Informations- und Wissenslücken (u.a. über das zukünftige Technikportfolio) und „Vereinfachungen“ (z.B. bei der Modellierung sog. weicher Faktoren) allgegenwärtig sind, sind „reine“ Technikprognosen und Prognosen über davon ausgehende ökonomische Wirkungen mit erheblichen Unsicherheiten verbunden und erweisen sich in retrospektiver Sicht oft als wenig tragfähig.¹²⁸ Vor diesem Hintergrund wird daher zum einen darauf hingewiesen, dass der gewählte Prognosezeitraum nicht zu weit in der Zukunft liegen sollte. Zum anderen haben sich statt „Einpunktschätzungen“ Modellszenarien etabliert, bei denen zwar das Modell als

¹²⁷ Weil diese Detailprobleme nicht immer genau absehbar sind und eine zu tiefgehende Abhandlung den Rahmen dieser Studie sprengen würde, konnten sie hier nicht umfassend aufgegriffen werden.

¹²⁸ Kistler, Hilpert und Dostal (1999) sprechen etwa von einer „Trefferquote“ von 30%. In der Technologieprognose ist auch von dem sog. *big mistake* die Rede, wenn Voraussagen auf scheinbar unerschütterlichen, statistisch abgeleiteten historischen Parametern beruhen (vgl. Koomey, 2000).

computerbasiertes Werkzeug beibehalten wird, aber vor allem dazu dient, Ergebnisse bei alternativen Annahmen und Setzungen durchzuspielen (z.B. Ruth, Davidsdottir und Amato, 2004, S. 156). Damit kommt der explorative Charakter der Modellanalyse stärker zum Tragen, was man als politisch ungünstig bewerten kann, aber auch Anlass zu weiteren Lernprozessen (z.B. im Rahmen von Stakeholderworkshops) geben kann.

Dennoch ist die Datenlage nicht generell unzureichend, sondern auch von Sektor zu Sektor verschieden. So liegen für Sektoren, die analytisch vergleichsweise gut abgrenzbar und homogen sind, auch Studien vor, auf denen eine IVU-spezifische Folgeuntersuchung relativ leicht aufbauen kann (z.B. den Papier- und Zellstoffsektor).

Außerdem steht auch bei Unsicherheiten einer Technologiebeobachtung bzw. –früherkennung grundsätzlich nichts entgegen. Gerade für die sog. Neuen Techniken wäre etwa an ein Screening von bestimmten Technologiebereichen zu denken. Dieses Suchverfahren könnte im Sinne eines “technology-push“ an Entwicklungen im technisch-wissenschaftlichen Bereich ansetzen, im Sinne eines “market-pull“ stärker an Nachfragetrends und gesellschaftlichen Problemlagen anknüpfen oder auch auf bestehende und zu erwartende Entwicklungen bei normierenden und gesetzgeberischen Aktivitäten abzielen (“regulatory push“). Nicht zuletzt gibt es hierzu wiederum eine Vielzahl von z.T. relativ gut erprobten und meist auf Experteneinschätzungen basierenden Methoden (z.B. Delphi-Verfahren, technology foresight, Politik-Monitoring und Benchmarking etc.).

Angesichts von Datenrestriktionen und Unsicherheiten ergeben sich letztlich sicherlich eine Reihe von weiterreichenden Fragen. So spricht zunächst viel für einen Methodenpluralismus (vgl. Blazejczak et al., 1993). Unterschiedliche Modell- und Analyseansätze wären dann gleichzeitig einzusetzen. Dabei könnte deutlich gemacht werden, inwiefern die Ergebnisse eines Ansatzes vor dem Hintergrund der Ergebnisse eines anderen Ansatzes ggf. relativiert werden müssen (auch jenseits der jeweils durchzuführenden Sensitivitätsanalysen). Ebenso ist davon auszugehen, dass sich bestimmte Ansätze gegenseitig bedingen (insbesondere Wirkungsanalyse und Prognose). Keineswegs trivial ist aber letztlich die Frage, inwiefern unterschiedliche Ansätze und Methoden miteinander zu verknüpfen sind und ein hinreichend konsistentes Gesamtbild entstehen kann.¹²⁹

¹²⁹ Vgl. zu den ambivalenten Erfahrungen in der META II-Studie Oppenländer (1991).

F. Empfehlungen zu einem zukünftigen Forschungsdesign: 10 zusammenfassende Thesen und mögliches weiteres Vorgehen

Abschließend sollen an dieser Stelle 10 Thesen (oder Thesenbündel) formuliert werden, die den Charakter von Empfehlungen zu einer potenziellen Nachfolgestudie zu den ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie haben. Die Thesen gehen dabei vom Allgemeinen zum Speziellen. Abschließend wird eine zusammenfassende Einschätzung bzgl. des weiteren Untersuchungsbedarfs vor dem Hintergrund förderpolitischer Ziele und verschiedener Restriktionen gegeben.

These 1: Die Untersuchung der ökonomischen Auswirkungen umweltpolitischer Regulierungen ist in den vergangenen beiden Jahrzehnten zu einem vielbeachteten Forschungsfeld in der Ökonomie geworden. Außerdem werden die damit zusammenhängen Fragestellungen gerade in letzter Zeit lebhaft auf politisch-administrativer Ebene diskutiert. Gemessen an diesem Interesse ist der **Stand der empirischen Forschung** jedoch noch in mancherlei Hinsicht **unbefriedigend**:

- Die Mehrzahl der Arbeiten liegen für die USA vor.
- Die Wirkungen ordnungsrechtlichen Umweltschutzes sind empirisch weniger untersucht als die ökonomischer Instrumente.
- Der Untersuchungsrahmen ist oft relativ eng abgesteckt (z.B. häufig getrennte Behandlung der Wirkungen auf unternehmerische Wettbewerbsfähigkeit und Innovationen). Aus einer Vielzahl von Einzeluntersuchungen lassen sich dann unterschiedliche (politische) Schlussfolgerungen ziehen.
- Die zu untersuchenden Fragestellungen werden nicht nur unterschiedlich präzisiert. Auch Begriffe wie „ökonomisch“, „Wettbewerbsfähigkeit“, „Innovation“ und „Regulierung“ werden unterschiedlich definiert und abgegrenzt. Für eine empirische Studie ist ein Mindestmaß an Klarheit über die Fragestellung, die Begrifflichkeiten und Abgrenzungsfragen erforderlich (vgl. jedoch auch These 2).

