



Institut
Systemtechnik und
Innovationsforschung



DIW Berlin

Deutsches Institut
für Wirtschaftsforschung

Proceedings

zum

Workshop

Nachhaltigkeit und Innovation

Diskussionsstand und Wirtschaftswissenschaftlicher Forschungsbedarf

am 12. – 13. Februar 2004

im DIW Berlin

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

im Rahmen des Sondierungsprojektes

„Nachhaltige Entwicklung und

Wirtschaftswissenschaften“

Jürgen Blazejczak, FH Merseburg und DIW Berlin

Dietmar Edler, DIW Berlin

Katrin Ostertag, Fraunhofer ISI Karlsruhe

Rainer Walz, Fraunhofer ISI Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

1. Projekthintergrund	4
2. WorkshopteilnehmerInnen	6
3. Session I: Was sind Nachhaltigkeitsinnovationen?	8
3.1 Statement von Prof. Dr. Raimund Bleischwitz	8
3.2 Statement von PhD Rene Kemp	10
3.3 Diskussion	12
4. Session II: Steuerung von Innovationen in Richtung Auf Nachhaltigkeit	14
4.1 Statement von Dr. Jens Hemmelskamp	14
4.2 Statement von Prof. Dr. Rudi Kurz	15
4.3 Statement von Prof. Dr. Stefan Zundel	16
4.4 Diskussion	18
5. Forschungsbedarf (I, II)	20
6. Session III: Beyond Technological Innovation	22
6.1 Statement von Gerd Scholl	22
6.2 Statement von PhD Steve New	24
6.3 Statement von Dr. Vera Calenbuhr	26
7. Session IV: Empirical Modelling of Technological Change	27
7.1 Herausforderungen für die Modellierung und Indikatoren aus Sicht der Innovationsforschung	27
7.1.1 Hintergrund	27
7.1.2 Vortrag von Prof. Dr. Hariolf Grupp	28
7.1.3 Ergebnisse der Diskussion	30
7.2 Makroökonomische Modelle	31
7.2.1 Hintergrund	31
7.2.2 Vortrag von Prof. Dr. Claudia Kemfert	33
7.2.3 Exkurs: Modellierung des technischen Fortschritts in ökonometrischen Modellen	35
7.2.4 Ergebnisse der Diskussion	38
7.3 Neue Modellierungsansätze am Beispiel von Multi-Agentensystemen	39
7.3.1 Hintergrund	39
7.3.2 Statements zur agentenbasierten Modellierung	41
7.3.3 Ergebnis der Diskussion	42
8. Forschungsbedarf (III, IV)	44
8.1 Schlussfolgerungen zum Forschungsbedarf zum Thema "Beyond Technological Innovation"	44
8.2 Schlussfolgerungen zum Forschungsbedarf zum Thema "Modelling of technological change"	48
Literaturangaben	51

1. Projekthintergrund

Der Workshop „Nachhaltigkeit und Innovation – Diskussionsstand und wirtschaftswissenschaftlicher Forschungsbedarf“ wurde gemeinsam vom DIW Berlin und dem Fraunhofer Institut für Systemanalyse und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe veranstaltet. Er ist Teil des Sondierungsprojektes „Nachhaltigkeit und Wirtschaftswissenschaften“ am DIW Berlin, das vom BMBF gefördert wird.

In dem Projekt wurde dazu das integrative Konzept der „Nachhaltigkeitsökonomik“ entwickelt. „Sustainability Economics“ verstehen wir als Forschungszweig innerhalb der Wirtschaftswissenschaften, der sich mit der *„Sicherung der Handlungs- und Reaktionsfähigkeit von sozialen, ökonomischen und ökologischen Systemen aus ökonomischer Sicht“*¹ befasst, orientiert an den normativen Prinzipien:

- Langfristigkeit,
- Integration von Ökonomie, Ökologie und Sozialem,
- Partizipation,
- Globalität.

Ausgangspunkt des Workshops „Nachhaltigkeit und Innovation“ war die in unterschiedlich konzipierten Modellen gezeigte zentrale Bedeutung von Innovationen für eine nachhaltige Entwicklung. Trotz der weitgehenden Übereinstimmung in Bezug auf die Bedeutung von Innovationen für Nachhaltigkeit ist aber das Verständnis des Begriffs Nachhaltigkeitsinnovationen durchaus diffus; selbst eine Beurteilung der Nachhaltigkeitswirkungen spezifischer Innovationen stößt auf erhebliche Schwierigkeiten. Dies ist ein Grund unter anderen dafür, dass Zweifel bestehen, ob eine Steuerung von Innovationen in Richtung auf Nachhaltigkeit überhaupt möglich ist, und dass unklar ist, wo eine solche Steuerung ggf. ansetzen könnte. *Vermutet wird häufig, dass Innovationen, die zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen, in starkem Maße auch nichttechnologische Neuerungen umfassen müssen. Ein vertieftes Verständnis von Nachhaltigkeitsinnovationen könnte durch ihre verbesserte empirische Modellierung gelingen.*

Der Workshop war entsprechend diesen Fragestellungen in vier Sessions gegliedert:

¹ Die Definition der Nachhaltigkeit folgt dem BMBF-Rahmenprogramm „Handlungsorientierte Nachhaltigkeit“ (2004-2009). „Nachhaltigkeitsökonomik“ ist der disziplinäre wirtschaftswissenschaftliche Beitrag zum Nachhaltigkeitsdiskurs, gestaltet nach dem sog. „Meeting point“-Konzept der interdisziplinären Forschung (Stahmer 2001).

Session I: Was sind Nachhaltigkeitsinnovationen? (DIW)

Session II: Steuerung von Innovationen in Richtung auf Nachhaltigkeit (DIW)

Session III: Beyond Technological Innovation: Organizational and Social Innovations for Sustainability (ISI)

Session VI: Empirical Modelling of Technological Change (ISI)

Die Sondierung von Förderschwerpunkten erfolgt im Projekt hauptsächlich vermittelt der Expertenworkshops. Begleitend wurden im Rahmen der Sondierung empirische Bestandsaufnahmen der Trägerinstitutionen und Projekte der ökonomischen Nachhaltigkeitsforschung sowie eine Befragung von Wirtschaftswissenschaftler/innen zur Bestimmung von zukünftig relevanten Themen der Nachhaltigkeitsforschung durchgeführt. Die Ergebnisse der Befragungen, der Bestandsaufnahme und der Workshops sind auf der Projekthomepage www.sustainabilityeconomics.de dokumentiert.

2. WorkshopteilnehmerInnen

Prof. Dr. Raimund Bleischwitz
Wuppertal Institut and College of Europe
Döppersberg 19
42103 Wuppertal
Tel.: +49 (0)202/2492-256
Fax: +49 (0)202/2492-108
raimund.bleischwitz@wupperinst.org

Dr. Vera Calenbuhr
EU Commission
DG Joint Research Centre
200 rue de la Loi
B-1049 Brussels
Tel.: +32 - 2 29 52 877 Fax: +32 - 2 29 01 46
vera.calenbuhr@cec.eu.int

Bernd Fischer
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Ref. 624 Wissenschaft und Gesellschaft
Heinemannstr. 2
53175 Bonn
Tel.: +49 (0)228/57-3919
Fax: +49 (0)228/578-3919
bernd.fischer@bmbf.bund.de

Prof. Dr. Hariolf Grupp
Universität Karlsruhe (TH)
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und
Innovationsforschung (ISI)
Stellvertretender Institutsleiter
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
Tel.: +49 (0)721/6809-151
Fax: +49 (0)721/6809-176
h.grupp@isi.fraunhofer.de

Dr. Jens Hemmelskamp
Universität Heidelberg
Dezernat 6 Forschung und Projektmanagement
Seminarstraße 2
69117 Heidelberg
Fax: +49 (0)6221-542145
Fax: +49 (0)6221-543599
jens.hemmelskamp@zuv.uni-heidelberg.de

Bettina Hoefs
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Referat LS21 Strategie und Planung
Hannoversche Straße 28-30
10115 Berlin
Tel.: +49 (0)
Fax: +49 (0)
bettina.hoefs@bmbf.bund.de

Prof. Dr. Claudia Kemfert
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Forschungsgruppe SPEED
Fakultät 2 für Wirtschafts- und Rechtswissenschaften
26111 Oldenburg
Tel.: +49 (0)441/798-4106 or -4454
Fax: +49 (0)441/798-4497
kemfert@uni-oldenburg.de

René Kemp, PhD
Maastricht Economic Research Institute on Innovation
and Technology (MERIT)
University of Maastricht
P.O. Box 616
6200 MD Maastricht
The Netherlands
Tel.: +31 43/38-83864 or -83874
Fax: +31 43/3884905
r.kemp@merit.unimaas.nl

Matthias Kölbl
Bundesministerium für Bildung und Forschung Referat
LS21 Strategie und Planung
Hannoversche Straße 28-30
10115 Berlin
Tel.: +49 (0)1888-57-5258
Fax: +49 (0)
matthias.koelbel@bmbf.bund.de

Prof. Dr. Rudi Kurz
Fachhochschule Pforzheim
Hochschule für Gestaltung, Technik und Wirtschaft
Tiefenbronner Str. 65
75175 Pforzheim
Tel.: +49 (0)7231/28-6001 oder 28-6105
kurz@fh-pforzheim.de

Jan Nill
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)
Geschäftsstelle Berlin
Potsdamer Straße 105
10785 Berlin
Tel.: +49 (0)30/884594-0
jan.nill@ioew.de

Steve New, PhD
Hertford College Oxford
Catte Street
Oxford OX1 3BW, UK
Tel.: +44 (0)1865/279458
Fax: +44 (0)1865/279437
steve.new@sbs.ox.ac.uk

Dr. Katrin Ostertag
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und
Innovationsforschung (ISI)
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
Tel.: +49 (0)721/6809-116
Fax: +49 (0)721/6809-131
k.ostertag@isi.fraunhofer.de

Gerd U. Scholl
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)
Geschäftsstelle Berlin
Potsdamer Str. 105
10785 Berlin
Tel.: +49 (0)30-884594-20
Fax: +49 (0)30-8825439
gerd.scholl@ioew.de

Thomas Schulz
GSF - Projektträger des BMBF für Umwelt und
sozialwissenschaftliche Forschung
Kühbachstr. 11
81543 München
Tel.: +49 (0)89/651088-60
thomas.schulz@gsf.de

PD Dr. Rainer Walz
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und
Innovationsforschung (ISI)
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
Tel.: +49 (0)721/6809-236
r.walz@isi.fraunhofer.de

PD Dr. Martin Wietschel
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und
Innovationsforschung (ISI)
Universität Karlsruhe (TH)
Hertzstraße 16
76187 Karlsruhe
Tel.: +49 (0)721/608-4566
Fax: +49 (0)721/758909
martin.wietschel@wiwi.uni-karlsruhe.de

Prof. Stefan Zundel
Fachhochschule Lausitz
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
Großenhainer Str. 57
01968 Senftenberg
Tel.: +49 (0)3573/85733
Fax: +49 (0)3573/85709
zundel@ww.fh-lausitz.de

TeilnehmerInnen des DIW Berlin:

Prof. Dr. Jürgen Blazejczak
Tel.: +49 (0)30/89789-359
Fax: +49 (0)30/89789-113
jblazejczak@diw.de

Susanne Dröge
Tel.: +49 (0)30/89789-689
Fax: +49 (0)30/89789-113
sdroege@diw.de

Dr. Dietmar Edler
Tel.: +49 (0)30/89789-280
Fax: +49 (0)30/89789-200
dedler@diw.de

Justus Henke
Tel.: +49 (0)30/89789-687
Fax: +49 (0)30/89789-113
jhenke@diw.de

Dr. Reimund Schwarze
Tel.: +49 (0)30/89789-297
Fax: +49 (0)30/89789-113
rschwarze@diw.de

Dr. Louise Stewart-Ladewig
Tel.: +49 (0)30/89789-409
Fax: +49 (0)30/89789-113
lstewart@diw.de

Dr. Birgit Soete
Tel.: +49 (0)30/89789-348
Fax: +49 (0)30/89789-103
bsoeete@diw.de

3. Session I: Was sind Nachhaltigkeitsinnovationen?

Bereits bei der Vorbereitung des Workshops war deutlich geworden, dass eine Trennung zwischen den Themen der Sessions I und II (Steuerung von Innovationen in Richtung auf Nachhaltigkeit) nicht sinnvoll aufrechtzuerhalten ist; in den Präsentationen und Diskussionen wurden deswegen in beiden Sessions beide Themen – wenn auch mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung – behandelt.

3.1 Statement von Prof. Dr. Raimund Bleischwitz

In seinem Statement "Demarcation of Sustainability Innovations" charakterisiert Raimund Bleischwitz Nachhaltigkeitsinnovationen durch eine Anzahl von Beispielen: Zirkulationspumpen für Heizungen, Leuchtdioden für Raumbeleuchtung, schmutzabweisende Oberflächen auf der Grundlage des „Lotus-Effekts" und ein wasserstoffbasiertes Energiesystem. Die genannten Innovationen sind in der Reihenfolge ihrer Aufzählung durch zunehmende Komplexität - von Produktverbesserungen bis hin zu Systeminnovationen - gekennzeichnet. Gemeinsam ist diesen Technologien, dass sie zu einer Verbesserung der Öko-Effizienz beitragen; in diesen Indikator wird neben dem Energie- auch der Materialeinsatz einbezogen. Damit sind die umweltbezogene und die ökonomische Perspektive von Nachhaltigkeit angesprochen.

Für einen stärker innovationsorientierten Pfad erwartet Bleischwitz Vermeidungskosten, die niedriger liegen als es viele Lehrbücher annehmen, möglicherweise sogar in der Nähe von null. Dafür nennt er als Gründe: die Wahl stärker produktionsintegrierter als end-of-pipe bezogener Lösungen, die Berücksichtigung aller Ansätze zur Steigerung der Öko-Effizienz während des gesamten Lebenszyklus, den Einsatz der dynamischen Fähigkeiten der Unternehmen („dynamic capabilities“) und flexible Regulierungsansätze. Dadurch werden die Produktionskosten, die Transaktionskosten und die Kosten der Generierung von Wissen gesenkt.

Der Einsatz der dynamischen Fähigkeiten der Unternehmen ist durch eine allgemeine Hinwendung zu Neuerungen gekennzeichnet, die Unternehmen verstehen sich als lernende Organisationen. Dem entspricht ein Managementkonzept, das nicht nur durch die Anforderungen der Märkte sondern auch durch die Ansprüche der Öffentlichkeit bestimmt ist und über Umweltmanagementsysteme weit hinausgeht. Es wird als Responsible Corporate Management bezeichnet und umfasst als Elemente: leadership systems, self-learning systems,

accountability improvements, transparency enhancement, responsibility measurement systems, voluntary commitments und stakeholder empowerment.

Unternehmen, die auf diese Weise geführt werden, reagieren zum einen auf Wettbewerber und zum anderen auf flexible Regulierungsansätze, die Lernprozesse aktivieren. Entscheidend sind bei Regulierungsansätzen Klarheit und Transparenz staatlicher Zielvorgaben und die Berücksichtigung von Anpassungszeiträumen. Man kann daraus ein Anforderungsprofil für staatliche Instrumente generieren.

Staatliche Politik muss dabei weiterhin auf negative externe Effekte und auf Anreize zu Freifahrerverhalten reagieren. Darüber hinaus existiert aber eine Vielzahl spezifischer Informations- und Adaptiondefizite, die durch die Stichworte gesplittete Anreize, verzerrte Diskontierung, anfänglich geringe Nachfrage und noch unzureichende Lerneffekte („critical mass“), Marktmacht, hohe Transaktionskosten, Informationsdefizite und Unsicherheiten umrissen werden.

Daraus folgt, dass die Berücksichtigung von kognitiven Prozessen und von Institutionen für die Erklärung von Innovationen essenziell ist; dies gilt gleichermaßen für inkrementelle und radikale Innovationen. Als dafür geeignete Theorieansätze sieht Bleischwitz die Neue Institutionenökonomik und die Evolutorische Ökonomik an.

Als geeigneten Ansatzpunkt für die Steuerung von (Nachhaltigkeits-)Innovationen hebt Bleischwitz Netzwerke privater und öffentlicher Akteure hervor, in denen unterschiedliche Kompetenzen gebündelt werden können, um Innovationshemmnisse zu überwinden.

Bleischwitz stellte einen Fragebogen vor, der auf der Grundlage von Ansätzen der Neuen Institutionenökonomik und der Evolutorischen Ökonomik entwickelt wurde, um einen tieferen Einblick in Strategien für Nachhaltigkeitsinnovationen zu gewinnen. Er bezieht sich auf die Relevanz des adressierten Umweltproblems, die Effektivität der Ziele und ihrer Implementation, die Effizienzwirkungen sowie die Möglichkeiten zu flexibler Adaption einschließlich Partizipationsmöglichkeiten. Er erfasst darüber hinaus positive und negative Nebenwirkungen. Bei der Auswertung, die u.a. in einem Projekt für die japanische Regierung erfolgte, bestätigte sich u.a. die Vermutung von kognitiven Defiziten in Bezug auf die Bedeutung von Materialkosten. Bleischwitz schlussfolgert daraus, dass oft lediglich eine kognitive Umorientierung („re-mapping“) notwendig ist, und dass Nachhaltigkeitsprobleme dann mit herkömmlichen Managementmethoden im Rahmen von Netzwerken gelöst werden können.

