

Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung
Band 18

Schriftenreihe der Europäischen Akademie zur Erforschung
von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH
herausgegeben von Carl Friedrich Gethmann

U. Steger · W. Achterberg · K. Blok · H. Bode
W. Frenz · C. Gather · G. Hanekamp · D. Imboden
M. Jahnke · M. Kost · R. Kurz · H. G. Nutzinger
Th. Zieseimer

Nachhaltige Entwicklung und Innovation im Energiebereich



Springer

Vorwort

Innovationen werden in Diskussionen um eine nachhaltige Entwicklung gerne als ‚Wundermittel‘ angeführt. Mit ihrer Hilfe soll erreicht werden, dass ein gesteigerter Output nicht zu einem steigenden Verbrauch natürlicher Ressource führt. Für den Energiebereich bedeutet dies: Innovationen sollen dazu beitragen, dass eine weitere Steigerung des Sozialprodukts der Industrieländer und der Nachholbedarf der Entwicklungs- und Schwellenländer mit einer Reduzierung des Verbrauchs nicht-regenerierbarer Energieträger in Einklang gebracht werden kann, ohne jedoch zu einem unangemessenen Verbrauch anderer Ressourcen zu führen.

„In welchem Maße können Innovationen zu einem nachhaltigen Energiesystem führen?“ Das war daher die Kernfrage der von der Europäischen Akademie im September 2000 eingesetzten interdisziplinären Projektgruppe „Nachhaltige Entwicklung und Innovation im Energiebereich“. Die Mitglieder der Gruppe wurden nach ihren disziplinären Kompetenzen im Hinblick auf das zu bearbeitende Thema ausgewählt. Zur Bearbeitung des Themas standen 20 Monate zur Verfügung, in denen insgesamt 13 Tage im Plenum gearbeitet wurde.

Der hier vorgelegte Abschlussbericht geht zurück auf Kapitelentwürfe, die zunächst von einzelnen Arbeitsgruppen unter der Leitung eines Gruppenmitgliedes verfasst und anschließend im Plenum integriert wurden. Die Arbeit der Gruppe beruht auf der Erkenntnis, dass es keine „interdisziplinäre Forschung“ per se gibt, sondern zunächst disziplinäre Kompetenzen erforderlich sind, unter denen einzelne Aspekte des Themas bearbeitet werden. Der zweite Schritt ist dann eine Integration der verschiedenen disziplinären Sichtweisen, Methodologien und Ergebnisse im Hinblick auf die nicht-disziplinäre Fragestellung. In diesem Sinne war die Arbeitsweise der Gruppe transdisziplinär. Das Ergebnis ist ein Text, der in sich konsistent ist, und eine durchlaufende Argumentation, die Schritt für Schritt überprüft werden kann (auch wenn in einzelnen Abschnitten die disziplinäre Herkunft des „Ursprungs-Autors“ unschwer abzulesen ist).

Die Gruppe hat ihre Arbeit einer kontinuierlichen Kontrolle durch externe Fachkollegen zugänglich gemacht: Im Januar 2001 wurde das Arbeitsprogramm im Rahmen des Kick-off-Workshops diskutiert. Die Gruppe dankt den Kollegen Professor Dr. Wilhelm Althammer (Handelshochschule Leipzig), Professor Dr. Nicholas Ashford (MIT), Dr. Gerd Eisenbeiß (Forschungszentrum Jülich), Dr. Klaus Rennings (ZEW Mannheim), Dr. Herwig Unnerstall (Universität Leipzig), Professor Dr. Alfred Voß (Universität Stuttgart), Professor Dr. C.-J. Winter (Ergon) für wertvolle Anregungen und pointierte Kritik, die dazu dienten, die Untersuchung präzise auszurichten. Ein erster Entwurf der Studie wurde auf dem Mid-Term-Workshop im November 2001 folgenden Kollegen vorgelegt: Frau Professor Dr. Brigitte Falkenburg (Universität Dortmund), Herr Professor Dr. Wilhelm

Althammer (Handelshochschule Leipzig), Dr. Gerd Eisenbeiß (Forschungszentrum Jülich), PD Dr. Volker Radke (Berufsakademie Ravensburg), Dr. Klaus Rennings (ZEW, Mannheim), Dr. Herwig Unnerstall (Umweltforschungszentrum Leipzig). Auch den Teilnehmern dieses Treffens gebührt unser Dank für präzise Kommentare, die im Anschluss der Arrondierung der Studie dienten.

Dank der guten Arbeitsdisziplin waren fast immer die Diskussionsgrundlagen für die Sitzungen rechtzeitig fertig. Die intellektuell stimulierende Arbeitsatmosphäre – die sich vom fachlichen Respekt zu freundschaftlicher Kollegialität entwickelte – erlaubte eine intensive, konstruktive, aber auch kontroverse Diskussion und ein gemeinsames Lernen entlang der jeweils anderen Perspektiven und Methoden.

Die Produktivität der Gruppe wurde nicht zuletzt durch die Gastlichkeit des Ahrtales gefördert, aber auch durch den freundlichen und effektiven Service, mit dem die Mitarbeiter der Akademie, insbesondere Frau Pauels, unsere Arbeit unterstützten. Ihr danken wir ebenso wie den Herren Jochen Markard und Joachim Schmidt-Bisewski, die als wissenschaftliche Mitarbeiter dieses Projekt in der Anfangsphase begleitet haben, und Frau Sevim Kiliç von der Europäischen Akademie, die den Text bis zur Druckreife betreut hat.

Lausanne, im Juni 2002

Ulrich Steger

Autorenverzeichnis

Achterberg, Wouter, Professor Dr. phil. † 16. Juni 2002. Studium der Philosophie an der Universität Amsterdam. Ab 1972 Dozent für Ethik und politische Philosophie an der Universität Amsterdam. 1986 Doktorarbeit „Partners in de natuur“. Ab 1991 Professor namens der humanistischen Stiftung „Sokrates“ an der Universität Wageningen. Arbeitsgebiete: Ethik und politische Philosophie, insbesondere die ethischen und metaphysischen Grundlagen einer Umweltphilosophie.

Blok, Kornelis, Professor Dr., Studium der Physik in Utrecht. Promotion 1991 ‚On the Reduction of Carbon Dioxide Emissions‘. Professur ‚Naturwissenschaft und Gesellschaft‘ an der Universität Utrecht. Direktor der Energie- und Umweltberatung Ecofys. Arbeitsschwerpunkte: Entwicklung von Energietechnologie; Technologie und Politik. ‚Lead Author‘ beim Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Anschrift: Universität Utrecht, Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving, Padualaan 14, 3584 CH Utrecht, Niederlande.

Bode, Henning, Studium der Rechtswissenschaften in Bonn. 1999–2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehr- und Forschungsgebiet Berg- und Umweltrecht der RWTH Aachen bei Prof. Dr. Walter Frenz (s.u.); Arbeitsschwerpunkte: Raumplanungs-, Energie- und Bodenschutzrecht. Anschrift: Hauptstraße 11, 56412 Girod.

Frenz, Walter, Professor Dr. jur., geb. 1965, Studium der Rechts- und Politikwissenschaften in Würzburg, Caen und München. 1994–1996 wissenschaftlicher Assistent an der Universität Münster und Professor für deutsches (öffentliches) Recht an der Universität Nimwegen; seit 1997 Professor für Berg- und Umweltrecht an der RWTH Aachen; außerdem Arbeitsschwerpunkte im Energie-, Europa- und Steuerrecht. Anschrift: Lehr- und Forschungsgebiet Berg- und Umweltrecht der RWTH Aachen, Wüllnerstraße 2, 52062 Aachen.

Gather, Corinna, Dipl.-Vwl., Studium an der Universität zu Köln und der FU Berlin. 1986–1989 Referentin im Statistischen Landesamt Berlin. 1989–2000 Mitarbeit und Geschäftsführung bei der ‚Umweltberatungsstelle e.V.‘ und ‚KOFIRM e.V.‘ in Berlin; seit 2000 wissenschaftliche Mitarbeit am Lehrstuhl von Prof. Steger an der TU Berlin mit den Arbeitsschwerpunkten: Deregulierung der Energiemärkte, Erhöhung der Energieeffizienz in Haushalten. Anschrift: Institut für Technologie und Management, Hardenbergstr. 4–5, 10623 Berlin.

Hanekamp, Gerd, Dr. phil. Dipl.-Chem., Studium der Chemie in Heidelberg und Marburg sowie an der École Nationale de Chimie in Lille. 1996 Promotion in Philosophie an der Universität Marburg. Seit 1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Europäischen Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH, Arbeitsgebiete: Wissenschaftstheorie, Sprachphilosophie, kulturalistische Theorie der Sozialwissenschaften, Theorie der Technikfolgenbeurteilung, Unternehmensethik. Anschrift: Europäische Akademie GmbH, Wilhelmstraße 56, 53747 Bad-Neuenahr-Ahrweiler. E-mail: gerd.hanekamp@dlr.de

Imboden, Dieter M., Professor Dr. sc. nat., Dipl. Phys., Studium der Physik in Berlin, Basel und Zürich. Seit 1988 Professor für Umweltphysik an der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich. Arbeitsgebiete: Aquatische Physik, Modellierung von Umweltsystemen, Nachhaltige Energiesysteme. Anschrift: Professur Umweltphysik, ETH Zentrum VOD, Voltastrasse 65, 8092 Zürich, Schweiz.

Kost, Michael, Dipl. Umwelt-Natw. ETH, Studium der Umweltnaturwissenschaften, Doktorand an der Professur Umweltphysik der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich bei Professor Dieter Imboden. Thema (vorläufig) der Dissertation „Nachhaltige Entwicklung des Bauwerks Schweiz“. Anschrift: Professur Umweltphysik, ETH Zentrum VOD, Voltastrasse 65, 8092 Zürich, Schweiz.

Kurz, Rudi, Professor Dr. rer. pol., Studium der Volkswirtschaftslehre und Promotion an der Universität Tübingen. 1978–1988 Wissenschaftlicher Referent am Institut für angewandte Wirtschaftsforschung Tübingen (IAW). Seit 1988 Professor für Volkswirtschaftslehre an der Hochschule Pforzheim. Arbeitsgebiete: Innovationsforschung, Umweltökonomie. Anschrift: Hochschule Pforzheim FB 7, Tiefenbronner Str. 65, 75175 Pforzheim.

Jahnke, Matthias, Diplom-Ökonom, Studium der Wirtschaftswissenschaften an der Universität Kassel. Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Lehrstuhl für Theorie öffentlicher und privater Unternehmen der Universität Kassel. Arbeitsgebiete: Umweltökonomie, Energieökonomie, Ökologische Ökonomie. Anschrift: Universität Kassel, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Nora-Platiel-Straße 4, 34109 Kassel.