These 2: Bei einer **umfassenden Analyse** der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie können verschiedene Erkenntnisziele verfolgt und verschiedene Problemfacetten beleuchtet werden. Es liegt jedoch keine Methode und kein Modell vor, dass sämtliche Problemdimensionen und Wirkungsmechanismen gleichzeitig erfassen kann. Aus diesem Grund bietet sich ein **Methodenpluralismus** an. **Unterschiedliche Modell- und Analyseansätze sind gleichzeitig einzusetzen** und ihre Relativität und Bedingtheit ist möglichst transparent zu machen (vgl. auch These 3, 9).

These 3: Beim Einsatz unterschiedlicher Methoden ist ein Mindestmaß an Konsistenz anzustreben, um die erzielten Ergebnisse (politisch) richtig einordnen zu können (vgl. These 1). **Vollständige Konsistenz** wird jedoch **nicht zu erreichen** sein, sei es weil sich empirische Wirkungsmechanismen nicht vollständig ergründen lassen, sei es weil die Vorgehensweisen, Modellspezifikationen u.ä. sich nur bedingt zur Deckung bringen lassen. Zudem ist zu erwarten, dass die von der IVU-Richtlinie geförderten BVT und Neuen Techniken – im Gegensatz zu genuinen Querschnittstechnologien – relativ spezifische Wirkungen mit sich bringen und Entwicklungspfade „anstoßen“ (vgl. auch These 4). Die Anwendung unterschiedlicher Methoden wird daher nur bedingt und in einem iterativen Prozess generalisierende Aussagen erlauben. Aus einem „**mosaikartigen Bild**“ können dann aber **Lernprozesse** angestoßen werden.

These 4: Werden die Wirkungen der IVU-Richtlinie auf einer Ebene analysiert, die über die einzelnen betroffenen Unternehmen hinausreichen, und Folge- und Anstoßwirkungen untersucht, ist nicht nur ein großer Dateninput erforderlich. Ebenso müssen eine Vielzahl von Einflussfaktoren und Determinanten, die für diese Wirkungen (mit-)verantwortlich sein können, geordnet werden und funktionale Zusammenhänge bestimmt werden. **Auf der Mikroebene ansetzende Untersuchungsmethoden** bringen hier eine Reihe von **Vorteilen** mit sich:

- Sie können **detailliert Heterogenität abbilden**, insbesondere bzgl. der technischen Produktionsprozesse und des unternehmerischen Investitionsverhaltens.
- Sie erlauben es, die **Analyse flexibler** zu machen (z.B. bzgl. der Zahl der zu berücksichtigten Einflussfaktoren).
- Vor allem über mikroökonomische Schätzungen können die erwähnten **Determinanten** bzw. erklärenden Variablen **relativ genau** und in Relation zum Verhalten einzelner Unternehmen und (Sub-)Sektoren **isoliert, quantifiziert und zugerechnet** werden (z.B. für die Analyse induzierter Innovationseffekte).
- Vor allem Fallstudien (aber auch ausgefeilte Mikrosimulationsmodelle) können **komplexe Kontextbedingungen** und die **Vielfalt der Sichtweisen relevanter Akteure** und Stakeholder leichter analytisch **integrieren**.

Es gibt nur teilweise Untersuchungen, die auf **dieser Analyseebene** ansetzen und sich auf die IVU-Richtlinie beziehen. Folglich besteht hier **weiterer zentraler Forschungsbedarf**.

These 5: Von der IVU-Richtlinie können bedeutsame **ökonomische Wirkungen „höherer Ordnung“**, d.h. jenseits der Mikroebene ausgehen. Sie können grob als Nachfrage-, Struktur- und induzierte Innovationsfolgeeffekte charakterisiert werden. Diese Effekte und ihre Bedeutung empirisch zu bestimmen, bereitet erhebliche Schwierigkeiten, und zwar insbesondere dann, wenn gleichzeitig ein hohes Maß an Vielfalt und Heterogenität auf der Mikroebene analytisch zugrundegelegt wird. Um sie zu bestimmen, ist auf Modelle zurückzugreifen, die sektorstrukturelle und gesamtwirtschaftliche Zusammenhänge analysieren. Auch wenn in diese Modelle Mikrodaten eingehen, sind **Vereinfachungen** bzw. mehr oder weniger **grobe Zurechnungen** erforderlich, um die Daten in einem konsistenten Modellrahmen verarbeiten zu können. Im Zuge der Aggregation treten zudem mehr oder weniger große **Verzerrungen** auf. Eine **vollständig befriedigende Mikro-Makro-Brücke** für die Untersuchung der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie ist auch vor dem Hintergrund der Erfahrungen in der Vergangenheit **nicht zu erwarten**. Dennoch liegen eine Reihe interessanter Ansätze vor, die **partielle Micro-to-macro-Verknüpfungen aufzeigen** können und jeweils spezifische Vor- und Nachteile haben (vgl. Thesen 6-8). Knüpft man an diesen Micro-to-makro-Ansätzen an und scheut einen gewissen Zeit-, Erhebungs- und Analyseaufwand nicht, ließen sich zumindest **richtungssichere Ergebnisse** erzielen. Im Rahmen einer umfassenden Analyse der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie könnte man sich zudem ein weiterreichendes Ineinandergreifen einzelner Module vorstellen.

These 6: **Input-Output-Modelle** eignen sich zur Analyse der sektoralen Verflechtungen in einer Volkswirtschaft und können auch von Politikimpulsen ausgehende direkte und indirekte Wirkungen modelltechnisch verarbeiten. Sie bauen auf einem statistisch fundierten Rahmen auf und lassen sich relativ flexibel an unterschiedliche Analyse- und Untersuchungszwecke anpassen, so dass ihnen eine konsistenzstimulierende Wirkung zukommt. In der Literatur liegen **bereits einige Erfahrungen** vor, wie die (politisch forcierte) Einführung neuer Techniken und technischer Wandel modelliert werden kann. Vorhandene Modelle unterscheiden sich u.a. danach, ob eine statische oder dynamische Betrachtungsweise zugrunde gelegt wird und ob einzelne, repräsentative Techniken oder größere Prozess- und Wertschöpfungsketten betrachtet werden. Konzeptionell sind damit einige Modifikationen, Transformationen und plausible Setzungen verbunden, insbesondere bei der weiterreichenden Kopplung von detaillierten technischen Modellen mit dem eigentlichen, im technischen Sinne aber unbefriedigenden ökonomischen IO-Modell. Empirisch-datentechnisch ist die Analyse in hohem Maße auf zusätzliche Befragungen, Expertengespräche und sog. *engineering estimates* angewiesen, die dann über eine Reihe von Anpassungen im Modell verarbeitet werden. Nimmt man die damit mehr oder weniger verbundenen **Unsicherheiten** sowie **Zurechnungsprobleme** und

Verzerrungen in Kauf und ist man sich der empirischen Grenzen einer derartigen Untersuchung bewusst (vgl. auch These 5), stellen erweiterte IO-Modelle **dennoch ein zentrales und relativ etabliertes Instrumentarium zur Abbildung partieller Micro-to-macro-Verknüpfungen** dar, das auch für die Analyse der ökonomischen Wirkungen der IVU-Richtlinie Anwendung finden kann. Ihr partieller Charakter rührt **aber** aus den der IO-Modellklasse **quasi inhärenten Mängeln**, darunter den Schwierigkeiten bei der Modellierung dynamischer wirtschaftlicher Prozesse und der Modellierung der Interdependenz von Preis- und Mengenentscheidungen. Kaum zu leisten ist auch die Abbildung stetiger bzw. in mehreren Sektoren gleichzeitig wirksamer Prozessinnovationen (im Gegensatz zur Modellierung einmaliger, isolierbarer Impulse), so dass Innovationswirkungen nur partiell zu erfassen sind.