3.2 Statement von PhD Rene Kemp

Rene Kemp schlug in seinem Statement „What are Sustainability Innovations“ vor, Nachhaltigkeitsinnovationen als Systeminnovationen zu analysieren. Das Kennzeichen von Innovationen ist Neuheit. Dieses Charakteristikum kann sich auf technischen ebenso wie auf konzeptionellen Wandel beziehen, und Neuheit kann in Bezug auf ein Unternehmen, einen Wirtschaftssektor, ein Land oder die gesamte Welt abgegrenzt werden. Systeminnovation als am weitesten reichender Typ von Innovationen bezeichnet die Neugestaltung ganzer Systeme auf einer Vielzahl von Ebenen. Systeme werden dabei verstanden als Instrumente zur Bereitstellung bestimmter Funktionen, sie umfassen sowohl Organisationen als auch Institutionen. Systeminnovationen sind nicht nur durch neue Praktiken auf der Seite der Anbieter und Nutzer, sondern darüber hinaus durch neuartige Funktionslogiken gekennzeichnet. Als ein Beispiel für Systeminnovationen führte Kemp den Übergang von einem kohle- zu einem erdgas- und schließlich zu einem wasserstoffbasierten Energiesystem an.

Kemp argumentiert, dass Nachhaltigkeitsinnovationen Systeminnovationen sein müssen: Einzelinnovationen seien nie gleichzeitig nachhaltig sowohl in Bezug auf ökonomische als auch auf umwelt- als auch auf soziale Kriterien; eine Überwindung der Trade-Offs zwischen diesen Zielen und damit ein dreifacher Nutzen könne nur langfristig durch Systeminnovationen erreicht werden.

Kemp wies darauf hin, dass Systeminnovationen nicht gleichzusetzen sind mit Änderungen des Innovationssystems – definiert als sektoral oder regional abgegrenzte Menge von Elementen und Relationen, die bei der Produktion, Diffusion und Nutzung neuen, ökonomisch verwertbaren Wissens zusammenwirken (Lundvall 1992); dabei blieb allerdings die Beziehung zwischen Systeminnovationen und Innovationssystem letztlich offen.

Als Raster für die Analyse von Systeminnovationen eignet sich eher der Begriff der soziotechnischen Konfiguration, die die Produktionsseite von Technologien unter Einschluss von Wissensgenerierung und -transformation, ihre Verbreitung über Märkte, Netzwerke und Infrastrukturen sowie schließlich ihre Nutzung unter Berücksichtigung von Komplementen umfasst (Geels 2003).

Systeminnovation ist auch abzugrenzen gegenüber Systemoptimierung. Im Fall der Systeminnovation ist der Anteil nichttechnologischer Innovationen und damit sozialen

Wandels wesentlich größer. Den Unterschied verdeutlicht Kemp am Beispiel der Verkehrspolitik, dort entspricht eine Systeminnovation einem Übergang zu einem verknüpften Mobilitätssystem (Chain Mobilist), während eine Systemoptimierung lediglich auf eine Verringerung der Umweltbelastungen durch den Individualverkehr z.B. durch elektronische Verkehrssteuerung gerichtet ist.

Der Prozess, in dem Systeminnovationen entstehen, trägt evolutorisches Charakter. Entscheidend sind simultane Veränderungen in mehreren Bereichen. Dabei entstehen radikale Neuerungen zuerst in Nischen.

Die Steuerbarkeit von Nachhaltigkeits-Systeminnovationen (Sustainability System Innovations; SSI) beurteilt Kemp skeptisch. SSI erfordern Konstellationen von Bedingungen, von denen viele außerhalb der Einflussosphäre von staatlicher Politik liegen. Eine bloße Änderung von Rahmenbedingungen wird kaum zu SSI führen. Außerdem besteht die Gefahr, dass die Politik zu einem Lock-In in nichtoptimalen Systemen führt. Die beste Strategie zur Verbesserung der Chancen für SSI sieht Kemp deswegen in iterativen, adaptiven Entscheidungsprozessen, die auf einem Portfolio von Optionen beruhen.

Eine solche iterative, zukunfts offene Strategie stellt das Transition Management dar. Kurzfristige Verbesserungen des herrschenden Systems im Rahmen politischer Möglichkeiten für Veränderungen sollen dabei an langfristigen Nachhaltigkeitsvisionen orientiert sein. Neben kurzfristigen Performance-Zielen stehen langfristige Lernziele; Lernen wird institutionalisiert. Ein weiterer ebenso wichtiger Aspekt des Transition Management ist die Nutzung von Akteursnetzwerken als Instrument des Wandels. Staatliche Politik organisiert solche Netzwerke, formuliert eine Agenda in Form von Projekten und Experimenten, die von den Akteuren bewältigt werden kann, und versucht Lern- und Veränderungsprozesse zu institutionalisieren. Zusammengefasst stellt sich Transition Management als „Summe“ von laufenden Politiken, langfristigen Visionen, vertikaler und horizontaler Politikkoordination, Management eines Portfolios von Optionen und Management von Lern- und Veränderungsprozessen dar.

3.3 Diskussion

Die Diskussion im Anschluss an die Statements von Raimund Bleischwitz und Rene Kemp konzentrierte sich auf Probleme der Identifikation von Nachhaltigkeitsinnovationen, berührte aber auch Fragen der Steuerung von Innovationen in Richtung auf Nachhaltigkeit. Zu Beginn wies Jürgen Blazejczak auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Statements hin: Beide Vortragende hätten argumentiert, dass die Analyse von Nachhaltigkeitsinnovationen komplexe, interdisziplinäre Ansätze erfordere und dass für ihre Steuerung Politikstil und Akteurskooperation von entscheidender Bedeutung seien. Beide Statements hätten aber überwiegend auf die Umweltdimension von Nachhaltigkeit abgestellt. Unterschiedliche Auffassungen hätten die Vortragenden offenbar in Bezug auf die Frage, wie weitreichend Innovationen sein müssten, um als Nachhaltigkeitsinnovationen gelten zu können.

Rainer Walz griff das Problem der Abgrenzung von Nachhaltigkeitsinnovationen auf und wies darauf hin, dass dadurch auch die Steuerung von Innovationen in Richtung auf Nachhaltigkeit erschwert werde. Selbst bei einer Betrachtung nur der Umweltdimension von Nachhaltigkeit sei es schwierig, ein klares Urteil abzugeben, wie am Beispiel einer Wasserstoffwirtschaft deutlich werde. Daraus ergebe sich die Notwendigkeit, Instrumente für ein Sustainability Assessment zu entwickeln. Dabei bestehe die Schwierigkeit, die Beiträge zu den verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen zu bewerten, ohne dabei in die Problematik der Wohlfahrtsökonomik zu geraten.

Rene Kemp stellt klar, dass es nicht darum gehen könne, nachhaltige und nichtnachhaltige Innovationen von vornherein voneinander abzugrenzen, sondern dass das Ziel Verbesserungen gegenüber dem Status quo in allen Dimensionen sein sollten. Sustainability Impact Assessment könne dafür Leitlinien bieten. Wenn Trade-Offs in diesem Prozess kurzfristig unvermeidlich seien, müssten die Verlierer kompensiert werden.

Rudi Kurz unterstützte die Sichtweise, dass Innovationen lediglich mehr oder weniger nachhaltig seien. Die ökonomische Nachhaltigkeit ebenso wie die soziale erwiesen sich durch den Markterfolg, sodass das Prüfkriterium für nachhaltige Innovationen die Umweltverträglichkeit sein müsse; hierbei sei es erforderlich, Benchmarks zu definieren. Zudem könnten ex-ante bestenfalls Nachhaltigkeitspotenziale von Innovationen identifiziert werden. Rudi Kurz griff dann mit der Frage nach der Rolle von Subventionen das Problem der Steuerung von Nachhaltigkeitsinnovationen auf und plädierte insbesondere dafür, nicht von vornherein nur einzelne, ausgewählte Innovationen zu subventionieren, um Lock-ins zu vermeiden.

Raimund Bleischwitz wandte sich gegen die Vorstellung von Rene Kemp, Vorteile in allen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit seien nur langfristig zu erreichen; dass dies auch kurzfristig möglich sei, werde durch das Beispiel von Zirkulationspumpen für Heizungen belegt. Außerdem bestritt Raimund Bleischwitz, dass es einen Gegensatz zwischen Systemoptimierung und Systeminnovation gebe, wie ihn Rene Kemp sehen wolle. Eine generelle Notwendigkeit von Subventionen bzw. Markteinführungshilfen wollte er nicht anerkennen, da Nachhaltigkeitsinnovationen durch eine höhere Effizienz gekennzeichnet seien, jedoch sehe er die Notwendigkeit, dass der Staat eine Aufgabe als Supervisor und beim Abbau von Hemmnissen wahrnehme.

Stefan Zundel vertrat die Ansicht, dass es durchaus möglich sei, Nachhaltigkeitsinnovationen zu identifizieren und dass sich auch einzelne Technologien als solche qualifizieren könnten.

Steve New machte ebenfalls am Beispiel von Zirkulationspumpen auf mögliche Verhaltensänderungen und Rebound-Effekte aufmerksam, die eine Beurteilung der Umwelt- und Nachhaltigkeitswirkungen selbst solcher Technologien erschwerten; mit diesem Argument unterstützte er implizit die These, dass Nachhaltigkeit Systeminnovationen erfordere.

Abschließend nahmen die beiden Vortragenden nochmals Stellung. Rene Kemp wies nochmals auf die Bedeutung von reflexiver und lernender Politik hin, deren Flexibilität auf einem Portfolio von Optionen beruhe. Er anerkannte auch die Bedeutung von Rebound-Effekten, sah aber ein Transition Management als geeigneten Ansatz an, damit umzugehen. Er akzeptierte den Einwand von Raimund Bleischwitz, indem er zugestand, dass viele Innovationen sowohl als Systemoptimierung als auch als Element von Systeminnovationen gelten könnten. Mit einem Plädoyer für ein kontinuierliches Assessment und Monitoring unterstützte Raimund Bleischwitz die zentralen Elemente des von Rene Kemp vorgeschlagenen Ansatzes des Transition Management. Dabei seien auch vermiedene externe Schadenskosten einzubeziehen.

4. Session II: Steuerung von Innovationen in Richtung auf Nachhaltigkeit

4.1 Statement von Dr. Jens Hemmelskamp

Jens Hemmelskamp begann sein Statement mit einem kurzen Überblick über in der Vergangenheit durchgeführten Forschungsvorhaben zum Thema Innovation und Nachhaltigkeit. Ausgangspunkt dieser Studien war zunächst der Zusammenhang zwischen Umweltschutzregulierung und Innovationen, später wurde der Blickwinkel auf die Wechselwirkungen zwischen Innovationen und Nachhaltigkeit erweitert. Als bedeutende Forschungsprogramme können z.B. in Deutschland FIU, RIW, INA, Regioinno sowie auf europäischer Ebene Blueprint genannt werden. Ein generelles Ergebnis ist, dass ein breites Spektrum von Innovationstypen notwendig ist: organisatorische, Produkt- und Systeminnovationen. Das Ausmaß der erzielbaren Fortschritte ist mit dem Typ der Innovation korreliert. Darüber hinaus ist unbestritten, dass zur Durchsetzung von Innovation in Richtung Nachhaltigkeit (u.a. wegen Marktversagen und „Systemträchtigkeit“) entweder eine verstärkte Politikintegration oder eine bessere Politikkoordination sinnvoll ist.

Aus pragmatischen Gründen sprach sich Jens Hemmelskamp angesichts der Problemkomplexität für die Strategie der Politikkoordination aus. Als mögliche Ansätze nannte er Integrierte Produkt Politik (IPP), Politikzeitfenster, den Lead-Market Ansatz und Transition Management. Beispielhaft erläutert er an Hand des Lead Market Konzepts die mögliche Attraktivität für die Politik, weil die Aussicht auf eine doppelte Dividende und einen weitgehenden Innovationsausgleich im Sinne von Porter auch nationale ökonomische Vorteile (im Sinne von Industriepolitik) möglich erscheinen lassen. Wichtig für die Identifizierung von potentiellen Lead Märkten ist Monitoring, insbesondere auch ein internationales Monitoring von Regulierung. Auch beim Transition Management kommt der Regulierung eine große Bedeutung zu. Als weitere Kernpunkte werden die enge Kooperation und der Dialog, ein Politik-Mix mit einem Schwerpunkt auf marktorientierte Instrumente, die Fokussierung auf Systeminnovationen sowie die Formulierung von langfristigen Politikzielen genannt.

Als mögliche zukünftige Forschungsfelder benennt Jens Hemmelskamp u.a. Green Technology Foresight, Methoden zur Identifizierung von prioritären Sektoren, Handlungsfeldern und Märkten, konzeptionelle Studien zum Transition Management in Deutschland und Möglichkeiten zur Förderung von Projekten mit einem hohen Risiko des Scheiterns.

4.2 Statement von Prof. Dr. Rudi Kurz

Rudi Kurz benennt einleitend drei Annahmen, die er bei seinen weiteren Ausführungen voraussetzt. Erstens, dass die Ziele einer auf Nachhaltigkeit steuernden Innovationspolitik identifizierbar sind, zweitens, dass sich die Überlegungen zur Steuerung stärker auf angewandte Forschung und weniger auf Grundlagenforschung beziehen und drittens, dass die Innovationspolitik einem rationalen Design folgt, d.h. dass eine Änderung der politischen Prioritäten zu einer Änderung des Instrumentenmixes führt. Es stellt sich also die Frage, wie die bisherige (traditionelle) Innovationspolitik in eine nachhaltigkeitsorientierte Innovationspolitik transformiert werden kann und wie die Forschungsagenda einer solchen Politik aussehen könnte.

Als eine Definition von Innovationspolitik schlägt Rudi Kurz vor, alle Instrumente und (Unter-) Politikbereiche zu betrachten, die den Umfang und die Qualität von Innovationsaktivitäten einer Volkswirtschaft verändern oder in anderer Begrifflichkeit: den Output des Nationalen Innovationssystems beeinflussen. Als Elemente kommen die Grundlagenforschung, die Bildungspolitik, die Forschungspolitik, die Technologiepolitik und eine Vielzahl von Rahmenbedingungen in Betracht. Auf der Agenda einer nachhaltigkeitsorientierten Innovationspolitik müsse stehen, diese Elemente zu überprüfen, sie neu zu orientieren und neu zu gewichten und gegebenenfalls durch neue Elemente zu ergänzen. Rudi Kurz benennt für einzelne Politikbereiche interessante Problem- und Forschungsbereiche; für die Technologiepolitik benennt er z.B. die Erneuerbaren Energien (Windenergie, Biomasse), die Verkehrspolitik (Toll Collect) und die Frage nach „Schlüsseltechnologien“ (Biotechnologie, Nanotechnologie). Als sehr wichtig wird auch die Rolle der Rahmenbedingungen eingeschätzt, als wichtige Felder werden der Zugang zu Risikokapital, die ökologisch-orientierte Besteuerung und Regulierung, die öffentliche Infrastruktur und die öffentliche Nachfrage (public procurement) genannt.

Ausgehend von (prinzipiell unvermeidbaren) Informationsdefiziten und von der Unmöglichkeit, Innovationen in einem marktwirtschaftlichen System generell zu steuern, bringt Rudi Kurz die Hayek-Position in die Debatte ein. Aus dieser Sicht ist der Innovationsprozess vor allem ein Such- und Entdeckungsprozess, der eines Ordnungsrahmens (allgemeine Regeln), der Freiheit (Deregulierung, Privatisierung) und individueller Anreize (niedrige Steuern) bedarf; weitergehende staatliche Intervention bedürfen immer einer Begründung. Diese Perspektive betont zum einen die Bedeutung von Grundlagenforschung (erhöht die Auswahlmöglichkeiten im Suchprozess) und von inkrementellen Veränderungen, damit sich viele am Suchprozess beteiligen können.

Da nachhaltigkeitsorientierte Innovationspolitik nicht von Null startet, sondern auf der bestehenden Innovationspolitik aufbaut, wäre es nach Meinung von Rudi Kurz unrealistisch, von einem strengen rationalen Design auszugehen. Ausgehend von bestehenden Strukturen und Abhängigkeiten von Interessengruppen und Wählern (Neue Politische Ökonomie) erscheint es wichtig, Koalitionen für nachhaltigkeitsorientierte Innovation zu schaffen und so Umsetzungserfolge zu erzielen. Wichtig ist auch die Einführung neuer Elemente und Instrumente, z.B. Materialflussmanagement und Dienstleistungsorientierung, um so stärker Systeminnovationen anzustoßen. Gleichzeitig sollte – auch aufgrund der Erfahrungen mit traditioneller Industriepolitik – auf den Anspruch eines „ökologischen Fine-tunings“ der Innovationspolitik verzichtet werden.

Generell stelle sich die Frage, ob es bei der nachhaltigkeitsorientierten Innovationspolitik eher um marginale Änderungen der bestehenden Innovationspolitik gehe oder doch um eine neue Konzeption im Sinne eines Paradigmenwechsels – eine Position der sich Rudi Kurz eher zugeneigt sieht.

4.3 Statement von Prof. Dr. Stefan Zundel

Stefan Zundel legt den Schwerpunkt seiner Ausführungen auf die dynamischen Aspekte einer Steuerung von Innovationen in Richtung Nachhaltigkeit. In traditioneller Sichtweise wird das Problem unzureichender ökologischer Innovationen als ein Problem der unzureichenden Internalisierung externer Effekte gesehen, so dass die politische Aufgabe vor allem darin besteht, die Preissignale so zu verändern, dass größere Anreize für nachhaltigkeitsorientierte Innovationen entstehen. Empirische Untersuchungen belegen jedoch, dass die Preissignale allein oft nicht für die Diffusion ausreichen, sondern es auf ein breiteres Spektrum von Maßnahmen ankommt (Multi-Impuls-Hypothese).