Nutzinger, Hans G., Professor Dr. rer. pol., Dipl.-Volksw., Studium, Promotion und Habilitation an der Universität Heidelberg. Seit 1978 Professor für Theorie öffentlicher und privater Unternehmen an der Universität Kassel. Arbeitsgebiete: volkswirtschaftliche Theorie der Unternehmung, Grundfragen der Wirtschaftspolitik, Dogmengeschichte, Wirtschafts- und Unternehmensethik, Umweltökonomie und Ökologische Ökonomik. Anschrift: Universität Kassel, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Nora-Platiel-Straße 4, 34109 Kassel.

Steger, Ulrich, Professor Dr. rer. pol., Dipl.-Ökonom., nach dreijähriger Bundeswehrzeit Studium und Promotion in Münster und Bochum. 1976 Direktwahl in den Deutschen Bundestag, 1984–1987 Hessischer Minister für Wirtschaft und Technik, 1987–1994 Professur an der European Business School, Oestrich-Winkel, 1991–

1993 Mitglied des Markenvorstandes Volkswagen, 1995–1999 Leitung des Forschungskollegs Globalisierung der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung. Seit 1995 Inhaber des Alcan Chair for Environmental Management, IMD, Lausanne. Anschrift: P.O. Box 915, 1001 Lausanne, Schweiz.

Ziesemer, Thomas, Professor Dr. rer.pol., Studium der Volkswirtschaftslehre an den Universitäten Kiel und Regensburg. Promotion auf dem Gebiet der Theorie der Unterentwicklung. Habilitation über ‚Ursachen von Verschuldungskrisen‘. Arbeitsgebiete: Internationale Wirtschaftsbeziehungen, Entwicklungs-, Umwelt- und Arbeitsökonomie, Wachstum und technologischer Wandel. Anschrift: Universität Maastricht, MERIT, P.O.Box 616, Tongersestraat 49, 6200 MD Maastricht, Niederlande.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	XV
Zusammenfassung	XVII
1 Problemstellung, Aufgaben, Arbeitsweise und Ableitung der Handlungsempfehlungen	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Aufgaben der Arbeitsgruppe	2
1.3 Ableitung von Handlungsempfehlungen	3
1.4 Aufbau der Studie	5
2 Begriffliche und konzeptionelle Grundlegung	9
2.1 Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung	9
2.1.1 Begriffliche Abgrenzung	9
2.1.2 Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung	11
2.1.3 Verschiedene Nachhaltigkeitskonzepte	13
2.2 Nachhaltigkeit und Energie	17
2.2.1 Die Hauptsätze der Thermodynamik und der Energiebegriff	18
2.2.2 Energiesysteme in der Bio- und Anthroposphäre	19
2.3 Innovation und Nachhaltigkeit	21
2.3.1 Grundlegende Zusammenhänge	21
2.3.2 Innovationsbegriff und -typen	22
2.3.3 Innovationsprozess: Inside the Black Box	24
2.3.4 Bestimmungsfaktoren der Innovationsaktivität	31
2.3.5 Nachhaltige Innovationspolitik	34
3 Normative Abwägungs- und Entscheidungskriterien	39
3.1 Risikobeurteilung und Handlungsempfehlungen	39
3.1.1 Wissenschaftliche Politikberatung	39

3.1.2	Theoretische und praktische Sichtweisen	40
3.2	Nachhaltige Entwicklung und Gerechtigkeit	43
3.2.1	Einführung	43
3.2.2	Politische Ansätze	45
3.2.3	Die Theorie der Gerechtigkeit (Barry)	46
3.2.4	Verwundbarkeit, die Zukunft und die Umwelt (Goodin)	48
3.3	Effizienz und Suffizienz – theoretische und praktische Nachhaltigkeitsdiskussion	49
3.4	Zwischenresümee	51
4	Auf dem Weg zu einem nachhaltigen Energiesystem – Rechtsgrundlagen, Defizite und Referenzpunkte	55
4.1	Rechtsnormen für ein nachhaltiges Energiesystem	55
4.1.1	Völkerrechtliche Entwicklung im Klimaschutz	55
4.1.2	Europarechtlicher Rahmen	61
4.1.3	Grundgesetzlicher Rahmen	66
4.1.4	Pflicht zum Umweltschutz?	67
4.1.5	Verwirklichung im Energierecht	68
4.1.6	Verwirklichung im Raumordnungs- und Bergrecht	69
4.1.7	Internationale Verpflichtungen zur Energiesicherheit	71
4.2	Evaluierung des globalen Energiesystems unter Nachhaltigkeitskriterien	73
4.2.1	Charakterisierung des heutigen Energiesystems	73
4.2.2	Prognosen zur Entwicklung des globalen Energiesystems in den nächsten 100 Jahren	74
4.2.3	Exkurs: Strom, Deregulierung und Nachhaltigkeit	77
4.2.4	Beurteilung der Nachhaltigkeit	82
4.2.5	Exkurs: Kernspaltungs- und Fusions-Energie als „Backstop-Technologien“?	88
4.2.6	Operationalisierung der kritischen Nachhaltigkeit: „Die Zeit sicherer Praxis“	89
4.3	Referenzpunkte für eine nachhaltige globale Energieversorgung	92
4.3.1	Optionen der Veränderung	92
4.3.2	Der 2000 Watt-Benchmark: Nachhaltiger Komfort durch Intelligenz	94

5	Potentiale für die nachhaltige Entwicklung von Energiesystemen	99
	5.1 Einführung	99
	5.2 Verbesserung der technischen Energieeffizienz	100
	5.3 Regenerative Energiequellen	106
	5.4 Zukunftsszenarien: Mögliche Entwicklungen und Effekte	112
	5.5 Umsetzungsperspektiven	118
6	Die Realität der Nachhaltigkeit: Zielkonflikte in der Instrumentenwahl	125
	6.1 Stand der theoretischen Diskussion	125
	6.2 Umweltschutz versus ökonomische und soziale Ziele	127
	6.2.1 Umwelt versus Beschäftigung	128
	6.2.2 Umwelt versus Reduktion von Monopolmacht	132
	6.2.3 Umwelt versus Handelsliberalisierung	133
	6.2.4 Umwelt versus Kapitalströme	134
	6.2.5 Umwelt versus Entwicklungspolitik	136
	6.2.6 Umwelt versus Innovationsförderung	137
	6.3 Abwägungsnormen für Zielkonflikte aus dem europäischen Recht	138
	6.3.1 Warenverkehrsfreiheit	139
	6.3.2 Problematik des EEG	140
	6.3.3 Rechtfertigung von Beschränkungen aus Umweltschutzgründen	140
	6.3.4 Beihilfen und ihre Rechtfertigung	143
	6.3.5 Gestaltungsmöglichkeit nach dem EuGH-Urteil zum Stromeinspeisungsgesetz	144
	6.3.6 Wettbewerb und Umweltschutz	145
	6.4 Energierelevante Forschungs- und Technologiepolitik der Europäischen Union	148
7	Strategien zur Beschleunigung nachhaltiger Energieinnovationen	153
	7.1 Energie jetzt wieder als strategische Priorität positionieren	153
	7.2 Verbesserung der Rahmenbedingungen	156

7.2.1	Grenzen der Nutzung natürlicher Ressourcen definieren . . .	156
7.2.2	Den Markt nutzen: Knappheitssignale induzieren nachhaltige Innovationen	157
7.2.3	Nachhaltigkeitsorientierte Infrastrukturvorsorge und Kompetenzbildung („technology push“)	159
7.3	Handlungsfeld Energieeffizienz in der Industrie: Beschleunigte Markteinführung durch Subventionen	160
7.3.1	Das niederländische Modell	161
7.3.2	Generelle Überlegungen	166
7.3.3	Zur Finanzierung von Subventionen für energiesparende Maßnahmen	171
7.4	Handlungsfeld Energieeffizienz in der Industrie: Selbstverpflichtungen als Mittel zur raschen Diffusion der „Best Available Technology“	173
7.4.1	Generelle Überlegungen	173
7.4.2	Selbstverpflichtungen für die CO ₂ -Reduktion	175
7.5	Technology Procurement	176
7.6	Handlungsfeld Energieeffizienz Haushalte	178
7.6.1	Nachhaltige Energieversorgung und Konsumentensouveränität	178
7.6.2	Greenpricing von Ökostrom	179
7.6.3	„Diskriminierende“ Kennzeichnungen	181
7.6.4	„Public Private Partnership“ und unkonventionelle Marketingkampagnen	184
7.7	Handlungsfeld Verkehr: Nur „Pakete“ schaffen Innovationen	186
7.8	Handlungsfeld regenerative Energiequellen	188
7.8.1	Generelle Überlegungen	188
7.8.2	Technologiespezifische Fördermaßnahmen	189
7.8.3	Exkurs: Kann man zwischen verschiedenen Lernkurven wählen? – Skizze einer Theorie	191
8	Zur politischen Durchsetzbarkeit einer nachhaltigen Innovationsstrategie	195
8.1	Akteure in der „Nachhaltigkeitsarena“	195
8.2	Die Attraktivität von Nachhaltigkeitszielen aus der Sicht ausgewählter Akteursgruppen	196
8.3	Instrumente und ihre Attraktivität aus der Sicht ausgewählter Akteursgruppen	203

8.4	Ansatzpunkte zur Verbesserung der Durchsetzungschancen	207
8.5	Fazit und Perspektiven: Eine Allianz für nachhaltige Energieinnovationen	210
9	Verantwortung für den „Energiehunger“ der Entwicklungsländer – wie können nachhaltige Energieinnovationen hier helfen?	215
9.1	Grundsätzliche Überlegungen	215
9.2	Neue Ausrichtung der Entwicklungszusammenarbeit im Energiebereich	216
9.3	Bestehende Initiativen für nachhaltige Energieinnovationen	218
9.4	Was kann die EU tun?	222
9.5	Globale Unternehmen und „Technology Sharing“	223
9.6	Ausblick und weiterführende Forschungsfragen	226
Anhang		
A1	Das globale Energiesystem	231
A	Entwicklung der globalen Energienutzung	231
B	Energieproduktion und -nutzung in der EU	232
C	Energieszenarien	233
A2	Arbeitslosigkeit	241
A2.1	Elastizitätenprobleme in Effizienzlohnmodellen	241
A2.2	Elastizitätenprobleme in Verhandlungsmodellen	247
A3	Energierrelevante Forschungs- und Technologiepolitik der Europäischen Union – ein Überblick	249
A3.1	Bedeutung und Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in europäische Energiepolitiken	249
A3.2	Überblick über energierelevante FTE-Programme der Europäischen Union	250

A3.3	Forschungsschwerpunkte „Energie“ und „Verkehr“ im 6. FTE-Rahmenprogramm	253
A3.3.1	„Nachhaltige Energiesysteme“	253
A3.3.2	„Nachhaltiger Landverkehr“	257
A3.4	Spezifische Programme und Instrumentierung	258
A3.5	Zusammenfassung und Ausblick	259
	Literatur	261
	Autorenverzeichnis	275

Zusammenfassung

Problemstellung

Die Diskussion scheint paradox: Fast alle Energieszenarien stützen sich auf Trends, die auf ein enormes Wachstum des Energiebedarfs in den nächsten Jahrzehnten hinauslaufen. U.a. auf internationalen Konferenzen beschäftigt man sich indes mit dem Gegenteil: einer massiven Verringerung der Treibhausgasemissionen, vor allem der durch den Verbrauch von Energie verursachten CO₂-Emissionen. Experten verweisen auch auf das politische Risiko der Abhängigkeit vom Erdöl und die Erschöpflichkeit von Ressourcen. Wie soll diese Kluft überbrückt werden? Wie lässt sich das bestehende Energiesystem nachhaltiger gestalten? Die Hoffnungen richten sich vor allem auf den technischen Fortschritt und Innovationen.