These 7: Sog. **vollintegrierte makroökonomische Modelle**, die sich wesentlich auch auf IO-Tabellen stützen, können einige inhärente Beschränkungen der IO-Modellklasse überwinden. Sie zeichnen sich durch einen größeren Endogenisierungs- und Schließungsgrad aus und können die Interdependenz volkswirtschaftlicher Größen auf gesamtwirtschaftlicher Ebene besser und konsistenter erfassen. Diese Schließung wird dabei durch ein System ökonometrisch geschätzter Verhaltens- und Reaktionsfunktionen bewerkstelligt. Die empirische Modellierung politikinduzierten technischen und strukturellen Wandels über komplexe funktionale Zusammenhänge steht allerdings erst am Anfang. Die Modellierung, die ein Mindestmaß an innerer Konsistenz erfordert und auf Daten für einen längeren Beobachtungszeitraum angewiesen ist, wird bislang von Sektorcharakteristika und der Datenverfügbarkeit bestimmt. **Partielle Micro-to-macro-Verknüpfungen** können damit realisiert werden, **wenn die Datenlage relativ gut ist, technische Charakteristika und Paradigmen relativ überschaubar** sind und einfach typisiert bzw. kategorisiert werden können und einige der bereits mit erweiterten IO-Modellen verbundenen **Unsicherheiten** (z.B. hohes Maß an Expertenwissen) **für vertretbar gehalten** werden. Vor diesem Hintergrund ist an **Erweiterungen** auf der Basis der bisherigen Pilotanwendungen **für einzelne Sektoren** (Papier- und Zellstoffindustrie, Zementindustrie, Stahlindustrie) zu denken (evtl. auch im Rahmen **spezifischer ökonometrischer Branchenstrukturmodelle**). **Schwierigkeiten** dürfte es dabei bereiten, die Rolle **ordnungsrechtlicher Politikimpulse** abzubilden, so dass hier wesentliche Vorarbeiten zu leisten wären (vgl. These 4).

These 8: Es ist darüber nachzudenken, ein **detailliertes mehrjähriges Beobachtungs- und Forschungsprogramm für ausgewählte IVU-Sektoren** zu etablieren. Zu diesem Zweck wäre auf ein oder eine Kombination von **Betriebspanels** zurückzugreifen, da diese für kontrolliertes empirisches Arbeiten mit einer Population von Betrieben we-

sentliche Vorzüge mit sich bringen. Zu überprüfen sind in diesem Zusammenhang auch die weiteren Fortschritte, die sich bei der Nutzung faktisch anonymisierter Mikrodaten aus der amtlichen Statistik ergeben. Mit einem sicherlich nicht unerheblichen Zeit- und Arbeitsaufwand ließe sich eine **integrierte Datenbasis aufbauen**, die für Mikrosimulationsstudien verwendet werden könnte. Ein **Mikrosimulationsmodell** könnte dann in hohem Maße **Heterogenität auf der Mikroebene abbilden** und aufzeigen, dass **technologischer Wandel** und dessen ökonomische Konsequenzen nicht eindimensional und anhand grober Durchschnittsgrößen zu erklären sind, sondern **entlang bestimmter Pfade und Trajektorien** verläuft. Für die vorliegende Fragestellung (IVU-Richtlinie, Einführung und Verbreitung von BVT) wäre **allerdings** sicherlich **empirisches Neuland** zu betreten (z.B. angesichts von Schätz- und Validierungsproblemen). Dem steht jedoch ein lebhaftes Interesse in Teilbereichen der Ökonomie gegenüber, theoretische und prototypische Modelle auch für empirische Zwecke einzusetzen.

These 9: Für die hier angestrebte Untersuchung der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie jenseits der Mikroebene bietet sich die **Sektor- bzw. Subsektorebene als geeigneter Ansatzpunkt**, da sich technische Produktionsprozesse, sonstige Charakteristika, aber auch die Datenlage von Sektor zu Sektor signifikant unterscheiden. Der **Einsatz multipler Methoden** für Studien zu ausgewählten Sektoren sollte im Rahmen einer umfassenden Analyse nicht als unnötige Doppelforschung angesehen werden, sondern Anstoß für Lernprozesse sein (vgl. These 2,3).

These 10: Die in dieser Machbarkeitsstudie aufgeworfene Methodendiskussion und die soeben formulierten Thesen mit Empfehlungscharakter werfen z.T. **Fragen auf, die weit über die IVU-Richtlinie hinausreichen**. Es ist daher auch zu bedenken, dass eine **umfassende Analyse** mit mehreren komplementären Modellen, mehreren Forschern etc. Kosten verursacht und Zeit in Anspruch nimmt. Ebenso ist zu bedenken, dass ein größeres Forschungsdesign zusätzliche Erkenntnisse zutage fördert, die mehrere Politikfelder betreffen. Vor diesem Hintergrund sind möglichst **Synergien mit anderen laufenden oder geplanten Forschungsprojekten zu suchen**, die sich mit umwelt-, technik-, industrie- und innovationspolitischen Fragestellungen beschäftigen.

Abschließende Einschätzung:

Abschließend ist daher für ein schrittweises, koordiniertes, modulares und auf mehrere Jahre angelegtes Vorgehen zu plädieren, mit dem sich der bestehende Untersuchungsbedarf schließen lässt. Dabei sind die (förder-)politischen Prioritäten zu beachten, aber auch Aufwand und Ertrag einschlägiger Studien und die weiteren Fortschritte in der Methodenentwicklung und die zu erwartende Verbesserung der Datenlage zu bedenken.