In einer dynamischen Betrachtung hängt laut Stefan Zundel der erfolgreiche Übergang zwischen zwei Technologien vom Verhältnis der Übergangskosten (transition costs) zur Zahlungsbereitschaft einer Gesellschaft ab. In einer demokratischen Gesellschaft ist der Übergang zu einer neuen (umweltfreundlicheren) Technologie schwierig zu gestalten, wenn die Übergangskosten höher als die Zahlungsbereitschaft sind. Eine wichtige Erkenntnis ist jedoch, dass im Zeitablauf sowohl die Übergangskosten wie die Zahlungsbereitschaft sich ändern und so dass Verhältnis zwischen beiden einem stetigen Wechsel unterliegt, insbesondere die Höhe von sunk costs (z.B. als Folge von Investitionszyklen) kann hier eine wichtige Rolle spielen. Die

Vorbereitung, Erkennung und Nutzung solcher temporär entstehender Zeitfenster (windows of opportunity) ist eine der Hauptaufgaben einer nachhaltigkeitsorientierten Innovationspolitik.

Stefan Zundel beschreibt das zu lösende Problem mit der Metapher eines Segelschiffs in unbekannter See: das Segelschiff steht für unsere Technosphäre, die unbekannte See für unser begrenztes Wissen über die möglichen Folgen der Technologien. Man kann nicht wissen, ob ein Eisberg vor uns liegt, wenn wir jedoch einen erkennen, müssen wir den Kurs ändern. Außerdem ist es wichtig, eine Balance zu finden zwischen der Fähigkeit, Probleme zu lösen und der Schaffung neuer Risiken durch neue Technologien. In diesem Sinne beschreibt Nachhaltigkeit in einer dynamische Perspektive eine Balance zwischen Problemerzeugung und Problemlösung. Aus dieser Notwendigkeit ergibt sich eine Rechtfertigung für staatliches Handeln, da eine solche Balance in einem marktwirtschaftlichen System nicht automatisch erzeugt wird.

Hauptaufgabe ist es, bestimmte aus evolutorischer Sicht wichtige Funktionen von Märkten zu steigern (Entdeckungsfunktion, Forschungsfunktion, Entwicklungsfunktion, Selektionsfunktion). Angesichts von Pfadabhängigkeiten und sich selbst stabilisierenden sozialen Subsystemen sind diese Funktionen wichtig, um neue und umweltfreundlichere Lösungen zu ermöglichen; diese Verbesserung von ausgewählten Marktfunktionen wird als Nachhaltigkeit zweiter Ordnung (second order sustainability) bezeichnet.

Wenn Pfadabhängigkeiten in techno-ökonomischen System von Bedeutung sind, kann der Staat bei alternativen technischen Lösungen nicht neutral sein, weil gerade in stabilen Phasen bestehende Systeme dann bevorzugt werden. Er sollte sich aber auf die Stärkung der oben genannten Marktfunktionen und nicht auf die direkte Förderung einzelner Technologien konzentrieren.

Diese Sichtweise verlangt ein anderes Verständnis von Steuerung, weg vom Konzept des einfachen „Knopf-drückens“ hin zu einem Verständnis eines offenen, revidierbaren Steuerns von komplexen System. Notwendig ist auch eine Anreicherung der mikroökonomischen Fundierung von Handlungen, die über die Nutzenmaximierung hinausgeht und z.B. Konzepte der kognitiven Psychologie einbezieht. Auf diese Weise sollte eine verbesserte Modellierung sozialer (Sub-) Systeme, des politischen Systems und des Wissenschaftssystems sowie insbesondere ihrer Interaktion möglich sein. Nützlich für die theoretische Modellierung sind neue Ergebnisse der Systemtheorie, hier vor allem Erkenntnisse über adaptive komplexe Systeme.

4.4 Diskussion

Rainer Walz weist in seinem Diskussionsbeitrag daraufhin hin, dass das Problem der Steuerung auch in anderen (wirtschafts-) politischen Zusammenhängen diskutiert werde, insofern sei es sinnvoll, die dort vorgetragenen Argumente einzubeziehen. In der Innovationsforschung werde zum Beispiel verstärkt über die Rolle von Institutionen, von Netzwerken und von öffentlicher Infrastruktur debattiert. Generell werde die Steuerbarkeit von wirtschaftlichen Prozessen aber zurückhaltend beurteilt. Als zweites Argument spricht es sich für eine stärkere Diskussion über politische Innovationen aus, gerade am Beispiel des Transition Management werde die Bedeutung dieser Debatte deutlich. Als drittes schlägt er vor, intensiver darüber zu diskutieren, inwieweit es im Sinne der politischen Ökonomie gelingen könne, Koalitionen für Innovationen in Richtung Nachhaltigkeit auf den Weg zu bringen.

Bernd Fischer verweist in Bezug auf das Thema soziale und politische Innovationen auf die Session III „Beyond Technological Innovation“; ihn habe überrascht, dass im Zusammenhang mit Innovationen nicht stärker über die Rolle von Unternehmern im Sinne von Entrepreneurs diskutiert werde.

Stefan Zundel sieht – trotz bestehender Risiken und Hindernisse – die Notwendigkeit des staatlichen Handelns zum Zweck der Steuerung in Richtung Nachhaltigkeit. Die Qualität des Handelns könne verbessert werden, wenn zum Beispiel die zweifellos vorhandene Unsicherheit in Innovationsprozessen stärker berücksichtigt werde. Die Rolle von Entrepreneurs sieht er nicht isoliert, sie handeln immer in einem Umfeld, z.B. in Akteursnetzwerken, zu denen auch der Staat gehöre. Stefan Zundel betont noch einmal, dass es aus seiner Sicht vor allem darauf ankomme, das Spektrum von potenziellen Innovationen in Richtung Nachhaltigkeit zu vergrößern.

Rudi Kurz teilt die vorsichtige Einschätzung über die prinzipielle Steuerbarkeit von wirtschaftlichen Prozessen, gerade die Arbeiten von Schumpeter und von Hayek stärkten diese Sichtweise. Skeptisch äußert er sich über die Möglichkeit Entrepreneurs auszubilden oder „zu schaffen“. Bezüglich der Potenziale von politischen Innovationen müssen man von den realen Problemlösungsmöglichkeiten im existierenden politischen System ausgehen, so dass man keine überzogenen Erwartungen haben sollte. Im Hinblick auf die Debatte um Transition management und fine-tuning von Steuerung zeigt sich Rudi Kurz skeptisch, ob es möglich sei, die richtigen Lösungen auszuwählen, es gehe mehr darum, Optionen zu schaffen und einen geeigneten Ordnungsrahmen bereit zu stellen.

Jens Hemmelskamp sieht das Transition management als ein erfolgversprechendes Konzept, insbesondere helfe es die notwendige Politikkoordination zu organisieren. Auch er spricht sich dafür aus, das Spektrum von Innovationen und Problemlösungen (pool of opportunities) zu verbreitern.

Raimund Bleischwitz sieht in der bisherigen Debatte um Steuerung die Bedeutung des Rechtssystems deutlich unterschätzt.

Jan Nill stellt zur Debatte, dass so etwas wie ein „deutsches“ transition-management-Konzept notwendig sei, das auf die spezifischen Bedingungen von Akteuren, Institutionen und Rahmenbedingungen eingehe. So ein Konzept falle nicht vom Himmel, sondern müsse erarbeitet werden, wobei es weniger um eine Detaillierung sondern um eine konzeptionell angepasste Ausgestaltung gehe.

Rudi Kurz unterstreicht die Rolle des Rechts und nennt als Beispiel die Ausgestaltung von Regulierung und ihre Durchsetzung, Kontrakttheorie sei unter diesem Blickwinkel ein wichtiges Forschungsfeld. Zum Abschluss betont er noch einmal, wie wichtig Kriterien seien, um Innovationen in Richtung auf Nachhaltigkeit zu identifizieren, nur auf Basis von (Auswahl-) Kriterien sei es möglich im Sinne einer Steuerung zu selektieren.

Jens Hemmelskamp greift auch das Thema Recht auf; es sein ein Element, das wie andere die Notwendigkeit begründe, Konzepte zu entwickeln, die auf die jeweiligen (nationalen) Bedingungen abgestimmt seien. Er sieht die Rolle von Kriterien vor allem als Evaluationskriterien, um bestimmte Innovationen zu fördern; zu bedenken sei, dass die Kriterien sich im Zeitablauf verschieben könnten, wichtig sei jedoch zu jedem Zeitpunkt, dass eine politische Entscheidung für stärker nachhaltige Innovationen getroffen werde.

Stefan Zundel geht auch noch einmal kurz auf die Rolle des Rechts ein, merkt aber an, dass das Rechtssystem oft auch eine konservative Funktion habe und bestehende Lösungen gegenüber neuen Lösungen (Innovationen) schütze. Im Hinblick auf die Kriterien verweist er auf die Methode der Ökobilanzierung, die in bestimmten Bereichen wertvolle Ergebnisse liefere.

5. Forschungsbedarf (I, II)

Forschungsbedarf ergab sich aufgrund der Diskussionen in den Sessions I und II in drei Bereichen:

- bei den Ansätzen und Methoden zur Identifizierung von Nachhaltigkeitsinnovationen,
- bei den Instrumenten und Methoden zur Beschreibung und Analyse des Prozesses der Entstehung und Verbreitung von Nachhaltigkeitsinnovationen und
- bei der Gestaltung von Politiken zur Steuerung von Innovationen in Richtung auf Nachhaltigkeit.

Voraussetzung für die Identifizierung von Nachhaltigkeitsinnovationen ist eine weitere Klärung von Nachhaltigkeitskonzepten. Auf dieser Grundlage könnten die Spezifika von Nachhaltigkeitsinnovationen z.B. gegenüber Umweltinnovationen herausgearbeitet und die für Nachhaltigkeitsinnovationen kennzeichnenden Beziehungen zwischen technischen, organisatorischen und institutionellen Veränderungen beschrieben werden. Dringlich erscheint auch die Weiterentwicklung von Instrumenten zur Identifikation von Trade-Offs zwischen ökonomischen, umweltbezogenen und - insbesondere - sozialen Zielen unter Berücksichtigung von Second-Order- und Rebound-Effekten. Verfolgungs- und vertiefenswert z.B. in Fallstudien erscheint das Konzept der Sustainability Systems Innovations, ggf. erweitert um eine dynamische Perspektive, die auf die nachhaltige Fähigkeit von Märkten abstellt, Problemlösungen zu generieren (Second Order Sustainability).

Die eher mechanistischen Ansätze der Mainstream Economics erscheinen nur begrenzt geeignet, Innovationsprozesse insbesondere in Richtung auf Nachhaltigkeit zu beschreiben. Um Innovationshemmnisse, kognitive Prozesse und institutionellen Wandel angemessen zu erfassen, sind Ansätze der Evolutorischen und der Institutionelle Ökonomik anzuwenden und weiter zu entwickeln. Um Lernprozesse, der Rolle für das Innovationsgeschehen noch zu wenig berücksichtigt wird, zu beschreiben, sollten auch Ansätze der kognitiven Psychologie aufgegriffen werden. Die Anreizwirkungen der Umweltpolitik für Innovationen sind nicht durch das in der Umweltökonomik angewandte Konzept der dynamischen Anreizwirkungen, sondern entsprechend der Multi-Impuls-Hypothese durch das komplexe Zusammenwirken einer Vielzahl von Ursache-Wirkungsbeziehungen zu erklären. Als Ansatzpunkte einer Steuerung von Innovationen auf Nachhaltigkeit ist eine Reihe von dynamischen Ansätzen entwickelt worden, darunter der Ansatz der Windows-of-Opportunity, das Nischen- und das Transition-Management und Lead-Market-Ansatz, die auszuarbeiten und mit einander zu verknüpfen sind. Die Anwendung der Methoden des Sustainability Impact Assessment und der

Green Technology Foresight zur Beurteilung der Nachhaltigkeitswirkungen von Innovationen wirft ebenfalls eine Reihe von ungelösten Fragen auf. Noch wenig entwickelt sind bislang auch Methoden zur Modellierung der dynamischen Interaktion unterschiedlicher Systeme weit entfernt vom Gleichgewicht.

Um den Innovationsprozess stärker in Richtung auf Nachhaltigkeit zu lenken, ist eine Transformation der Innovationspolitik in eine Innovationspolitik für Nachhaltigkeit erforderlich, deren Konturen der Ausarbeitung - und Anpassung im Hinblick auf die Ausgangssituation in Deutschland - bedürfen. Im Einzelnen zu beschreibende Kennzeichen einer solchen Politik sind iterative und adaptive Entscheidungsprozesse, Vision, Portfolios von Optionen, institutionalisiertes Lernen, Multi-Akteurs-Netzwerke und bessere Fähigkeiten von Märkten, Problemlösungen zu generieren (Second Order Sustainability). In diesem Kontext werden der Politikstil und die Politikintegration wichtiger als die einzelnen Instrumente. Daneben besteht eine Vielzahl offener Fragen bei Einzelproblemen wie der Rolle von Bildung und von Netzwerken, der Generierung und dem Transfer von Wissen, dem internationalen Technologietransfer und den Wechselbeziehungen zwischen Unternehmen und Märkten.

6. Session III: Beyond Technological Innovation

Die Analyse von Innovationen unterscheidet üblicherweise technische und organisatorische Innovationen. Letztere umfassen zum Beispiel Innovationen im Dienstleistungsbereich oder im Bereich von Institutionen im weiteren Sinne, die Produktions- und Konsumvorgänge beherrschen und regeln. Oft reichen sie in die soziale Dimension hinein und hängen mit Verhaltensaspekten zusammen.

Für den Themenblock des Workshops "Beyond Technological Innovations" wurden drei Beiträge ausgewählt, die die Spannweite des Feldes aufzeigen. Der erste Beitrag von Gerd Scholl befasst sich mit Produkt-Service-Systemen, der zweite Beitrag von Steve New beleuchtet die Rolle von Wertschöpfungsketten beim Erreichen von Nachhaltigkeitszielen. Der dritte Beitrag von Vera Calenbuhr geht auf themenblockrelevante Entwicklungen auf Ebene der europäischen Politik ein. Allen Beiträgen gemeinsam ist ihr integraler Blick auf mehrere oder alle Stufen der Wertschöpfungskette bzw. des (ökologischen) Produktlebenszyklus. Das Interesse an der Wertschöpfungsketten-Perspektive ergibt sich einerseits als logische Fortsetzung der Entwicklung vom "End-of-Pipe"-Umweltschutz zum prozess- bzw. produktintegrierten Umweltschutz. Andererseits nehmen viele neuere Politikansätze auf EU-Ebene und ihre Reflexion im deutschen Recht, wie z. B. die Altauto-Richtlinie, die Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte oder die Integrierte Produktpolitik (s. z. B. Bader, Frings 2004; Rubik 2002) die gesamte Wertschöpfungskette oder größere Ausschnitte davon in den Blick.

6.1 Statement von Gerd Scholl

Innovation und Nachhaltigkeit am Beispiel von Produkt-Service-Systemen

Produkt-Service-Systeme lassen sich in verschiedene Kategorien unterteilen, die sich im Hinblick auf die Verteilung von Eigentums- und Nutzungsrechten zwischen Anbietern und Kunden unterscheiden und unterschiedliche tief in die normale Wertschöpfungskette Produktion-Nutzung-Entsorgung eingreifen. Folgende Beispiele illustrieren dies:

- Kategorie "Mehrwert": die Aufrüstung von Kopiermaschinen,
- Kategorie "Befähigungs-Plattformen": Video-Konferenzen,
- Kategorie "Endresultat": Wärmelieferung.

Der Ansatzpunkt für gesteigerte Nachhaltigkeit liegt in veränderten Anreizmechanismen, die sich durch die andere Aufteilung von Eigentums- und Nutzungsrechten im Rahmen von

Produkt-Service-Systemen im Vergleich zu herkömmlichem Gütertausch ergeben. So steigern Produkt-Service-Systeme z. B. das Interesse des Produzenten, der sich in einem Produkt-Service-System engagiert, die Lebenszykluskosten seines Produktes in die Optimierung einzubeziehen. Dynamisch und ganzheitlich betrachtet ändern Produkt-Service-Systeme das "Nutzungsregime" eines Gutes, d. h. sie gehen mit einer kombinierten Änderung von Technologie, Infrastruktur, Institutionellen Arrangements und sozio-ökonomischen Faktoren hervor.

Die verschiedenen Kategorien von Produkt-Service-Systemen unterscheiden sich auch bzgl. des Neuheitsgrads gegenüber herkömmlichen Lösungen. Die Neuheit kann dabei einerseits die Dimension Technik/Organisation/Wissen betreffen, und andererseits die Markt- und Akteursbeziehungen. Ist der Neuheitsgrad in beiden Dimensionen hoch, wird von Systeminnovationen gesprochen. Nur dieser Ausprägung von Produkt-Service-Systemen wird tatsächlich ein hohes Nachhaltigkeitspotential zugebilligt. Bei den anderen Kategorien ist der Neuheitsgrad entweder generell niedrig oder auf eine Dimension beschränkt. Aus diesem Grund wird vermutet, dass hier der spezifische Nachhaltigkeitseffekt durch so genannte Rebound-Effekte zunichte gemacht wird. Dieser ergibt sich aus der gleichzeitigen verbrauchssteigernden Wirkung der Produkt-Service-Systeme, ausgelöst z. B. durch niedrigere Preise aufgrund höherer Ressourceneffizienz oder durch (Kommunikations-) Technologien, die das Angebot einem breiteren Kundenkreis zugänglich machen. Es ist also festzuhalten, dass Produkt-Service-Systeme nicht automatisch zu gesteigerter Nachhaltigkeit führen.