Bislang liegen jedoch keine konkreten Vorschläge vor, inwieweit Innovationen tatsächlich dazu beitragen können, einen ständig wachsenden Energieverbrauch mit den genannten Limitierungen im Hinblick auf die Ressourcenverfügbarkeit und die Umwelt sowie den strukturellen Anforderungen an ein Energiesystem in Einklang zu bringen.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, wirtschaftswissenschaftliche, juristische, naturwissenschaftliche und philosophische Kompetenzen im Hinblick auf derartige Vorschläge zusammenzuführen. Diese Aufgabenstellung erfordert einen klaren Fokus auf die Schnittmenge der drei zentralen Themen Energie, nachhaltige Entwicklung und Innovation. Eine umfassende Aufarbeitung der drei Themenfelder sollte nicht unternommen werden. Auch konnten viele der damit zusammenhängenden Debatten nur in so weit aufgearbeitet werden, wie sie für den Strategievorschlag der Studie zweckdienlich waren.

Bei der Ableitung der Empfehlungen wurden die von demokratisch legitimierten Stellen festgelegten Ziele berücksichtigt, unabhängig davon, wie vage diese Ziele vor allem auf der internationalen Ebene sind. Ein wichtiger Teil unserer Arbeit richtete sich auf die Analyse gegensätzlicher (wirtschaftspolitischer) Ziele und die Frage, wie diese Gegensätze durch einen umfassenderen, auf Anreizen basierenden Instrumentenmix – zugeschnitten auf den konkreten Gehalt einer Innovation – überwunden werden können.

Begriffliche und konzeptionelle Grundlagen

Da eine solide Untersuchung einen klar abgesteckten begrifflichen und konzeptionellen Rahmen benötigt, werden zunächst die zentralen Begriffe Nachhaltigkeit, Energie und Innovation untersucht.

Das Leitbild der Nachhaltigkeit mit seinen beiden normativen Eckpunkten der intra- und intergenerationellen Gerechtigkeit bedarf einer Konkretisierung speziell für den Energiebereich, der vor allem auf erschöpflichen Energieträgern basiert. An Stelle eines statischen Bestandskonzepts, das eine nachhaltige Nutzung nur begrenzt vorhandener Ressourcen schon begrifflich ausschließt, wird ein dynamisches Nutzungskonzept eingeführt. Dieses stützt sich auf die Substitution nicht-erneuerbarer Ressourcen durch erneuerbare und auf die laufende Schaffung neuer, effizienterer Nutzungsmöglichkeiten und postuliert damit implizit die Notwendigkeit von Innovationen in diesem Bereich. Wenn es gelingt, durch entsprechende Neuerungen die Nutzung erschöpflicher Ressourcen pro Leistungseinheit in Produktion und Konsum zu verringern, so dass man in Zukunft mit einem geringeren Verbrauch solcher begrenzten Vorräte auskommt, können trotz abnehmenden Ressourcenbestandes die Nutzungsmöglichkeiten aufrecht erhalten und mitunter sogar verbessert werden. Die *Möglichkeit* solcher Nutzungschancen bedeutet allerdings keineswegs, dass angesichts der gegenwärtigen Trends in den Bereichen Energieverbrauch, Umweltbelastung, privater Konsum sowie Bevölkerungsentwicklung tatsächlich ein Pfad „nachhaltiger Entwicklung“ gefunden werden kann.

Der Klarheit unserer Analyse dient die Unterscheidung zwischen *Nachhaltigkeit* und *nachhaltiger Entwicklung*: Die regulative Idee der Nachhaltigkeit initiiert und begleitet in praktischer Absicht einen Such- und Lernprozess, der im stärker konkretisierenden Konzept der nachhaltigen Entwicklung Potenziale und Handlungsmöglichkeiten in Richtung Nachhaltigkeit identifiziert und der daher als prinzipiell handlungsleitend eingeschätzt wird.

Wenn man die zahlreichen, inzwischen weit über 200 Konkretisierungsversuche von „nachhaltiger Entwicklung“ nach einer nunmehr fünfzehnjährigen wissenschaftlichen und politischen Diskussion betrachtet, so kommt man nicht um das Eingeständnis herum, dass dieser Begriff auch heute noch sehr vage, ja mitunter sogar konfus geblieben ist. In der gegenwärtigen Erörterung der Nachhaltigkeitsproblematik kann man in erster Annäherung drei unterschiedliche Arten des Umgangs mit der Bedeutungsvielfalt von ‚sustainable development‘ beobachten: Neben einer *ablehnenden Haltung* (das Konzept sei zu schwammig) und einer *vereinnahmenden Strategie* (man packt im Konzept das hinein, was einem gerade zweckdienlich erscheint) gibt es eine weitere, von der Arbeitsgruppe geteilte Möglichkeit, nämlich den Versuch, *produktiv* mit dem Begriff umzugehen und ihn nach wissenschaftlichen Kriterien so exakt wie möglich zu bestimmen. Dazu gehört, dass man verschiedene Definitionsmöglichkeiten dieses Konzepts einander gegenüberstellt und danach fragt, welche konkreten Schlussfolgerungen sich daraus jeweils für die zentrale Forschungsfrage unserer Untersuchung ergeben. Dieser Weg wird in der neoklassischen Umweltökonomie und vor allem der Ökologischen Ökonomie als der „Lehre von der Nachhaltigkeit“ beschrrieben. Es kommt dabei darauf an, eine Balance zwischen der Über- und der Unterbestimmung dieses

Begriffs zu finden und ihn weder so sehr zu präzisieren, dass er zwar strengste ökologische Kriterien erfüllt, aber dabei zu einem unerreichbaren Ideal wird, noch ihn so unbestimmt zu belassen, dass er alles bedeuten und damit nichts bewirken kann; er muss also prinzipiell operationalisierbar sein.

Die verschiedenen Konzepte von der „schwachen“ bis hin zur „sehr starken“ Nachhaltigkeit unterscheiden sich im Hinblick auf Substitutions- und Komplementaritätsannahmen in Bezug auf menschengemachtes Kapital und Naturkapital. Dieser Studie liegt ein Konzept kritischer Nachhaltigkeit zugrunde, das sich auf der Grundlage des Konzepts des kritischen Naturkapitals auf wenige, aber entscheidende und in diesem Sinne kritische „Leitplanken“ oder „Engpässe“ konzentriert. Dieses Verständnis von Nachhaltigkeit schafft damit eine Verbindung zur weit entwickelten Diskussion der Setzung von Umweltstandards.

Obschon Energie unser tägliches Leben bestimmt und in der ökonomischen Theorie einen wichtigen Produktionsfaktor darstellt, ist vom physikalischen Standpunkt aus die Energie eine sehr abstrakte und nur im Rahmen eines differenzierten mathematischen Modells genau zu definierende Größe. Historisch wurde der Energiebegriff vorerst lediglich als „Potenzial Arbeit zu leisten“ verstanden. So betrachtet ist Energie offensichtlich keine Erhaltungsgröße; dies erklärt, warum sich in der Umgangssprache der Begriff „Energieverbrauch“ eingebürgert hat.

Die Verbindung zwischen den vorerst völlig verschiedenen Begriffen „Energie“ und „Wärme“ wurde erst im 19. Jahrhundert mit der Formulierung des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik geklärt. Danach kann Energie weder erzeugt noch vernichtet, sondern lediglich in verschiedene Formen umgewandelt werden. (Anfang des 20. Jahrhunderts wurde der Energiebegriff durch die spezielle Relativitätstheorie von Einstein um die Masse erweitert.) Spricht man von Energieverbrauch, meint man damit eigentlich *Energiedegradierung*, d. h. die Umwandlung hochwertiger bzw. verfügbarer Energie (Exergie) in niederwertige bzw. nicht-verfügbare Energie (Anergie). Die Grenze zwischen Exergie und Anergie ist nicht absolut, sondern hängt vom betrachteten System ab. Beispielsweise enthält 20 Grad warmes Wasser in einer Umgebung von 0 Grad nutzbare Energie (Exergie), bei einer Umgebungstemperatur von 20 Grad hingegen nicht.

Unter dem *Energiesystem* (eines Landes oder der Erde insgesamt) versteht man die gesamte Struktur der genutzten Primärenergieressourcen, der Infrastruktur zu deren Verteilung und Umwandlung in Endenergie und der spezifischen Nachfragestruktur der sogenannten Energiedienstleistungen. Im Hinblick auf die Wertigkeit der Energie spielt insbesondere die Unterscheidung zwischen Bedarf an Wärme bzw. Arbeit eine Rolle, ferner die Aufteilung zwischen stationärem und mobilem Bedarf und die Rolle der Elektrizität. Angebots- und Bedarfsstruktur bestimmen zusammen das Potenzial zur Veränderung eines gegebenen Energiesystems.

Innovationen bezeichnen die Durchsetzung neuer Problemlösungen am Markt, verbunden mit neuen Faktorkombinationen. Nachhaltige Innovation bezeichnet Faktorkombinationen und neue Problemlösungen, die zu einer Senkung von Umweltbelastung und Ressourcenverbrauch führen, ohne dass dadurch Einschränkungen bei anderen gesellschaftlichen Zielen erforderlich werden. Dazu gehören nicht nur neue technologische Lösungen (Prozesse, Produkte), sondern auch neue Dienstleistungen und neue Organisationsformen.

Um nachhaltige Innovation zu verstärken, sind Kenntnisse über Innovations-

determinanten erforderlich. Ausmaß, Richtung und Geschwindigkeit der Innovationsaktivität in einer Volkswirtschaft hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, die zusammenfassend auch als „Nationales Innovationssystem“ bezeichnet werden und die weit über die Forschungs- und Entwicklungspolitik hinaus bis hin zum Steuer- und Bildungssystem reichen. Im Zuge der europäischen Integration ist es in bestimmten Bereichen inzwischen sinnvoller, von einem europäischen Innovationssystem zu sprechen. Diesen gesamten Kontext gilt es neu zu gestalten, wenn die Innovationsaktivität auf Umwelt- und Ressourcenschonung ausgerichtet werden soll. Notwendig erscheint hier eine innovationspolitische Doppelstrategie, die einerseits auf kurzfristige Wirkungen abzielt, andererseits aber auch längerfristig wirksame Weichenstellungen vornimmt.