In einer ersten Phase ist daran zu denken, an vorhandenen Studien oder Modellen anzuknüpfen und bislang nicht hinreichend geklärte IVU-spezifische Fragen zu untersuchen. Hier bietet sich an, die bereits anderweitig für technikorientierte Fragestellungen genutzte Input-Output-Analyse einzusetzen und vorhandene Datenbestände zu gut untersuchten Sektoren zusammenzuführen. Parallel dazu wären stärker mikroökonomisch ausgerichtete Ansätze fortzuführen. So wäre im Rahmen von Fallstudien und Befragungen etwa näher zu klären, wie sich die IVU-Richtlinie als „ordnungsrechtlich-informatives“ Politikinstrument konkret auf zentrale Unternehmensentscheidungen auswirkt, wie das Zusammenspiel mit anderen politischen Vorgaben und unternehmerischen Entscheidungsvariablen zu beurteilen ist und wie der Implementationsprozess (auch im Vergleich zu anderen Mitgliedsstaaten) abläuft. Im Rahmen von mikroökonomischen bzw. mikroökonomischen Studien könnte man zudem auf der Basis vergleichbarer Projekte (vgl. Kapitel D 5.) eine technikorientierte und vom Untersuchungsaufwand wohl vertretbare Patentanalyse anstellen.

Von derartigen Teilprojekten sind bereits einige interessante Implikationen für die Förderung neuer Umwelttechniken zu erwarten. So dürfte sich z.B. ein genaueres Bild über Hersteller-Anwender-Beziehungen und über Spillover-Effekte unternehmerischer Investitionen ergeben. Allerdings sind Entscheidungen zu Fördermaßnahmen genau und nicht zuletzt im Hinblick auf die zu erzielen primären Wirkungen zu begründen. Dies bedeutet, dass mit Umweltinnovationen verbundene Marktmängel möglichst genau zu identifizieren sind, und potenzielle unerwünschte Nebenwirkungen von Fördermaßnahmen zu bedenken sind (z.B. Mitnahmeeffekte, Sperrklinkeneffekte).¹³⁰ Vor diesem Hintergrund bedarf gerade die Förderung Neuer Techniken und ihrer Verbreitung eigenständiger Beobachtung und Analyse.

¹³⁰ Es ist hier etwa zu bedenken, dass Projekte förderwürdig sein können, auch wenn sie arbeitsmarktpolitisch weniger günstig zu beurteilen sind. In diesem Sinne würden z.B. durch IO-Modelle bereitgestellte Ergebnisse zu sektorstrukturellen Wirkungen und (Brutto-)Beschäftigungseffekten der IVU-Richtlinie „nur“ zusätzliche Informationen liefern (Demonstrationseffekt).

In einer zweiten, z.T. überlappenden Phase könnte man schließlich IVU-spezifische Studien stärker mit anderen Untersuchungen verzahnen, die sich mit innovations-, umwelt- und technologiepolitischen Fragestellungen beschäftigen. In diesem Sinne sind Synergien mit breiter angelegten Forschungsprojekten zu suchen, die einen Forschungsaufwand erfordern, der sich im Hinblick auf die Untersuchung der ökonomischen Auswirkungen der IVU-Richtlinie im engeren Sinne nicht mehr rechtfertigen lässt. Diese breiter angelegten Vorhaben könnten jedoch dazu dienen, die empirische Basis für eine vertiefte bzw. erweiterte ökonomische Wirkungsanalyse zu verbessern. Zu denken ist dabei insbesondere an mehrjährige Betriebspanelbefragungen und darauf aufbauende Analysen und methodische Weiterentwicklungen (z.B. über Mikrosimulationsmodelle, sonstige mikroökonomische Ansätze). Ebenso könnten verstärkt Daten zu bislang weniger gut untersuchten IVU-Sektoren erschlossen werden.

In einer dritten Phase wäre dann zu versuchen, die einzelnen Untersuchungsmodule möglichst konsistent zusammenzuführen und die Untersuchungsergebnisse in einem breiteren Rahmen zu diskutieren. Dabei gilt es einerseits zu überlegen, ob einzelne Modelle bzw. Modellbausteine miteinander gekoppelt werden können (z.B. Mikrosimulationsmodelle und makroökonomische Modelle). Andererseits ist verstärkt der Dialog zu entsprechenden Stakeholdern zu suchen, mit denen Modellergebnisse und Szenarien kritisch hinterfragt und ggf. im Hinblick auf kritische Annahmen und Parameter angepasst werden können. Ein solcher Dialog könnte nicht zuletzt vor dem Hintergrund praktischer Erfahrungen mit der IVU-Richtlinie geführt werden.

Literatur

- Ahmed, S. et al. (2003): Development of a system of indicators on competitiveness and fiscal impact on enterprises performance, Multi-country microsimulation modelling of corporate tax policies: prospects and problems, Deliverable no. 8.1, draft report on DIECOFIS Workpackage 8, Cambridge.
- Arthur D. Little (ADL) (2002): Wirtschaftliche Auswirkungen der EU-Stoffpolitik, Untersuchung im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie, www.bdi-online.de.
- Azomahou, T., Nguyen Van, P. und Wagner, M. (2004): Determinants of environmental and economic performance of firms: an empirical analysis of the European paper industry, *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* 9, S. 133-146.
- Bach, S. et al. (2001): Die ökologische Steuerreform in Deutschland – Eine modellgestützte Analyse ihrer Wirkungen auf Wirtschaft und Umwelt, Heidelberg: Physica-Verlag.
- Ballot, G. und Taymaz, E. (1999): Technological change, learning and macro-economic coordination: an evolutionary model, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 2, No. 2.
- Beise, M. et al. (2002): Lead Markt Deutschland – Zur Position Deutschlands als führender Absatzmarkt für Innovationen, Thematische Schwerpunktstudie im Rahmen der Berichterstattung zur Technologischen Leistungsfähigkeit im Auftrag des BMBF, Mannheim.
- Beise, M. und Rennings, K. (2003): Lead markets of environmental innovations: a framework for innovation and environmental economics, Discussion Paper No. 03-01, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim.
- Berkhout, F. et al. (2001): Measuring environmental performance of industry, Studie im Auftrag der Europäischen Kommission, ENV4-CT97-0655.
- Blazejczak, J. et al. (1993): Beschäftigungswirkungen des Umweltschutzes – Abschätzung und Prognose bis 2000, Berlin: Umweltbundesamt.
- Böhringer, C. and Löschel, A. (2004): Measuring Sustainable Development: The Use of Computable General Equilibrium Models, Discussion Paper No. 04-14, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim.
- Böhringer, C. und Wiegard, W. (2003): Methoden der angewandten Wirtschaftsforschung: Eine Einführung in die numerische Gleichgewichtsanalyse, Discussion Paper 03-02, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim.
- Bork, C. (2000): Steuern, Transfers und private Haushalte, Eine mikroanalytische Simulationsstudie der Aufkommens- und Verteilungswirkungen, Frankfurt am Main: Peter Lang.