In der Diskussion wurde deutlich, dass Produkt-Service-Systeme bisherige Unternehmensgrenzen in Frage stellen und veränderte Anforderungen an die Wissensbasis der Anbieter und Nutzer stellen. Wo bisher eine Transaktion im Sinne eines Produktkaufs zwischen zwei Marktakteuren getätigt wurde, verschieben sich nun die Schnittstellen und Gegenstände des Tauschs. Solche Entwicklungen bilden traditionell das Erkenntnisinteresse der Neuen Institutionellen Ökonomie.

Im Hinblick auf die Forschungsagenda knüpft die Kategorisierung bestimmter Produkt-Service-Systeme als Systeminnovation direkt an den Beitrag von René Kemp in Session 1 an und wirft die Frage nach Diffusionsmustern für Systeminnovationen und ihrer Steuerbarkeit (Transition Management) auf. Auch der Aspekt der Nachhaltigkeitsbewertung aus Session 1 bleibt für Produkt-Service-Systeme relevant, um stark nachhaltige Kategorien von wenig oder nicht nachhaltigen Modellen zu unterscheiden. Auf betriebswirtschaftlicher Ebene ließen sich

die Identifikation von Zielgruppen und spezifischer Marketing-Strategien als Forschungsfragen nennen.

Hält man sich die konkreten Beispiele für Produkt-Service-Systeme aus der Präsentation und der Literatur vor Augen, ist eine gewisse Dominanz von Fällen aus dem Energiebereich und aus dem Bereich des privaten Konsums (business-to-consumer) nicht zu leugnen. Beispiele aus der gewerblichen Wirtschaft beziehen sich häufig auf Querschnittsfunktionen (z. B. Flottenmanagement, Videokonferenzen). Sektorspezifische Problemlösungen durch Produkt-Service-Systeme scheinen dagegen noch weniger beleuchtet (s. z. B. Jakl et al. 2003; UNEP (United Nations Environment Programme) 2002). Aus empirischer Sicht kommt hier solchen Geschäftsfeldern besondere Bedeutung zu, bei denen der Einsatz von Chemikalien zentral ist (Costs-per-Unit-Modelle in der Automobil-Lackierung, Cleaning-in-Place-Modelle, Precision farming etc.). Dies deutet darauf hin dass Produkt-Service-Systeme insbesondere in wissensintensiven Bereichen der Wirtschaft von Interesse sind.

6.2 Statement von PhD Steve New

Die Rolle von Wertschöpfungsketten für Nachhaltigkeit

In diesem Beitrag wurde das große Gewicht von Business-to-business-Märkten gegenüber Konsumentenmärkten in den Mittelpunkt gerückt. Die Nachfrage privater Haushalte macht im Verhältnis zur Nachfrage von Unternehmen nur 20 % aus. Darüber hinaus sind Marktbeziehungen zwischen Unternehmen durch wesentlich andere Strukturen geprägt als Konsumentenmärkte. So spielen z. B. langfristige Verträge und Vertrauen eine wesentlich größere Rolle, reine Preissuchprozesse dagegen eine eher geringere Rolle. Daraus wird abgeleitet, dass das Beschaffungsverhalten von Unternehmen einen wesentlich größeren Einfluss auf Nachhaltigkeit hat als die Beschaffung des öffentlichen Sektors oder die Konsumententscheidungen der privaten Haushalte. Dies steht im Gegensatz zur momentanen Gewichtung der unterschiedlichen Nachfragergruppen bei der Formulierung von Politikinstrumenten. Hier wird die öffentliche Nachfrage als zentraler Hebel favorisiert (s. z. B. Borg et al. 2004; CEC - Commission of the European Communities 2003). In der Diskussion wurde deutlich, dass die Akteure in Business-to-business-Märkten vor diesem Hintergrund als zusätzliche Zielgruppe für Politikmaßnahmen (z. B. Weiterbildung) definiert werden sollten. Gleichzeitig wurde hinterfragt, ob die Gewichtung auf Ebene des Nachfragevolumens der Gewichtung auf Ebene der Umweltauswirkungen entspricht. Möglicherweise ist vor dem Hintergrund der großen Bedeutung der Nutzungsphase eines Produkts für seine Umweltwirkung der Fokus auf die private und öffentliche Nachfrage besser gerechtfertigt als es die Zahlen zu relativen Nachfrageanteilen scheinen lassen.

Das große Gewicht der Business-to-business-Märkte legt nahe, dass ökonomische Analysen zu Nachhaltigkeit sich mit Wertschöpfungsketten auseinander setzen müssen. Zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele wird eine entsprechende Koordinierung des Systems auf der Ebene der Wertschöpfungskette für notwendig erachtet. In der Analyse von Innovationsprozessen in Wertschöpfungsketten wird die Unterscheidung in "technology push" und "demand pull" der tatsächlichen Komplexität der Prozesse nicht gerecht (s. z. B. New et al. 1999). Schon das Mapping bzw. die Definition oder Abgrenzung einer Wertschöpfungskette ist schwierig, wobei im Bereich der *Industrial Ecology* noch die besten Annäherungsansätze dazu gesehen werden. Beziehungsstrukturen zwischen Unternehmen sind wichtige Faktoren, unternehmensinterne Strukturen werden aber für mindestens genauso wichtig gehalten.

Ein Aspekt, der aus der Wertschöpfungskette-Analyse nicht wegzudefinieren ist, ist die Rolle von Macht und – bezogen auf politische Steuerbarkeit – die Frage des Einflusses auf Großunternehmen. Sind die Marktstrukturen vermachtet, gibt es zwar Akteure, nämlich Großunternehmen, die radikalen Wandel vorantreiben können. Es stellt sich aber die Frage, ob die Macht für oder gegen Nachhaltigkeit genutzt wird. Bezüglich der analytischen Ansätze, die sich mit Wertschöpfungsketten befassen, lässt sich festhalten, dass der Begriff sehr unterschiedlich besetzt ist und auch verschiedenen Interessen dient (New 2004). Die ökonomische Monopsontheorie als möglicher theoretischer Zugang ist hier noch wenig entwickelt. Es dominiert bei ökonomischen Analysen meist die Annahme, dass der Anbieter beim ökonomischen Tausch seinen Abnehmer frei wählen kann. In der Diskussion wurde als weiterer möglicher Theoriezugang die Transaktionskostenökonomie genannt, auch wenn manche der dort verwendeten Konstrukte (z. B. Vertrauen, Abhängigkeit) empirisch schwer zu fassen sind und die Theorie weiterhin auf der Annahme von Optimierungsverhalten beruht. Weiterhin wurde in der Diskussion darauf verwiesen, dass Großunternehmen zwar von ihrer Nachfragemacht her großen Wandel anstoßen können, dass aber die Innovationsleistung in einer Kette oft von KMU ausgeht. Auch hier stellt sich allerdings die Frage der Steuerbarkeit dieser Innovationstätigkeit in Richtung Nachhaltigkeit.

Die nachhaltige Ausgestaltung von Wertschöpfungsketten kommt einer grundlegenden Neuerung und Umstrukturierung gleich. Vergleichbare Prozesse waren möglicherweise mit der Qualitätsrevolution, der breiten Einführung von IT oder dem Global Outsourcing verbunden. Aus der Analyse dieser historischen Prozesse ließen sich möglicherweise Analogieschlüsse für Innovationsstrategien für nachhaltige Wertschöpfungskette ableiten.

6.3 Statement von Dr. Vera Calenbuhr

Neue Mechanismen zur Formulierung von Politikinstrumenten in der Europäischen Kommission

Auf der Sitzung des Europäischen Rates in Göteborg im Juni 2001 wurde beschlossen, dass alle größeren Gesetzesinitiativen einem "sustainability impact assessment" unterzogen werden sollen, in dem die ökonomischen, sozialen und umweltbezogenen Auswirkungen eines neuen Politikansatzes untersucht werden. Inzwischen wurde für eine ganze Reihe vorgeschlagener Politikmaßnahmen ein solches Assessment abgeschlossen. Hervorzuheben an dem Prozess ist zum einen, dass in einem vorläufigen Assessment eine interdisziplinäre Fragenliste zusammengestellt wird. In einem zentral koordinierten Ansatz arbeiten dann verschiedene Generaldirektionen an dem weiteren Impact Assessment zusammen. Der Prozess steckt noch in seinen Anfängen und unterliegt einem ständigen Learning-by-doing.

Als zweites Element der so genannten Göteborg-Strategie wurden "strategische Evaluationen" in die Arbeit der EU Kommission eingeführt. Diese befassen sich zum Beispiel mit der Frage, in wie weit der Nachhaltigkeitsaspekt in bestimmte EU-Politiken integriert wurde. Der Fokus liegt hier auf anhaltenden, wiederkehrenden Problemen. Hervorzuheben ist die Beteiligung verschiedener Generaldirektionen und die Berichterstattung an die höchste politische Ebene.

Beide neuen Evaluierungsinstrumente leiden an einem Mangel an ökonomischen Konzepten. Sie sind entstanden aus dem Anliegen, Erfordernisse und Lösungen zu integrieren. Der Transfer vorhandener ökonomisch fundierter Ansätze in die konkrete Evaluierungsarbeit auf politischer Ebene und ihre Weiterentwicklung an den politischen Realitäten sind notwendig.

Stellt man das Thema Nachhaltigkeit und Innovation in einen globalen Zusammenhang, wie es die EU Kommission tut, ergeben sich daraus neue zusätzliche Forschungsfragen, z. B.:

- Handelt es sich bei den wirklichen Veränderungsvorgängen um Entwicklungen, die im Prinzip steuerbar sind; oder handelt es sich um Evolution im Sinne von zufälligen, nicht steuerbaren Vorgängen?
- Betrachtet man die Interessen der Entwicklungs- und der Industrieländer an "Dollar-plus" Konzepten, d. h. an Gütern, die sich einer monetären Bewertung entziehen, stellt man Unterschiede fest. In den Industrieländern scheint sich hier das Interesse zunehmend auf Beschäftigung und Ressourcenverfügbarkeit zu verlagern, während in Entwicklungsländern der Problemdruck bei Umweltfragen, Fragen der Eigentumsrechte und der Kapazität der öffentlichen Verwaltung mehr und mehr in den Vordergrund rücken. Die Frage ist, wie man mit diesen divergierenden Interessen umgeht und was sie für das Erreichen von Nachhaltigkeit bedeuten.
- Umweltrisiken finden bisher kaum Eingang in die Preisbildung und die Allokation von Kapital. Finanzielle Instrumente zu ihrer Abdeckung und die Berücksichtigung nicht

eingegangener Risiken finden praktisch nicht statt. Hier müssten Instrumente entwickelt werden.

Die genannten Fragen sind auf der Politikebene keinesfalls gegenwärtig. Hier müsste weitere politikorientierte Forschung stattfinden, um Tools und Methoden zu entwickeln.

7. Session IV: Empirical modelling of technological change

7.1 Herausforderungen für die Modellierung und Indikatoren aus Sicht der Innovationsforschung

7.1.1 Hintergrund

Empirische Untersuchungen zu "Innovationen und Umweltschutz" wurden bisher vorzugsweise in einer Reihe von Fallstudien durchgeführt. In der Literatur viel zitiert wurden die Fallstudien von Porter und van der Linde (1995), die auf erhebliche Innovationswirkungen und sogar auf das Vorliegen eines erheblichen ungenutzten Effizienzpotenzials hinweisen, dessen Realisierung zu so genannten win-win-Situationen führen kann, in denen der Umweltschutz sogar eine Reduktion der einzelwirtschaftlichen Kostenbelastung herbeiführt. Allerdings blieben diese Ergebnisse nicht lange unwidersprochen (vgl. Palmer et al. 1995). Positive Auswirkungen von Umweltregulierung auf Innovationen finden sich auch für mehrere europäische Länder in den Fallstudien von Wallace (1995). Besonders anzuführen ist das Forschungsprogramm innovative Wirkungen umweltpolitischer Instrumente (FIU) des deutschen BMBF (vgl. Klemmer 1999 sowie Klemmer et al. 1999). Hierbei wurden unterschiedliche Umweltpolitikmaßnahmen untersucht. Im Ergebnis zeigte sich, dass auch von ordnungsrechtlichen Maßnahmen ein positiver Innovationseffekt ausgehen kann, jedoch immer eine Vielzahl von Systembedingungen zu beachten ist, die eine Verallgemeinerung der Ergebnisse schwierig machen. Bedeutsam ist, dass die Ergebnisse darauf hindeuten, dass den – u. a. von den evolutorischen und institutionellen Ansätzen sowie der Umweltpolitikanalyse betonten – Systembedingungen und weichen Kontextfaktoren eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung zukommt. Andererseits lässt sich aus den Fallstudien auch ablesen, dass im Kontext der Rahmenbedingungen den Preiserwartungen eine besondere Bedeutung zukommt. Dies deutet darauf hin, dass die unterschiedlichen Erklärungsansätze nicht alternativ zu interpretieren sind, sondern sich gegenseitig ergänzen. Erste Zwischenergebnisse aus dem Nachfolgeprogramm „Rahmenbedingungen für Innovatives Wirtschaften“ (RIW) des BMBF scheinen diese Schlussfolgerung zu bestätigen (vgl. Horbach et al. 2003).

In ihrem Überblicksartikel über die Hypothese preisinduzierter Innovationen kamen Thirtle/Rutan (1987) zu dem Ergebnis, dass die vorliegenden statistischen Untersuchungen in der Tat darauf schließen lassen, dass eine Änderung der relativen Faktorpreise Auswirkungen auf die Innovationsgeschwindigkeit hat. Allerdings bezogen sich die ausgewerteten Arbeiten nicht auf den Umweltbereich. Im Umweltbereich besteht nämlich ein grundlegendes Problem darin, die in der Vergangenheit sehr stark durch ordnungsrechtliche Politikmaßnahmen geprägten Veränderungen in statistisch messbare Variablen zu transformieren. Entsprechend liegen hier deutlich weniger ökonometrisch-statistische Analysen vor, die sich zudem häufig bei den erklärenden Variablen mit Hilfsgrößen behelfen müssen.

7.1.2 Vortrag von Prof. Dr. Hariolf Grupp

"Empirical Modelling of Technical Change: Challenges, Indicators and Examples"

Für die empirische Modellierung des Zusammenhangs zwischen Nachhaltigkeit und Innovationen ist aber nicht nur die Abbildung der Umweltpolitik ein Problem. Von zentraler Bedeutung ist es auch, dass die Arbeiten die jüngsten Erkenntnisse der Innovationsforschung hinsichtlich der Entstehung und Verbreitung von Innovationen reflektieren und die Fortschritte bei der Messung von Innovationen berücksichtigen. Diese Fragestellung war Gegenstand des Vortrags von Prof. Dr. H. Grupp zum Thema "Empirical Modelling of Technical Change: Challenges, Indicators and Examples".

Die Begriffsbestimmung von "Innovation" lässt sich bis Ende des 19./Anfang des 20. Jahrhunderts zurückverfolgen. In den Wirtschaftswissenschaften wirkte insbesondere Schumpeter begriffsbildend. Der von ihm verwendete Begriff von "Neuheit" wurde ins Englische übersetzt und bestimmt seither als "Innovation" ganz wesentlich die Debatte. Hierbei wurde ursprünglich ein sehr weiter Innovationsbegriff verwendet: Innovation ist alles, was einem Unternehmer Gewinne (Innovationsrenten) aus Vorsprüngen verschafft. Insgesamt wird damit deutlich, dass der Begriff der Innovation gleichbedeutend ist mit dem der Neuerung (vgl. Grupp 1997).

Zurückgehend auf Schumpeter wurde in der Literatur die technische Entwicklung traditionell in die drei getrennten Phasen Invention, Innovation (= Erstanwendung) und Diffusion aufgeteilt. Diese sequenzielle Teilung wird in der neueren Innovationsforschung zunehmend in Frage gestellt und stattdessen auf evolutiv ablaufende Prozesse verwiesen (vgl. z.B. Grupp 1997, Kemp 1997, Albrecht 2002, Montalvo 2002). Demnach laufen diese 3 Phasen nicht sequenziell ab, sondern sind durch zahlreiche Rückkopplungsschleifen miteinander verbunden. Ein anschauliches Beispiel hierfür sind die Erfahrungen der Nutzer bei der

Anwendung von Neuerungen, aus denen wichtige Hinweise für weitere Neuentwicklungen folgen (dies unterstreicht auch die Bedeutung von den Beziehungen zwischen Herstellern und Nutzern).

Basierend auf diesen Erkenntnissen lässt sich ein funktionelles Referenzschema der Innovation aufstellen (vgl. Folie 4 des Vortrags von Prof. Grupp im Anhang), das dadurch gekennzeichnet ist, dass es zu starken Rückkopplungen zwischen den Innovationsstadien, zur Trennung von F&E in verschiedene Prozesse und zu einem funktionalen Wechselspiel zwischen den unterschiedlichen F&E- und Innovationsprozessen kommt. Darauf aufbauend lässt sich ein standardisiertes Schema zur Einordnung des wissenschaftlichen Fortschritts bei der Marktentstehung mit acht idealtypischen Standardsituationen ableiten. Die in Folie 6 des Vortrags eingezeichneten Aktivitätskurven stellen jedoch nur ein willkürliches Beispiel dar. Als Modell der Marktentstehung gelten nur die qualitativen acht Standardsituationen (vgl. auch Grupp 1997).