Durch allgemeine Verbesserungen der Rahmenbedingungen für nachhaltige Innovationsaktivitäten (z. B. Regulierungsreform, Steuerreform, Schwerpunkte der Grundlagenforschung) werden die Suchanstrengungen der Wissenschaftler und Tüftler in eine andere Richtung gelenkt und der gesellschaftliche Wissens- und Ideenpool (Vorrat an Inventionen) wird entsprechend angereichert. Dieser Teil der Doppelstrategie erfordert längere Zeiträume und zielt eher auf eine generelle Zunahme der nachhaltigen Innovationsaktivität als auf sektorspezifische Potenziale oder bestimmte Arten von Innovation.

Beide Komponenten ergänzen einander. Erfolgreiche Innovationspolitik entsteht aus ihrer wohldosierten Kombination. Die Übergänge zwischen beiden Arten von Innovationspolitik sind fließend und insofern sind (z. T. ideologisch geprägte) Auseinandersetzungen über ein Entweder-Oder unergiebig. Nachhaltige Innovationspolitik ist insgesamt darauf gerichtet, die Rahmenbedingungen dahingehend zu verändern, dass sich die Durchsetzungschancen nachhaltiger Innovationspotenziale am Markt verbessern. Die Verbesserung der Rahmenbedingungen für nachhaltige Innovationen sieht sich mit dem Problem konfrontiert, dass Erfolge sich erst längerfristig einstellen und dass sie nicht kausal einer bestimmten Veränderung einzelner Bedingungen zugeordnet werden können. Daher ist die politische Durchsetzung gerade dieser Art von Reformen ein schwieriges Unterfangen.

Aus den so identifizierten Erfolgsfaktoren und Hemmnissen lassen sich nunmehr Politikempfehlungen ableiten, wobei es nach dem Anerkenntnis der prinzipiellen Notwendigkeit staatlicher Innovationspolitik vor allem um die Wahl der konkreten Technologie, der Instrumente, deren Dosierung und den Phasenspezifika innerhalb eines Innovationsprozesses geht. Als Empfehlung ergibt sich eine wohldosierte Kombination aus marktfern ansetzender Förderung (Grundlagenforschung), einer dem Wettbewerb überlassenen Such- und Entdeckungsfunktion mit anschließender Förderung einer gesellschaftlich vorteilhaften Beschleunigung der Diffusion und einer generellen Verbesserung der Rahmenbedingungen für nachhaltige Innovationsaktivität.

Normative Abwägungs- und Entscheidungskriterien

Die Anwendung herkömmlicher Entscheidungsregeln erfordert eine präzise Formulierung der einschlägigen Handlungsoptionen und der Umweltzustände, die die

Handlungsfolgen beeinflussen. Ist jedoch nicht klar, welche Umweltzustände zu berücksichtigen sind (Entscheidung unter *grundlegender* [*profound*] Ungewissheit), lassen sich diese Entscheidungsregeln nicht anwenden. Da sich das für diese Studie relevante Entscheidungsproblem wegen der Berücksichtigung langfristiger Umweltveränderungen durch profunde Ungewissheit auszeichnet, müssen andere Wege gesucht werden, zu einer Entscheidung zu gelangen.

Die Umweltpolitik greift in diesen Fällen auf das „Vorsorgeprinzip“ zurück, das Präventivmaßnahmen auch dann zulassen soll, wenn die wissenschaftlichen Belege nicht zwingend, sondern lediglich plausibel sind. Die Kosten dieser Maßnahmen müssen verhältnismäßig sein (Übermaßverbot), angesichts der profunden Ungewissheit vorzugsweise gemessen im Vergleich zu einem anderen, leichter spezifizierbaren Ziel. Vorsorgemaßnahmen im Hinblick auf einen Klimawandel können z.B. über die Ziele der Beschaffungssicherheit und der Verlässlichkeit des Energiesystems beurteilt werden.

Ein Zielbündel für einen nachhaltigen Umbau des Energiesystems ist in folgender Tabelle zusammengestellt:

[Tabelle 3.1.] Zielbündel für einen nachhaltigen Umbau des Energiesystems

Zieldimension	Konkretisierung
Ressourcenverfügbarkeit	Zeit sicherer Praxis, Beschaffungssicherheit
Energiesystem	Verlässlichkeit (Endverbraucher), Optionsoffenheit, Risikovermeidung
Umwelt	Klimawandel, Emissionen, Flächenverbrauch

Wenn im Rahmen dieser Studie auf die Notwendigkeit eines nachhaltigen Umbaus des Energiesystems hingewiesen wird, ist stets an alle o.e. Zieldimensionen zu denken. Die Reduzierung der CO₂-Emissionen lässt sich als „Leitindikator“ für dieses Zielbündel verwenden, der einer notwendigen Bedingung entspricht und durch weitere Indikatoren (Flächenverbrauch, Optionsoffenheit u.ä.) als hinreichende Bedingungen ergänzt werden muss.

Nachhaltigkeit ist zweifellos ein normatives Konzept und mit jeder Nachhaltigkeits-Konzeption ist eine bestimmte normative Grundsatzentscheidung mit jeweils spezifischen ethischen Implikationen verbunden, auch wenn diese nicht immer expliziert werden. Die Position, wonach keinerlei Verpflichtungen gegenüber zukünftigen Generationen bestehen, wird – soweit wir sehen – zwar kaum in Reinform vertreten, aber doch immerhin derart, dass Interessen künftiger Generationen heute nur insoweit zu berücksichtigen sind, wie dies auch der gegenwärtigen Generation nutzt oder zumindest nicht schadet (intertemporale Pareto-Verbesserungen). Dieses „win-win“-Konzept passt zwar zu Innovationen, weil sie es ermöglichen, neue Lösungen auf eine bessere Weise als zuvor zu finden. Das angehäuften technische und organisatorische Wissen kann zukünftige Generationen für die verringerten Ressourcen entschädigen.

Das offenkundige Problem dieser Position besteht jedoch darin, dass immer

dann, wenn keine Spielräume für Pareto-Verbesserungen mehr bestehen, sondern eine wirkliche Trade-off-Situation und damit ein gravierender ethischer Konflikt eintritt, keinerlei Aussagen mehr möglich sind. Die Anwendung eines intertemporalen Pareto-Kriteriums kann also nur ein erster, ethisch weitgehend abstinenter Schritt sein, die hier vorliegenden Fragen zu beantworten. Sind intertemporale Pareto-Verbesserungen nicht möglich, muss man nach Rechtfertigungen für die dann erforderlichen Trade-offs (Abwägungen) zwischen verschiedenen Möglichkeiten suchen.

Ob es bei den Fragen intergenerationeller Verteilung – wie sie die Nachhaltigkeitsdiskussion durchziehen – Spielräume für Pareto-Verbesserungen gibt – wie im Falle der hier diskutierten nachhaltigen Energieinnovationen –, oder ob hier zumindest in einigen Bereichen eine Trade-off-Situation besteht, ist natürlich eine empirische Frage, die im Einzelfall beantwortet werden muss.

Festzuhalten ist jedenfalls, dass mit jeder Konzeption von Nachhaltigkeit eine intertemporale Bestandsgröße eingeführt wird. Deren Erhaltung zu fordern bzw. als gerecht vorauszusetzen, stellt den Nachhaltigkeitsbegriff in einen normativen Kontext.

Langzeitverantwortung ist ein grundlegender Aspekt des Begriffs der nachhaltigen Entwicklung. Sie lässt sich – abgesehen von der genauen Ausgestaltung – unter Rekurs auf eine robuste moralische Intuition als unproblematisch unterstellen. Jeder wird nämlich Langzeitverpflichtungen zumindest für die unmittelbar folgenden Generationen akzeptieren. Eine abnehmende Verbindlichkeit dieser Verpflichtung mit zunehmender zeitlicher Distanz (*Gradierung*) wird ebenfalls intuitive Zustimmung finden, denn man wird eher seinen Kindern als seinen Nachkommen in zehnter Generation einen bestimmten Vorteil zukommen lassen oder einen Schaden ersparen wollen. Diese Gradierung von Verbindlichkeit lässt sich zusätzlich durch die mit zunehmender zeitlicher Distanz steigende Unsicherheit des Eintretens der gewünschten Handlungsfolgen begründen.

In das Konzept kritischer Nachhaltigkeit ist eine Vorstellung intergenerationeller Gerechtigkeit in dem Sinne eingewoben, dass die als kritisch erachteten Standards eingehalten werden sollen. Das Konzept kritischer Nachhaltigkeit als dynamisches Nutzungskonzept rekuriert auf Gradierungsfragen vor allem im Sinne der oben erörterten zunehmenden Unsicherheit des einschlägigen Wissens.

Selbstverständlich können wir heute zukünftige Generationen und ihre Bedürfnisse nicht *richtig* berücksichtigen, weil es sie noch gar nicht gibt. Aus genau diesem Grund beobachten wir häufig eine Verzerrung beim Ausgleich ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Kriterien im Konzept der Nachhaltigkeit: Während sich die Fürsprecher sozialer und ökonomischer Aspekte auf spezielle Interessengruppen stützen, werden ökologische Aspekte nur von Umweltverbänden vertreten. Diese setzen sich aus Mitgliedern heute lebender Generationen zusammen, die zu Gunsten der mutmaßlichen Interessen zukünftiger Generationen handeln. Hier kommt die Wissenschaft ins Spiel: Sie kann nicht advokatorisch für zukünftige Generationen sprechen. Aber sie kann und sollte unter Verwendung der besten verfügbaren wissenschaftlichen Ergebnisse Transparenz bezüglich der Risiken einer Überbelastung ökologischer Ressourcen schaffen. Deshalb müssen wir Risiken und zukünftige Entwicklungen mit unsicheren Auswirkungen beschreiben und können nicht einfache „Rezepte“ mit klaren Fakten abliefern.

Auf dem Weg zu einem nachhaltigen Energiesystem – Defizite und Referenzpunkte

Der Gedanke der *Nachhaltigkeit als Rechtsnorm* ist noch relativ jung und wurde zuerst im Völkerrecht aufgegriffen. In den Dokumenten zum „Erdgipfel“ in Rio de Janeiro 1992 findet dieser Gedanke sich insbesondere in der Agenda 21. Völkerrechtliche Verbindlichkeit wurde allerdings erst durch spezifische Abkommen erreicht, nämlich in der *Klimarahmenkonvention*, die 1994 nach deren Ratifizierung durch 160 Staaten in Kraft trat und 1997 im sog. *Kyoto-Protokoll* konkretisiert wurde. Unterschiedliche Interessen zwischen entwickelten Staaten und Entwicklungsländern als auch divergierende Vorstellungen über die Gewichtung von ökonomischen und ökologischen Interessen in den Industrieländern haben in den letzten Jahren diesem Abkommen seine Effizienz weitgehend genommen.