- Bouman, M. et al. (1999): Material flow analysis and economic models: an analytical comparison of SFA, LCA and equilibrium models, CML-SSP Working Paper 99.001, University of Leiden, The Netherlands.
- Brenner, T. und Murmann, P. (2003): The use of simulations in developing robust knowledge about causal processes: methodological considerations and an application to industrial evolution, Papers on Economics and Evolution 0303, Max Planck Institut zur Erforschung von Wirtschaftssystemen, Jena.
- Bundesregierung (2003): Bericht der Bundesrepublik Deutschland gemäß Art. 16 Abs. 3 in Verb. mit Abs. 1 der Richtlinie 96/61/EG vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, Beantwortung des Fragebogens der Kommission vom 31.5.1999.
- Buttermann, H.-G. (1997): Ein Modell zur Erklärung des Faktoreinsatzes in der deutschen Zementindustrie, RWI-Papiere Nr. 48, Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Buttermann, H.-G. (2003/04): Die zukünftige Energie- und Rohstoffeffizienz in der Papierindustrie – Möglichkeiten und Grenzen, RWI-Mitteilungen Nr. 54/55, S. 31-50.
- Buttermann, H.-G. und Hillebrand, B. (2005): Die Bedeutung von Stahl-Werkstoffen als „Rohstoff“ für die Wirtschaftsstruktur in Deutschland, Energie und Umweltanalysen 04, Energy Environment Forecast Analysis GmbH, Münster/ Berlin.
- Coenen, R. et al. (1996): Integrierte Umwelttechnik – Chancen erkennen und nutzen, Studien des Büros für Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages, Berlin.
- Conrad, K. (2003): Korreferat zum Referat von C. Böhringer und W. Wiegard, in: Franz, W. und Stadler, M. (2003): Empirische Wirtschaftsforschung – Methoden und Anwendungen, Tübingen: Mohr, S. 143-148.
- Davies, J. (2004): Microsimulation, CGE and Macro Modelling for Transition and Developing Economies, Discussion Paper No. 2004/08, United Nations University.
- Dawid, H. (2005): Agent-based models of innovation and technological change, in: Judd, K. und Tesfatsion, L. (eds.): Handbook of Computational Economics Vol. 2: Agent-Based Computational Economics, North-Holland.
- De Haes, H. et al. (2004): Three strategies to overcome the limitations of life-cycle assessment, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 8, No. 3, S. 19-32.
- De Vries, F. und Withagen, C. (2005): Innovation and environmental stringency: the case of sulphur dioxide abatement, CentER Discussion Paper 2005-18, Universität Tilburg.
- Dupuy, D. (1997): Technological change and environmental policy: the diffusion of environmental technology, *Growth and change*, Vol. 28/1, S. 49-66.
- Eason, R. J. (2000): Modelling corporation tax in the United Kingdom, in: Gupta, A. und Kapur, V. (Hrsg.): Microsimulation in government policy and forecasting, Amsterdam: North Holland, S. 133-151.

- Edler, D. (1990): Ein dynamisches Input-Output-Modell zur Abschätzung der Auswirkungen ausgewählter neuer Technologien auf die Beschäftigung in der Bundesrepublik Deutschland, Berlin: Duncker und Humblot.
- Edler, D. (1993): Untersuchung ausgewählter Umweltschutzmaßnahmen mit Hilfe eines technikorientierten und mikroökonomisch fundierten Forschungsansatz, in: Blazejczak, J. et al. (Hrsg.): Beschäftigungswirkungen des Umweltschutzes, Abschätzung und Prognose bis 2000, UBA Texte 42/93, Umweltbundesamt: Berlin.
- Edquist, C. et al. (2001): Innovation and employment: process versus product innovation, Edvard Elgar: Cheltenham, UK.
- Eliasson, G., Johansson, D. und Taymaz, E. (2002): Simulating the New Economy, Paper presented at the 27th General Conference of the International Association for Research in Income and Wealth, Djurhamn, Schweden, 18.-24.8.2002.
- European Commission (2003): Evaluating Socio-Economic Development, Sourcebook 2: Methods and Techniques, available online <http://www.evaled.info/>.
- European Commission (2004): The EU Economy Review, European Economy, No. 6/2004, COM(2004)723.
- European Commission (2005): Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Economics and Cross-Media Effects, Joint Research Center, Institute for Prospective Technology Studies, Sevilla.
- Eurostat (2005): Environmental expenditure statistics: industry data collection handbook, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Fahrenkrog, G. et al. (2002): RTD Evaluation Toolbox – Assessing the socio-economic impact of RTD-policies, IPTS Technical Report Series, Joint Research Centre, Sevilla.
- Feenberg, D. und Gupta, A. (2000): Some perspectives on data issues in microsimulation modelling, in: Gupta A. und Kapur, V. (Hrsg.): Microsimulation in government policy and forecasting, Amsterdam: North Holland, S. 457-466.
- Feichtinger, G. et al. (2003): Environmental policy, the Porter hypothesis and the composition of capital: effects of learning and technological progress, CentEr Discussion Paper 2003-61.
- Forschungskuratorium Textil e.V. (2004): Zukunftsfähigkeit gestalten durch eine attraktive Textilforschung, Positionspapier, Eschborn.
- Fritsch, M. (1992): Top-down oder Bottom-up? Die Mikro-Makro-Brücke von unten besehen, *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, Vol. 210/5-6, S. 427-434.
- Fritsch, M. et al. (2004): Cost structure surveys for Germany, *Schmollers Jahrbuch* 124, S. 557-566.
- Frohn, J., Leuchtmann, U. und Kräussl, R. (1998): Fünf makroökonomische Modelle zur Erfassung der Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen – eine vergleichende Betrachtung, Stuttgart: Metzler und Poeschel.