Da Innovationen nicht direkt beobachtet werden können, muss sie mit Hilfe möglichst korrelativer Indikatoren annäherungsweise gemessen werden. Traditionell werden hierbei inputorientierte (Einsatz von Ressourcen im Innovationsprozess) und outputorientierte (Ergebnis des Innovationsprozesses) Indikatoren herangezogen. Bei der Aufstellung des funktionalen Referenzschemas wurde die Unterscheidung zwischen F&E-Tätigkeiten und Innovationsstadien aufgeführt. Entsprechend bietet es sich an, outputorientierte Indikatoren, die zu den F&E-Prozessen gehören, als eigene Indikatorengruppe aufzufassen. Damit ergeben sich folgende 3 Gruppen von Innovationsindikatoren:

- Ressourcen-Indikatoren,
- FuE-Ertragsindikatoren, sowie
- Fortschrittsindikatoren.

Für die empirische Modellierung des technischen Wandels bilden die unterschiedlichen Innovationsindikatoren die zu erklärenden Variablen. Als erklärende Variablen (Determinanten) kommen in der neoklassischen Ökonomik entsprechend der Grundidee des *induzierten* technischen Wandels, die sich auf Hicks (1932) zurückverfolgen lässt, Veränderungen in den relativen Preisen der Produktionsfaktoren in Frage. Mit Bezug zu Nachhaltigkeitsproblemen wurden derartige Untersuchungen am intensivsten im Energiebereich durchgeführt, zumal hier mit den Energiepreisen eine statistisch gut verfügbare erklärende Variable zur Verfügung steht. Folie 8 und 9 im Vortrag von Prof. Grupp im Anhang fassen die Ergebnisse einer Erklärung von Energieeinsparpatenten durch Veränderungen des Energiepreises zusammen (vgl. Grupp 1999). Zusammen mit einer Reihe

von weiteren Untersuchungen (Newell et al. 1999, Schleich 2001; Popp 2002) wird eindrucksvoll aufgezeigt, dass Steigerungen in den relativen Energiepreisen energiesparende Innovationen auslösen. Allerdings sind die statistische Signifikanz dieses Zusammenhangs, und auch die Größenordnung des Einflusses, der auf die Energiepreise entfällt, unterschiedlich.

Ein weitere Hilfsgröße für die Messung von Umweltpolitikaktivitäten sind die dadurch ausgelösten Kostensteigerungen, wie sie in den Umweltausgaben angegeben werden. Die in den Folien 10-13 wiedergegebenen Ergebnisse zeigen hierbei positive Zusammenhänge zwischen Umweltausgaben in Deutschland und Patentaktivität in den zugehörigen Technologiefeldern auf (vgl. Grupp 1999). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Landjouw/Mody (1996), während Jaffe/Palmer (1997) diesen Zusammenhang nicht bestätigt finden.

Insgesamt kann aus diesen Arbeiten geschlossen werden, dass relative Veränderungen in umweltrelevanten Preisen bzw. Kosten zwar tatsächlich den umwelttechnischen Fortschritt beeinflussen. Da aber für die einzelnen Untersuchungsgegenstände jeweils eine Reihe weiterer fallspezifischer Determinanten besteht, kann eine verallgemeinerte, quantitative Beziehung für die Induzierung des umwelttechnischen Fortschritts nicht aufgestellt werden.

7.1.3 Ergebnisse der Diskussion

In der Innovationsforschung werden zahlreiche Indikatoren zur Messung von Innovationen verwendet, die auch ein erhebliches Potenzial bei der empirischen Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Sustainability und Innovation aufweisen. Sie sollten bei dem anstehenden Forschungstrend, von den Fallstudien hin zu verallgemeinerbaren empirischen Aussagen zu kommen, Eingang finden. Mehrfach betont wurde, dass sich die Modellierungsanstrengungen hierbei auf reale Phänomene richten sollten ("very practical approach needed").

Die wichtigsten methodischen Herausforderungen werden in der Berücksichtigung der Nicht-Linearität der Innovationsprozesse, den unklaren Preiswirkungen sowie der Berücksichtigung zusätzlicher Faktoren gesehen, wie sie unter dem Schlagwort der weichen Kontextfaktoren Eingang in die Literatur gefunden haben ("other than price based mechanisms"). In diesem Zusammenhang wurde die Notwendigkeit angeführt, in der Modellierung auch auf eine realistische Abbildung der Funktionsweise des politischen Systems zu achten. Insgesamt

erscheint die Mesoebene ein geeigneter Ansatzpunkt zu sein, um derartige Fragestellungen anzugehen.

Eine weitere Herausforderung liegt in der adäquaten Abbildung des Akteursverhaltens und ihrer Kommunikation untereinander. Dies erfordert es, auch Modellierungsansätze zu berücksichtigen, die die Mesoebene "mikroökonomisch" unterfüttern. Allerdings ist im Hinblick auf realistische Verhaltensannahmen zu bedenken, dass derartige Ansätze nicht allein auf dem ökonomischen Verhaltensmodell des homo oeconomicus aufbauen können. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, die Forschung auch unter Einbezug weiterer Ansätze und sogar disziplinenübergreifend anzulegen (vgl. hierzu auch die Ausführungen zur agentenbasierten Modellierung).

Insgesamt wurde die Notwendigkeit gesehen, neben der eigentlichen Modellierungsarbeit auch zahlreiche Vorarbeiten zur Bereitstellung von Daten zu leisten. Dies trifft insbesondere auf die Messung von Umweltpolitikaktivitäten zu, bei der neben der Bereitstellung und Aufarbeitung entsprechender Daten zuerst auch noch Messkonzepte entwickelt werden müssen. Ähnliches gilt auch für die weichen Kontextfaktoren, z. B. hinsichtlich der Etablierung von Indizes zur Messung des Politikstils. Trotz dieser Schwierigkeiten wird ein erhebliches Potenzial darin gesehen, die Modellierungserfahrungen im Innovationsbereich mit den Modellierungsanstrengungen im Themenfeld Nachhaltigkeit zusammenzuführen. Hierbei sollten neben dem Energiebereich zunehmend auch andere Bereiche untersucht werden.

7.2 Makroökonomische Modelle

7.2.1 Hintergrund

Im Zusammenhang mit Analysen zur Nachhaltigkeit werden makroökonomische Modelle hauptsächlich zur Abschätzung der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen von Nachhaltigkeitspolitiken eingesetzt. Schwerpunkt der bisherigen Analysen bildet hierbei der Energie- und Klimabereich. Zum Einsatz kommen v.a. ökonometrische sowie angewandte Gleichgewichtsmodelle, z. T. aber auch Input-Output-Analysen. Mit diesen unterschiedlichen Modellklassen sind jeweils spezifische Stärken und Schwächen verbunden (vgl. West 1995, Fankhauser/McCoy 1995, Destais 1996, Bhattacharyya 1996, Barker/Johnstone 1998, Conrad 1999, Duchin/Steenge 1999).

Neben der Auswahl des zu verwendenden ökonomischen Modells sind auch die Fundierung des Dateninputs sowie das Design des Referenzszenarios wichtige Entscheidungspunkte (vgl. Wilson/Swisher 1993, IPCC 1996 und 2001, Krause 1996, Fauchaux/Levarlet 1999). Aus der Vielzahl der möglichen Kombinationen zwischen Modellwahl, Datenfundierung und

Design des Referenzszenarios haben zwei Modellierungsansätze weite Verbreitung gefunden, die unter dem Begriffspaar "top-down" und "bottom-up Analyse" Eingang in die Literatur gefunden haben. Die top-down Analyse ist durch die Anwendung von makroökonomischen Modellen ohne detaillierte Energieszenarien gekennzeichnet. Sie modelliert die Auswirkungen einer Klimapolitik auf die Gesamtwirtschaft und leitet hieraus gleichzeitig die Veränderung der Emissionen ab. Hierzu werden so genannte gesamtwirtschaftliche Economy-Environment-Energy-Modelle (E3 models) herangezogen, die in ihrem Kern entweder aus Gleichgewichts- oder ökonometrischen Modellen bestehen. Die Auswirkungen auf die Emissionen werden losgelöst von jeglicher technischer Konkretion modelliert, indem die Nachfrage nach dem Produktionsfaktor Energie aus einer (aggregierten) Produktionsfunktion bzw. aus statistischen Zusammenhängen abgeleitet wird. Hierbei kommen dann Substitutionseffekte zwischen den Produktionsfaktoren zum Tragen. Entsprechend sind diese Modellansätze vor allem in der Lage, Änderungen in den relativen Preisen zu analysieren. Typischerweise wird in den entsprechenden Analysen eine Klimapolitik als eine Energie-/CO₂-Steuer modelliert, deren Einnahmen dann in unterschiedlichen Varianten zurückgeführt werden kann.

Für die Berechnung der Emissionen mit derartigen top-down Modellen sind erstens die Substitutionselastizitäten zwischen den Produktionsfaktoren entscheidend. Letztendlich schreiben sie die aus der Kalibrierung des Modells für ein Jahr bzw. die für die Vergangenheit beobachteten Trends für die Zukunft fort. Insbesondere wenn Technologiesprünge zu erwarten sind führt dies zu einer deutlichen Unterschätzung der Emissionsminderungen bzw. zu einer Überschätzung der Höhe der Energiesteuer, die zur Erreichung eines exogen vorgegebenen Emissionsziels erforderlich ist, und der damit verbundenen Kosten. Entsprechend weisen diese Modellansätze auch „Defizite hinsichtlich der Erfassung potenzieller, noch nicht implementierter Techniken auf“ (Frohn et al. 1998, S. 86).

Ein zweiter wichtiger Faktor, der gerade bei den Analysen eine wichtige Rolle spielt, die die Wirkungen einer Erreichung exogener Ziele untersuchen, sind die Annahmen über das Referenzszenario. Die *top-down Analysen* gehen in der Regel von einer autonomen Verbesserung der Energieeffizienz aus, d. h. die Einflüsse des technischen Fortschritts werden durch den Zeittrend gemessen. Die Höhe dieses Autonomous Energy Efficiency Improvement (AEEI) Faktors bestimmt maßgeblich die Höhe der Emissionen im Referenzszenario. Hiervon hängen wiederum die Eingriffstiefe und damit die Höhe der Energiesteuer ab, die notwendig ist, um über Substitutionseffekte die Erreichung des Zieles zu modellieren. Je höher aber die Eingriffstiefe, desto stärker fallen die ökonomischen Wirkungen aus. Damit wird implizit

durch die Festlegung der Höhe des autonomen technischen Fortschritts in der Energieeffizienz das Ausmaß der ökonomischen Wirkungen bestimmt.

Ein wesentlicher Kritikpunkt an den top-down Modellen ist aus den genannten Gründen die Berücksichtigung des technischen Fortschritts. Die Kritik bezieht sich sowohl auf die Schwierigkeiten, eine realistische "autonome" Steigerung der Energieeffizienz festzulegen als auch auf die unzureichende Berücksichtigung eines politikinduzierten technischen Fortschritts. Entsprechend kommt das für den UGR-Beirat erstellte Gutachten über die Tauglichkeit der makroökonomischen Modelle zur Abbildung von Wirkungen der Umweltpolitik zu dem sehr einschränkenden Ergebnis, dass „die zur Ableitung verlässlicher Resultate notwendige Verknüpfung der Bereiche Umwelt, Ökonomie und Technik nicht in ausreichendem Maße gelungen“ sei (Frohn et al. 1998, S. 86). Noch drastischer urteilen DIW/FiFo/RWI/ZEW (1996, S. 65), die eine adäquate Berücksichtigung der Innovationsaspekte im Rahmen von top-down Analysen als nahezu unlösbares Unterfangen bezeichnen.

Vor diesem Hintergrund wurde als zweites Thema von Session 4 des Workshops die Modellierung des technischen Wandels in makroökonomischen Modellen behandelt. Im folgenden wird daher zunächst der Vortrag von Prof. Claudia Kemfert zum Thema "Macro-modelling of sustainability innovations " skizziert. Danach folgt als Exkurs eine kurze Übersicht über die einen neuen Ansatz zur Modellierung des technischen Wandels in sektoral disaggregierten makroökonomischen Modellen.

7.2.2 Vortrag von Prof. Dr. Claudia Kemfert

"Macro-modelling of sustainability innovations"

Für die Makromodellierung in top down Modellen spielt die Wahl der Produktionsfunktion und ihre Spezifizierung eine wesentliche Rolle (vgl. Folie 2 des Vortrags von Prof. Kemfert). Dabei werden in den neoklassisch geprägten allgemeinen Gleichgewichtsmodellen explizit CES-Produktionsfunktionen für die einzelnen Branchen unterstellt und daraus kostenminimierende Faktornachfragefunktionen abgeleitet. Die durch steuerliche oder andere Maßnahmen ausgelösten Änderungen der Faktorpreisrelationen bewirken hier Substitutionsprozesse. Der technische Fortschritt bleibt bei dieser Modellierung meist exogen und spiegelt sich in Form eines autonomen trendmäßigen Zuwachses wider. Weitere Kritik in Bezug auf die Abbildung von technischem Fortschritt in allgemeinen Gleichgewichtsmodellen entzündet sich am postulierten Typ der neoklassischer Produktionsfunktionen, die unbegrenzte Faktorsubstitutionsmöglichkeiten bedingen.

Realistischerweise sind die Substitutionsmöglichkeiten aber begrenzt. Alternativ können auch limitationale Produktionsfunktionen angewendet werden. Bei Produktionsfunktionen dieses Typs besteht bei der Investitionsentscheidung eine Wahlmöglichkeit zwischen verschiedenen in sich limitationalen Prozessen, während die Inputstruktur der bestehenden Anlagen nicht mehr verändert werden kann.

In der theoretischen Literatur wurde im Rahmen der neuen Wachstumstheorie in jüngster Zeit die Endogenisierung des technischen Wandels verstärkt thematisiert. Hier wird versucht, über technisches Wissen, das durch akkumulierte Forschungs- und Entwicklungsausgaben gebildet wird, eine Endogenisierung des technischen Fortschritts zu erreichen. Im neoklassischen Ansatz tritt das technische Wissen neben die üblichen Variablen in Form akkumulierter FuE-Ausgaben in die substitutionale Produktionsfunktion. Über das aus der Optimierung ableitbare System von Faktornachfragefunktionen lassen sich dann auch die FuE-Aktivitäten endogenisieren. Vorteile eines solchen Ansatzes liegen in der Langfristigkeit der Betrachtungsweise und der Möglichkeit, den technischen Wandel tatsächlich zu endogenisieren. Die Nachteile liegen in einem sehr hohen Abstraktions- und Aggregationsgrad, der die Implementation für praktische Fragestellung erschwert.

In *angewandten Gleichgewichtsmodellen* (vgl. Folie Nr. 5 im Vortrag von Prof. Kemfert) lösen Änderungen der Preise Anpassungsreaktionen in allen anderen Bereichen aus. Es werden Angebots- und Nachfragefunktionen für die einzelnen Märkte abgebildet, die durch den Preismechanismus zum Gleichgewicht gebracht werden. Diese mikroökonomische Fundierung und die durch die Abbildung von ökonomischen Feedbackprozessen erreichbare Langfristorientierung der Modelle werden als prinzipieller Vorteil dieser Modelle angeführt. Auf der anderen Seite wird die empirische Fundierung der Gleichgewichtsmodelle hinterfragt, da i.d.R. eine Beschränkung der funktionalen Formen auf CES Produktionsfunktionen erfolgt. Gleichzeitig müssen viele Parameter exogen eingegeben werden.

Für die Zukunft wird eine Möglichkeit der Verbesserung der makroökonomischen Modellansätze darin gesehen, verstärkt eine Kopplung mit detaillierten bottom-up Technologiemoellen vorzunehmen, um dadurch die Einschränkungen der Makromodelle abmildern zu können. Im Hinblick auf Bewertungsfragen wird darüber hinaus eine verstärkte Beschäftigung mit Integrated Assessment Modellen und – bezüglich intergenerationaler Verteilungsaspekte – von Overlapping Generations Modellen angebracht sein.

7.2.3 Exkurs: Modellierung des technischen Fortschritts in ökonomischen Modellen

Aus terminlichen Gründen musste der ursprünglich geplante Vortrag der Einbeziehung des technischen Wandels in makroökonomische Modelle auf dem Workshop entfallen. Wie auf dem Workshop angekündigt, werden die wesentlichen Inhalte dieses Ansatzes aber im Folgenden in schriftlicher Form skizziert (vgl. hierzu Schleich et al. 2004 sowie Lutz et al. 2004).

Der im Rahmen eines Projektes des RIW-Förderschwerpunktes des BMBF implementierte makroökonomische Modellierungsansatz zur Abbildung des technischen Wandels greift die in Abschnitt 2.1 aufgeführten Kritikpunkte an der makroökonomischen Modellierung in zweifacher Weise auf:

- technischer Fortschritt wird prozessbezogen und politik-induziert abgebildet;
- die Technologiewahl zwischen limitationalen Prozessen wird explizit modelliert.