Auf europäischer Ebene wird seit den Amsterdamer Vertragsänderungen nachhaltige Entwicklung schon in der Präambel und in Art. 2 des EG-Vertrages als Ziel formuliert. Im *deutschen Grundgesetz* (Art. 20a) ist der „Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen“ auch hinsichtlich der Verantwortung für künftige Generationen verankert.

Die Nachhaltigkeit des Energiesystems darf freilich nicht nur unter dem Aspekt des Klimaschutzes analysiert werden. Bei der Gründung der Internationalen Energieagentur (IEA) nach der Ölkrise von 1973/74 stand die *Versorgungssicherheit* (Beschaffungssicherheit) im Vordergrund. Die Europäische Union deckt heute rund 50% ihres Energiebedarfs durch Einfuhren. Dabei entfallen geopolitisch ca. 45% der Erdöleinfuhren auf den Nahen Osten; 40% der Erdgasimporte kommen aus Russland. Bis 2020 – so wird von der EU prognostiziert – wird der Importanteil wieder auf 70% steigen, verbunden mit einer Verschiebung hin zu einer erneuten Abhängigkeit vom Nahen Osten, wo ca. zwei Drittel der Ölreserven der Zukunft lagern und wo nach einer Schätzung der IEA über 85% der zusätzlichen Förderkapazitäten liegen.

Weder die internationalen noch nationalen Rechtsnormen sind heute so präzise, als dass daraus direkt operative „Nachhaltigkeitsziele“ abgeleitet werden könnten. Wirksames politisches Handeln benötigt jedoch präzise formulierte Ziele und entsprechendes Handlungswissen. Beides kann nur im Dialog mit den Wissenschaften erarbeitet werden. Insbesondere haben die Wissenschaften die Nachhaltigkeit des gegenwärtigen Energiesystems zu *analysieren* und einen präzisen *Benchmark* für eine nachhaltige Energieversorgung zu formulieren. Eckpunkte dieser Analyse sind die Feststellung, dass (1) der Verbrauch kommerzieller Energie in den letzten 50 Jahren um den Faktor 5 gestiegen ist, (2) über 90% dieser Energie aus fossilen Ressourcen stammt und (3) die Unterschiede in der Verfügbarkeit kommerzieller Energie zwischen den reichsten und ärmsten Ländern mehr als das Hundertfache betragen. Die meisten Prognosen sagen bis 2050 eine Steigerung des Energiebedarfs auf das Zwei- bis Vierfache voraus. Umgekehrt sollte aus Gründen des Klimaschutzes und der Beschaffungssicherheit der Verbrauch fossiler Energie in diesem Zeitraum halbiert werden.

Die gängigen Antworten auf die sich öffnende Schere zwischen Bedarf und Notwendigkeit lauten *Effizienzsteigerung* und *Dekarbonisierung*. Ersteres zielt auf

eine zunehmende Entkoppelung von Bruttoinlandsprodukt (BIP) und Energiebedarf, zweiteres auf die Substitution von fossilen Ressourcen durch erneuerbare oder kohlenstoff-freie Energieträger. Die gegenwärtige Entwicklung des globalen Energiesystems zeigt, dass die beiden Prozesse viel zu langsam ablaufen, als dass sie das Wachstum der CO₂-Emissionen bremsen, geschweige denn in einen Rückgang verwandeln könnten. Diese Entwicklung ist nicht nur aus Sicht des Klimaschutzes, sondern auch aus Sicht der Energiesicherheit (Beschaffungssicherheit und Verlässlichkeit des Energiesystems) und der geografischen Verfügbarkeit der fossilen Energieressourcen nicht nachhaltig.

Die Quintessenz obiger Überlegungen lässt sich durch folgende einfache Rechnung zusammenfassen: Wenn man das typische Ziel für das Wachstum des Bruttoinlandsproduktes (BIP) von jährlich 2% für die EU und andere Industrieländer berücksichtigt und für diese Länder ein Ziel für die Verringerung der CO₂-Emissionen von 2% annimmt, brauchen wir eine Verringerung der CO₂-Intensität (CO₂-Emissionen pro BIP) von jährlich 4%. Die CO₂-Intensität dient dabei als ein Leitindikator für eine nachhaltige Veränderung des Energiesystems.

Das Szenario „S450“ des Zwischenstaatlichen Sachverständigenausschusses zum Klimawandel (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*), das ambitioniert, aber nicht unrealistisch erscheint, spielte eine wichtige Rolle in unserer Beurteilung, wurde jedoch durch die Berücksichtigung langfristigerer Trends, der Notwendigkeit politischer Stabilität in der Nord-Süd-Dimension und der dringend erforderlichen Begrenzung der zunehmenden Abhängigkeit vom Erdöl im Nahen Osten ergänzt (nicht nur der EU, sondern auch der USA, die mit 60 Prozent Erdölimporten heute anfälliger als je zuvor ist).

Zur Operationalisierung der Nachhaltigkeitsziele werden zwei Konzepte vorgeschlagen: (1) Die *Zeit sicherer Praxis* geht davon aus, dass jede gesellschaftliche Tätigkeit daraufhin analysiert werden kann, wie lange sich diese hypothetischerweise unverändert fortsetzen ließe, bis sie (z.B. aus Gründen der Ressourcen-Reichweite, der Umweltbelastung etc.) an ihre eigenen Grenzen stieße. (2) Die *Trägheit* des Energiesystems lässt sich als jene Zeit definieren, die es benötigt, um ein System signifikant zu verändern. Für den Fall des heutigen, durch den Verbrauch fossiler Brennstoffe dominierten Systems wäre eine solche Veränderung zum Beispiel die Umstellung auf erneuerbare Energieressourcen.

Mit diesen Konzepten lässt sich das Ziel der Nachhaltigkeit folgendermaßen definieren:

- (1) *Eine Praxis (z. B. eine Energiepraxis) ist dann nachhaltig, wenn die Zeit sicherer Praxis konstant bleibt oder wächst (Prinzip der konstanten Zeit sicherer Praxis).*
- (2) *Die Zeit sicherer Praxis muss größer sein als die Trägheit des betrachteten Systems.*

Auf die Energie angewendet bedeutet dies, dass sich ein nachhaltiges Energiesystem auf zwei Pfeiler stützen muss: (1) auf den effizienten Umgang mit Energie und (2) auf die vermehrte Nutzung der solaren Ressourcen. Aufgrund der heute bekannten Technologien könnte ein vernünftiger westlicher Lebensstandard mit einem Energieverbrauch von *2000 Watt pro Person* erreicht werden. (Der Bedarf in den Industrieländern liegt heute zwischen 4.000 und 10.000 Watt pro Person.)

Dieser Bedarf könnte nachhaltig, d.h. weitgehend durch erneuerbare Ressourcen gedeckt werden. Der *2000 Watt-Benchmark* bildet die Grundlage für die weiteren Überlegungen. Wir haben Anlass für die Annahme, dass genügend Zeit für einen solchen Wandel bleibt, wenn er jetzt energisch in Angriff genommen wird.

Potentiale und Barrieren für ein nachhaltiges Energiesystem

Grundlegend für einen derartigen Wandel ist das Potential von Innovationen im Energiebereich, an denen derzeit gearbeitet wird oder die neu auf dem Markt sind. Deren Beurteilung auf verschiedenen Entwicklungsstufen oder in Frühphasen der kommerziellen Nutzung stellt daher den nächsten Schritt der Untersuchung dar. So gelangt man zu einer fundierten Einschätzung ihres Potentials bei der Energieeffizienz.

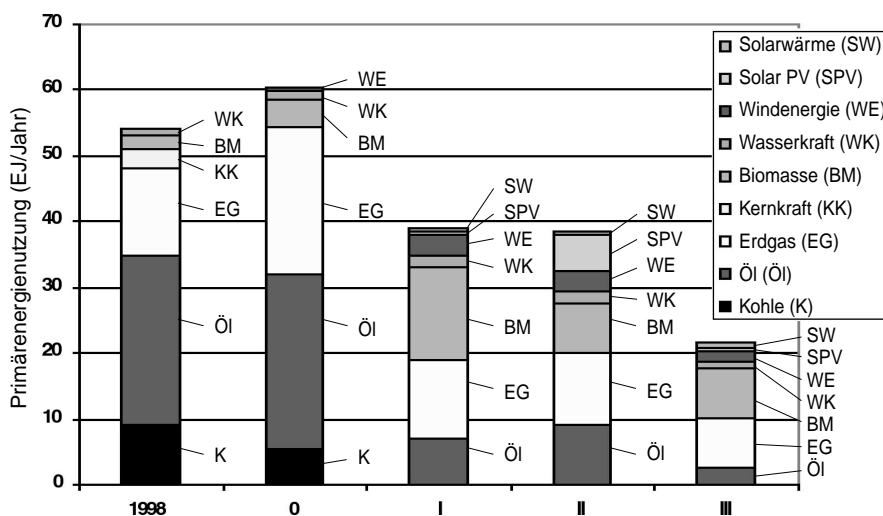
In der Vergangenheit hat es Perioden gegeben – zum Beispiel Perioden mit hohen Energiepreisen –, in denen die Energieeffizienz für Neugeräte sich mit 5% pro Jahr oder mehr verbessert hat. Wir fragen uns, ob eine derartige Verbesserung auch in Zukunft möglich wäre. Mit repräsentativen Beispielen (Energieverbrauch der Raumheizung von Wohnungen, Personen-Kraftfahrzeuge, Elektrizitätsproduktion und einige ausgewählte industrielle Prozesse) zeigen wir, dass es in der Tat die technischen Möglichkeiten gibt, um auch in Zukunft für Neugeräte eine Verbesserung von 5% pro Jahr oder mehr zu realisieren. Das Potential für die nächsten etwa 15 Jahre lässt sich sogar schon heute genau spezifizieren.

Eine Verbesserung der Energieeffizienz für Neugeräte von ca. 5% pro Jahr macht es möglich, die Gesamtenergienachfrage bis zum Jahr 2050 im Vergleich zum heutigen Verbrauch zu halbieren. Dabei wird mit weiterem Wirtschaftswachstum und langsamem Umschlag des Kapitalbestandes gerechnet. Eine derartige Verringerung der Energienachfrage ist Voraussetzung für eine maßgebliche Steigerung des relativen Anteils erneuerbarer Energien.