- Frohn, J. et al. (2003): Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen, Abschätzungen mit zwei ökonomischen Modellen, Heidelberg: Physica-Verlag.
- Gabel, H. L. und Sinclair-Desgagné, B. (1999): The firm, its routines and the environment, in: Tietenberg, T. und Folmer, H. (eds.): The international yearbook of environmental and resource economics 1998/99, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 89-118.
- Galler, H. (1994): Mikrosimulation, in: Hauser, R., Ott, N. und Wagner, G. (Hrsg.): Mikroanalytische Grundlagen der Gesellschaftspolitik, Bd. 2, Berlin: Akademie Verlag.
- Ganzleben (2002): Integrated pollution prevention and control: a driver for innovation in the European Union?, Papier für die Oikos PhD Summer Academy 2002 "Sustainability, Corporations and Institutional Arrangements".
- Gerstenberger, W. (1991): Neue Technologien und Beschäftigung: Zum Stellenwert von Technologieverflechtungsmatrizen, in: Oppenländer, K. H. (Hrsg.): Beschäftigungsfolgen moderner Technologien, Berlin: Walter de Gruyter, S. 99-109.
- Gray, W. und Shadbegian, R. (2003): Plant vintage, technology, and environmental regulation, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 46, S. 384-402.
- Grefermann, K. (1997): Globalisierung und Konzentration: die Papierindustrie im Wandel, ifo Studien zur Industriewirtschaft, München: ifo Institut für Wirtschaftsforschung.
- Grömling, M und Matthes, J. (2003): Globalisierung und Strukturwandel der deutschen Textil- und Bekleidungsindustrie, IW-Analysen, Institut der deutschen Wirtschaft, Köln.
- Grundmann, T. (1999): Volkswirtschaftlich konsistente Energieszenarien zur CO₂-Reduktion, Forschungszentrum Jülich.
- Grundmann, T. und Becker, B. (2004): Integrierte Investitionen für den Umweltschutz im Produzierenden Gewerbe, *Wirtschaft und Statistik* 5/2002, S. 783-791.
- Grubb, M., Köhler, J. und Anderson, D. (2002): Induced technical change in energy and environmental modeling: analytic approaches and policy implications, *Annual Review of Energy and Environment*, Vol. 27, S. 271-308.
- Hanhoff, I. und Holm-Müller, K. (2003): Umweltbezogene Determinanten und ihre innovative Wirkung in Abhängigkeit von dem zu lösenden Umweltproblem – Analyse am Beispiel der europäischen PVC-Richtlinie, in: Fritsch, M. (Hrsg.): Marktdynamik und Innovation – Gedächtnisschrift für Hans-Jürgen Ewers, Berlin: Duncker und Humblot, S. 323-348.
- Hart, R. (2004): Can environmental regulations boost growth? SURED Monte Verità Conference 2004, Eidgenössisch technische Hochschule Zürich.
- Hillebrand, B. et al. (1998): Der Einfluss von Energiesteuern und –abgaben zur Reduktion von Treibhausgasen auf Innovation und technischen Fortschritt – Clearing Studie, RWI-Papier Nr. 55, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Essen.

- Hitchens, D. et al. (2002): The impact of Best Available Techniques (BAT) on the competitiveness of European industry, Institute for Prospective Technological Studies, Report EUR 20133 EN.
- Holub, H.-W. und Schnabl, H. (1994): Input-Output-Rechnung: Input-Output-Analyse, München: Oldenbourg Verlag.
- Idenburg, A. und Wilting, H. (2000): DIMITRI: A dynamic input-output model to study the impacts of technology related innovations, Paper presented at the 13th International Conference on Input-Output Techniques, University of Macerata, Italy, August 21th – 25th 2000.
- Idenburg, A. und Wilting, H. (2005): DIMITRI: A model to study policy issues in relation to economy, technology and environment, in: van den Bergh, J. und Janssen, M. (eds.): Economics of Industrial Ecology – Materials, structural change, and spatial scales, London: MIT Press, S. 223-252.
- IPTS (2004): Promoting environmental technologies: sectoral analysis, barriers and measures, Technical Report EUR 21002 EN.
- Jacob, K. et al. (2005): Lead markets for environmental innovations, Heidelberg: Physica-Verlag.
- Jaffe, A. et al. (1995): Environmental regulation and the competitiveness of U.S. manufacturing: what does the evidence tell us?, *Journal of Economic Literature*, Vol. 33, S. 132-163.
- Jaffe, A., Newell, R. und Stavins, R. (2002): Environmental policy and technological change, *Environmental and Resource Economics*, Vol. 22, S. 41-69.
- Jaffe, A. und Palmer, K. (1996): Environmental regulation and innovation: a panel data study, NBER Working Paper 5545, National Bureau of Economic Research, Cambridge.
- Jenkins, R. (1998): Environmental Regulation and International Competitiveness: A Review of Literature and some European Evidence, United Nations University, Institute for New Technologies, Discussion Paper Nr. 9801, Maastricht.
- Jeppesen, T. et al. (2002): Environmental regulation and new plant location decisions: evidence from a meta-analysis, *Journal of Regional Science*, Vol. 42, No. 1, pp. 19-49.
- Kerr, S. und Newell, R. (2003): Policy-induced technology adoption: evidence from the U.S. Lead Phasedown, *Journal of Industrial Economics* 51/3, S. 317-337.
- Kistler, E., Hilpert, M. und Dostal, W. (1998): Modelle mit zu vielen Unbekannten – Zum Forschungsstand und der Aktualität von Untersuchungen über die Beschäftigungseffekte moderner Technik, in: Jahrbuch sozialwissenschaftliche Technikberichterstattung 1998/99, Schwerpunkt: Arbeitsmarkt, Berlin: Edition sigma S. 19-63.
- Klevmarcken, A. (1997): Behavioral modeling in micro simulation models – A survey, Department of Economics, Uppsala University, Schweden, Working Paper Nr. 31/1997.

- Klevmarken, A. (2001): Micro simulation – a tool for economic analysis, Department of Economics, Uppsala University, Schweden, Working Paper Nr. 13/2001.
- Knottenbauer, K. (2000): Theorien des sektoralen Strukturwandels, Marburg: Metropolis Verlag.
- Koomey, J. (2000): Avoiding “the big mistake” in forecasting technology adoption, Paper presented at the Energex Conference, Las Vegas, 23.-27.7.2000.
- Kytzia, S. und Nathani, C. (2004): Bridging the gap to economic analysis: economic tools for industrial ecology, *Progress in Industrial Ecology*, Vol. 1, Nos. 1/2/3.
- Landjouw, J. O. and Mody, A. (1996): Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology, *Research Policy* 25: 549-571.
- Lay, G., Shapira, P. und Wengel, J. (1999): Innovation in production, The adoption and impacts of new manufacturing concepts in German industry, Heidelberg: Physica-Verlag.
- Legler, H. et al. (2003): Innovationsindikatoren zur Umweltwirtschaft, Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 2-2003, Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung, Hannover.
- Löschel, A. (2001): Technological change in economic models of environmental policy: a survey, Discussion Paper No. 01-62, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim.
- Lutz et al. (2004): Endogenous innovation, economy and environment: impacts of a new modelling approach for energy-intensive industries in Germany, Paper presented at the 6th IAEE European Conference 2004 “Modelling in Energy Economics and Policy, 2.-3-9.2004, Zürich.
- Lutz et al. (2005): Endogenous technological change and emissions: the case of the German steel industry, *Energy policy* 33 (2005): 1143-1154.
- Merz, J. (1994): Microsimulation – A survey of methods and applications for analyzing economic and social policy, Discussion Paper Nr. 9, Forschungsinstitut für Freie Berufe, Universität Lüneburg.
- Meyer, B. (2005): Strukturanalyse, in: Herrmann-Pillath, C. und Lehmann-Waffenschmidt, M. (Hrsg.): Handbuch Evolutorische Ökonomik, im Erscheinen.
- Meyer, R. (1997): Möglichkeiten einer verstärkten Förderung integrierter Umwelttechnik, in: v. Gleich, A. et al. (Hrsg.): Surfen auf der Modernisierungswelle? Ziele, Blockaden und Bedingungen ökologischer Innovationen, Marburg: Metropolis Verlag.
- Meyer-Krahmer, F. et al. (1989): Sektorale und gesamtwirtschaftliche Beschäftigungswirkungen moderner Technologien, Bd. 2, Berlin: Walter de Gruyter.
- Mohr, R. D. (2002): Technical Change, External Economies, and the Porter Hypothesis, *Journal of Environmental Economics and Management* 43: 158-168.