Zusätzlich wird untersucht inwiefern Hemmnisse, die die Implementierung energie- und kosteneffizienter Technologien behindern können, die Technologiewahl beeinflussen. Zu diesen Hemmnissen, die in zahlreichen Fallstudien dokumentiert sind und die eine sogenannte „Effizienzlücke“ zur Folge haben können, zählen beispielsweise auch Informationskosten und andere Transaktionskosten, begrenzte Rationalität oder asymmetrische Information (vgl. z. B. de Almeida 1998; DeCanio 1993, 1997; Eyre 1997; Jaffe/Stavins 1994a, 1994b, Jochem/Gruber 1990) sowie zahlreiche Faktoren, die unter dem Schlagwort "weiche Kontextfaktoren" im FIU-Programm diskutiert wurden (vgl. Klemmer et al. 1999). Eine Berücksichtigung dieser Hemmnisse in quantitativen Modellen scheidet in der Regel auch daran, dass Variablen, die die jeweiligen Hemmnisse adäquat widerspiegeln sich nur schwer definieren lassen. Im gewählten ökonomischen Input-Output Modell müssten diese Variablen zudem als Zeitreihe vorliegen. In einem ersten Ansatz wird auf der Basis mikroökonomischer Überlegungen die Hypothese getestet, ob X-Ineffizienzen auf der Seite potenzieller Anwender einer energiesparenden Technologie den technischen Fortschritt behinderten. X-Ineffizienzen entstehen verstärkt bei mangelndem Wettbewerbsdruck (Ostertag 2003). Unter solchen Umständen können Unternehmen vom Einsatz der kosteneffizientesten Produktionstechnologie absehen, ohne auf Dauer vom Markt gedrängt zu werden. Als Indikator der Wettbewerbsstärke kann zum einen die Konzentration in einem Sektor gelten. Dabei wird unterstellt, dass die Wettbewerbsintensität mit steigender Konzentration abnimmt. Als Konzentrationsmaß wurde der Herfindahl-Hirschmann-Index gewählt. Da allerdings der Zusammenhang zwischen Konzentration und

Wettbewerbsintensität in der Theorie nicht ganz eindeutig ist – verwiesen sei hier z. B. auf Oligopolmodelle mit sehr starkem Wettbewerb – wurde alternativ ein zweiter Indikator für die Wettbewerbsintensität verwendet, nämlich das Verhältnis von Importen zur heimischen Erzeugung.

Durch modellgestützte Simulationsrechnungen werden dann die Wirkungen veränderter Rahmenbedingungen abgeschätzt. Dabei werden nicht nur die Auswirkungen auf das Sozialprodukt und die Umwelt betrachtet, sondern auch quantitative und qualitative Arbeitsplatzeffekte in einem konsistenten Modellrahmen untersucht.

Das ökonometrische Input-Output-Modell PANTA RHEI, das im Rahmen des hier beschriebenen Ansatzes verwendet wird, unterstellt - im Gegensatz zu Allgemeinen Gleichgewichtsmodellen auf Basis von CES-Funktionen - Limitationalität in den einzelnen Branchen. Allerdings werden die Inputkoeffizienten preisabhängig modelliert, was dann nicht als das Ergebnis von Substitution sondern von kosteninduziertem technischem Fortschritt, der zu Änderungen in der Prozesswahl führt, interpretiert wird. Die realen technologischen Gegebenheiten der einzelnen Prozesse werden bisher aber nicht sichtbar. Um in der verbesserten Modellierung die Technologien explizit abzubilden, werden im Rahmen des hier skizzierten Ansatzes für die verschiedenen technologischen Paradigmen (vgl. z .B. Dosi 1982, 1988, S. 224) zunächst für den historischen Beobachtungszeitraum die detaillierten Inputstrukturen sowie der prozessspezifische Energiebedarf der jeweiligen best-practice Technologien - die sogenannten Trajektorien – abgeschätzt. Für Projektionen wird auf Basis von Tiefeninterviews mit Technikexperten davon ausgegangen, dass für den Analysezeitraum (bis 2030) die naturwissenschaftlichen Grundlagen zur Lösung der technologischen Probleme bei den betrachteten Produktionsprozessen prinzipiell heute schon bekannt sind.

Die Taxonomie Pavitts (1984) und die Analysen von Pavitt/Robson/Townsend (1986) haben gezeigt, dass die Bedingungen des Entstehens des technischen Fortschritts sowie seine Auswirkungen in den einzelnen Sektoren der Volkswirtschaft höchst unterschiedlich sind (Rahmeyer 1993). Der empirische Befund bei den genannten energieintensiven Sektoren legt nahe, die Unternehmen hinsichtlich der Charakterisierung des technischen Wandels im Sinne Pavitts (1984) eindeutig als „supplier dominated firms“ zu interpretieren: Die Unternehmen leisten selbst nur einen geringen Beitrag zur Innovation. Stattdessen realisieren sie technischen Fortschritt, der vor allem in Prozessinnovationen besteht, durch den Einsatz neuer Kapitalgüter. Zur Überprüfung dieser These wurde auch untersucht, ob ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen F&E-Aufwendungen der Branche und der

beobachteten Energieeffizienz besteht. Dosi (1988, S.232) betont, dass in diesen supplier dominated Branchen der Innovationsprozess in erster Linie ein Prozess der Diffusion von best-practice Kapitalgütern ist, der sich somit durch die Investitionstätigkeit in der Branche vollzieht. In Anlehnung an Silverberg (1988, S. 543f) wird bei der Modellierung der Investitionsentscheidung im Prinzip davon ausgegangen, dass bei Vorliegen einer putty-clay Technologie die Unternehmen mit ihrer Technologiewahl im Rahmen ihrer Investitionsentscheidung nicht sehr weit hinter der best-practice Technologie zurück bleiben. Für die Modellimplementierung wurden daher auch paradigmenspezifische Zeitreihen für die Input-Vektoren der jeweiligen best-practice Technologien der verschiedenen technologischen Paradigmen berechnet und fortgeschrieben, die als Basis für die Technologiewahl dienen.

Die Technologiewahl findet im Rahmen der Investitionsentscheidung des betrachteten Sektors statt, deren Modellierung die Erfassung der jeweiligen sektorspezifischen Gegebenheiten zu berücksichtigen hat. Grundsätzlich wird von beschränkter Rationalität der Agenten ausgegangen. Dabei wird auch untersucht, inwiefern Hemmnisse, die die Implementierung energie- und kosteneffizienter Technologien behindern können, eine Rolle spielen. Konkret wird die Hypothese getestet, ob mangelnder Wettbewerbsdruck in einer Branche einen statistisch signifikanten negativen Einfluss auf den technischen Fortschritt hat.

Die Sektoren Maschinenbau und Elektrotechnik zählen in der Taxonomie Pavitts zu den „specialized suppliers“, deren Innovationsaktivitäten vornehmlich aus Produktinnovationen bestehen, die in den Abnehmersektoren als Kapitalinputs eingesetzt werden. Die Modellierung der Innovationsaktivitäten der Sektoren Maschinenbau und Elektrotechnik richtet sich auf die Abbildung der Trajektorien (Nelson und Winter 1982), die innerhalb der technologischen Paradigmen möglich sind. Man bezeichnet diesen Zusammenhang auch als inkrementale Innovationen im Gegensatz zu den Basisinnovationen. Die Fortschreibung dieser Trajektorien in die Zukunft erfolgt im gewählten Modellierungsansatz endogen auf Basis der ökonometrischen Schätzgleichungen für die Inputkoeffizienten der best-practice-Technologien.

Die akkumulierten FuE-Ausgaben der Investitionsgüterhersteller sind ein Maß für die Innovationsaktivitäten dieser Branchen. Bei der Modellierung der Innovationsentscheidungen der Sektoren Maschinenbau und Elektrotechnik in F&E wird nicht davon ausgegangen, dass diese das Ergebnis eines gewinnmaximalen vollkommen rationalen Entscheidungsprozesses sind. Stattdessen wird, wie bei Nelson/Winter (1982,) angenommen, dass infolge begrenzter Rationalität (Simon 1947) einfache Faustregeln und Entscheidungsroutrinen (z. B.

Abhängigkeit des F&E-Volumens vom Umsatz) die F&E-Ausgaben der Investitionsgüterhersteller bestimmen. Empirische Arbeiten (Meyer/Keuter/Voßkamp 1993, Keuter 1994, Vogt 1997) belegen, dass das Satisficing-Verhalten besonders gute Erklärungen für die Innovationsaktivitäten der Unternehmen liefert.

Da die FuE-Ausgaben, die nur auf aggregiertem Niveau vorliegen, nicht direkt den verschiedenen technologischen Paradigmen zugerechnet werden können, ist eine direkte Endogenisierung der Trajektorien der verschiedenen technologischen Paradigmen allein über die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Maschinenbaus und der Elektrotechnik allerdings nicht möglich. Stattdessen wird davon ausgegangen, dass die Produzenten der Investitionsgüter ihre Forschungsanstrengungen darauf richten, im Rahmen des jeweils gegebenen Paradigmas möglichst solche Investitionsgüter anzubieten, die die Produktionskosten bei den abnehmenden Branchen (z. B. Stahlerzeugung.) minimieren (Erdmann 1993, S. 69ff).

Ausgehend von den best-practice Trajektorien der verschiedenen technologischen Paradigmen, die durch eine Zeitreihe politikabhängiger (preisabhängige) paradigmenpezifischer Inputkoeffizienten modelliert werden, lässt sich der Zusammenhang zwischen dem Kostendruck und der Innovation ökonometrisch schätzen und für die Endogenisierung des technischen Fortschritts im Modell einsetzen. Das Niveau der Innovationsaktivitäten wird in diesen Regressionen dann durch die FuE-Ausgaben der Investitionsgüterhersteller erfasst. Die geschilderten Preismechanismen geben die Richtung ihrer Wirkungen auf die konkrete Ausgestaltung der best-practice Technologien an.

7.2.4 Ergebnisse der Diskussion

Die Diskussion unterstrich die Notwendigkeit, weitere Arbeiten zur Modellierung der strukturellen und gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen von Innovationen vorzunehmen. Insbesondere eine Modellierungsstrategie, die die Makromodellierung durch Ergebnisse aus der Mesoebene bzw. durch eine technologisch fundierte Mikro-Makro-Brücke unterfüttert, wird als aussichtsreich eingestuft (Kopplung von top-down und bottom-up Ansatz). Hierzu können unterschiedliche Vorgehensweisen gewählt werden, sei es die Einbringung von detaillierten technisch-wirtschaftlichen Informationen in die Makromodelle selbst, oder die Etablierung eines Soft-Links zwischen Makro- und Mesomodellen. Für wichtig erachtet wurde es, dass keine a priori Festlegung für einen Modellierungsansatz getroffen wird, sondern ein "Wettbewerb der Modelle" ermöglicht wird, der neben ökonometrischen und

Gleichgewichtsmodellen auch alternative Ansätze wie z. B. eine auf Basis der Systemdynamik erfolgende Modellierung wie z. B. im ASTRA oder ESCOT Modell miteinbezieht. Des Weiteren muss bei der Modellierung auf realistische Verhaltensannahmen der Akteure geachtet werden, z. B. im Hinblick auf den Einbezug von bounded rationality, was durch eine Anknüpfung an bottom-up Ansätze erleichtert werden dürfte. Insgesamt wird in einer Strategie, in der Modellierung top-down mit bottom-up Vorgehensweise zu koppeln und dadurch zugleich verstärkt die in der evolutionary economics betonten Aspekte berücksichtigen zu können eine aussichtsreiche Perspektive gesehen, mit der Deutschland gegenüber den weltweit dominierenden traditionellen Modellierungsansätzen bewusst andere Akzente setzen und zum wissenschaftlichen Fortschritt beitragen könnte.

Bei den weiteren Arbeiten sollte darauf geachtet werden, Kriterien für ein methodisch sauberes Soft Linking zu etablieren. Darüber hinaus sollte die Forschung sich nicht allein auf die Modellierung als solche konzentrieren, sondern auch die Festlegung der Impulse, die in die Modelle eingehen, explizit zum Gegenstand machen.

Hinsichtlich der zu untersuchenden Wirkungsmechanismen wurde explizit auf die Dimension der qualitativen Wettbewerbsfähigkeit im Sinne der Porter-Hypothese bzw. der Etablierung von Lead-Märkten hingewiesen. Hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, der die Notwendigkeit unterstreicht, neben einer aggregierten Herangehensweise auf der Ebene von Produktionsfunktionen auch alternative, sektorspezifischere Untersuchungen in die Modellierung einzubeziehen. Ähnliches gilt für die produktiven Wirkungen von nachhaltigen Innovationen, die sich von den – tendenziell produktivitätsmindernden – Investitionen in end-of-pipe-Anlagen deutlich unterscheiden dürften. Schließlich wurde bezüglich der Wirkungsdimensionen darauf hingewiesen, dass die auf gesamtwirtschaftliche Makrogrößen verengte Betrachtungsweise zu Gunsten einer stärkeren Berücksichtigung der strukturellen Anpassungserfordernisse inklusive der qualitativen Dimensionen der Arbeitswelt erweitert werden sollte.

7.3 Neue Modellierungsansätze am Beispiel von Multi-Agentensystemen

7.3.1 Hintergrund

Bestehende Modellierungsansätze, wie neoklassisch-geprägte Gleichgewichtsansätze oder ökonometrische Konzepte, aber auch sektorspezifische Optimierungs- oder Simulationsmodelle, wie sie häufig im Energiebereich angewandt werden, sind bisher nur unzureichend in der Lage, technologische Innovationen adäquat abzubilden. In ihrem

Verständnis der Markt- und Akteursabbildung stellen diese traditionellen Modellierungsansätze Top-Down-Ansätze dar, bzw. sie sind in hohem Maße deterministisch. Basierend auf den Erkenntnissen, dass die modernen Wirtschaftssysteme durch dezentrale Märkte geprägt sind und die bestimmenden Akteure nicht allein durch ökonomische Abwägung ihre Entscheidungen treffen, sondern auch nach Aspekten von Marktmacht, Risikoabwägungen, Denkschulen und gesellschaftlichen Trends sowie Unternehmenskulturen handeln, hat sich die sehr junge Forschungsdisziplin Agent-based Computational Economics (ACE) herausgebildet (Teschfatsion 2003). Diese fokussiert sich bei der Modellierung von Wirtschaftsbereichen auf die Abbildung der relevanten Akteure (Agenten) eines Marktes und auf dezentrale Modellierungsstrukturen. Während den neoklassisch geprägten Modellen die Vorstellung eines vollkommen rational handelnden "homo oeconomicus" zu Grunde liegt, die allerdings nur schwer mit den Unsicherheiten, die Innovationen naturgemäß anhaften, vereinbar ist, basieren die neueren Ansätze der evolutorischen Ökonomik auf dem Konzept der „eingeschränkten Rationalität“ (bounded rationality). In diesen evolutorisch geprägten Modellen orientieren sich die Entscheidungsträger an "Daumenregeln" und "Entscheidungsroutinen". Diese Entscheidungsregeln erlauben in der Modellierung einen größeren Lösungsraum für die möglichen Auswirkungen veränderter Rahmenbedingungen als die streng neoklassischen Verhaltensannahmen.

Im Bereich der ACE werden die typisierten Akteure in Multi-Agenten-Modellen mit ihren sozialen und kognitiven Fähigkeiten modelliert, d.h. sie kommunizieren und interagieren, haben begrenzten Informationszugang, eine individuelle Informationswahrnehmung und handeln zielorientiert nach gruppentypisierten Verhaltensmustern. Dieses Modellkonzept ähnelt im Ansatz den besonders in den Naturwissenschaften verbreiteten Zellulären Automaten, wobei jedoch Multi-Agenten-Modelle insbesondere in der Lage sind, individuelles Verhalten sowie Lern- und Anpassungsprozesse einzelner Akteursgruppen detailliert abzubilden. Multi-Agenten-Systeme (MAS), die ihren Ursprung im Bereich der verteilten künstlichen Intelligenz haben, bilden einen neuen und in vielen Fällen überaus erfolgreichen Zugang zur Simulation komplexer dynamischer Phänomene mit dezentral verteilten Problemlösungsprozessen. Verglichen mit bestehenden Modellkonzepten wird mit MAS die Hoffnung verbunden, realitätsnähere Ergebnisse zu erzielen, da akteurspezifisches Verhalten sowie dynamische Anpassungen der Strategien der Akteure basierend auf den am Markt gewonnenen Erfahrungen in Multi-Agenten-Umgebungen explizit simuliert werden.

Im Zusammenhang mit ökologischen Fragen wurden agentenbasierte Modelle vorrangig zur Erklärung von Problemen auf einer vergleichsweise stilisierten, abstrakten Ebene eingesetzt,

z. B. als Räuber-Beute Modelle etc. (vgl. z. B. Beckenbach 2001 a und b oder Geisendorf 2001). Es stellt sich daher die Frage, welche Erfolgsaussichten die agentenbasierte Modellierung gerade auch im Hinblick auf die Einbeziehung von Innovationen in die Modellierung von empirisch relevanten Nachhaltigkeitsproblemen aufweist. Hierzu wurden zwei Statements von PD Dr. Martin Wietschel und Dipl.Vw Jan Nill vorgetragen.

7.3.2 Statements zur agentenbasierten Modellierung

Im Hinblick auf die empirische Anwendung auf Nachhaltigkeitsfragen wird als ein wichtiges Anwendungsfeld die Energiewandlung und -nutzung gesehen, da die geänderten energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen neue Strukturen auf den Elektrizitätsmärkten schaffen. Des Weiteren führen sie zu einem erhöhten Bedarf an entscheidungsunterstützenden, strategischen Modellen für alle Marktteilnehmer (Politik, Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU), Nachfragern, Intermediären und Kontrollinstanzen). Bisher weitestgehend unerkannt aber ist das Potenzial dieser mathematischen Methode zur Simulation des Innovationsverhaltens für den Bereich erneuerbarer Energien sowie auf Seiten der Energieanwender und –nutzer. Denn bisher waren die prozessorientierten Energienachfragemodelle – ob Optimierung oder Simulation – zwar für die technisch-ökonomische Bewertung verschiedener Energieerzeugungs- und Verbrauchstechnologien geeignet, sie waren aber infolge ihres hohen deterministischen Ansatzes nicht in der Lage, sektor- und technologiespezifische Hemmnisse, fördernde Faktoren oder den Einfluss spezieller energiepolitischer Maßnahmen zur Beschleunigung der Marktdiffusion energieeffizienter Techniken abzubilden. In ersten Versuchen, z. B. in den Bereichen erneuerbare Energien, der rationellen Energienutzung in der Industrie oder im Bereich umweltfreundlicher Produkte wurde die Erfahrung gemacht, dass Multi-Agenten-Modelle im Grundsatz die Möglichkeit eröffnen, die fehlende Brücke kausaler Beziehungen zwischen techno-ökonomischen Sachverhalten und den Wirkungen energiepolitischer Maßnahmen zu errichten, allerdings mit relativ hohem empirischen Aufwand und unter strikter Anwendung einer theoretischen Konzeption wie der Innovationstheorie.