Der Anteil erneuerbarer Energien am Energieangebot ist heute wesentlich höher als vor 20 Jahren allgemein erwartet wurde. Die Windenergie wird in den nächsten Jahren kommerziell rentabel, während es bei der Photovoltaik noch lange dauern wird. Die breit gefächerten Anwendungen von Biomasse auf der Grundlage unterschiedlicher Techniken liegen irgendwo dazwischen. Kurzfristige Einsatzmöglichkeiten sind die Mitverfeuerung in großen und die Vergärung in kleinen Anlagen. Vielversprechende Aussichten bietet eine Fülle neuer Techniken auf der Grundlage der Vergasung zur Produktion von gasförmigen Brennstoffen (z. B. für die kombinierte Erzeugung von Wärme und Strom) und Flüssigbrennstoffen (z. B. für den Transportbereich).

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Arten erneuerbarer Energiequellen haben wir für die Zukunft unterschiedliche Szenarien entwickelt, um mindestens die Hälfte der Energienachfrage aus erneuerbaren Energiequellen zu befriedigen.

- 0. Referenzfall mit der Fortsetzung bestehender Trends wie geringer Verbesserung der Energieeffizienz, einer schrittweise zunehmenden Endenergienachfrage, eines zunehmenden Anteils von Erdgas, eines Auslaufens der Kernenergienutzung und geringer Anteile regenerativer Energiequellen
- I. Ein Szenario mit einer relativ stabilen Energienachfrage (jedoch mit einer Verlagerung von der Nachfrage nach Wärme zur Nachfrage nach Strom) und einem Angebotssystem, das sich unter Berücksichtigung der Beschränkung der CO₂-Emissionen auf die billigsten, reichlich verfügbaren Energiequellen stützt: Biomasse und Erdgas
- II. Identische Nachfrageentwicklung, aber geringere Nutzung von Biomasse
- III. Ein Szenario mit deutlich gesunkener Energienachfrage



[Abb. 5.5.] Überblick über den Primärenergie-Input im Jahr 2050 für die drei Szenarien.

Momentan ist Wasserkraft noch die wichtigste erneuerbare Quelle für die Elektrizitätsproduktion. In den kommenden Jahrzehnten wird speziell in den Bereichen Windenergie und Biomasse das größte Wachstum erwartet. Die Aussichten für Biomasse sind am günstigsten, aber der damit verbundene Flächenbedarf ist riesig. Dennoch ist selbst innerhalb der dicht besiedelten Europäischen Union eine für das obige Biomasse-intensive Szenario (Szenario I) hinreichende Ausweitung der Biomassennutzung möglich. Eine Quelle, die erst langfristig wichtig werden kann, ist die Photovoltaik. Es ist möglich, diese Quelle eine große Rolle spielen zu lassen, aber das wird starke Entwicklungsanstrengungen und höhere Kosten verursachen.

Es gibt also mehrere Kombinationen von Energieeffizienzverbesserungen und erneuerbaren Energiequellen, um die Nachfrage nach fossiler Energie in der Europäischen Union bis zum Jahr 2050 im Vergleich mit heute um 60 bis 80% zu reduzieren.

Die hier skizzierten Entwicklungen werden keineswegs ohne gezielte Maßnahmen stattfinden. Es gibt verschiedene Hemmnisse, die es zu überwinden gilt. Energie stellt in vielen Sektoren keinen wichtigen Kostenfaktor dar. Mit Sicherheit gilt

dies im Dienstleistungs- und Agrarsektor. Selbst in den Haushalten verteilen sich die Energiekosten auf mehrere Bereiche (Mobilität, Heizung, Strom usw.). Bei Entscheidungen werden die Energiekosten deshalb häufig nicht angemessen berücksichtigt. Außerdem werden die positiven externen Effekte (z.B. geringere Emissionen) am Markt nicht honoriert. Neue Techniken befinden sich am oberen Ende der Lernkurve und können nur schwer mit den etablierten Techniken konkurrieren, die über einen langen Nutzungszeitraum optimiert wurden. Bei der Energieeffizienz und den regenerativen Energien sind – insbesondere wenn es sich um „manufactured technologies“ handelt – Massenproduktionsvorteile jedoch entscheidend für ihre Konkurrenzfähigkeit gegenüber den etablierten „on-site technologies“. Häufig müssen neue Technologien mit vorhandenen Anlagen kompatibel sein und zu bestehenden Normen und Infrastrukturen passen, was die Marktpenetration verlangsamt. Dies gilt insbesondere in einem kapitalintensiven Sektor, in dem „sunk costs“ einen raschen Kapitalumschlag verhindern.

Außerdem lehrt die Geschichte der Substitution einer Energiequelle durch eine andere, dass neue Energiequellen nicht nur ökonomisch konkurrenzfähig sein, sondern auch zusätzliche Vorteile bieten müssen (beispielsweise war Öl „sauberer“ als Kohle). Der Substitutionsprozess ist nie ‚politikfrei‘ (in jeder Richtung) und hängt sehr stark von der Nutzungsdauer der vorhandenen Energieinfrastruktur ab. Wenn neue Techniken jedoch einmal eine kritische Masse erreichen, wird die Substitution beschleunigt.

Die Realität der Nachhaltigkeit: Zielkonflikte in der Instrumentenwahl

Als Zweck politischen und wirtschaftspolitischen Handelns wird oft die Erhöhung der „Wohlfahrt“ oder des „Gemeinwohls“ genannt. Bei konkreten wirtschaftspolitischen Maßnahmen ist sehr oft unklar, was man darunter zu verstehen hat. Dies liegt daran, dass bestimmte Maßnahmen in mancher Hinsicht vorteilhaft erscheinen, aber andererseits meist auch Nachteile verursachen. Diese Nachteile können darin liegen, dass die Kosten und Nutzen einer Maßnahme ungleich verteilt sind oder, dass die Beseitigung eines Problems ein neues hervorruft.

Ein bekanntes Beispiel ist das magische Viereck in der makroökonomischen Wirtschaftspolitik: Nach dem Stabilitäts- und Wachstumsgesetz sind ein hohes Beschäftigungsniveau, niedrige Inflation, außenwirtschaftliches Gleichgewicht und angemessenes Wachstum anzustreben. Faktisch verfolgt die Politik aber auch noch zusätzlich das Ziel einer gerechten Verteilung. Dies sind fünf *wirtschaftspolitische Ziele*, mit der Folge, dass Maßnahmen zum verbesserten Erreichen eines Zieltes leicht die Realisierung eines oder mehrerer anderer Ziele verschlechtern können. Wenn zum Beispiel eine Beschäftigungssteigerung erreicht wird, kann das Risiko einer Erhöhung der Inflation und der Importe entstehen, so dass möglicherweise sogar zwei Ziele weniger gut erreicht werden, nämlich „geringe Inflation“ und „außenwirtschaftliches Gleichgewicht“. Wenn man die Verteilung durch Lohnerhöhungen gerechter gestalten will, kann das zu weniger Beschäftigung und Wachstum führen. Wiederum werden zwei Ziele möglicherweise weniger

gut erreicht, wenn man ein anderes fördert. Wir haben es also mit *Zielkonflikten* zu tun.

Für die vorliegende Studie sind die Zielkonflikte zwischen Umweltzielen und anderen Zielen von besonderer Bedeutung. Hier werden auf der Grundlage der „neuen Mikroökonomik“ diejenigen Konflikte behandelt, die auf Marktunvollkommenheiten und Verteilungsproblemen beruhen. Dabei sind im einzelnen die Beschäftigungs-, Wettbewerbs-, Handels-, Finanz- und Entwicklungspolitik einschlägig. Eine Reduktion von Umweltemissionen vor allem im Energiebereich erfordert die Reduktion der Produktion und daher entweder der Beschäftigung oder aber der Löhne, soll die Beschäftigung erhalten bleiben.

Wenn aufgrund von Kostenerhöhung durch umweltpolitische Maßnahmen eine Reduktion von Produktionsmengen auf Firmenniveau erfolgt, entspricht dies im Resultat dem Vorgehen eines Monopolisten, der einen Monopolpreis durchsetzt. Diese Maßnahmen können daher Monopoleffekte verstärken, wenn sie deren Vorhandensein nicht von vornherein richtig einkalkulieren.

Ein großer Teil der Energieemissionen stammt vom (internationalen) Transport. Der (internationale) Handel dient dazu, dem Konsumenten oder den Firmen günstigere Einkäufe zu ermöglichen. Wenn die Transportkosten aus umweltpolitischen Gründen steigen, damit die Umweltkosten vom Verursacher getragen werden, ist dies nicht im Interesse der Transporteure, Importeure und Warenempfänger.

Ein Schwachpunkt national oder regional begrenzter Umweltpolitik besteht darin, dass Firmen in andere Regionen abwandern können, wo ihnen keine Umweltkosten auferlegt werden. Dieser Effekt ist empirisch wahrscheinlich gering, weil der internationalen Konkurrenzfähigkeit – oft mit Hilfe von Ausnahmeregelungen – Vorrang eingeräumt wurde. Er führt aber bei Abwesenheit von Ausnahmeregelungen partiell auch zu einer Schwächung der Arbeitsnachfrage und einem Unterlaufen der Umweltpolitik selbst, weil zum Beispiel Emissionen dann aus den weniger regulierten Ländern kommen.

Um die Kosten der Umweltpolitik effizient zu gestalten, wird nach Möglichkeiten gesucht, Geld von Industrieländern in Entwicklungsländern einzusetzen, falls dort eine größere Wirkung erzielt werden kann. Wenn dies zu einer verstärkten Nachfrage nach Boden führt, um etwa Aufforstungsprogramme im Rahmen des im Kyoto-Protokoll vereinbarten *Clean Development Mechanism* (CDM) umzusetzen, kann dies die Pachtpreise von Kleinbauern und die Preise von Lebensmitteln erhöhen und steht damit im Konflikt zum entwicklungspolitischen Ziel der Armutsreduktion.

Solange Zielkonflikte bestehen, können sie verhindern, dass politische Entscheidungen getroffen werden. Dies liegt daran, dass Individuen, insbesondere Politiker und Lobbyisten, sich darin unterscheiden können, wie wichtig sie verschiedene Ziele einschätzen. Sie können sich insbesondere auch darin unterscheiden, dass sie an die Existenz eines Problems (überhaupt nicht) glauben oder sein Ausmaß unterschiedlich einschätzen. Es kann langfristig sehr kostspielig sein, wenn bei unvollkommener Information keine Maßnahmen ergriffen werden, obwohl ein relevantes Problem tatsächlich sehr bedeutend ist, oder wenn Entscheidungen für Maßnahmen getroffen werden, die sich im nachhinein als unnötig erweisen.