- Mozzanti, M. und Zoboli, R. (2005): What drives environmental innovation? Empirical evidence for a district-based manufacturing system, Working Paper Nr. 2, Centro di Ricerca sull'Economia dell'Innovazione e della conoscenza, Universität Ferrara.
- Nathani, C. (2003): Modellierung des Strukturwandels beim Übergang zu einer materialeffizienten Kreislaufwirtschaft, Kopplung eines Input-Output-Modells mit einem Stoffstrommodell am Beispiel der Wertschöpfungskette "Papier", Heidelberg: Physica-Verlag.
- Nathani, C. et al. (2004): Modelling endogenous technological change and emissions in the German paper industry, Paper presented at the International Conference on Innovation, Sustainability and Policy, Koster Seeon, 23.-25.5. 2004.
- Nelson, R. und Winter, S. (1982): An evolutionary theory of economic change, Harvard University Press.
- Newell, R. G. et al. (1999): The induced innovation hypothesis and energy-saving technological change, *The Quarterly Journal of Economics* 114: 941-975.
- OECD (2003): Environmental policy tools and firm-level management: descriptive overview of the data, preliminary empirical results and project timeline, ENV/EPOC/WPNEP(2003)13, Paris.
- O'Donoghue, C. (2001): Dynamic microsimulation: a methodological survey, *Brazilian Economic Journal of Economics*, Vol. 4, No. 2.
- Oltra, V. und Sant-Jean, M. (2005): The dynamics of environmental innovations: three stylised trajectories of clean technology, *Journal of Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 14/3, S. 189-212.
- Oppenländer, K. H. (1991): Beschäftigungsfolgen moderner Technologien, Berlin: Walter de Gruyter.
- Oropallo, F. (2004): Enterprise microsimulation models and data challenges, Preliminary results from the DIECOFIS project, www.istat.it/diecofis.
- Peichl, A. (2005): Die Evaluation von Steuerreformen durch Simulationsmodelle, Finanzwissenschaftliche Diskussionsbeiträge Nr. 1/2005, Finanzwissenschaftliches Forschungsinstitut an der Universität Köln.
- Palmer, K. et al. (1995): Tightening environmental standards: the benefit-cost or the no-cost paradigm? *Journal of Economic Perspectives* 9: 119-132.
- Pellini, T. und Morris, J. (2001): A framework for assessing the impact of the IPPC directive on the performance of the pig industry, *Journal of Environmental Management* 63: 325-333.
- Penzkofer, H. (2004): Innovationstest, in: Goldrian, G. (Hrsg.): Handbuch der umfragebasierten Konjunkturforschung, ifo Beiträge zur Wirtschaftsforschung, Nr. 15, ifo Institut für Wirtschaftsforschung: München.

- Pfeiffer, F. und Rennings, K. (1999): Beschäftigungswirkungen des Übergangs zu integrierter Umwelttechnik, Heidelberg: Physica-Verlag.
- Poganietz, W.R. (2001): Process chain of primary aluminium: long run trends in production, trade, energy use and GHG emissions, Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE), Interner Bericht FZJ-STE-IB 2/01, Jülich.
- Poganietz, W.R., Kuckshinrichs, W. und Zapp, P. (2003): Modelling the long-term perspectives of the global copper material flow, *Erzmetall* 56, S. 414-419.
- Popp, D. (2004): International innovation and diffusion of air pollution control technologies: the effects of NO_x and SO₂ regulation in the U.S., Japan, and Germany, NBER Working Paper 10643, National Bureau of Economic Research.
- Porter, M.E. und van der Linde, C. (1995): Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship, *Journal of Economic Perspectives* 9: 97-118.
- Pyka, A. und Fagiolo, G. (2005): Agent-based modelling: a methodology for neoschumpeterian economics, *Volkswirtschaftliche Diskussionsreihe, Beitrag 272*, Universität Augsburg.
- Rammer, C. et al. (2005): Innovation in der deutschen Wirtschaft, Ergebnisse der deutschen Innovationserhebung 2003, Bericht an das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Mannheim.
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (RSU) (2002): Umweltgutachten 2002. Für eine neue Vorreiterrolle, Berlin.
- Rennings, K. et al. (2003): Blueprints for an integration of science, technology and environmental policy, www.blueprint-network.net .
- Rennings, K. et al. (2004): Environmental policy tools and firm-level management practices in Germany, Bericht für die OECD, Mannheim.
- Rey, S. (1998): Integrated regional econometric + input-output modelling: issues and opportunities, *Papers in Regional Science*, Vol. 79, Nr. 3, S. 271-292.
- Ricci, F. (2004): Environmental policy and growth when inputs are differentiated in pollution intensity, Working Paper, Université Cergy-Pontoise.
- Richter, J. (1995): Technologie in Input-Output-Modellen – Abbildung von Produktionsverhältnissen oder statistische Artefakte?, in: Schnable, H. (Hrsg.): *Technologieverflechtung und Strukturwandel*, Tübingen: Mohr.
- Richter, J. (2002): Kategorien und Grenzen der empirischen Verankerung der Wirtschaftsforschung, Stuttgart: Lucius&Lucius.
- Richter, J. (2005): Anmerkungen zur empirischen Fundierung der Input-Output Analyse, in: Institut für Wirtschaftsforschung Halle (Hrsg.): *Neue Anwendungsfelder der Input-Output Analyse*, Beiträge zum Halleschen Input-Output Workshop 2004, Halle.