Die empirischen Herausforderungen, die eine empirisch gehaltvolle anwendungsorientierte Modellierung von Multi-Agentensystemen darstellt, lassen sich aus den Folien von PD Wietschel und Dipl.Vw. Nill im Anhang ablesen: Hinsichtlich der Wirtschaftseinheiten ist es erforderlich, unterschiedliche Unternehmenstypen (z. B. Großunternehmen und KMU) zu unterscheiden, die die Innovation durchführen. Für diese Typen müssen wiederum im

Hinblick auf Innovationsprozesse unterschiedliche Verhaltensstrategien festgelegt werden. Zentral ist, dass diese Unternehmen mit ihrem Umfeld interagieren. Dies hat zur Konsequenz, dass auch das Umfeld als Akteure modelliert werden muss, bis hin zum Finanzsektor bzw. der Politik.

Die agentenbasierte Modellierung weist unterschiedliche Vorteile gegenüber der herkömmlichen Modellierung auf. Sie ist in der Lage, sowohl die Heterogenität bei den Akteuren als auch alternative Verhaltensannahmen wie bounded rationality zu berücksichtigen. Sie ist nicht an rigide Modellvorgaben wie die Existenz von Gleichgewichten gebunden, und bietet daher die Möglichkeit, auch Phänomene wie Pfadabhängigkeit oder theoretische Nelson-Winter Modelle aus der evolutionären Ökonomik empirisch abzubilden. Modelltechnisch kann sie auf fertig entwickelte Software zurückgreifen, die es zudem erlaubt, die Modelle mit hoher Granularität sukzessive aufzubauen.

Den Vorteilen stehen aber auch unterschiedliche Nachteile gegenüber. Sie liegen vor allem in den Schwierigkeiten der empirischen Fundierung der Verhaltensannahmen, aber auch in der bisher begrenzten Erfahrung mit der Modellierung ökonomischer Prozesse mit diesem Modellierungsansatz.

7.3.3 Ergebnis der Diskussion

Die Diskussion unterstrich das Potenzial, das eine agentenbasierte Modellierung bietet. Wirtschaftssysteme sind durch dezentrale Marktstrukturen, unsymmetrische Kenntnisse und individuelle Agenten geprägt. Die Multi-Agenten-Simulation, die bottom-up-mäßig die Agenten, ihre Informationsbeschränkung, individuelle Wissensverarbeitung und individuelle Entscheidungsregeln in den Mittelpunkt stellen, könnte eine wesentliche Bereicherung – z. T. wurde sogar von einem Paradigmenwechsel gesprochen - der Modellierung darstellen.

Andererseits wurde herausgehoben, dass die agentenbasierte Modellierung nun vor der Herausforderung steht, anwendungsorientierte Probleme empirisch gehaltvoll zu modellieren. So liegt z. B. eine wesentliche Schwierigkeit darin, den Erfolg der unterschiedlichen Verhaltensstrategien zu bewerten und realistisch abzubilden (fitness test), der wiederum entscheidend für die Verhaltensanpassungen der unterschiedlichen Agenten ist.

Insgesamt bietet es sich als Forschungsstrategie an, mit der Modellierung einzelner Technologiebereich, die evt. auf einzelne Sektoren beschränkt sind, zu beginnen, um auf diese

Weise in einem "überschaubaren Anwendungsfeld mit mittlerer Komplexität" weitere Erfahrungen mit der Anwendung der Methodik auf reale Phänomene zu gewinnen. Von daher erscheint es plausibel zu sein, einzelne Bereiche z. B. aus dem Energie- oder Wasserbereich, aber auch abgrenzbare Umweltschutzstrategien, bei denen eine Kommunikation über die Wertschöpfungskette erfolgen muss (z. B. IPP oder REACH), in Angriff zu nehmen. Auch erscheint es notwendig zu sein, verstärkt an Ergebnisse aus anderen Bereichen anzukoppeln. Dies betrifft erstens die ersten Erfahrungen bei der Analyse von sektoralen oder technologiespezifischen Innovationssystemen (vgl. Carlsson et al. 2002; Malerba 2002; Enzing et al. 2002), die zur Identifikation der relevanten Akteure und wichtiger Kommunikationsbeziehungen beitragen könnten. Zweitens sind die Ergebnisse der verhaltenswissenschaftlichen Forschung oder Methoden der experimental economics anzuführen, die zur Ableitung von realistischen Verhaltensannahmen in MAS dienen könnten. Drittens wurde auch angeregt, die Ergebnisse einer agentenbasierten Modellierung an den empirischen Resultaten aus anderen Modellierungsbemühungen zu spiegeln, um bewusst Stärken und Schwächen der einzelnen Ansätze herausarbeiten zu können.

8. Forschungsbedarf (III, IV)

8.1 Schlussfolgerungen zum Forschungsbedarf zum Thema "Beyond Technological Innovation"

Dieser Teil des Workshops befasste sich mit unternehmensübergreifenden Schnittstellen entlang von Wertschöpfungsketten und ihrer Bedeutung für die Erreichung von Nachhaltigkeitszielen. Ansätze wie die Integrierte Produktpolitik IPP oder die neue EU-Chemikalienpolitik REACH zeigen, dass auf der politischen Ebene das Paradigma von Wertschöpfungsketten bereits Grundlage der Gestaltung von Politikinstrumenten ist. In diesem Paradigma fließen politische Innovationsstrategien und Umweltschutzstrategien zusammen.

Dieser politischen Relevanz des Konzepts steht ein Defizit auf der theoretisch-konzeptionellen Seite gegenüber. Der Begriff der Wertschöpfungsketten ist bisher weitgehend belegt mit betriebswirtschaftlichen Ansätzen. Beispiele dafür sind Einzelfragen Produkt-Dienstleistungs-Systemen, wie z. B. ihre zielgruppenspezifische Gestaltung, oder Fragen der Abstimmung der unternehmensinternen Organisation auf ein effizientes Management der Schnittstellen mit anderen Unternehmen, insbesondere im Hinblick auf effiziente Logistiksysteme zur Unterstützung der betrieblichen Leistungserstellung.

Was fehlt, ist eine ganzheitliche Betrachtung von Wertschöpfungsketten und ihrer Rolle für nachhaltige Innovationen aus volkswirtschaftlicher Sicht. Dies umfasst mehrere Problemstellungen. Aus mikroökonomischer Perspektive stellt sich die Frage wie das Verhalten der Akteure in Wertschöpfungsketten theoretisch und empirisch gefasst werden kann. Denn die Akteursbeziehungen unterliegen zumeist nicht dem reinen Marktmechanismus, sondern sind geprägt durch Machtstrukturen, insbesondere Nachfragemacht. Die bisherigen Ansätze der politischen Ökonomie, der Monopsontheorie, der Wettbewerbstheorie und der Transaktionskostenökonomie bieten hier einen Ausgangspunkt. Auch Ansätze aus der Informationsökonomik und der Agency-Theorie können einen Beitrag leisten. Die bisherigen Ansätze bilden das Problem aber nicht umfassend genug ab und müssten für Fragestellungen der verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen angepasst werden. Sie basieren zudem auf einseitigen Verhaltensannahmen (Maximierungsverhalten). Eine Erweiterung auf andere Verhaltensmodelle (z. B. Routinen) und ihre empirische Fundierung, z. B. im Rahmen der experimentellen Ökonomie, sind wünschenswert. Generell sollte die Tauglichkeit für

empirische Fragestellungen erhöht werden. So stößt z. B. die Transaktionskostenökonomik bei der Messung der verwendeten Konstrukte (z. B. Vertrauen, Abhängigkeit) an empirische Grenzen. Die Weiterentwicklung der theoretischen Konzepte könnte in die Etablierung eines neuen Anwendungsfeldes der Industrieökonomik und der Theorie der Unternehmung münden. Interdisziplinäre Anschlussmöglichkeiten bestehen insbesondere an die Politologie und Soziologie, z. B. im Hinblick auf die Analyse von Machtstrukturen und Netzwerken.

Eine ganzheitliche *dynamische* Betrachtung von Wertschöpfungsketten im Hinblick auf Nachhaltigkeit führt auf den Themenkomplex „nachhaltiger Strukturwandel“. Hier schließen sich Fragen zu Innovationstreibern (Motive und Akteure) und -mechanismen (z. B. Wissensströme) innerhalb einzelner Wertschöpfungsketten an. Im Zusammenhang mit den noch jungen Ansätzen zur Analyse sektoraler Innovationssysteme (s. z. B. Breschi, Malerba 1997; Enzing et al. 2002; Malerba 2002) stellt sich die Frage, wie hier das „Innovationssystem Wertschöpfungskette“ mit seinen teilweise intrasektoralen und teilweise sektorübergreifenden Aspekten zu entwickeln und zu integrieren ist. Vor dem Hintergrund einer zunehmend wissensbasierten Wirtschaft in der EU ist eine spezielle Forschungsfrage im Zusammenhang mit Wertschöpfungsketten, wie sich Produkt-Service-Systeme im Business-to-business-Märkten künftig entwickeln werden und unter welchen Bedingungen sie zur Nachhaltigkeit beitragen.

Aus aggregierter Sicht ist zu betrachten, welche Struktureffekte durch Veränderungen einzelner Wertschöpfungsketten in Summe entstehen. Dies betrifft ökologische, wirtschaftliche und soziale Effekte. Die Messkonzepte hierfür (z. B. Extended Aggregated Life Cycle Analysis) müssten weiterentwickelt werden, z. B. durch mesoökonomische Modellierung (s. Ausführungen zu Session 4). Als weiterer methodischer Ansatz bieten sich Analogien mit großen, wertschöpfungskettenübergreifenden Umwälzungen in der Vergangenheit, z. B. die Qualitätsrevolution oder die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien.

Die volkswirtschaftliche Analyse von Wertschöpfungsketten im Zusammenhang mit nachhaltigen Innovationen hat außerdem eine wirtschaftspolitische Dimension. Hier stellt sich zunächst die Frage der Steuerbarkeit von nachhaltigem Strukturwandel allgemein. Aufbauend auf den Analysen zum „Innovationssystem Wertschöpfungskette“ sollten Forschungsarbeiten dazu angestellt werden, welche politischen Handlungsmöglichkeiten und -notwendigkeiten, z. B. im Hinblick auf Technologie- oder Qualifizierungspolitik, im Zuge der nachhaltigen Gestaltung von Strukturwandel entstehen. Im Zuge der verstärkten ex-ante Wirkungsanalysen

der EU und der verstärkten Ableitung der Politikinstrumente aus dem Wertschöpfungsketten-Paradigma sollte die Beurteilung dieser Politikinstrumente als eigenes Feld des Regulatory Impact Assessment entwickelt werden.

Folgende wichtige Gründe können für eine Förderung von Forschungsarbeiten durch das BMBF in diesem Bereich angeführt werden:

- verstärkt artikulierter Bedarf, im Rahmen von Extended Impact Assessments auf EU Ebene die Auswirkungen von Politikinstrumenten, die auf dem Wertschöpfungsketten-Paradigma beruhen, zu evaluieren.
- politikgetriebene Notwendigkeit der Theorieweiterentwicklung und Sicherstellung der politischen Relevanz dieser Arbeiten.
- Weitaus dominierender Anteil von Unternehmens-Nachfrage gegenüber der Nachfrage privater Haushalte oder des öffentlichen Sektors.
- der hohe Stellenwert, den die Verknüpfung von Innovations- und Nachhaltigkeitsstrategien in Politik und Gesellschaft innehat, und die zentrale Rolle, die das Wertschöpfungsketten-Konzept bei dieser Verknüpfung spielt.

Institutionell erfordern die hier skizzierten Forschungsempfehlungen - insbesondere im Hinblick auf politikrelevante Theorieentwicklung und die (modellgestützte) Analyse nachhaltigen Strukturwandels - die Kooperation von Hochschulforschung mit außeruniversitären Forschungsinstitutionen. Darüber hinaus bietet sich für Deutschland die Möglichkeit, sich durch eine frühzeitige konzeptionelle Ausfüllung der volkswirtschaftlichen Aspekte von Wertschöpfungsketten im Kontext nachhaltiger Innovationen mit einem neuen Feld der industriellen Ökonomie international zu profilieren.

Tabelle. 1: Sondierungsmatrix Ökologischer Strukturwandel

<p>Querschnittsprobleme und -anforderungen</p>	<p>Nachhaltigkeitsprobleme Problembereich I <i>Erhaltung des natürlichen Kapitalstocks</i> Problemgruppe A <i>Innovationen zur Erhaltung des natürlichen Kapitalstocks</i> Einzelproblem 1 <i>Ökologischer Strukturwandel</i></p>
<p>Theorieentwicklung</p>	<p>Notwendig; Erweiterte Analyse von Nachfragemacht und Akteursverhalten in Wertschöpfungsketten; Integration von Wertschöpfungsketten in Ansatz sektoraler Innovationssysteme; Anknüpfung u. a. an Industrieökonomik, Agency, Transaktionskostenökonomie, Monopsontheorie, polit. Ökonomie (Anschlussfähigkeit an Soziologie / Politologie)</p>
<p>Empirieentwicklung</p>	<p>Messkonzepte für nachhaltigen Strukturwandel; empirische fundierte Abbildung von Akteursverhalten in Wertschöpfungsketten.</p>
<p>Praxisintegration/Politische Umsetzung/Institutionalisierung</p>	<p>hoher Problemdruck, zunehmend Politikinstrumente auf Basis von Wertschöpfungsketten-Paradigma, Fundierung für geforderte Extended impact assessments der EU notwendig, mögliche Zunahme von Produkt-Service-Systeme im Kontext zunehmend (auch politisch gewollter) wissensbasierter Wirtschaft;</p>
<p>Interdisziplinarität</p>	<p>Schnittstellen mit Soziologie (z. B. Analyse von Machtstrukturen, Netzwerke) und Politikwiss. (z. B. governance)</p>
<p>Internationale Sichtbarkeit</p>	<p>Hoch: das Feld ist bisher von BWL- / Management-orientierten Ansätzen dominiert. Deutschland könnte Vorreiter bei der Entwicklung der VWL-Aspekte sein.</p>
<p>Wirtschaftswissenschaftliche Forschungslandschaft</p>	<p>Zusammenführen von Hochschulforschung und außeruniversitärer Forschung</p>

8.2 Schlussfolgerungen zum Forschungsbedarf zum Thema "Modelling of technological change"

Es wird ein erheblicher Forschungsbedarf in der empirischen Modellierung des technologischen Wandels gesehen. Neben einer Modellierung der Auswirkungen von sustainability-Innovationen, z. B. hinsichtlich der qualitativen Wettbewerbsfähigkeit (Porter Hypothese) bestehen insbesondere Defizite in einer Abbildung der Generierung und Diffusion von Innovationen in quantitativen Modellen sowie in der Analyse der Systemeigenschaften (Stabilität, strukturelle Brüche, Steuerbarkeit ...). Folgende wichtige Gründe für eine Förderung von Forschungsarbeiten in diesem Bereich gerade zum jetzigen Zeitpunkt („window of opportunity“) können angeführt werden:

- Ein verstärkt aus dem politischen Raum postulierter Bedarf, Aspekte des technischen Wandels in quantitative Analysen einfließen zu lassen (z. B. EU regulatory assessments, Zieldiskussionen in den unterschiedlichen Umweltpolitikbereichen).
- Der hohe Stellenwert, der dem Themenfeld Innovation in Politik und Gesellschaft zukommt, und die Hilfestellung von Modellergebnissen bei der Kommunikation der relevanten Zusammenhänge.
- Die Verfügbarkeit von im Bereich der Grundlagenforschung neu entwickelten Modellierungsansätzen, die nun verstärkt zur empirischen Modellierung realer Phänomene angewandt werden sollten.
- Vor dem Hintergrund der Verfügbarkeit von Ergebnissen aus empirischen Fallstudien bietet nun eine empirische Modellierung die Chance, zu stärker verallgemeinerbaren Aussagen zu kommen.
- Chance eines Zusammenwachsens unterschiedlicher Forschungs-Communities (Innovationsforschung, Modellierung, Nachhaltigkeitsforschung), und damit Stärkung der deutschen Forschungslandschaft im internationalen Wettbewerb.

Bezüglich des Aggregationsgrads kann der Meso-Ebene (z. B. Produktgruppen, Sektoren, Wertschöpfungsketten etc.) eine hohe Priorität zugesprochen werden. Hinsichtlich einer höheren Aggregation ist der vielversprechendste Ansatz eine Kopplung von Makromodellen mit (mesoökonomischen) bottom-up Informationen. Hinsichtlich der Mikrofundierung besteht eine wesentliche Herausforderung darin, die mesoökonomische Ebene mit einer akteursbezogenen Modellierung zu unterlegen. Damit einher gehen Erweiterungen hinsichtlich der in ökonomischen Modellen typischerweise unterstellten Verhaltensannahmen. Gleichzeitig lassen die Ergebnisse bisher durchgeführter Fallstudien es als plausibel erscheinen, dass neben rein ökonomischen Größen auch die so genannten weichen Kontextfaktoren berücksichtigt werden müssen. Insgesamt steht die Modellierung daher vor dem Problem, vor dem Hintergrund unterschiedlicher Theorieansätze entwickelte

Erklärungsansätze integrieren zu müssen. Dies legt die Kopplung unterschiedlichen Modelle nahe, was allerdings zusätzlichen Forschungsbedarf über die Anforderungen an eine Kopplung (z. B. durch einen soft-link) nach sich zieht.