Die konfliktträchtigen Verteilungswirkungen umweltpolitischer Effizienzgewinne müssen folglich entschärft werden, um Widerstände zu vermindern. Dies

kann über innovationspolitische Maßnahmen geschehen. Förderung von – in Bezug auf ihre Umweltwirkungen – überlegenen Technologien können die Grenzkosten von Firmen senken, die Beschäftigung erhöhen, Monopolpreise und Transportemissionen reduzieren, ohne den internationalen Handel zu beeinträchtigen oder Kapitalbewegungen hervorzurufen. Diese Technologieförderung findet im Inland und nicht in Entwicklungsländern statt. Emissionen werden nur durch den Import besserer Techniken reduziert, wenn sie zu Standardtechnologien werden und alte Technologien vom Markt verschwinden. Insofern sind die oben geschilderten Interessengegensätze beim Einsatz der Innovationspolitik abwesend. Innovationspolitik kann komplementär zu anderen Maßnahmen der Umweltpolitik eingesetzt werden. Um Zustimmung zu Maßnahmen wie Umweltsteuern und Zertifikaten zu erlangen, kann eine Innovationsförderung angeboten werden, die die Effekte der Kostenverteilung mildert.

Im rechtlichen Rahmen der Europäischen Union wurden im Laufe der Jahre Regeln dafür entwickelt, was zu beachten ist, wenn wirtschaftliche Ziele – beispielsweise der ungehinderte Waren- und Dienstleistungsverkehr im Binnenmarkt – zu Gunsten des Umweltschutzes zurückgestellt werden. Die Gründe müssen zwingend sein und die eingesetzten Instrumente möglichst geringe Auswirkungen auf den Binnenmarkt haben. Oft erfordern die Regeln nur eine temporäre Intervention oder die Festlegung von Schwellenwerten (z.B. für Subventionen von Umweltschutztechniken). Der Europäische Gerichtshof (EuGH) hat für die entsprechenden Nachweise strenge Regeln vorgegeben.

Konflikte mit dem EG-Wettbewerbsrecht können in zweifacher Hinsicht auftreten. Staatliche Förderungsmaßnahmen sind am Beihilfenverbot zu messen. Diesem unterfallen sämtliche staatlichen Förderungsmaßnahmen mit finanzieller Begünstigung des Adressaten, nach Auffassung des EuGH hingegen nicht Abnahme- und Vergütungspflichtregelungen, die in erster Linie die Kassen privater Energieversorgungsunternehmen belasten, höchstens indirekt hingegen zu staatlichen Einnahmeausfällen führen. Liegt eine Beihilfe vor, kann diese aus Umweltschutzgründen gerechtfertigt werden, wenn sie dem Gemeinschaftsrahmen für staatliche Umweltbeihilfen entsprechen. Dieser sieht Sonderregelungen für regenerative Energien vor und ermöglicht grundsätzlich jedenfalls zeitlich befristete Unterstützungen. Bedenken ergeben sich aus dem Verursacherprinzip, das auch den gemeinschaftlichen Beihilfenrahmen beherrscht.

Der zweite wettbewerbsrechtliche Konfliktherd sind Wettbewerbsregeln für Unternehmen. Soweit Selbstverpflichtungen der Wirtschaft etwa zur CO₂-Reduktion bzw. zur Förderung regenerativer Energien zu Firmenkooperationen führen und daraus Beeinträchtigungen der Wettbewerbsfreiheit erwachsen, können diese ebenfalls aus Umweltschutzgründen gerechtfertigt sein, wenn sie unabdingbar sind. Solche Selbstverpflichtungen können insbesondere auch die Erforderlichkeit von Einschränkungen der Warenverkehrsfreiheit in Frage stellen, sofern sie vergleichbare Effekte wie staatliche Fördermaßnahmen oder Markteingriffe versprechen.

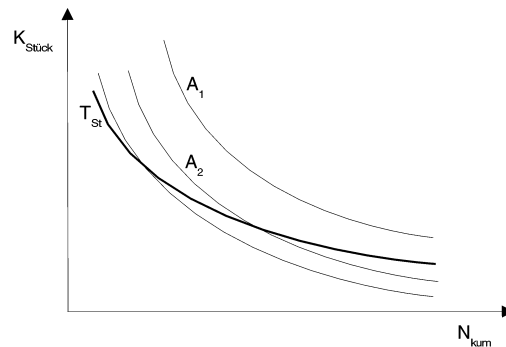
Strategien zur Beschleunigung von Energieinnovationen

Eine Strategie muss die Potentiale im Hinblick auf den 2000 Watt-Benchmark aktivieren, ohne an konfligierenden Zielen – dem Abgleich der drei Säulen der Nachhaltigkeit – zu scheitern. Aus der vorgehenden Analyse lässt sich eine solche Strategie entwickeln, die durch ein Bündel von Maßnahmen zur Förderung nachhaltiger Energieinnovationen geeignet ist:

1. Wir schlagen eine Strategie zur Beschleunigung nachhaltiger Energieinnovationen durch maßgeschneiderte Fördermaßnahmen für unterschiedliche Phasen ihres Lebenszyklus in Bezug auf ein Lernkurvenmodell vor. Zu Beginn des Lebenszyklus sollen Subventionen dazu beitragen, dass die Kostenvorteile der Skaleneffekte überhaupt erreicht werden können, indem Unternehmen sich rascher auf der „Lernkurve“ von Kostensenkungen bewegen. In einer späteren Phase sollen Selbstverpflichtungen als Verhandlungslösungen oder einseitige Selbstverpflichtungen der Industrie zu beschleunigter Marktdurchdringung führen.

Es geht hier vornehmlich um energieeffiziente Technologien, die in der Phase der Markteinführung sind, d.h. es existieren Pilotprojekte und Demonstrationsvorhaben, aber es ist jetzt notwendig, die „early adapter“ zu gewinnen und industrielle Produktions- und Servicestrukturen durch größere Stückzahlen zu entwickeln.

Diese Subventionen sind in der Mehrzahl der Fälle Anschubfinanzierungen. Es lässt sich nämlich zeigen, dass in der Mehrzahl der Fälle die Kosten der saubereren Technik langfristig nicht über denen der alten Technik liegen (vgl. die Kurven A2 und A3 in folgender Abbildung).



[Abb. 7.1.] Lernkurven energieeffizienter Techniken im Vergleich zur Standardtechnik (T_{St}).

Angesichts von Energiemärkten, die durch Deregulierung (gleichbedeutend mit niedrigeren Preisen) und volatile Preise gekennzeichnet sind, ist eine solche Förderung vor allem für regenerative Energiequellen wichtig. Die Ausgangssituation für die verschiedenen Techniken ist nicht einheitlich. Die

Energiegewinnung aus Windkraft ist wesentlich näher an der Rentabilität als die Photovoltaik. Die Energiegewinnung aus Biomasse könnte in den nördlichen Industrieländern zu teuer sein; nicht jedoch in tropischen Entwicklungsländern. Deshalb muss die Förderung der verschiedenen Techniken abhängig von ihrer Position auf der Lernkurve und der Antwort auf die Frage, wie rasch sie von „economies of scale“ profitieren können, maßgeschneidert werden. Für die dezentralisierte „manufactured technology“ der Energiegewinnung aus regenerativen Quellen ist die effiziente Massenproduktion der sicherste Weg, um mit „on-site technologies“ wie beispielsweise Kraftwerken konkurrieren zu können.

Konkret wird für diesen Subventionsansatz auf das niederländische Modell der ‚Energierliste‘ zurückgegriffen. Durch eine jährlich aktualisierte Liste förderungswürdiger Techniken wird verhindert, dass eine Subventionierung länger als notwendig Bestand hat. Die in den Niederlanden gemachten Erfahrungen zur Überwindung von Informationsasymmetrien, zur Minimierung von Mitnahmeeffekten und zur ausschließlichen Konzentration auf die wirklich innovativen Techniken müssen berücksichtigt werden.

2. Die Nachfrage sollte zusätzlich über staatliche Beschaffungsprogramme stimuliert werden. So könnte im Zuge der üblichen Neubau-, Modernisierungs- und Reparaturmaßnahmen innerhalb der nächsten 5–7 Jahre auf jedem dritten staatlichen Gebäude eine Photovoltaik-Anlage installiert werden.
3. Wir empfehlen die Ausweitung der Grundlagenforschung im Bereich der Energietechnologien, um einen ständigen Strom neuen Wissens – angefangen von der Kernfusion bis hin zur Solarenergie – zu gewährleisten. Diese Aufgabe fällt eindeutig in den Zuständigkeitsbereich der Regierung. Eine Reduktion der entsprechenden Förderung (6. Rahmenprogramm für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration [2002–2006] der EU) ist eindeutig der falsche Weg.
4. Darüber hinaus sollte sich die Regierung im Bereich geeigneter Bildung und infrastruktureller Kompetenzbildung für neue Energietechniken engagieren.
5. In den Haushalten und im Bereich der Mobilität steigt der Gesamtverbrauch weiter an. Es stehen einige Ansätze zur Verfügung, mit denen sich die derzeitige Nachlässigkeit der Konsumenten beim Energieverbrauch beeinflussen ließe. Die Instrumente zur Regulierung der Haushalte als Hauptverursacher von Energieverbrauch, Emissionen und Abfällen sind wesentlich weniger gut entwickelt als im Industriebereich (z.B. die IVU-Richtlinie [IPPC-Directive] mit der Verpflichtung zur Nutzung der „besten verfügbaren Techniken“). Verbraucher sind nicht nur durch das Trittbrettfahrer-Dilemma eingeschränkt, sondern auch durch Informationsmängel, die sie daran hindern, fundierte Entscheidungen zu treffen. Deshalb empfehlen wir eine wirksame und glaubwürdige Kennzeichnung (Labeling) einschließlich eines „Greenpricing“ von Strom aus regenerativen Quellen. Der geringe Erfolg bisheriger Ansätze lag in der Überflutung des Marktes mit Kennzeichnungen, so dass es selbst

staatlichen Kennzeichnungen nicht wirklich gelang, den Unterschied zwischen nachhaltigen und nicht nachhaltigen Produkten deutlich zu machen. In einigen Fällen ist dies auf Lobbyarbeit der Industrie zurückzuführen, in anderen auf einen Mangel an brauchbaren Unterscheidungskriterien.