- Roediger-Schluga, T. (2002): Some micro-evidence on the Porter Hypothesis from Austrian VOC emission standards, Paper prepared for the 2002 meeting of the European Regional Science Association.
- Roediger-Schluga, T. (2004): The Porter Hypothesis and the economic consequences of environmental regulation, A neo-schumpeterian approach, Edward Elgar: Cheltenham.
- Ruth, M., Davidsdottir, B. und Amato, A. (2005): Dynamic industrial systems analysis for policy assessment, in: van den Bergh, J. und Janssen, M. (eds.): Economics of Industrial Ecology – Materials, structural change, and spatial scales, London: MIT Press, S. 165-194.
- Schönberger, H. und Schäfer, T. (2003): Beste verfügbare Techniken in Anlagen der Textilindustrie, UBA-Texte 13/03, Berlin: Umweltbundesamt.
- Schwarz, G.-H. (2000): Grundlegende Entwicklungstendenzen im weltweiten Stoffstrom des Primäraluminiums, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Bd. 24, Jülich.
- Sijm, J.P.M. (2004): Spillovers of climate policy, An assessment of the incidence of carbon leakage and induced technological change due to CO₂ abatement measures, Study in the framework of the Netherlands Research Programme on Climate Change, Report 500036 002.
- Similä, J. (2002): Pollution regulation and its effects on technological innovations, Journal of Environmental Law, Vol. 14/2, S. 143-160.
- Snyder, L., N. Miller und R. Stavins (2003): The effects of environmental regulation on technology diffusion: the case of chlorine manufacturing, Nota di lavoro 48/2003, Fondazione Enrico Mattei.
- Stille, F. und Bizer, J. (1998): Beschäftigungswirkungen von Innovationen: Analysen zu einem komplizierten Verhältnis, in: Lehner, F. (Hrsg.): Beschäftigung durch Innovation: eine Literaturstudie, München: Hampp Verlag, S. 15-58.
- Taylor, M., Rubin, E. und Hounshell, D. (2005): Regulation as the mother of innovation: the case of SO₂-control, Law & Policy, Vol. 27, No. 2., S. 348-378.
- Van den Bergh, J. und Gowdy, J. (2000): The microfoundations of macroeconomics, Tinbergen Institute Discussion Paper 2000-021/3, Universität Amsterdam.
- Van den Bergh, J. und Janssen, M. (2004): Economics of Industrial Ecology – Materials, structural change, and spatial scales, London: MIT Press.
- Van Tongeren, F. (1995): Microsimulation modelling of the corporate firm, Exploring micro-macro economic relations, Berlin: Springer Verlag.
- Van Wissen, L. (2000): A micro-simulation model of firms: Applications of concepts of the demography of firms, Papers in Regional Science 79: 111-134.

- Vögele, S. (2001): Analyse von Energie- und Umweltpolitiken mit DIOGENES, Ein gesamtwirtschaftliches Modell und seine Anwendung auf die Elektrizitätswirtschaft in Baden-Württemberg, Heidelberg: Physica-Verlag.
- Vogt, C. (1997): Zur Bestimmung von Innovationsaktivitäten, Eine empirische Analyse des Weltautomobilmarktes, Frankfurt u.a.: Peter Lang.
- Vosskamp, R. (1996): Innovationen, Heterogenität und Struktur in Mikro-Makro-Modellen, Berlin: Duncker und Humblot.
- Vosskamp, R. (2002): Zum Beitrag der Input-Output-Analyse zur Entwicklung von Micro-to-macro-Modellen gezeigt am Beispiel der Wirkungen von Innovationen, in: Hinterberger, F. und Schnabl, H. (Hrsg.): Arbeit, Umwelt, Wachstum – Nachhaltigkeitsaspekte des sektoralen Strukturwandels, S. 11-34.
- Wagner, J. (2005): Zur Mikrostruktur der Investitionsdynamik in der Industrie – Analysen mit Betriebspaneldaten aus Niedersachsen (1995-2002), Beitrag für den Nutzerworkshop des Forschungsdatenzentrums der Statistischen Landesämter, Berlin, 21./22.4.2005.
- Wagner, M. (2003): The Porter Hypothesis revisited: a literature review of theoretical models and empirical tests, Working Paper, Center for Sustainability Management, Universität Lüneburg.
- Walz, R. und Kuntze, U. (1999): Ordnungsrecht, Abgaben und Innovationen: Ausgewählte Beispiele im Umweltbereich, Berlin: Analytica-Verlag.
- Werker, C. und Brenner, T. (2004): Empirical calibration of simulation models, Papers on Economics and Evolution, Max-Planck Institut zur Erforschung von Wirtschaftssystemen, Jena.
- West, G.R. (1995): Comparison of Input-Output, Input-Output+Econometric and Computable General Equilibrium Impact Models at the Regional Level, Economic Systems Research, Vol. 7, No. 2, S. 209-227.
- Widmaier, U. und Hauptmann, P. (1997): Das NIFA-Panel im deutschen Maschinenbau – ein Überblick, in: Hujer, R., Rendtel, U. und Wagner, G. (Hrsg.): Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Panel-Studien, Datenstrukturen und Analyseverfahren, Göttingen: Vandenhoeck & Rupprecht, S. 229-241.
- Widmaier, U., Niggemann, H. und Merz, J. (1994): What makes the difference between unsuccessful and successful firms in the German mechanical engineering industry?, A microsimulation approach using data from the NIFA-Panel, Discussion Paper Nr. 11, Forschungsinstitut für Freie Berufe, Universität Lüneburg.
- Windrum, P. (2004): Neo-schumpeterian simulation models, MERIT-Infonomics Research Memorandum Series 2004-002, Universität Maastricht.
- Wing, I.S. (2004): The Synthesis of Bottom-up and Top-down Approaches to Climate Policy Modeling: Electric Power Technology Detail in a Social Accounting Framework,

Center for Energy & Environmental Studies and Department of Geography & Environment, Boston University.

Winker, P. (2003): Aggregationsprobleme in der Ökonometrie: Ein Beitrag heuristischer Optimierungsverfahren, in: Franz, W. und Stadler, M. (2003): Empirische Wirtschaftsforschung – Methoden und Anwendungen, Tübingen: Mohr, S. 89-108.

Xepapadeas and de Zeeuw (1999): Environmental Policy and Competitiveness: The Porter Hypothesis and the Composition of Capital, *Journal of Environmental Economics and Management* 37: 165-182.

Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW): Innovationsbarrieren und internationale Standortmobilität, Studie im Auftrag der IG BCE, Chemieverbände Rheinland-Pfalz und der BASF Aktiengesellschaft, Mannheim/ Berlin.

Zühlke, S. et al. (2005): The research data centres of the Federal Statistical Office and the statistical offices of the Länder, FDZ-Arbeitspapier Nr. 3, www.forschungsdatenzentrum.de.