Eine a priori Festlegung auf einzelne Modelle kann nicht getroffen werden. Vielmehr besteht die Aufgabe darin, einen Wettbewerb der Modelle zu initiieren, und gleichzeitig eine (kommunikative) Vernetzung der unterschiedlichen Ansätze zu erreichen. Bezüglich der methodischen Ansätze sollten neben den etablierten makroökonomischen Ansätzen auch alternative Ansätze verfolgt werden, die stärker auf der Mesoebene ansetzen. Neben systemdynamischen Ansätzen und dem Einsatz von (mesoökonomischen) Strukturmodellen und ökonometrischen Ansätzen sind insbesondere auch neuere agentenbasierte Modellierungen vielversprechend. Über Multi-Agenten-Simulationen, die bottom-up-mäßig die Agenten, ihre Informationsbeschränkung, individuelle Wissensverarbeitung und individuelle Entscheidungsregeln in den Mittelpunkt stellen, könnte ein Schritt hin zu einer wirklichkeitsnäheren Modellierung eingeleitet werden. Darüber hinaus sollte angestrebt werden, Methoden der experimentellen Ökonomik bzw. Ergebnisse der Verhaltensforschung zur Spezifizierung der jeweils zu treffenden Verhaltensannahmen einzusetzen.

Bezüglich der Projekttypen ist festzuhalten, dass bei den Modellierungsarbeiten jeweils die Verbindung zur empirischen Abbildung von realen Phänomenen gesichert bleiben muss („link formal model with empirical evidence“). Projektverbünde mit gemeinsamen Plattformen zur Modell-Validierung sollten den Qualitätswettbewerb zwischen den Modellierungsansätzen unterstützen. Des weiteren sollte eine mögliche Projektförderung es auch ermöglichen, vorbereitende Arbeiten hinsichtlich der Datengenerierung und Aufbereitung zu unterstützen (z. B. hinsichtlich der Einbeziehung von Innovationsindikatoren oder der Generierung von Indizes für Politikintensität und weiche Kontextfaktoren). Gerade Arbeiten in diesen Bereichen könnten auch dazu beitragen, bisher weitgehend getrennt arbeitende Forschungsbereiche miteinander zu vernetzen.

Institutionell erfordern die hier skizzierten Forschungsempfehlungen zudem eine intensive Kooperation von Hochschulforschung mit außeruniversitären Forschungsinstitutionen. Damit würde zugleich eine der zentralen Forderungen des Wissenschaftsrats bezüglich der zukünftigen Orientierung der empirischen wirtschaftswissenschaftlichen Forschung umgesetzt. Hierbei ist auch zu bedenken, dass die Fortschritte in der Modellbildung auch zu spill-over-Effekten bei der Modellierung anderer Innovationsbereiche führen würde. Darüber hinaus böte sich die Möglichkeit, durch diesen spezifischen Forschungsansatz den

Forschungsstandort Deutschlands gegenüber den anderen Ländern als führend zu positionieren.

Tabelle. 2: Sondierungsmatrix Modellierung des technischen Wandels

<p>Querschnittsprobleme und -anforderungen</p>	<p>Nachhaltigkeitsprobleme Problembereich I <i>Erhaltung des natürlichen Kapitalstocks</i> Problemgruppe A <i>Innovationen zur Erhaltung des natürlichen Kapitalstocks</i> Einzelproblem 1 <i>Modellierung von sustainability innovations (Generierung, Diffusion, volkswirtschaftliche Wirkungen)</i></p>
<p>Theorieentwicklung</p>	<p>Bedingt; (paralleles) Rekurrenieren auf unterschiedliche Theorieansätze; Anschlussfähigkeit auch an Soziologie / Politologie</p>
<p>Empirieentwicklung</p>	<p>methodische Weiterentwicklung und soft-linking von empirischen Modellen; Messkonzepte für Determinanten von Nachhaltigkeitsinnovationen, Einbezug Innovationsindikatoren; Arbeiten zur Generierung von Inputdaten in die Modelle</p>
<p>Praxisintegration/Politische Umsetzung/Institutionalisierung</p>	<p>hoher Problemdruck, Nachhaltigkeitsdiskussion erfordert zunehmend Fundierung durch empirische Analysen, Fundierung für geforderte regulatory impact assessments der EU</p>
<p>Interdisziplinarität</p>	<p>Verknüpfung Modellierung mit Innovationsindikatorik, Nachhaltigkeitsforschung; Ansätze bieten Schnittstellen mit Soziologie (z. B. MAS) und Politikwiss. (z. B. soft context factors), darüber hinaus mit den Ingenieurwissenschaften (Kopplung mit technologiespezifischen sektorsystemmodellen)</p>
<p>Internationale Sichtbarkeit</p>	<p>Sehr hoch; während sich die USA auf top down Modellierungsansatz kapriziert, könnte D innerhalb der EU/weltweit führung bei gekoppelten Modellierungsansätzen einnehmen, die von Mesoebene ausgehen</p>
<p>Wirtschaftswissenschaftliche Forschungslandschaft</p>	<p>Zusammenführen von Hochschulforschung und außeruniversitärer Forschung</p>

Literaturangaben

- Albrecht, J. (2002): Environmental issue entrepreneurship: a Schumpeterian perspective, *Futures* 34, 649–661
- Bader, P.; Frings, E. (2004): Integrierte Produktpolitik - Vom abstrakten Politikkonzept zu konkreten Handlungsansätzen für die Papierkette. In: *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, 2004 (1), S. 99-112.
- Barker, T.; Johnstone, N. (1998): International competitiveness and carbon taxation, in: Barker, T. Köhler, J. (Hrsg.): *International Competitiveness and Environmental Policies*, Edward Elgar, Cheltenham, S. 71-127.
- Beckenbach, F (2001a): Multi-Agent Modeling of Resource Systems and Markets: Theoretical Considerations and Simulation Results, in: M. Matthies et al., *Integrative System Approaches to Natural and Social Dynamics*. Berlin: Springer, S. 401-419.
- Beckenbach, F (2001b): Lernen in Multi-Agenten Systemen, in: *Ökonomie und Gesellschaft*, Nr. 17, S.163-215.
- Bhattacharyya, S. C. (1996): Applied general equilibrium models for energy studies: a survey. In: *Energy Economics* Vol. 18, 1996, S. 145-164.
- Blazejczak, J. et al. 1999: Umweltpolitik und Innovation: Politikmuster und Innovationswirkungen im internationalen Vergleich, in: *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, Vol. 22, 1999, S. 1-32.
- Borg, N.; Blume, Y.; Thomas, S.; Irrek, W.; Pindyck, R. (2004): The power of the public purse: energy efficiency in Europe's public sector can save 12 billion Euro/Year. In: Attali, S.; Métreau, E.; Prône, M.; Tillerson, K. (Hrsg.): *Time to turn down energy demand. Energy intelligent solutions for climate, security and sustainable development*. Stockholm: ECEEE (European Council for an Energy Efficient Economy), S. 807-818.
- Breschi, S.; Malerba, F. (1997): Sectoral innovation systems - Technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. In: Edquist, C. (Hrsg.): *Systems of Innovation, Technologies Institutions and Organizations*. London, Washington: Pinter.
- Carlsson, B.; Jacobsson, S.; Holmen, M.; Rickne, A. (2002): Innovation systems: analytical and methodological issues, in: *Research Policy* Vol. 31, pp. 233-245.
- CEC - Commission of the European Communities (2003): *Integrierte Produktpolitik: Auf den ökologischen Lebenszyklusansatz aufbauen - Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament*.
- Conrad, K. (1999): Computable general equilibrium models for environmental economics and policy analysis, in: van den Bergh, J.C.J.M. (Hrsg.): *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, S. 1060-1088.
- De Almeida, E.L.F. (1998): Energy efficiency and the limits of market forces: The example of the electric motor market in France. *Energy Policy*, Vol. 26, No. 8, pp 643-653.
- DeCanio, S. J. (1993): Barriers within firms to energy efficient investments. *Energy Policy*, September, pp. 906-914.

- Destais, G. (1996): Economic effects of environmental Policies and constraints: what can we learn from Computable General equilibrium Models? In: Faucheaux, S. et al. (Hrsg.): *Models of Sustainable Development*, Edward Elgar, Cheltenham, S. 87-102.
- DIW/FiFo/RWI/ZEW (1996): *Der Einfluss von Energiesteuern und -abgaben zur Reduktion von Treibhausgasen auf Innovation und technischen Fortschritt - Clearing Studie*. Essen.
- Dosi, G. 1982: Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change, in: *Research Policy*, Vol. 11, 1982, S. 147-162.
- Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, R.; Silverberg, G.; Soete, L. 1988: *Technical Change and Economic Theory*, London: Printer Publishers.
- Duchin, F.; Steenge, A. E. (1999): Input-Output Analysis, technology and the environment, in: van den Bergh, J.C.J.M. (Hrsg.): *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar, Cheltenham UK, S. 1037-1059.
- Enzing, C.; Kern, S.; Reiss, Th. (2002): *Case Study on Biotech Innovation Systems - Guidebook*, Delft, Karlsruhe.
- Erdmann, G. (1993): *Elemente einer evolutorischen Innovationstheorie*. Tübingen.
- Eyre, N. (1997): Barriers to energy efficiency: more than just market failure. *Energy & Environment* 8, Issue 1, pp. 25-43.
- Fankhauser, S.; McCoy, D. (1995): Modelling the Economic Consequences of Environmental Policies, in: Folmer, H. et al. (Hrsg.): *Principles of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, S. 253-275.
- Faucheaux, S; Levarlet, F. (1999): Energy-economy-environment models, in: van den Bergh, J.C.J.M. (Hrsg.): *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, S. 1123-1145.
- Frohn, J. et al. (1998): Fünf makroökometrische Modelle zur Erfassung der Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen - eine vergleichende Betrachtung. Band 7 der Schriftenreihe "Beiträge zu den umweltökonomischen Gesamtrechnungen", Stuttgart.
- Geisendorf, S. (2001): *Evolutorische ökologische Ökonomie*, Marburg.
- Grupp, H. 1997: *Messung und Erklärung des technischen Wandels*, Heidelberg.
- Grupp, H. 1999: Umweltfreundliche Innovation durch Preissignale oder Regulation? Eine empirische Analyse für Deutschland, in: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, Jahrgang 1999, Nr. 5/6, S. 611-631.
- Hicks, J. 1932: *The theory of wages*, Macmillan, London.
- Horbach, J. et al. (Hrsg.) 2003: *Nachhaltigkeit und Innovation. Rahmenbedingungen für Umweltinnovationen*, Ökom-Verlag München 2003.
- Hourcade, J. C.; J. Robinson (1996): Mitigating factors. Assessing the costs of reducing GHG emissions, in: *Energy Policy* Vol. 24, 1996, Nr. 10/11, S. 863-873.
- IPCC (1995): *Second Assessment Report, WG III: Economic and Social Dimension of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2001): *Third Assessment Report, WG III: Assessment of Mitigation Options*, Cambridge University Press, Cambridge.

- Jaffe, A. B.; Palmer, K. 1997: Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study, in: *Review of Economics and Statistics*, Vol. 79, 1997, S. 610-619.
- Jaffe, A. B./Stavins, R. N. (1994a): Energy-efficiency investments and public policy. *The Energy Journal*, Vol. 15, No. 2, pp. 43-65.
- Jaffe, A. B./Stavins, R. N. (1994b): The energy-efficiency gap: What does it mean? *Energy Policy*, 22 (10), pp. 804-810.
- Jakl, T.; Joas, R.; Nolte, R.; Schott, R.; Windsperger, A. (2003): *Chemikalien-Leasing - Ein intelligentes und integriertes Geschäftsmodell als Perspektive zur nachhaltigen Entwicklung in der Stoffwirtschaft*, Wien, New York: Springer.
- Jochem, E./Gruber, E. (1990): Obstacles to rational electricity use and measures to alleviate them. *Energy Policy*, May, pp. 340-350.
- Kemp, R. 1997: *Environmental Policy and Technical Change. A Comparison of the Technological Impact of Policy Instruments*. Aldershot: Edward Elgar.
- Keuter, A. (1994): *Determinanten der industriellen Forschung und Entwicklung*. Frankfurt.
- Klemmer, P. (Hrsg.) 1999: *Innovationen und Umwelt*, Analytica Verlag, Berlin.
- Klemmer, P. et al. 1999: *Umweltinnovationen*, Analytica Verlag, Berlin.
- Krause, F. (1996): The Costs of Mitigating Carbon Emissions: A Review of Methods and Findings from European Studies, in: *Energy Policy*, Vol. 24, Nr. 10/11, S. 899-915.
- Landjouw, J.O.; Mody, A. 1996: Innovation and the International Diffusion of Environmentally Responsive Technology, in: *Research Policy*, Vol. 25, 1996, S. 549-571.
- Löschel, Andreas (2001): *Technological Change in Economic Models of Environmental Policy: A Survey*. ZEW Discussion Paper No. 01-62, Mannheim.
- Lutz, C.; Meyer, B.; Nathani, C.; Schleich, J. (2004): Endogenous technological change and emissions: the case of the German steel industry, in: *Energy Policy*, forthcoming.
- Malerba, F. (2002): Sectoral Systems of innovation and production, in: *Research Policy*, Vol. 31, pp. 247-264.
- Meyer, B./Keuter, A./Voßkamp, R. (1993): The Estimation of Barone-Curves Based on the Iwai-Model. In: *Journal of Economic Behavior and Organization*. Vol. 21.
- Montalvo, C.C. 2002: *Environmental Policy and Technological Innovation*, Cheltenham: Edward Elgar.
- Nelson, R./Winter, S. (1982): *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press. Cambridge (Massachusetts) and London.
- New, S. (2004): *Supply Chains: Construction and Legitimation*. In: New, S.; Westbrook, R. (Hrsg.): *Supply Chains: Concepts, Critiques and Futures*. Oxford: Oxford University Press.
- New, S.; Morton, B.; Green, K. (1999): Deconstructing green supply and demand - PVC, healthcare products and the environment. In: *Risk decision and policy*, 4 (3), S. 221-254.
- Newell, R. G.; Jaffe, A. B.; Stavins, R. N. 1999: The Induced Innovation Hypothesis and Energy-Saving Technological Change, in: *Quarterly Journal of Economics* Vol. 114, pp. 941-975.

- Ostertag, K. (2003): "No-regret" potentials in energy conservation. An analysis of their relevance, size and determinants, Physica, Heidelberg.
- Palmer, K. et al. 1995: Tightening Environmental standards: The Benefit-Cost or the No-Cost Paradigm? In: Journal of Economic Perspectives, Vol. 9, 1995, S. 119-132.
- Pavitt, K. (1984): Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, Vol. 13, S. 343-373.
- Pavitt, K./Robson, M./Townsend, J. (1989): Accumulation, Diversification and Organisation of Technological Activities in UK Companies, 1945-83. In: Dodgson (ed.): Technology, Strategy and the Firm: Management and Public Policy. Burnt Mill, Harlow.
- Popp, D. 2002: Induced Innovation and Energy Prices, in: American Economic Review, Vol. 92. No. 1, pp. 160-180.
- Rahmeyer, F.(1993): Technischer Wandel und sektorales Produktivitätswachstum. *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik. Bd. 211/3-4.*
- Rubik, F. (2002): Integrierte Produktpolitik, Marburg: Metropolis.
- Schleich, J. 2001: The impact of fuel prices on energy intensity in the West German manufacturing sector, refereed paper, International Summer school on Economics, Innovation, Technological Progress, and Environmental Policy, Seon, 8-12 September 2001
- Schleich, J.; Walz, R.; Meyer, B.; Lutz, C. 2003: Policy Impacts on Macroeconomic Sustainability Indicators when Technical Change is Endogenous. In: Horbach, J. (Ed.): Systems of Indicators for Sustainable Development Innovations, erscheint Sommer 2004
- Silverberg, G. (1988): Modelling economic dynamics and technical change: Mathematical approaches to self-organisation and evolution. In: Dosi, G. Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., Soete, L.(eds.): Technical Change and Economic Theory. Pinter Publishers, London and New York.
- Simon, H. (1947): Administrative Behaviour: A Study on Decision-making Processes in Administrative Organizations. Macmillan Company, New York.
- Tesfatsion, L. (2003). Agent-based computational economics: Growing economies from the bottom-up, ISU Economics Working Paper.
- Thirtle, C. G.; Rutan, V.W. 1987: The Role of Demand and Supply in the Generation and Diffusion of Technical Change, Fundamentals of Pure and Applied Economics, Harwood Academic Publishers, New York.
- UNEP (United Nations Environment Programme) (Hrsg.) (2002): Product-service systems and sustainability - Opportunities for sustainable solutions, France: UNEP division of Technology, Industry and Economics.
- Vogt, C. (1997): Zur Bestimmung von Innovationsaktivitäten. Eine empirische Analyse des Weltautomobilmarktes. Frankfurt.
- Wallace, D. 1995: Environmental Policy and Industrial Innovation, Earthscan, London.
- West, G. (1995): Comparison of input-output, input-output + econometric and computable general equilibrium models, in: Economic Systems Research, Vol. 7, 1995, S. 209-227.

Wilson, D. /Swisher, J. (1993): Exploring the gap - Top-down versus bottom-up analyses of the cost of mitigating global warming. In: Energy Policy 3/93, S. 249-263.