6. Es könnte vielversprechender sein, zur Beschleunigung der Diffusion von Energieinnovationen in Haushalten auf gesellschaftliche und organisatorische Innovation zu setzen. Eine solche Innovation ist das Experiment von Versorgungsunternehmen – häufig in einer Partnerschaft zwischen öffentlichen Institutionen und Unternehmen –, sich als Dienstleister zu positionieren. Ein solcher Schritt befreit sie von dem Zwang, immer mehr Energie verkaufen zu müssen. Statt dessen können sie profitable Dienstleistungen für einen effizienten Energieverbrauch anbieten.
7. Im Verkehrsbereich müssen die im Vergleich zu Pkw und Lkw energieeffizienteren Verkehrsträger komfortablere und schnellere Logistik- oder Mobilitätsketten aufbauen, um wettbewerbsfähig sein zu können. Höhere Marktanteile lassen sich nicht mit Verbesserungen der einzelnen Komponenten, sondern nur mit einer Überarbeitung des gesamten Transportprozesses erreichen. Dies erfordert innovative Pakete, beispielsweise die Verknüpfung des Eisenbahnverkehrs mit Car-Sharing und Informationsdiensten.
8. Aber auch hier darf man nicht ausschließlich auf die Technologieentwicklung schauen: Mindestens genauso wichtig ist die Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen und Prozessen sowie die Integration in das Stromnetz, sowohl auf der lokalen (um diskontinuierliche Ressourcen wie Wind zu kompensieren) als auch auf der europäischen Ebene (beispielsweise im Winter mit Wasserkraft gewonnene Energie aus Skandinavien in den Süden und im Sommer photovoltaisch gewonnene Energie aus Italien in den Norden). Bei Brennstoffzellen ist die Überwindung des Problems von „Henne und Ei“ (ohne Wasserstoffversorgung keine Fahrzeuge; ohne Fahrzeuge kein Wasserstoffangebot) eine entscheidende Voraussetzung für den Erfolg dieser vielversprechenden Technik. Ihre wirklichen Vorteile im Hinblick auf die CO₂-Intensität werden sich jedoch erst dann einstellen, wenn Wasserstoff aus regenerativen Energiequellen gewonnen wird.
9. Dem Thema Energie sollte auf allen politischen Ebenen wieder höchste Priorität eingeräumt werden.
10. Wir empfehlen darüber hinaus die Gründung einer als Netzwerk organisierten ‚Allianz für nachhaltige Energieinnovationen‘.

Politische Durchsetzbarkeit nachhaltiger Energieinnovationen

Die Studie beschränkt sich nicht auf die Ausarbeitung von Handlungsoptionen, sondern untersucht auch deren politische Durchsetzbarkeit. Es werden explizit die Interessenlagen verschiedener gesellschaftlicher Akteursgruppen (Politiker, Konsumenten, Unternehmen, Umweltorganisationen etc.) untersucht. Dabei wird vor allem auf drei Aspekte eingegangen: Zielebene, Instrumentenwahl, Durchsetzungsstrategie.

Nachhaltige Innovationen im Energiebereich führen zwar insgesamt und längerfristig zur Steigerung des gesellschaftlichen Wohlstands, setzen aber Veränderungen im gesellschaftlichen Zielsystem und Reformen voraus, die für einige gesellschaftliche Gruppen (darunter wesentliche Teile der Energiewirtschaft) zumindest temporär wenig attraktiv erscheinen. Die gegebene Interessenlage der Akteursgruppen lässt nicht erwarten, dass spontan eine breite Akteurskoalition für nachhaltige Innovation im Energiebereich entstehen wird. Andererseits bestehen für jede Akteursgruppe (Unternehmen, Konsumenten etc.) Handlungsspielräume für nachhaltige Innovation, die sie wahrnehmen können, ohne dass von ihnen die Aufgabe ihrer grundlegenden Interessen verlangt werden muss. Wenn es gelänge, diese Handlungsspielräume konsequent auszuschöpfen, kann eine Reformdynamik entstehen, die den (nicht nachhaltigkeitsförderlichen) Status Quo überwindet. Zu fragen ist, wie sich dies auslösen und organisieren lässt.

Im Hinblick auf die Instrumentenwahl ist nach der Durchsetzbarkeit des Instrumenten-Mixes zu fragen, der nachhaltige Innovation im Energiesektor mit möglichst geringen gesellschaftlichen Kosten stärkt. Ökonomisch effiziente und innovationsstimulierende Instrumente wie Zertifikatslösungen oder Öko-Steuern im Umweltschutz erweisen sich im politischen Prozess als wenig attraktiv.

Der hier vorgeschlagene Instrumentenmix hat größere Durchsetzungschancen, da er auf Subventionslösungen, Selbstverpflichtungen und Informationsinstrumente (Labels etc.) zurückgreift, weil sie nicht mit unmittelbar merklichen Belastungen für gut organisierte Akteursgruppen verbunden sind. Kurzfristig muss nachhaltige Innovationspolitik daher vor allem die Möglichkeiten dieser Instrumente nutzen.

Auch gegen eine innovationsorientierte Politik formieren sich Widerstände, aber in geringerem Maße als gegen alloкатive Politiken, die auf Steuern, Regulierung oder Zertifikaten basieren. Um Nachhaltigkeitspolitiken voranzubringen, bedarf es eines klar definierten Prozesses zur Formulierung verbindlicher Ziele und zur Gewährleistung eines maximalen Engagements sowie des Aufbaus von Kapazitäten im Hinblick auf eine Plattform, auf der (selbst gegensätzliche Positionen vertretende) Gruppen lernen können, (besser) zusammenzuarbeiten, Erfahrungen auszutauschen, über ihre Lernerfolge zu berichten und sich in ein globales Netzwerk mit einer geteilten Zukunftsvision zu integrieren.

Neuen Institutionen stehen wir skeptisch gegenüber. Im Gegensatz zu spezialisierten Behörden, angefangen von der Zentralbank bis zu einer Kartellbehörde, betrifft die Nachhaltigkeit jeden Lebensaspekt und kann nicht vom Kern demokratischer Politik getrennt werden. Unsere Analyse hat jedoch ergeben, dass es oft

ausreichend ist, bestehende Institutionen zu vernetzen, um das Konzept nachhaltiger Entwicklung in ihre speziellen Aufgabenbereiche zu integrieren.

Deshalb schlagen wir die Bildung einer „Allianz für nachhaltige Energieinnovationen“ vor, die sich auf drei Ziele konzentrieren sollte:

- die Erhöhung der öffentlichen Aufmerksamkeit für die Divergenz von Energiebedarf und Wachstumsgrenzen und dem Potential nachhaltiger Energieinnovationen zur „Erweiterung der Grenzen“, wenn das Potential rascher ausgeschöpft wird,
- die Identifikation von Hemmnissen (z.B. Ineffizienzen) für die beschleunigte Umsetzung von nachhaltigen Energieinnovationen sowie die Förderung neuer Lösungen und
- den Aufbau einer Datenbank und eines Zentrums für Wissenstransfer zu nachhaltigen Energieinnovationen für den leichten Zugriff auf alle Informationen über spezielle Energieinnovationen, Kooperationspartner, Beratungsunternehmen usw.

Mitglieder einer solchen Allianz könnten sein:

- Unternehmen und Industrieverbände (z.B. Erzeuger von Sonnen- und „herkömmlicher“ Energie, Energiekunden),
- wissenschaftliche Institutionen,
- Energieagenturen und Institutionen für den Technologietransfer sowie
- Beratungs- und Dienstleistungsunternehmen mit innovativen und kreativen Ideen.

Je mehr Mitglieder das Netzwerk umfasst, desto wertvoller ist es für das einzelne Mitglied. Nicht zuletzt könnte die Allianz auch Kontakte über Europa hinaus knüpfen, insbesondere zu den Entwicklungsländern, wo das wirkliche Ringen um ein nachhaltigeres Energiesystem stattfindet.

Verantwortung für den „Energiehunger“ der Entwicklungsländer –

Wie können nachhaltige Energieinnovationen hier helfen?

Der Rahmen für die Beurteilung der hier vorgeschlagenen Maßnahmen ist zwar ein globaler, die Maßnahmen selbst konzentrierten sich jedoch weitgehend auf die EU. Wir würden aber dem Kriterium der intragenerationellen Gerechtigkeit als einem wesentlichen Kriterium jeder Nachhaltigkeitskonzeption nicht gerecht, wenn wir nicht auch prüfen würden, inwieweit nachhaltige Energieinnovationen erkennbare „Nord-Süd-Gefälle“ abflachen könnten.

Die wichtigsten Besonderheiten betreffen den Mangel an Kompetenz und Infrastruktur, das begrenzte kommerzielle Energieangebot und den ineffizienten Verbrauch, insbesondere von Holz. Viele moderne Techniken der Energiegewinnung aus regenerativen Quellen, insbesondere aus Windkraft, Biomasse und Sonnenenergie sollten in diesen Ländern eingesetzt werden. Bevor sie jedoch in der Praxis von Belang sein können, müssen Kompetenzen und Infrastruktur aufgebaut werden. Im dünn besiedelten ländlichen Raum außerhalb der Städte sind die dezentralen Technologien in vielen Fällen wesentlich sinnvoller als zentrale Versorgungsanlagen. Aber auch hier sind umfangreiche und gezielte Maßnahmen notwendig.

Zahlreiche internationale Organisationen – vor allem die Weltbank und die Globale Umweltfazilität (*Global Environmental Facility* – GEF) – versuchen, nachhaltige Energiesysteme und Innovationen in Entwicklungsländern zu unterstützen. Von der EU dagegen ist bemerkenswert wenig zu sehen: Energie spielt in der Entwicklungshilfe der Union keine signifikante und nicht einmal eine institutionelle Rolle. Dies bedarf einer Änderung und viele gute Vorschläge liegen bereits vor (z.B. die G8 Task Force, deren gut durchdachte Vorschläge leider abgelehnt wurden).

Wie einige erfolgreiche Beispiele zeigen, können außerdem weltweit tätige Unternehmen eine wesentlich aktivere Rolle beim „Technology Sharing“ spielen, beispielsweise durch Direktinvestitionen (z.B. Anlagen zur Produktion von Windturbinen). Offensichtlich würden sie sich jedoch lieber an einer Politik orientieren, als sich auf eigene Faust in unbekanntes Terrain vorzuwagen. Die EU müsste sich deshalb bemühen, Energiefragen und Energietechnologien aktiver als in der Vergangenheit in ihre Entwicklungspolitik zu integrieren. Auf diese Weise würden ein Rahmen und Anreize für mehr Investitionen in Energieinnovationen und ihre Entwicklung durch die Industrie entstehen.

Entwicklungshilfe, Technologietransfer usw. werden jedoch nur dann wirksam, wenn die Industrieländer ihre eigenen Energiesysteme erfolgreich verändern. Energieinnovationen in Industrieländern sind deshalb eine Voraussetzung für nachhaltige Energiesysteme in Entwicklungsländern. Diese Erkenntnis führt uns zurück an den Anfang unserer Analyse: Auch wenn die globale Dimension der Energiefrage unbestreitbar ist, werden die meisten energierelevanten Entscheidungen offenkundig auf der nationalen, kommunalen oder sogar individuellen Ebene getroffen. Erforderlich ist deshalb ein langfristiges internationales Engagement aller Akteure zu Gunsten nachhaltiger Energieinnovationen auf allen diesen Ebenen von Unternehmen bis hin zu nichtstaatlichen Organisationen und von den Wissenschaften bis hin zum Staat.